

C4

# Primera Familia de Estructuras: CABLES Y ARCOS FUNICULARES

- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

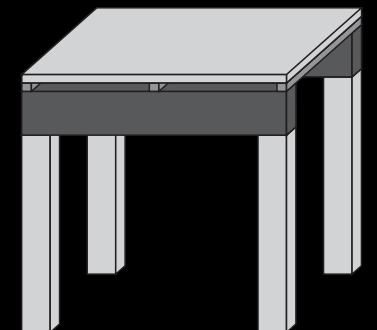
Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

Unica  
Controlada  
Previsible

- **Equilibrio GLOBAL**

Ausencia de movimientos respecto a un plano de referencia.



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

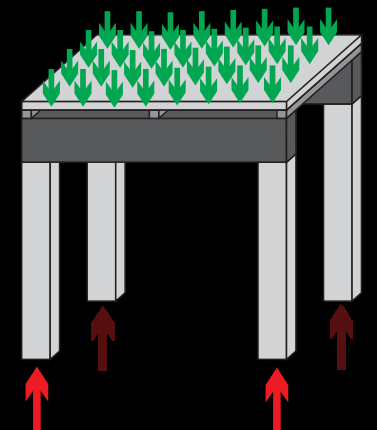
- Estabilidad de la FORMA

Unica  
Controlada  
Previsible

- **Equilibrio GLOBAL**

Ausencia de movimientos respecto a un plano de referencia.

- $\Sigma F_v = 0$



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

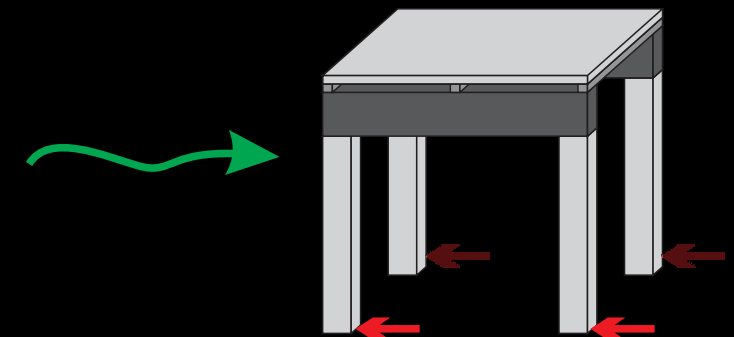
Unica  
Controlada  
Previsible

- **Equilibrio GLOBAL**

Ausencia de movimientos respecto a un plano de referencia.

- $\Sigma F_v = 0$

- $\Sigma F_h = 0$



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

Unica  
Controlada  
Previsible

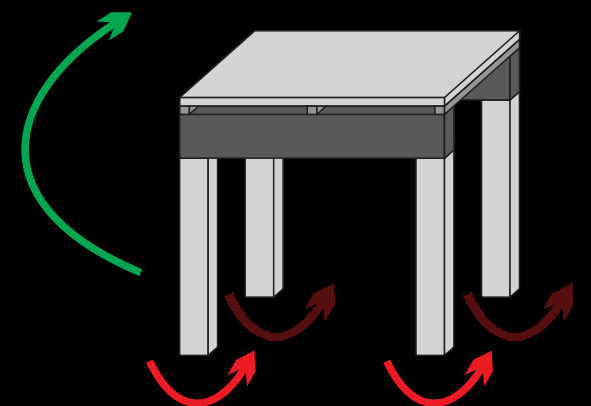
- **Equilibrio GLOBAL**

Ausencia de movimientos respecto a un plano de referencia.

- $\Sigma F_v = 0$

- $\Sigma F_h = 0$

- $\Sigma M = 0$



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

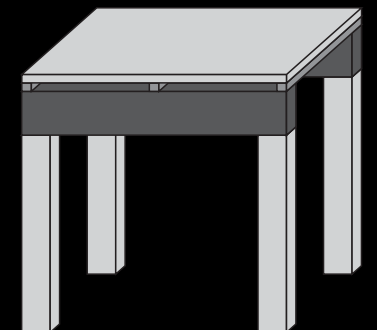
- Estabilidad de la FORMA

Unica  
Controlada  
Previsible

## Equilibrio GLOBAL

- **Equilibrio de la PARTE**

Una estructura se modeliza como un conjunto de unidades funcionales.



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

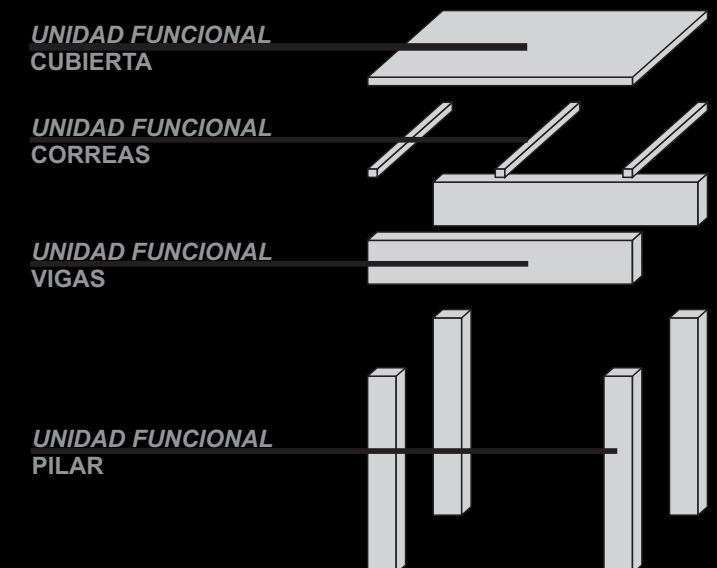
- Estabilidad de la FORMA

Unica  
Controlada  
Previsible

## Equilibrio GLOBAL

- **Equilibrio de la PARTE**

El equilibrio de la estructura supone el equilibrio de cada una de dichas unidades funcionales.



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad Funcional

Resultante izquierda

Tensiones

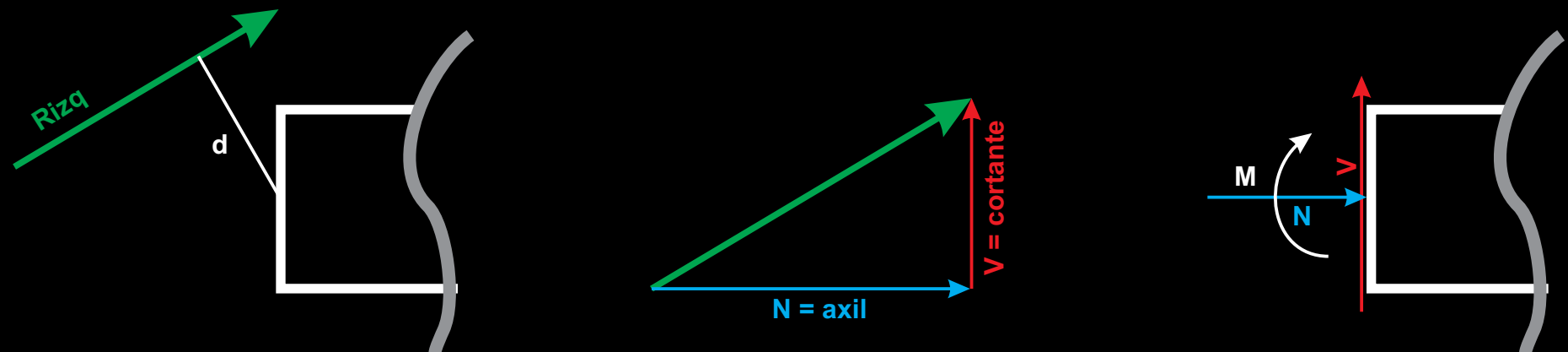
- Estabilidad de la FORMA

Unica Controlada Previsible

## Equilibrio GLOBAL

- **Equilibrio de la PARTE**

La resultante izquierda permite evaluar a que solicitaciones está sometida una sección dada de esa estructura en equilibrio.



$V$  \_ esfuerzos perpendiculares al eje.

$N$  \_ esfuerzos paralelos al eje.

$M$  \_ esfuerzos no aplicados en la sección



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

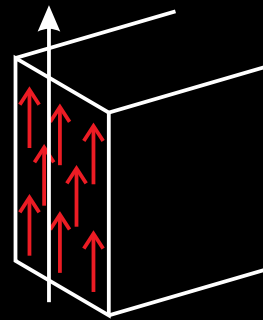
Unica  
Controlada  
Previsible

## Equilibrio GLOBAL

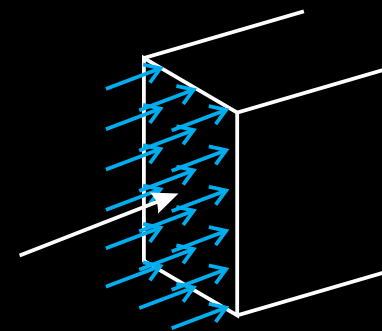
- **Equilibrio de la PARTE**

Las tensiones son fuerzas repartidas en un área (se miden en daN/cm<sup>2</sup>) y se pueden clasificar en dos tipos según su dirección en la sección:

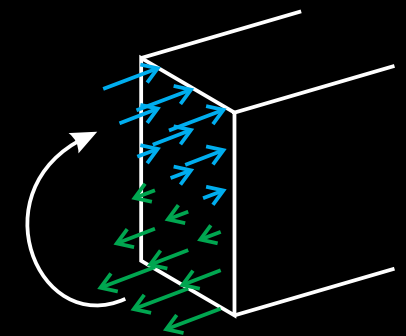
**Rasantes**  
por efecto del Cortante (V)



**Normales**  
por efecto del Axil (N)



**Normales**  
por efecto del Momento (M)



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

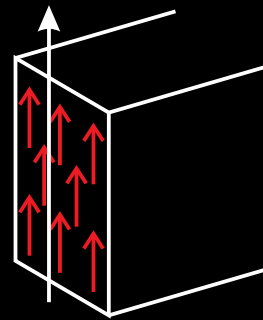
Unica  
Controlada  
Previsible

## Equilibrio GLOBAL

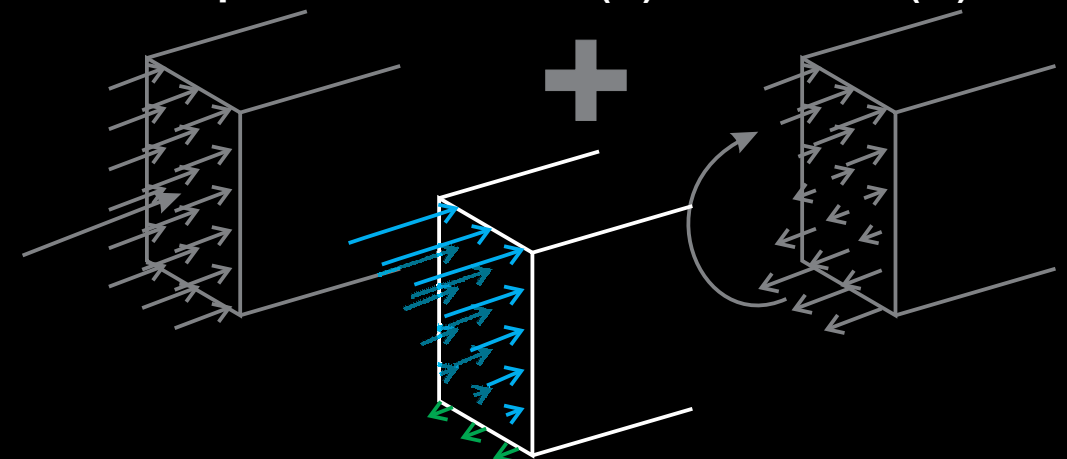
- **Equilibrio de la PARTE**

Aquellas tensiones que tienen la misma dirección en la sección se pueden componer y llegar a un único esquema tensional:

**Rasantes**  
por efecto del Cortante (V)



**Normales**  
por efecto del Axil (N) + Momento (M)



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

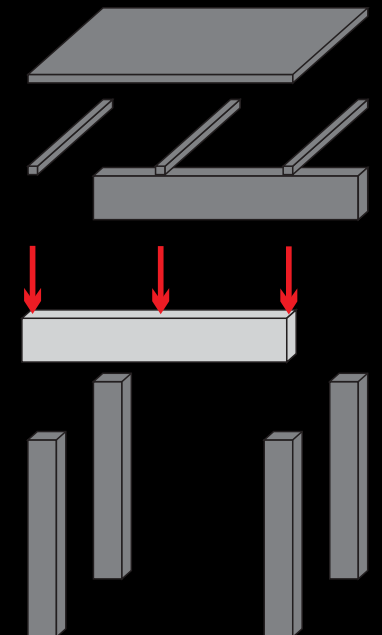
Unica  
Controlada  
Previsible

## Equilibrio GLOBAL

## Equilibrio de la PARTE

- **Estabilidad de la forma**

La deformación del conjunto o de la parte es el resultado natural frente a la aplicación de las acciones en una estructura.



- Equilibrio GLOBAL

$$\Sigma F_v = 0$$

$$\Sigma F_h = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

- Equilibrio de la PARTE

Unidad  
Funcional

Resultante  
izquierda

Tensiones

- Estabilidad de la FORMA

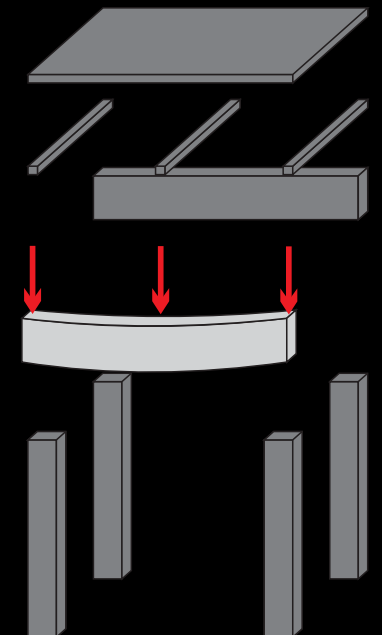
Unica  
Controlada  
Previsible

# Equilibrio GLOBAL

## Equilibrio de la PARTE

- **Estabilidad de la forma**

- **UNICA**
- **PREVISIBLE**
- **CONTROLADA**



- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

En cualquier estructura, entendida como un conjunto de unidades funcionales, se pueden distinguir algunas preponderantes y otras secundarias.

Aquellas principales son las que la “identifican”.

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## Cable



Proyecto: Millennium Bridge [2000] Foster & Partners

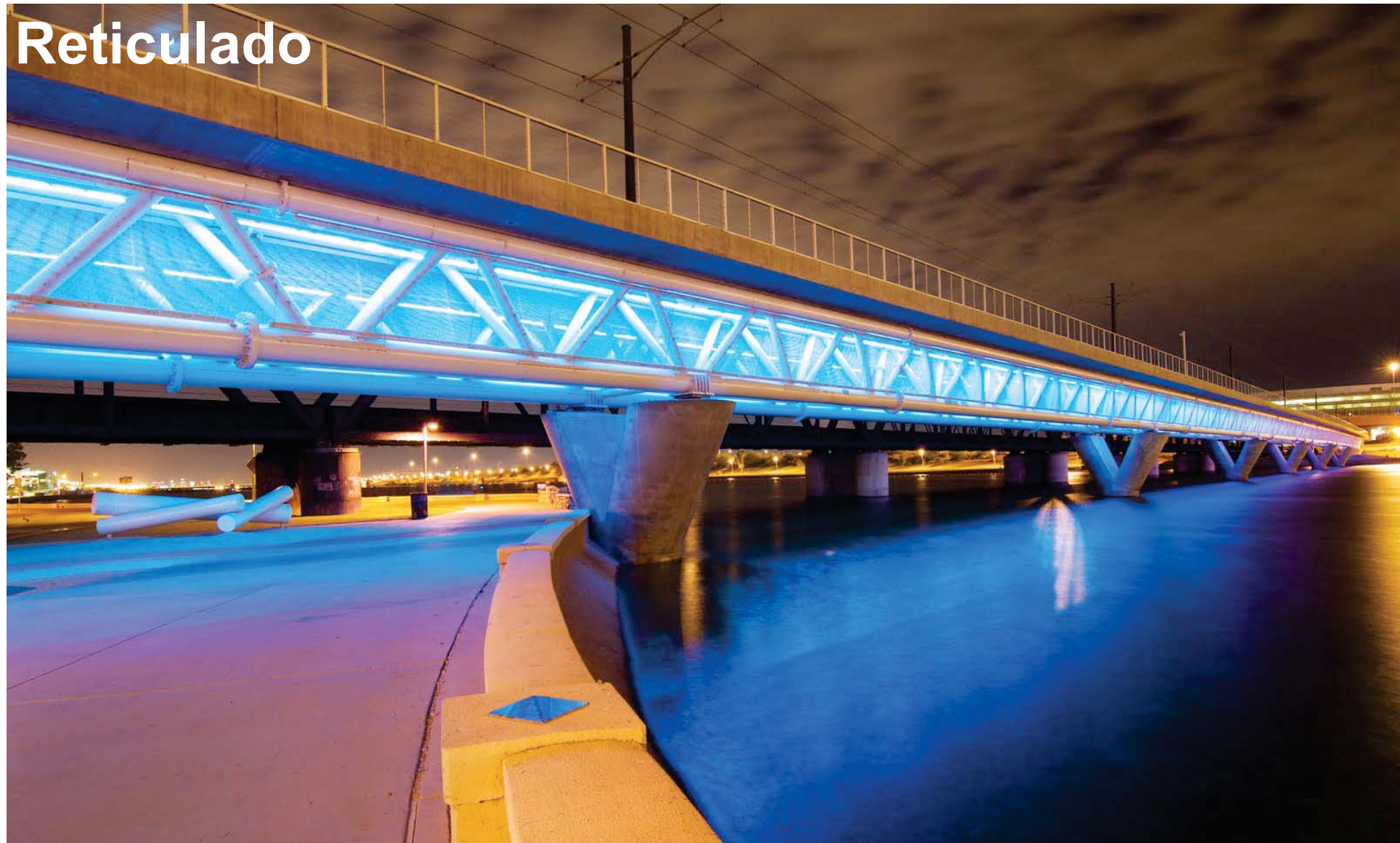
- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## Arco Funicular



Proyecto: Hulme Bridge [1997] Keith Brownlie

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas



Proyecto: Tempe Town Bridge [2008] T. Y. Lin International



- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas



Proyecto: Hemeroscopium House [2008] Ensemble Studio

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## Portico



Proyecto: Tea House [2010] David Jameson

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

- **FAMILIAS de Estructuras**

Las estructuras se pueden clasificar de acuerdo a las sollicitaciones a las cuales sus unidades funcionales están principalmente sometidas.

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## 1°: Cables y Arcos Funiculares

(N) Axil = Tracción en cables / Compresion en arcos

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

La forma visualiza la carga (solicitud)

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## 1°: Cables y Arcos Funiculares

(N) Axil = Tracción en cables / Compresion en arcos

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

La forma visualiza la carga (solicitudión)

## 2°: Estructuras de Bielas

(N) Axil = Tracción o Compresion dependiendo de la barra

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

Los esfuerzos son paralelos al eje de la barra

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## 1°: Cables y Arcos Funiculares

(N) Axil = Tracción en cables / Compresion en arcos

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

La forma visualiza la carga (solicitudión)

## 2°: Estructuras de Bielas

(N) Axil = Tracción o Compresion dependiendo de la barra

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

Los esfuerzos son paralelos al eje de la barra

## 3°: Elementos Flexados

(V) Cortante = solicitada

(M) Momento = solicitada

**FLEXION SIMPLE (Vigas)**

(N) Axil = 0

**FLEXION COMPUESTA (Pórticos)**

(N) Axil = Tracción o Compresión dependiendo de la barra

La forma NO visualiza la carga (solicitudión)

- Unidades Funcionales
  - Cable
  - Arco Funicular
  - Reticulado
  - Viga
  - Portico
- Familias de Estructuras
  - 1° Cables
  - 2° Bielas
  - 3° Flexadas

## 1°: Cables y Arcos Funiculares

(N) Axil = Tracción en cables / Compresion en arcos

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

La forma visualiza la carga (solicitudión)

## 2°: Estructuras de Bielas

(N) Axil = Tracción o Compresion dependiendo de la barra

(V) Cortante = 0

(M) Momento = 0

Los esfuerzos son paralelos al eje de la barra

## 3°: Elementos Flexados

(V) Cortante = solicitada

(M) Momento = solicitada

FLEXION SIMPLE (Vigas)

(N) Axil = 0

FLEXION COMPUESTA (Pórticos)

(N) Axil = Tracción o Compresión dependiendo de la barra

La forma NO visualiza la carga (solicitudión)

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows



**Material de Apoyo**  
Ficha B  
Ficha C  
[estabilidad1.blogspot.com](http://estabilidad1.blogspot.com)



- Introducción

- Catenaria

- Material

- Tensión - Deformación

- Ley de Hooke

- Alargamiento

- Hip. Bernoulli

- Tensión diseño

- Equilibrio Global

- Δ Flecha

- Δ Distancia

- Δ Altura

- Multip. Cargas

- Trazado

- Equilibrio Parte

- Dimensionado

- Tension Real

- Estabilización de la forma

- Peso Propio

- Rigidizadores

- Pretensado

- Tacoma

- Narrows

## CABLES

## tipo de estructura

## ARCOS

tracción simple

**Esfuerzo**

compresión simple

cable

**Unidad Funcional Principal**

arco

grandes luces con bajo peso propio

**Usos**

"luces medias con peso propio medio"

cable (acero)

**Materialidad**

acero, hormigón, madera

afecta la forma (forma activa)

**Comportamiento X Variación de Carga**

no afecta la forma

mastiles, pilares, pórticos

**Otras Unidades Funcionales**

autoportante

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

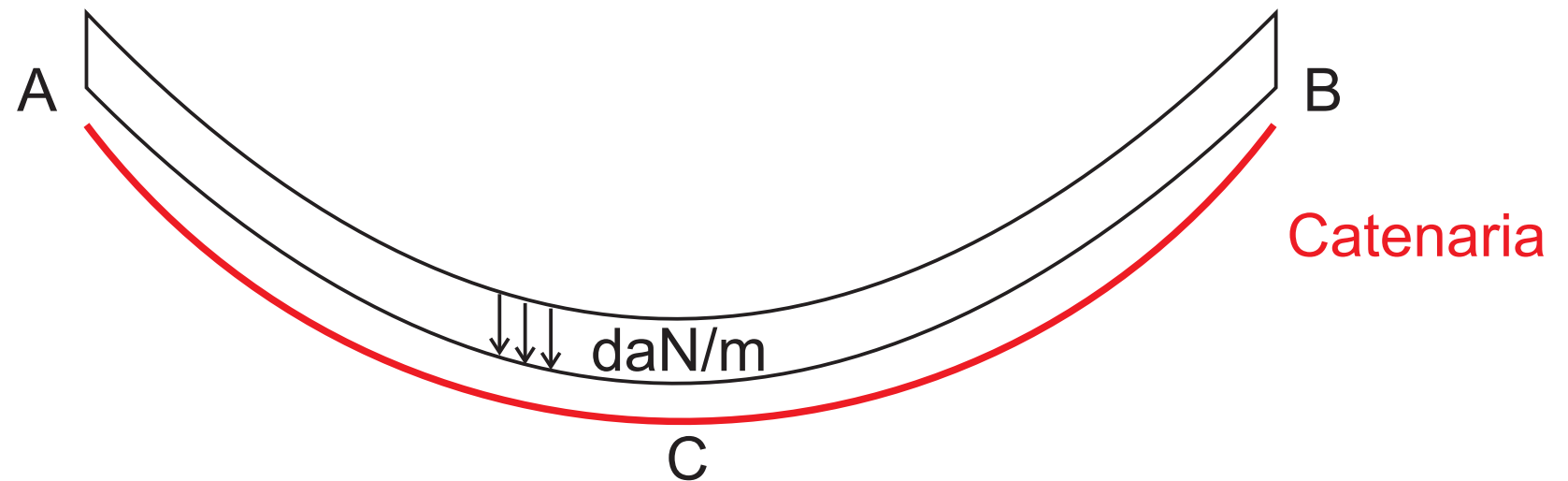
## ● Catenaria

*veamos primero un modelo real*

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Catenaria

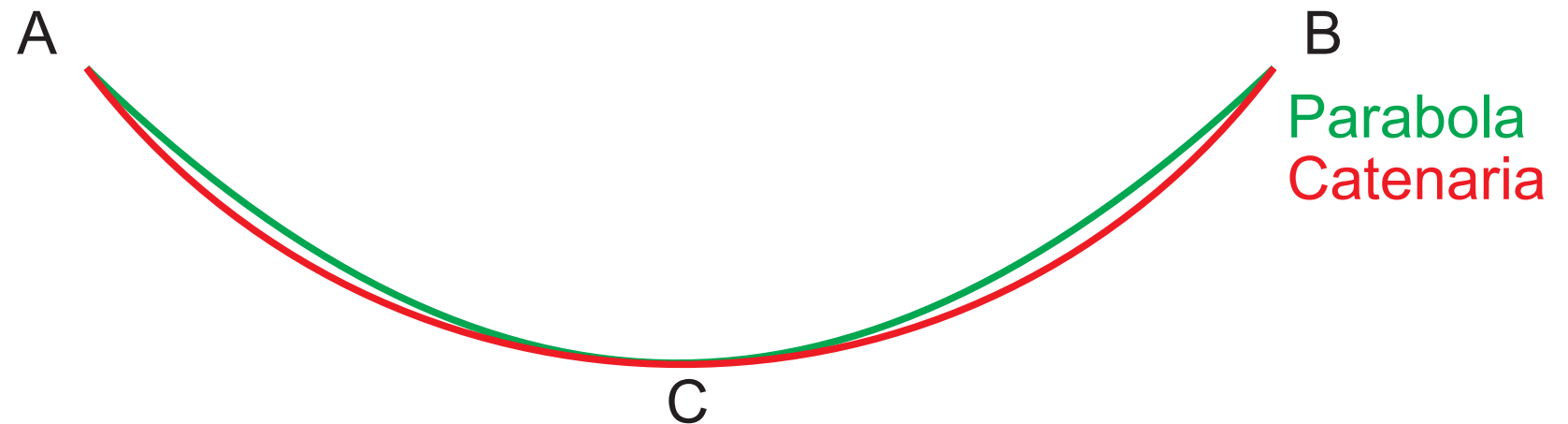
Es la forma que adopta un cable sometido a una carga uniformemente distribuida sobre su eje, por ejemplo su peso propio.



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Catenaria

Cuando las flechas son bajas, la curva catenaria se aproxima geoméricamente a una parábola, que es matemáticamente más sencilla.



Ecuación de la catenaria:

$$y = a \cdot \cos.\text{hip } x/a$$

Ecuación de la parábola:

$$y = ax^2 + bx + c$$

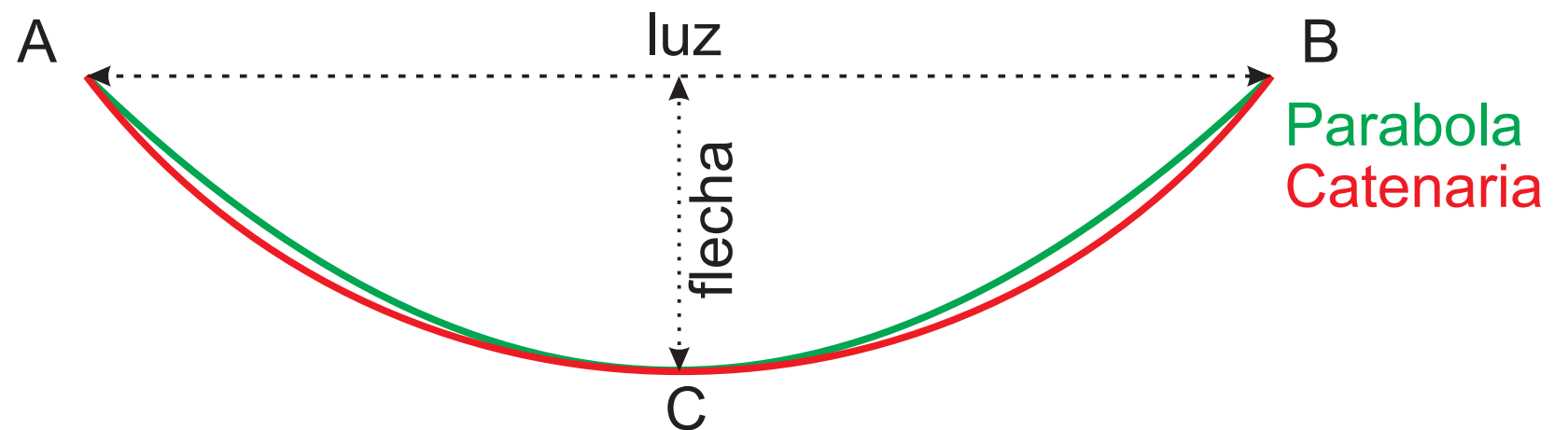
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Catenaria

Ambas curvas coinciden en tres puntos:

- los dos amarres (A y B)
- el punto medio del trazado (C)

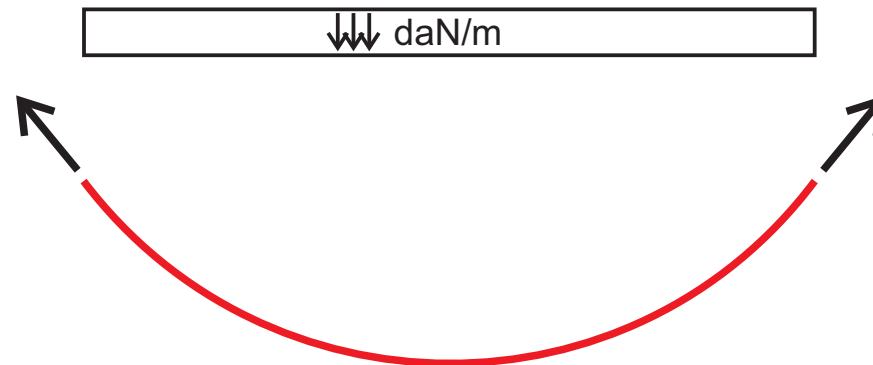
La relación mas próxima es que la flecha sea  $1/3$  de la luz entre amarres.



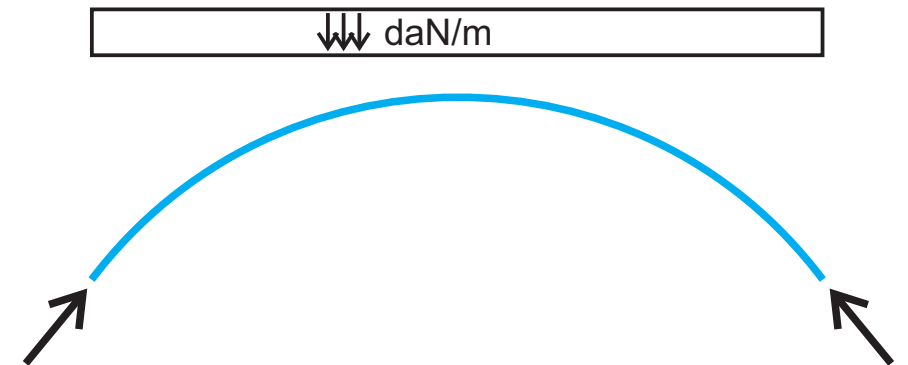
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Parábola

Ante un mismo estado de carga y puntos de apoyo, se pueden definir parábolas simétricas, asimilables a una catenaria y anti-catenaria, que trabajarán como:



cable: a tracción simple

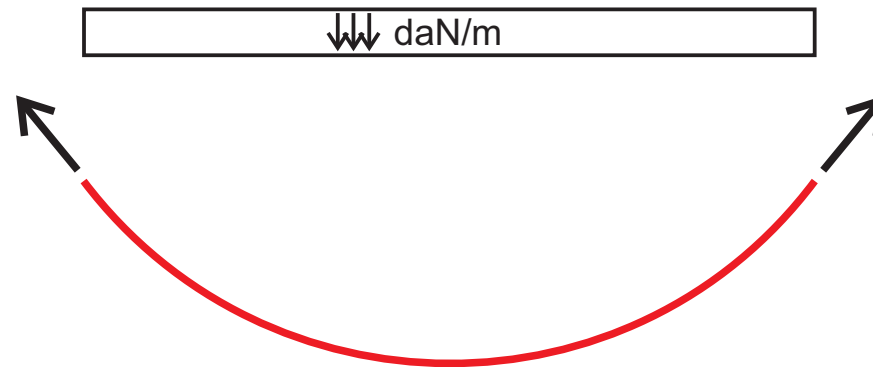


arco: a compresión simple

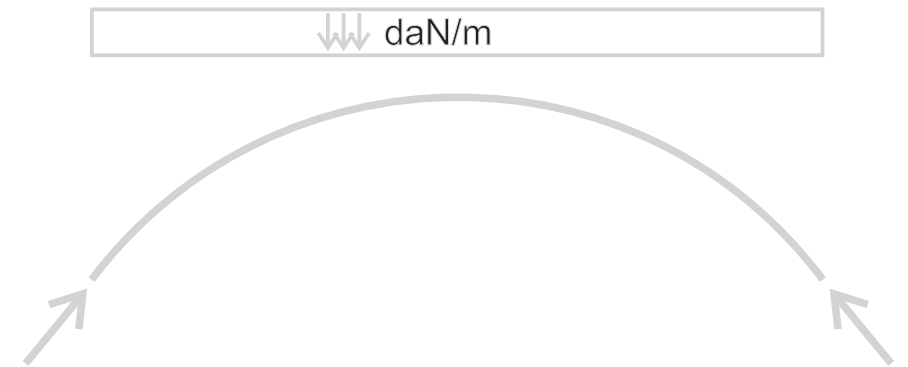
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Parábola

*vamos a concentrarnos en cables*



cable: a tracción simple



arco: a compresión simple

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

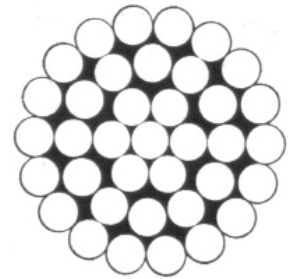
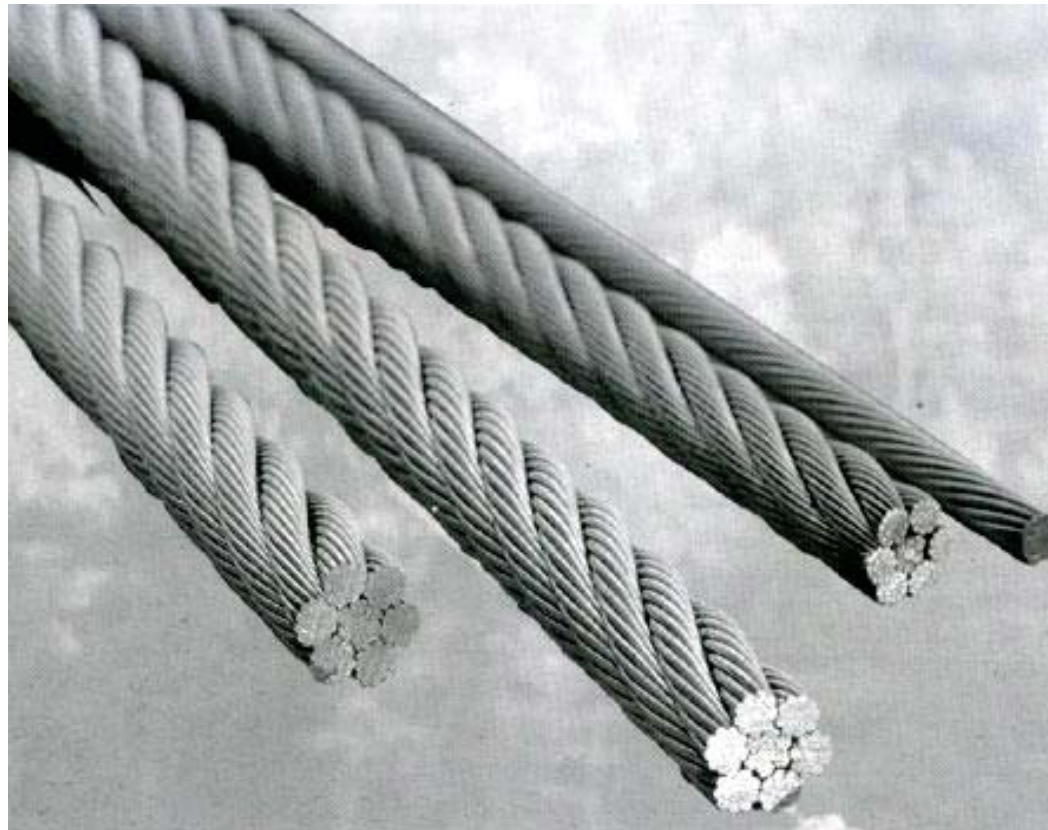
## ● Material

### Acero:

Homogeneo, Continuo e Isótropo

### Cable:

Uno o mas hilos de acero torneados sobre si mismos

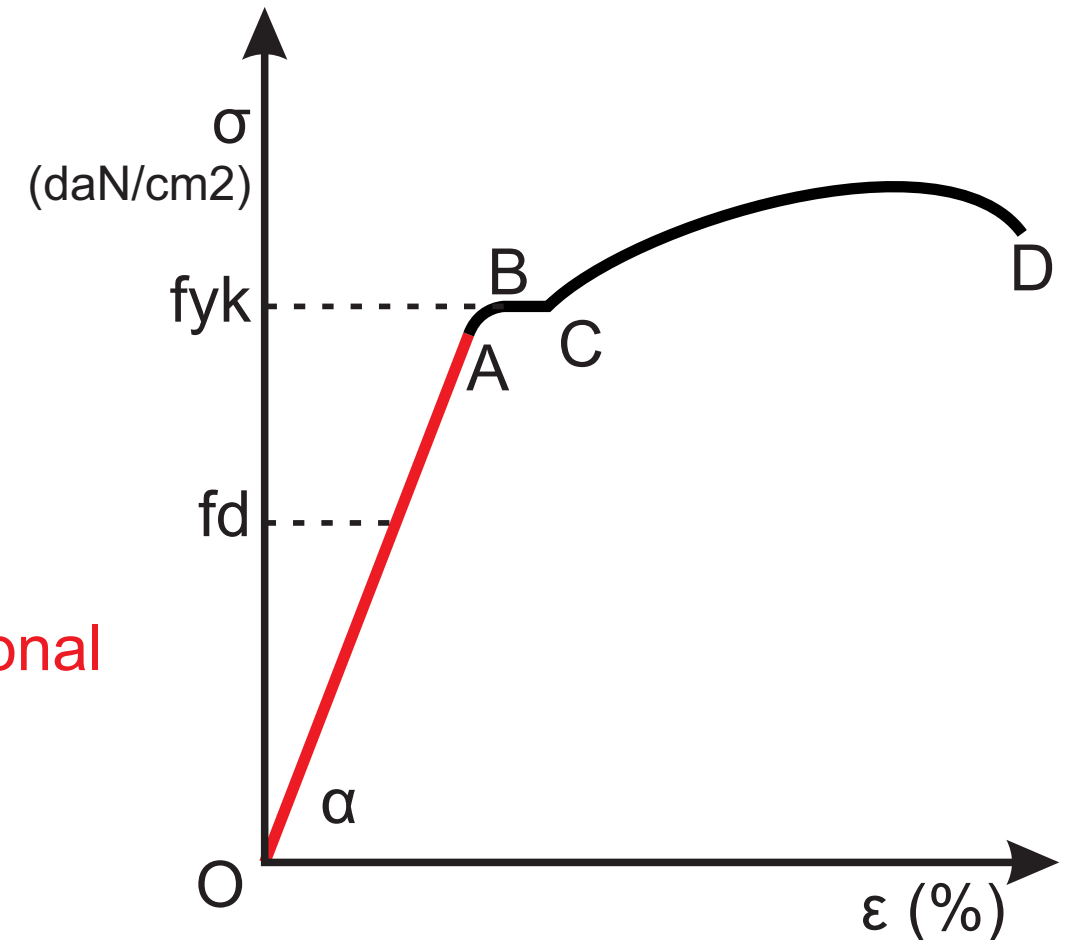




- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Diagrama Tensión-Deformación

Experimentalmente se establecen ciertas características del material

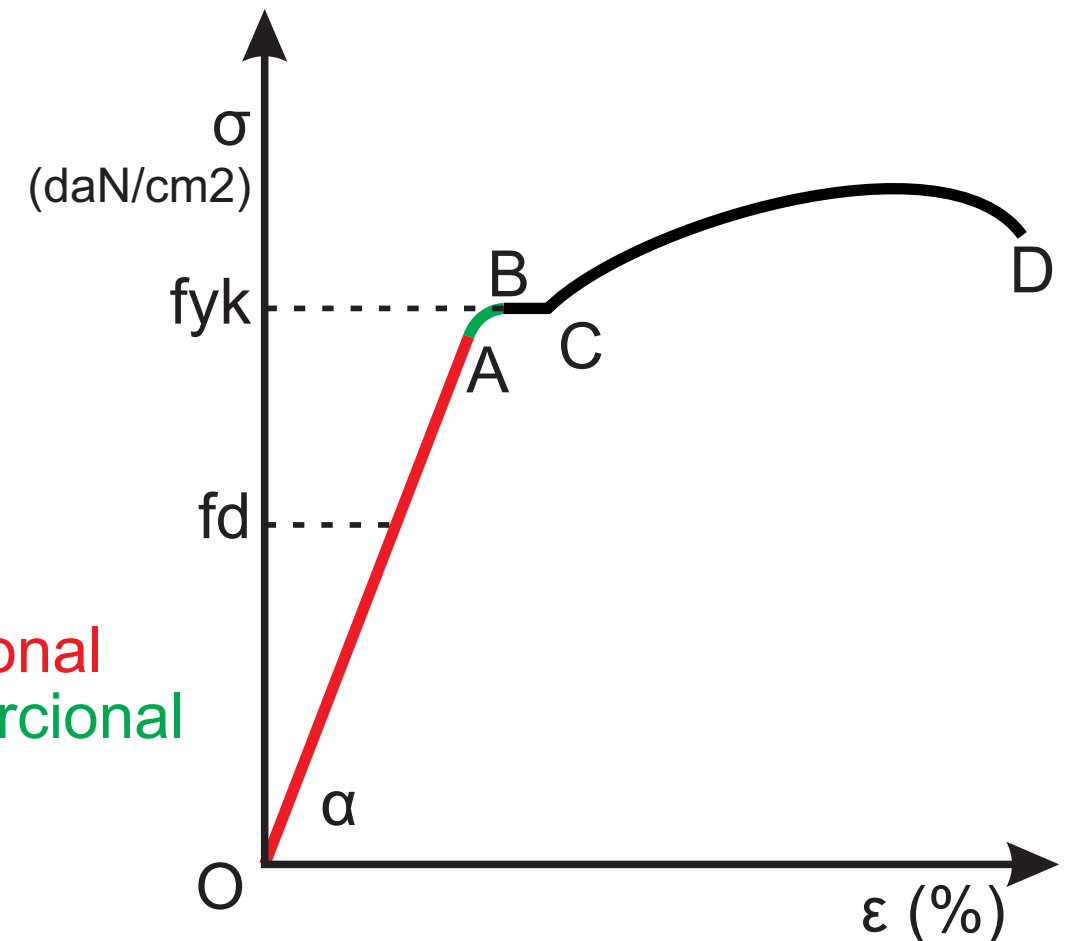


OA: período elástico proporcional

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Diagrama Tensión-Deformación

Experimentalmente se establecen ciertas características del material

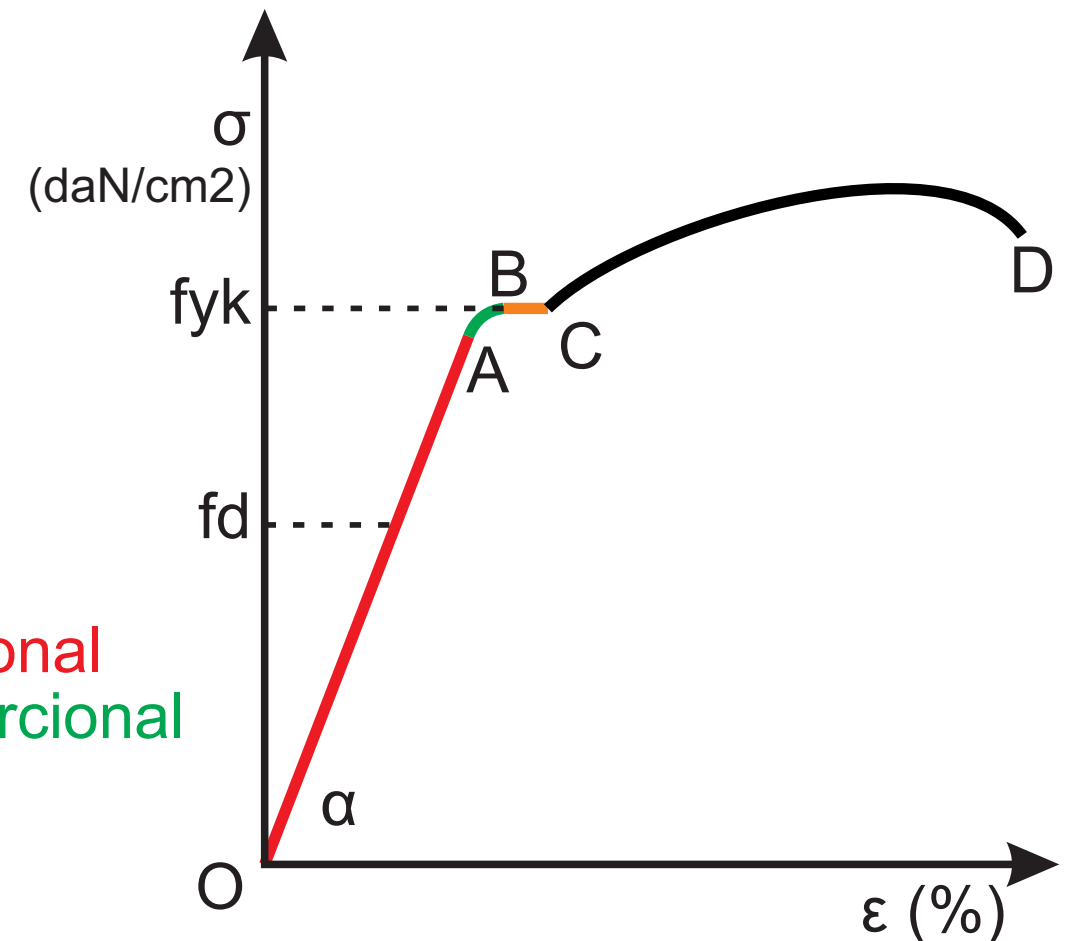


**OA:** período elástico proporcional  
**AB:** período elástico no proporcional

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Diagrama Tensión-Deformación

Experimentalmente se establecen ciertas características del material

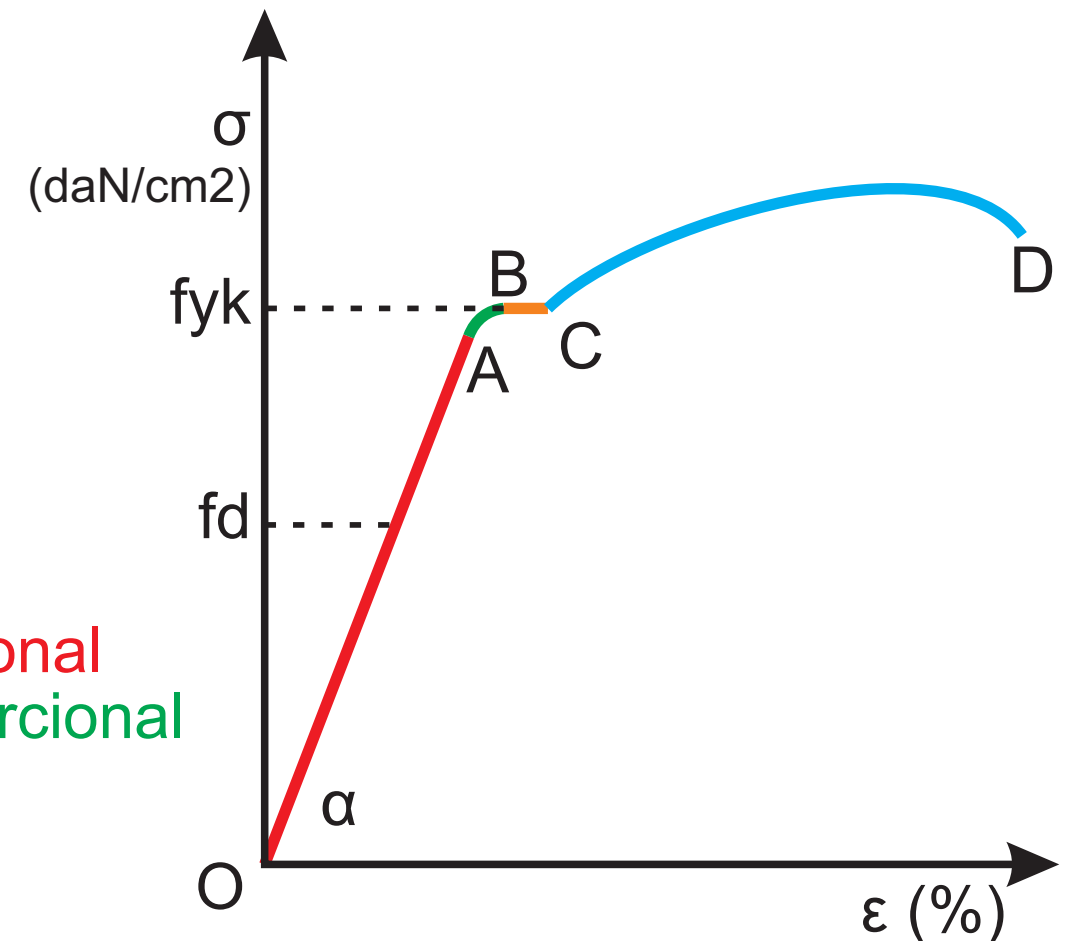


OA: período elástico proporcional  
 AB: período elástico no proporcional  
 BC: escalón de fluencia

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Diagrama Tensión-Deformación

Experimentalmente se establecen ciertas características del material

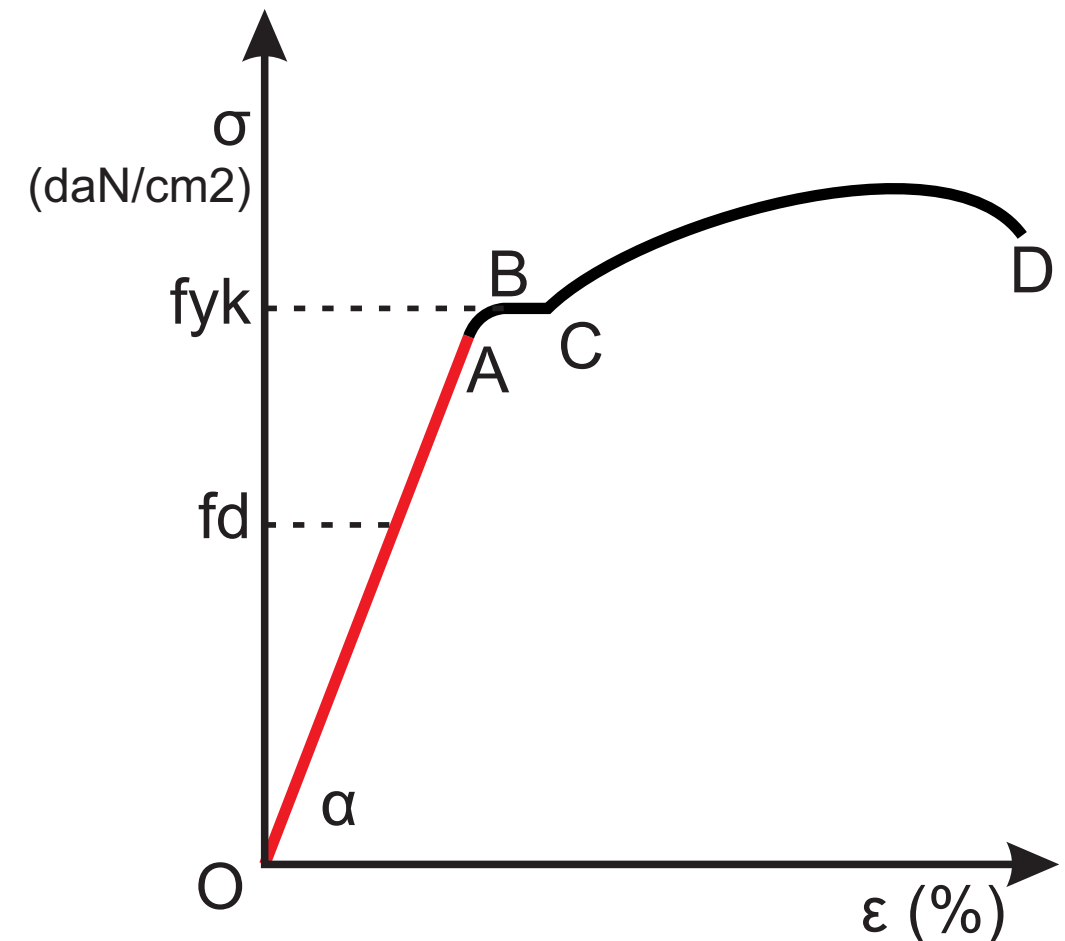


OA: período elástico proporcional  
 AB: período elástico no proporcional  
 BC: escalón de fluencia  
 CD: período plástico

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Ley de Hooke

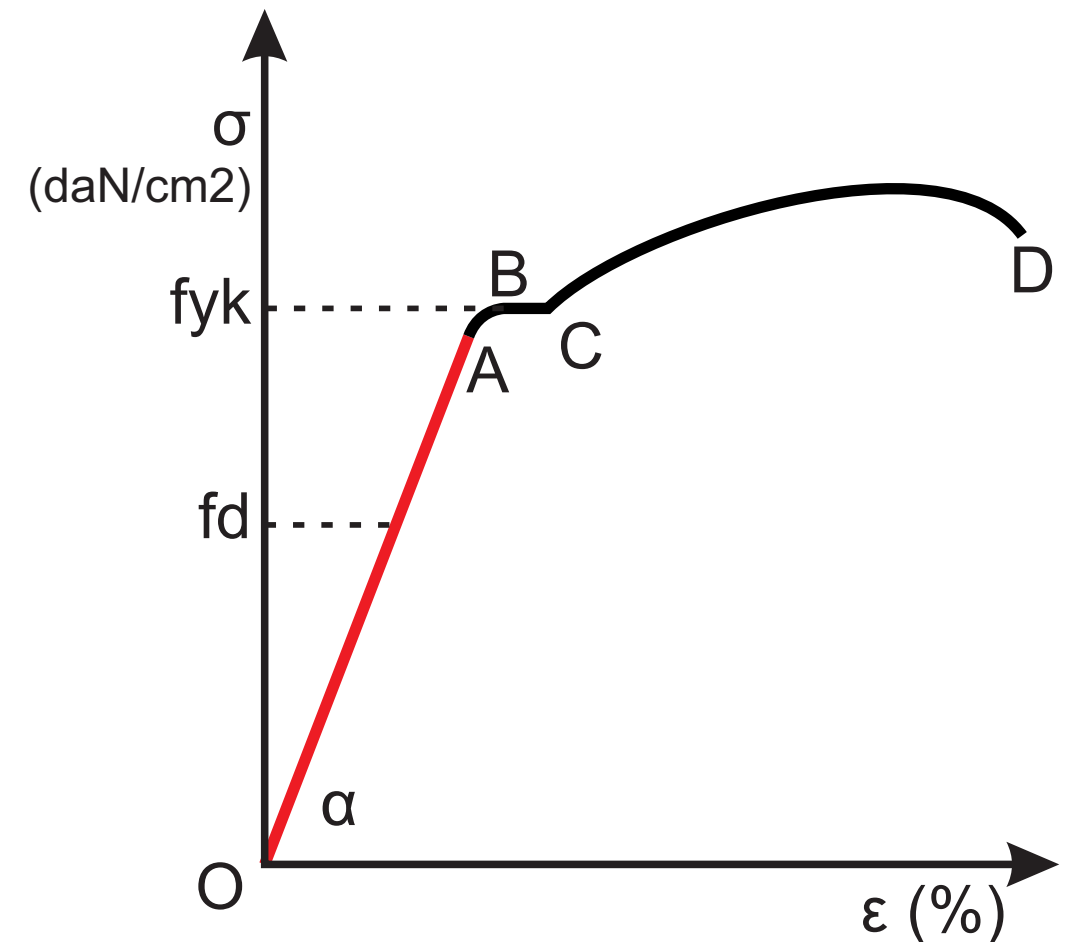
Cuando las cargas se encuentran entre los límites OA, el alargamiento de la barra es proporcional a la tensión y a su longitud es inversamente proporcional a la sección y al módulo de elasticidad.



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Ley de Hooke

Hasta el límite de la proporcionalidad es válida la Ley de Hooke.  
El valor de  $\text{tg}\alpha$  en ese período se llama :  
**Módulo de Young o Módulo de elasticidad = E**



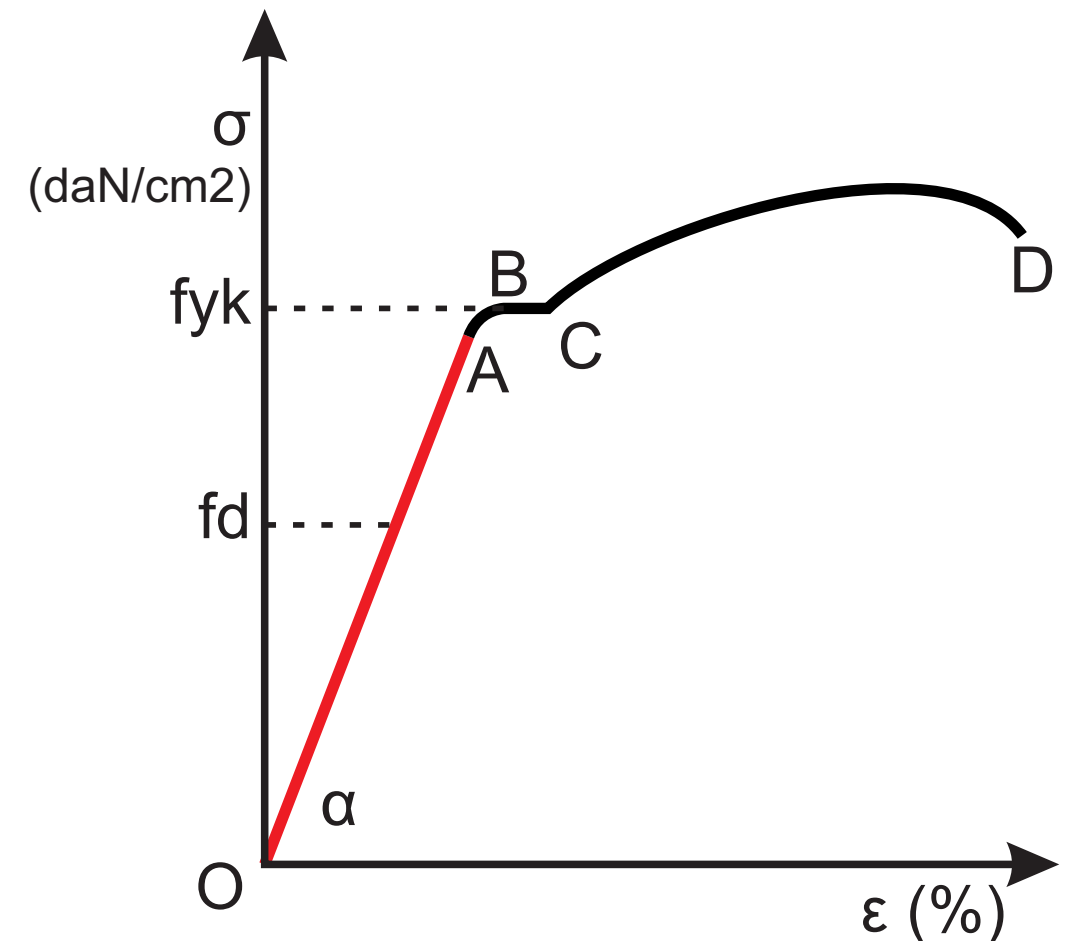
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Ley de Hooke

El módulo de elasticidad es un coeficiente cuyo valor depende de las propiedades del material. Este coeficiente caracteriza la capacidad del material a oponerse a las deformaciones.

Acero = 2.100.000 daN/cm<sup>2</sup>

Madera = 100.000 daN/cm<sup>2</sup>



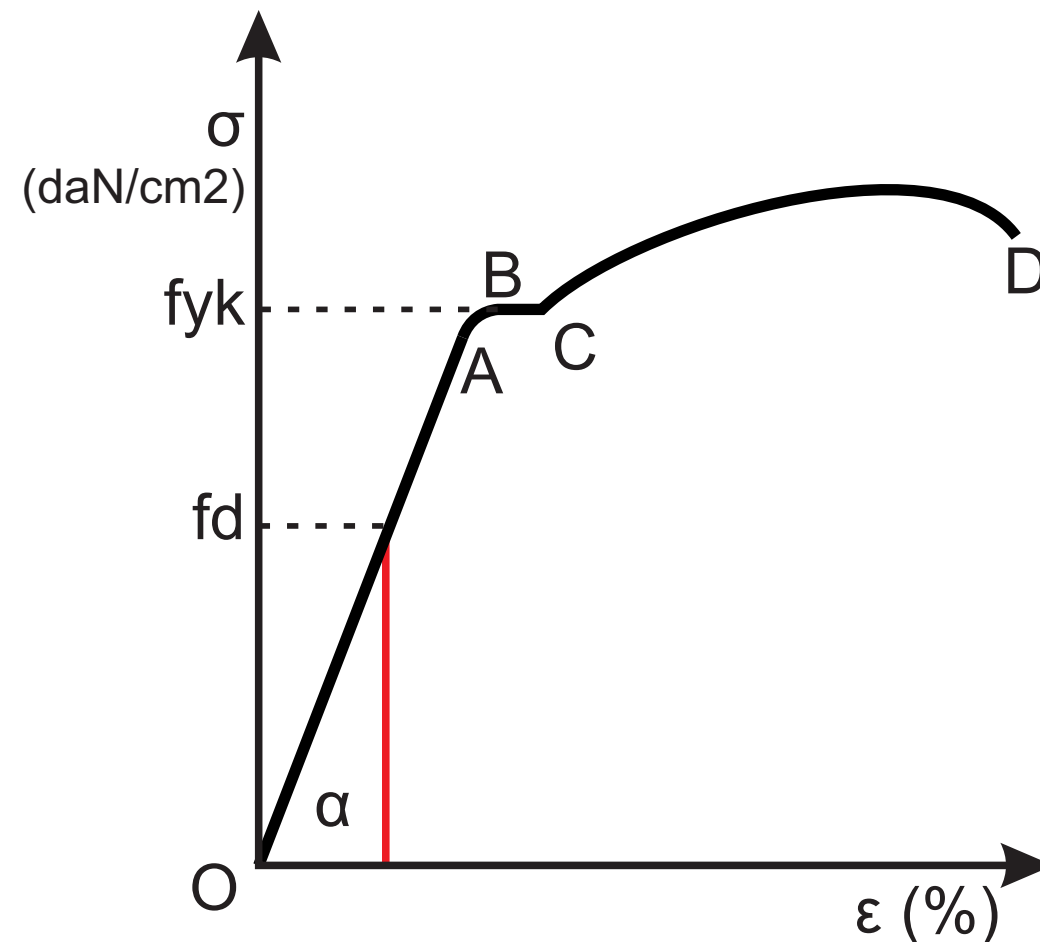
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Alargamiento

Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)





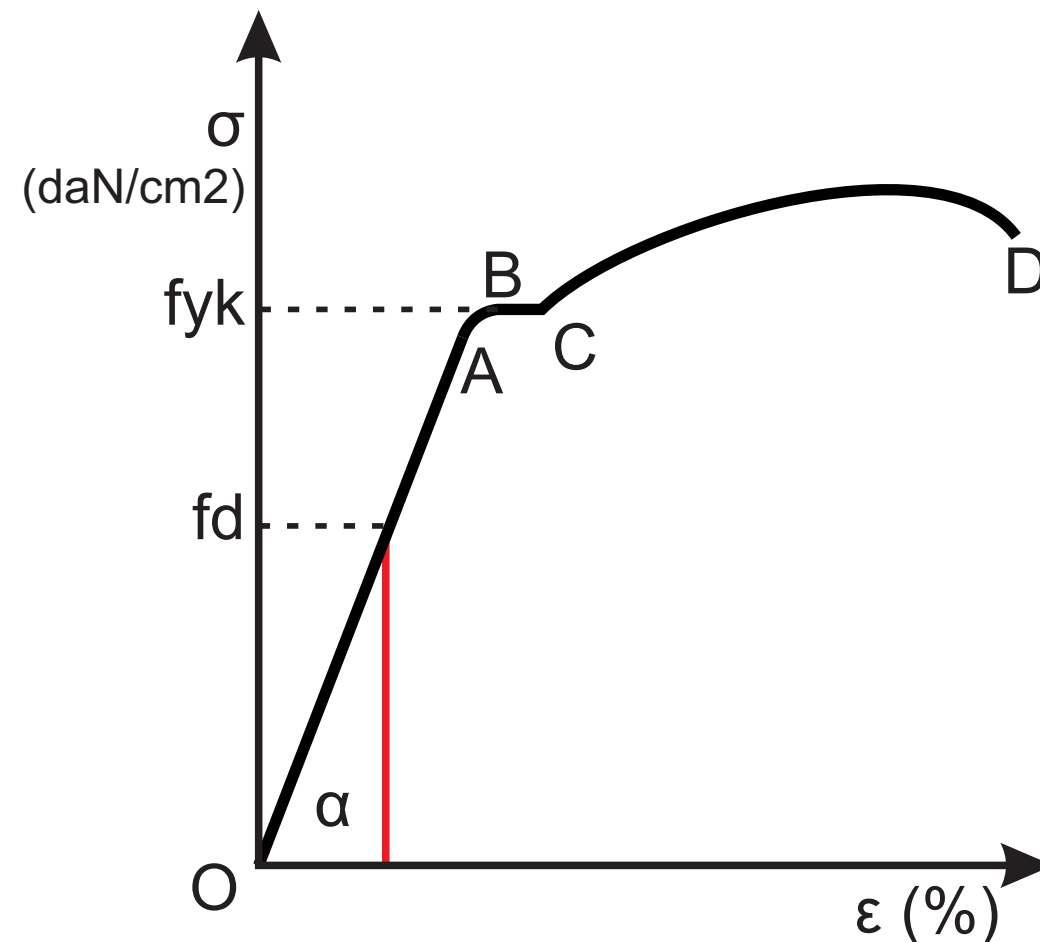
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Alargamiento

Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \text{tg}\alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

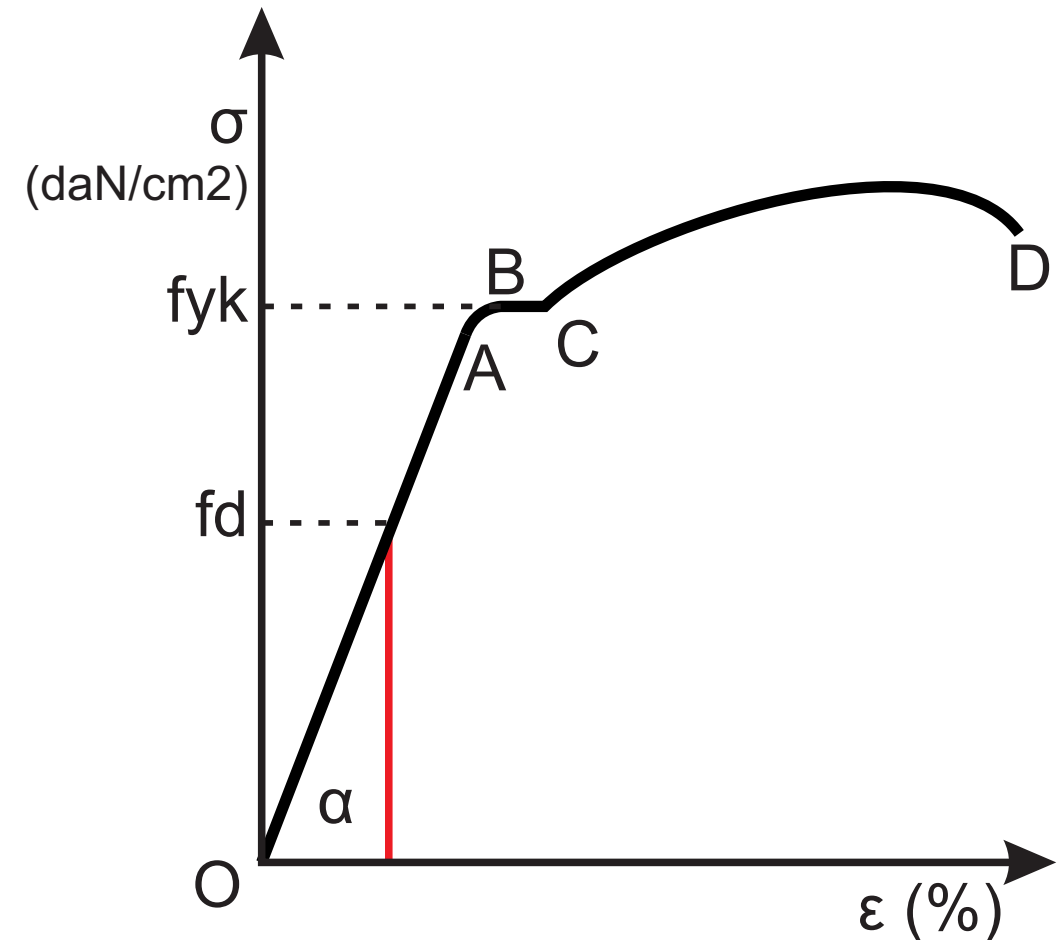
## ● Alargamiento

Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

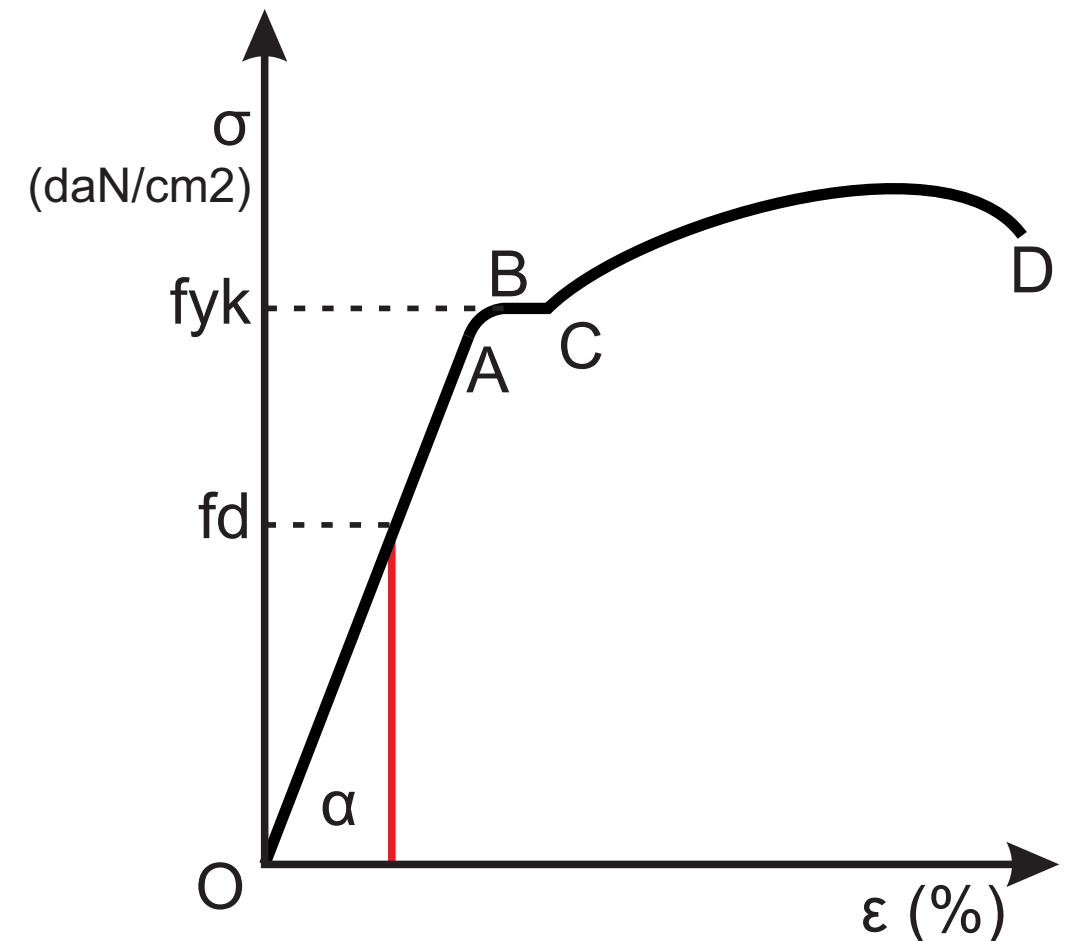
## ● Alargamiento

Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

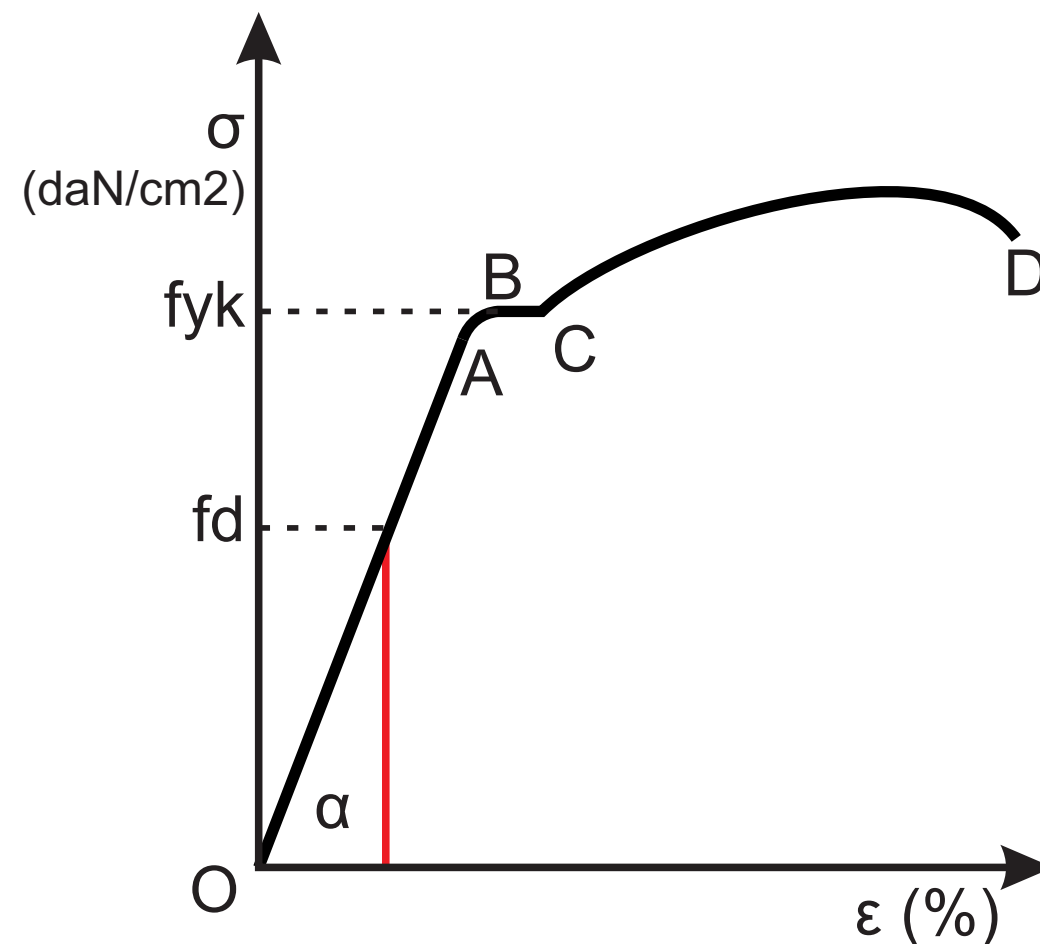
## ● Alargamiento

Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \quad \rightarrow \quad \Delta l = \frac{\sigma \cdot l}{E}$$

$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Alargamiento

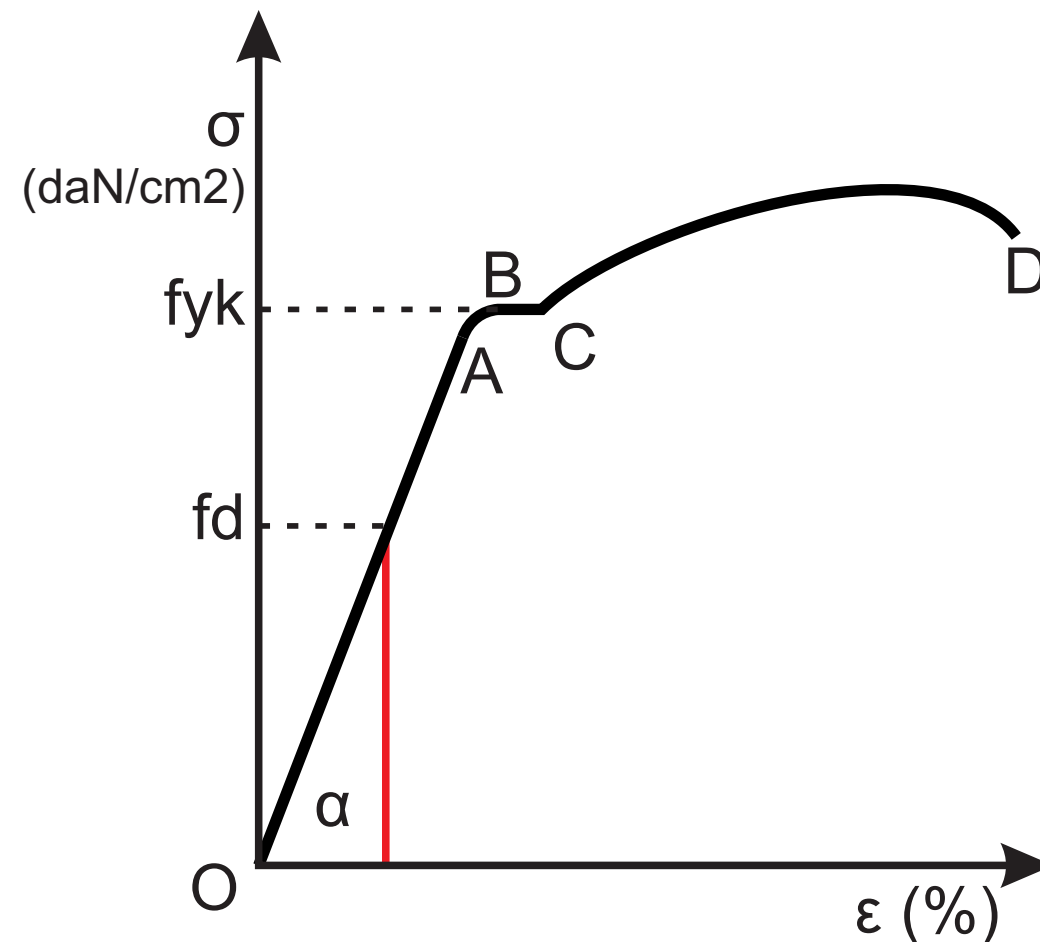
Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \qquad \Delta l = \frac{\sigma \cdot l}{E}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{A \cdot E}$$

$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Alargamiento

Conociendo el módulo de elasticidad del material, la tensión aplicada y el largo de la pieza se puede deducir el alargamiento que va a tener:

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

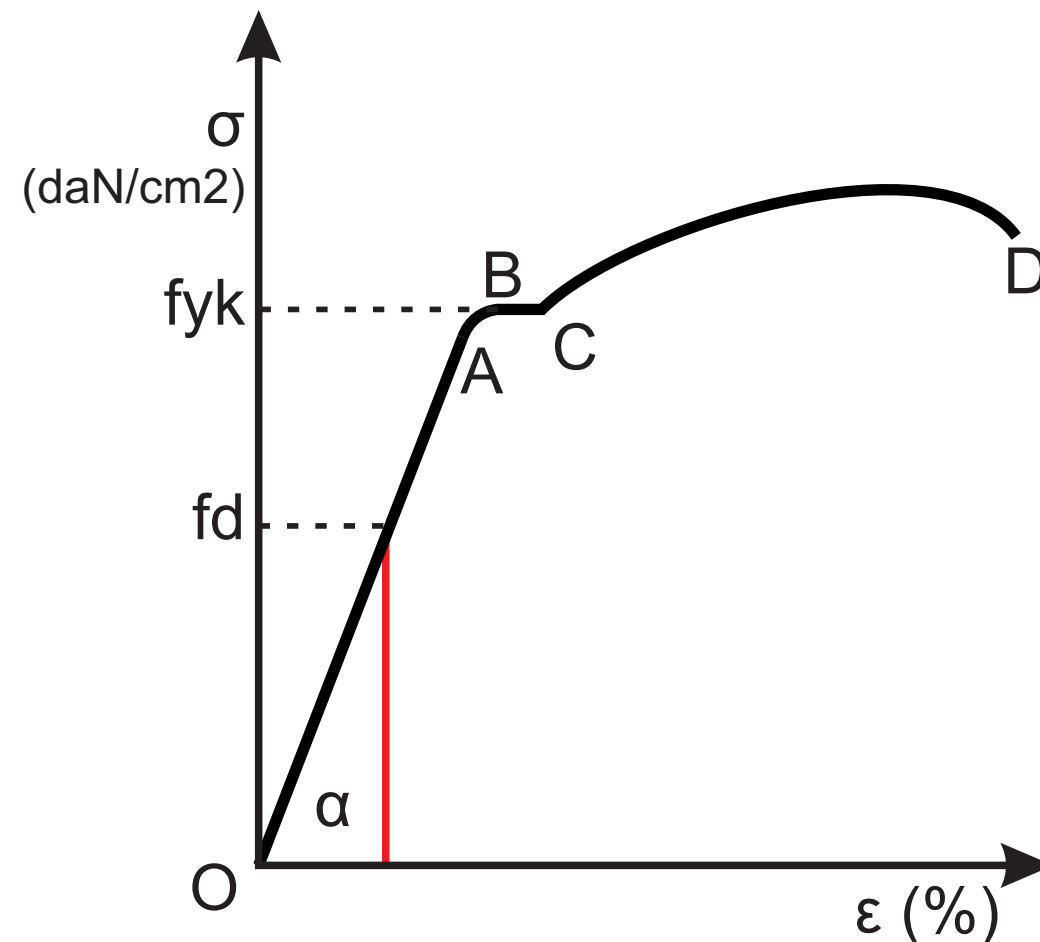
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

$$\Delta l = \frac{\sigma \cdot l}{E}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{A \cdot E}$$

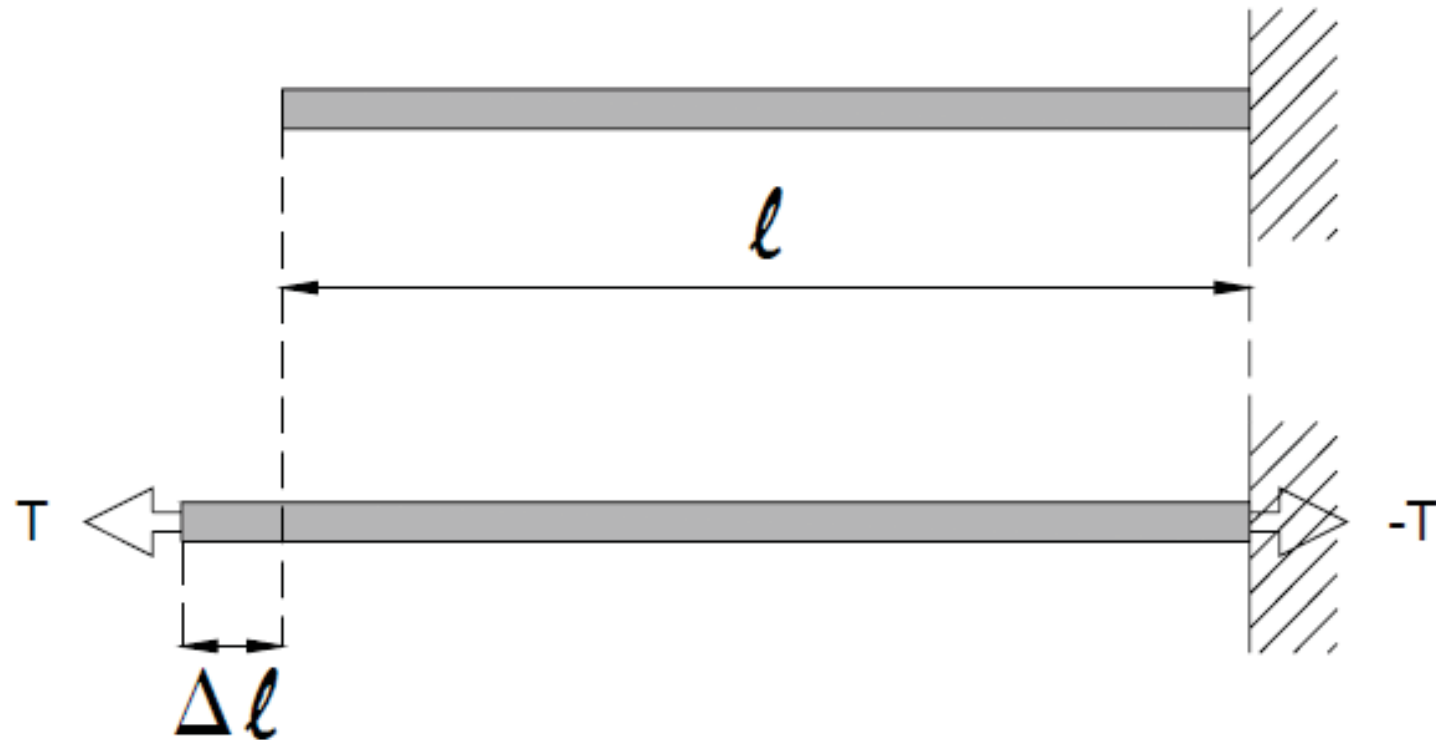
$E$  = módulo de elasticidad (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  = deformación (%)  
 $\sigma$  = tensión (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta l$  = alargamiento (cm)  
 $l$  = longitud (cm)  
 $A$  = área (cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Hipótesis de Bernoulli

Las secciones transversales de la barra que eran planas y perpendiculares a su eje antes de la deformación, permanecen planas y normales, después de ocurrir la deformación.



La distribución de las tensiones en la sección de la pieza es uniforme, excepto en la zona de aplicación de la fuerza.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Tensión de diseño

La relación estudiada entre la tensión y deformación determina, para cada material, ciertos valores límites tales como la tensión de rotura o la característica.

Las estructuras deben trabajar por debajo de éstos límites, por lo que se aplican ciertos coeficientes de seguridad  $\gamma$ , reflejo de las imperfecciones del material, proceso de producción, modelos, etc.

### Acero Común:

Tensión de fluencia  $f_{yk} = 2600 \text{ daN/cm}^2$

Tensión de dimensionado  $f_d = 1400 \text{ daN/cm}^2$

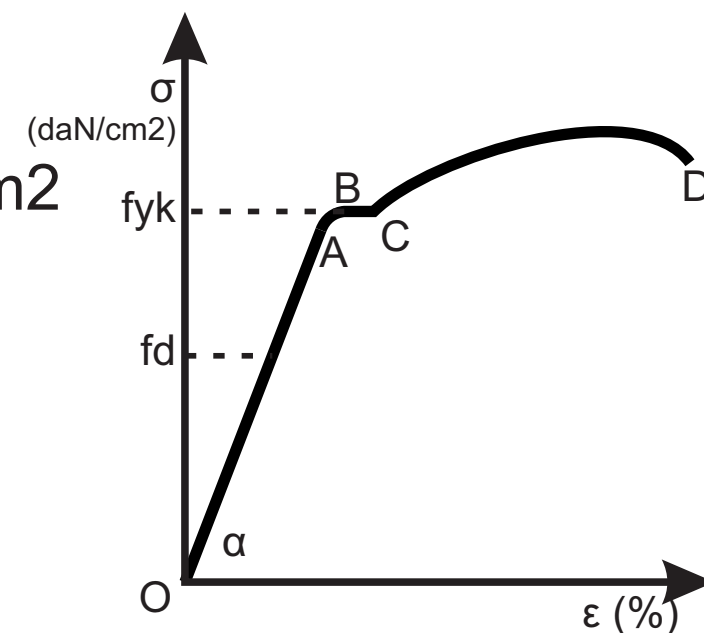
### Aceros especiales:

$f_d = 5.000 \text{ daN/cm}^2$

$f_d = 8.000 \text{ daN/cm}^2$

$f_d = 10.000 \text{ daN/cm}^2$

$f_d = 18.000 \text{ daN/cm}^2$





- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*veamos nuevamente el modelo real*



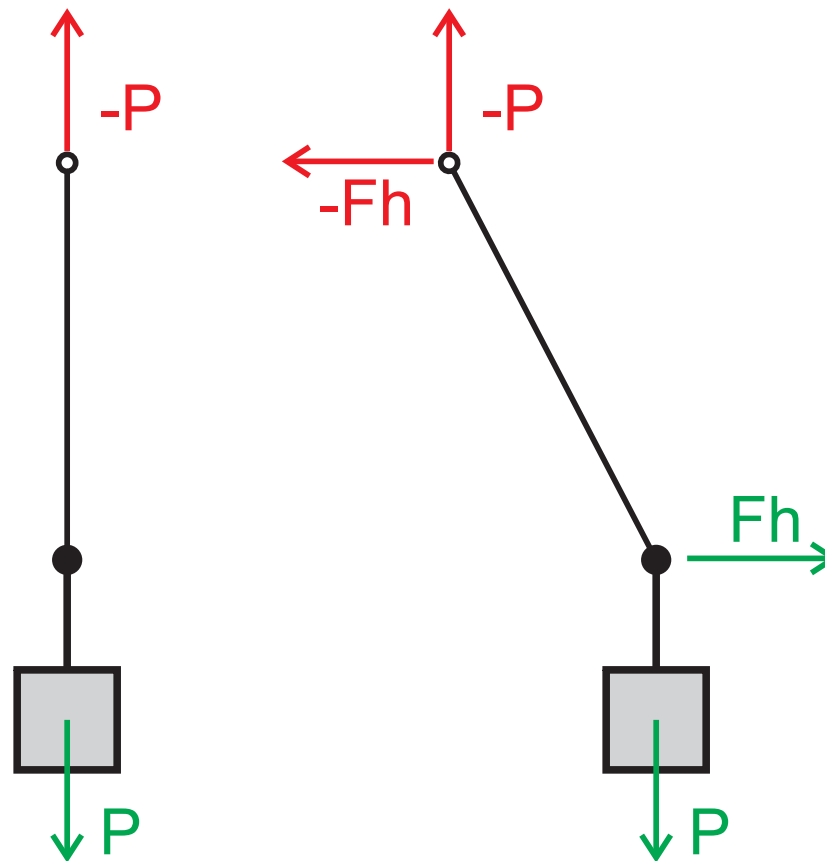
$P = \text{Carga (daN)}$

$f = \text{flecha}$

$d = \text{distancia entre puntos de amarre}$

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global



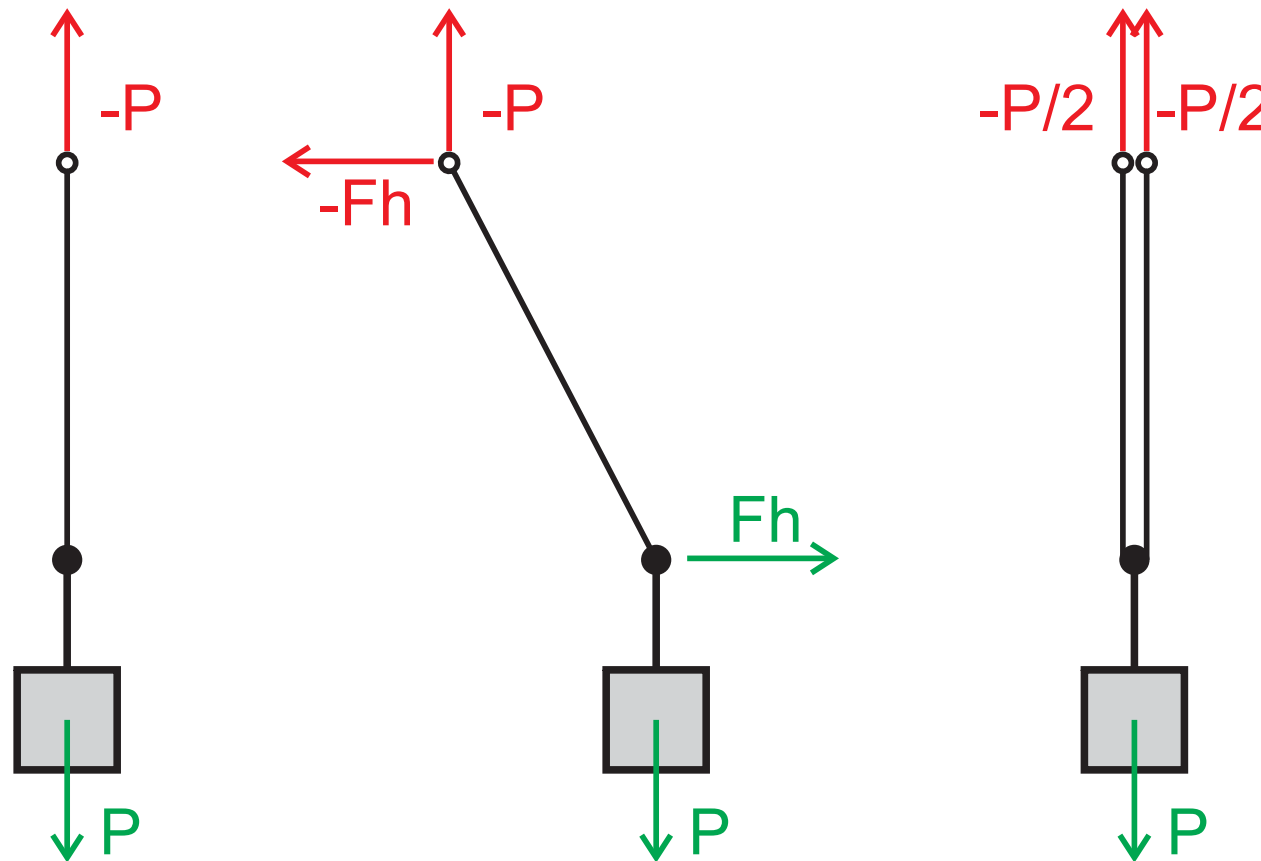
$P =$  Carga (daN)

$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global



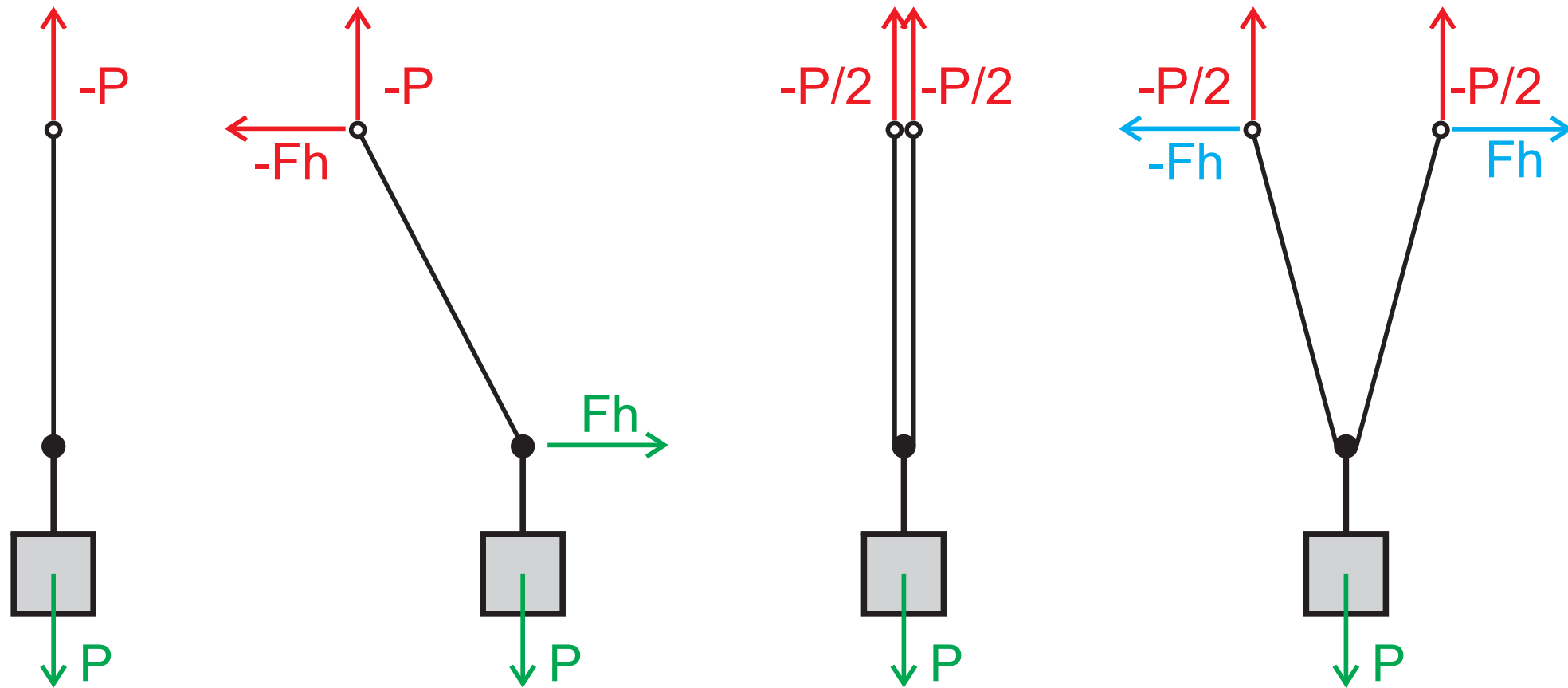
$P =$  Carga (daN)

$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global



$P =$  Carga (daN)

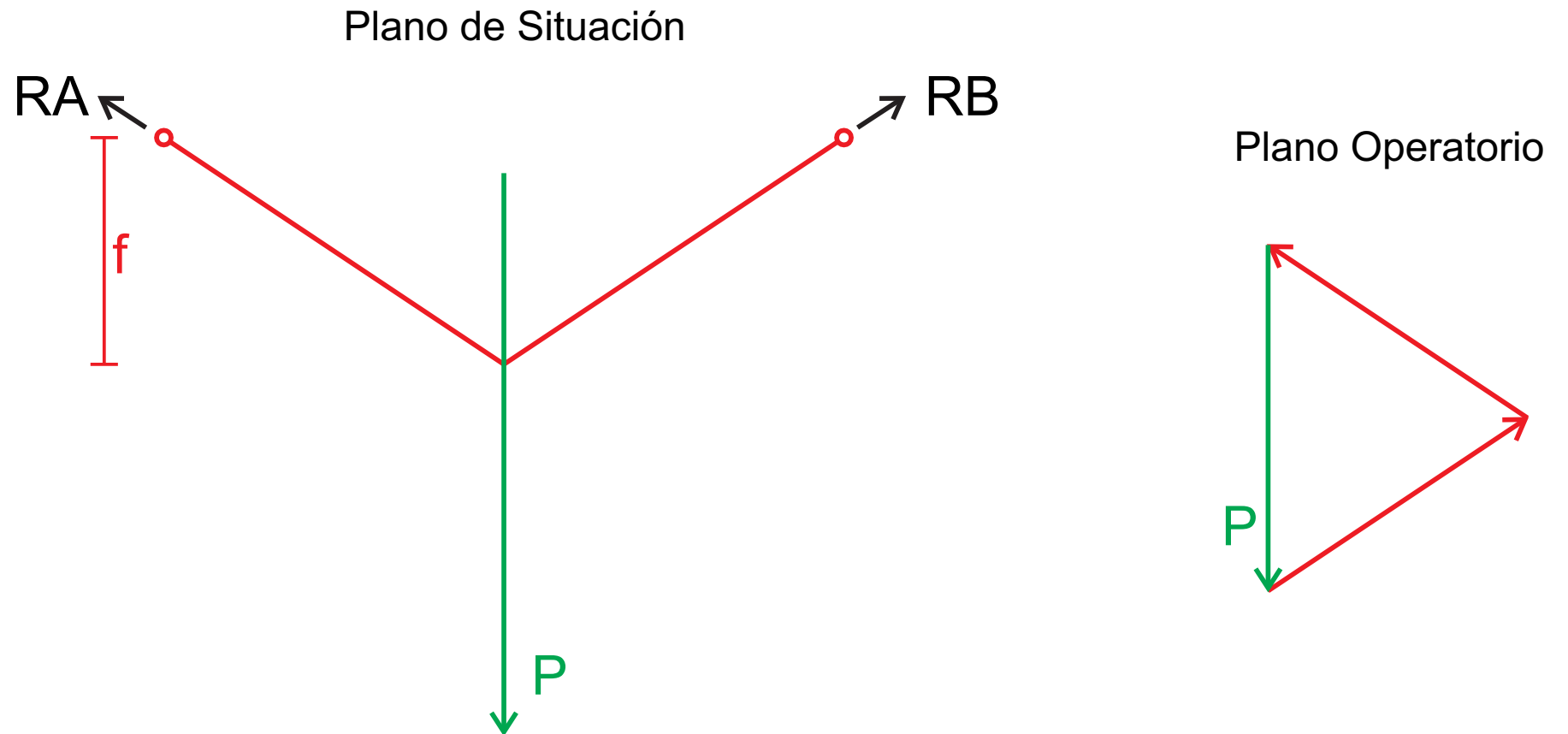
$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: flecha*



$P =$  Carga (daN)

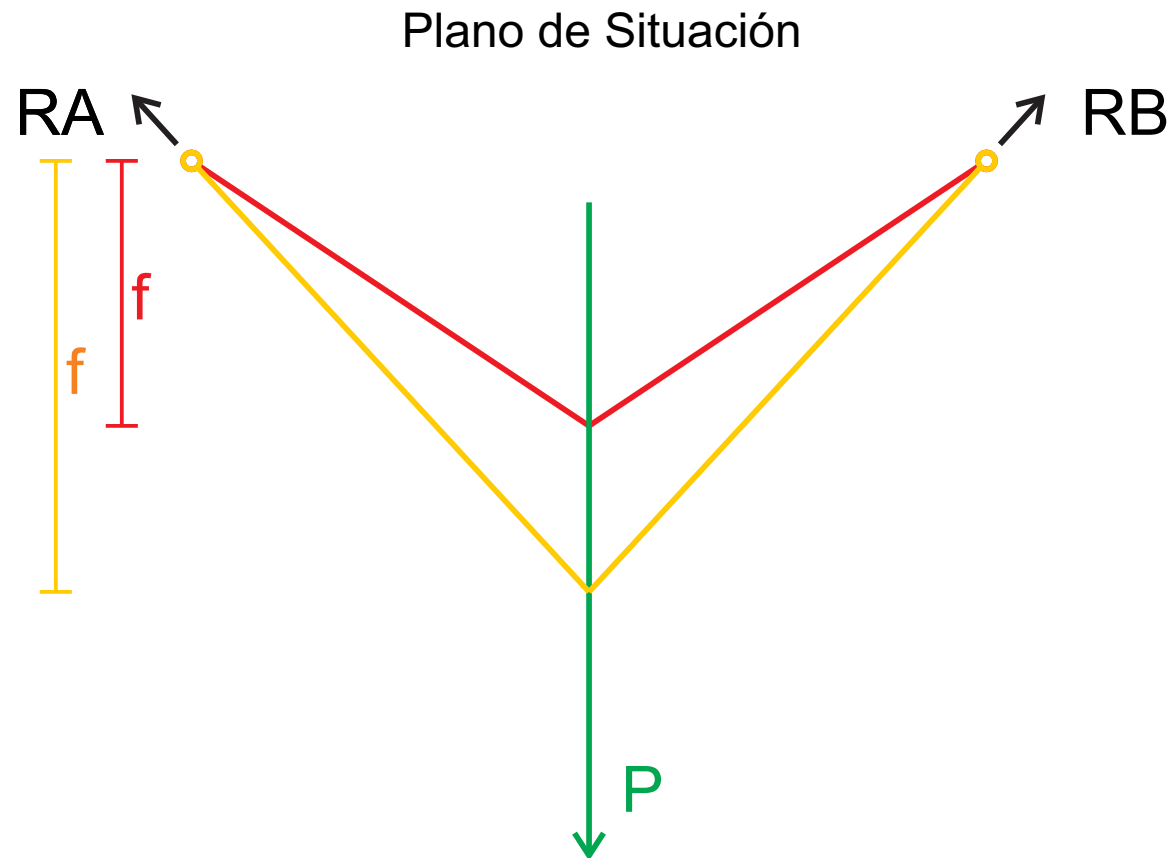
$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: flecha*

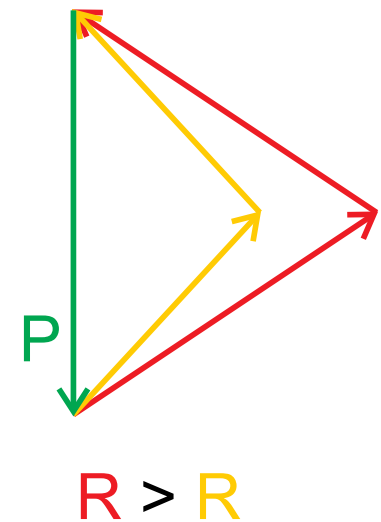


P = Carga (daN)

f = flecha

d = distancia entre puntos de amarre

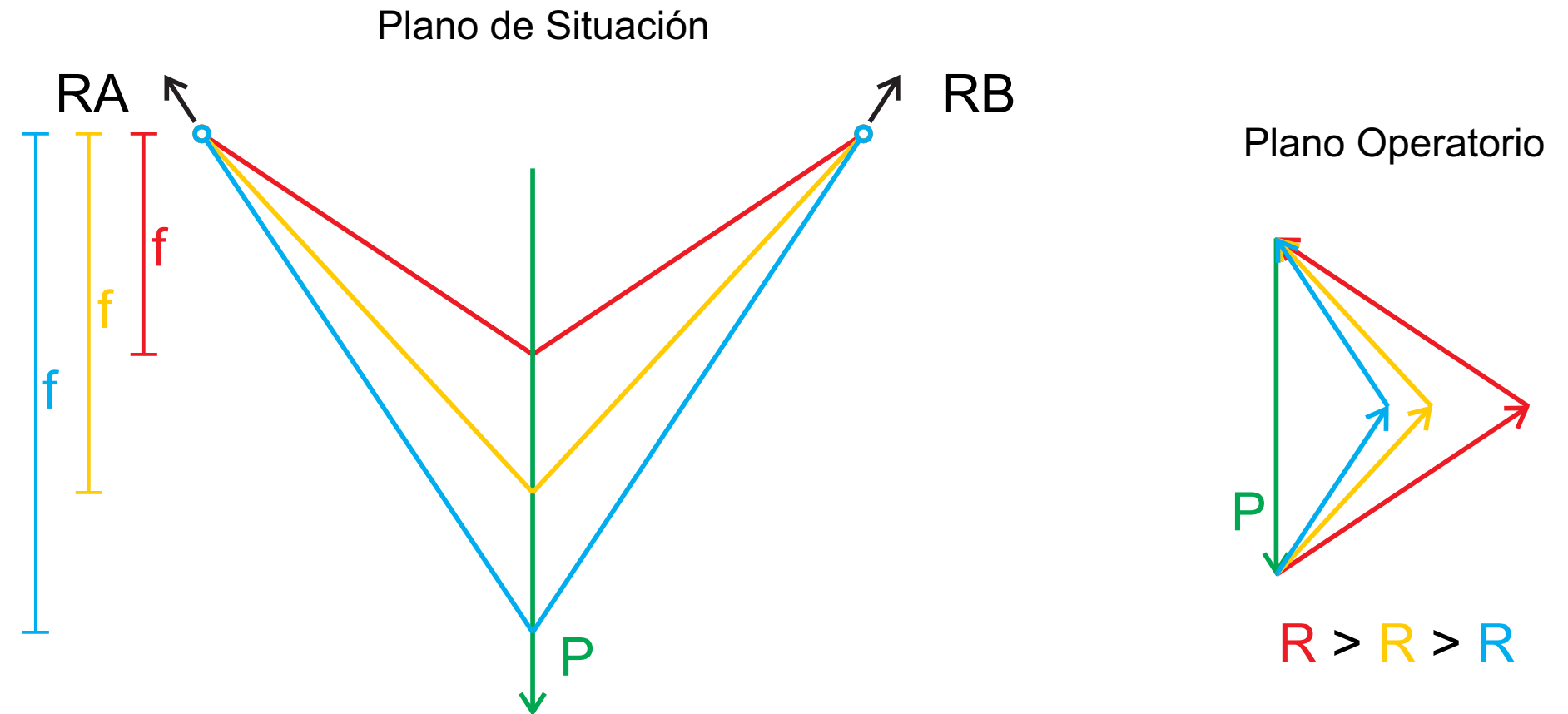
Plano Operatorio



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: flecha*



$P =$  Carga (daN)

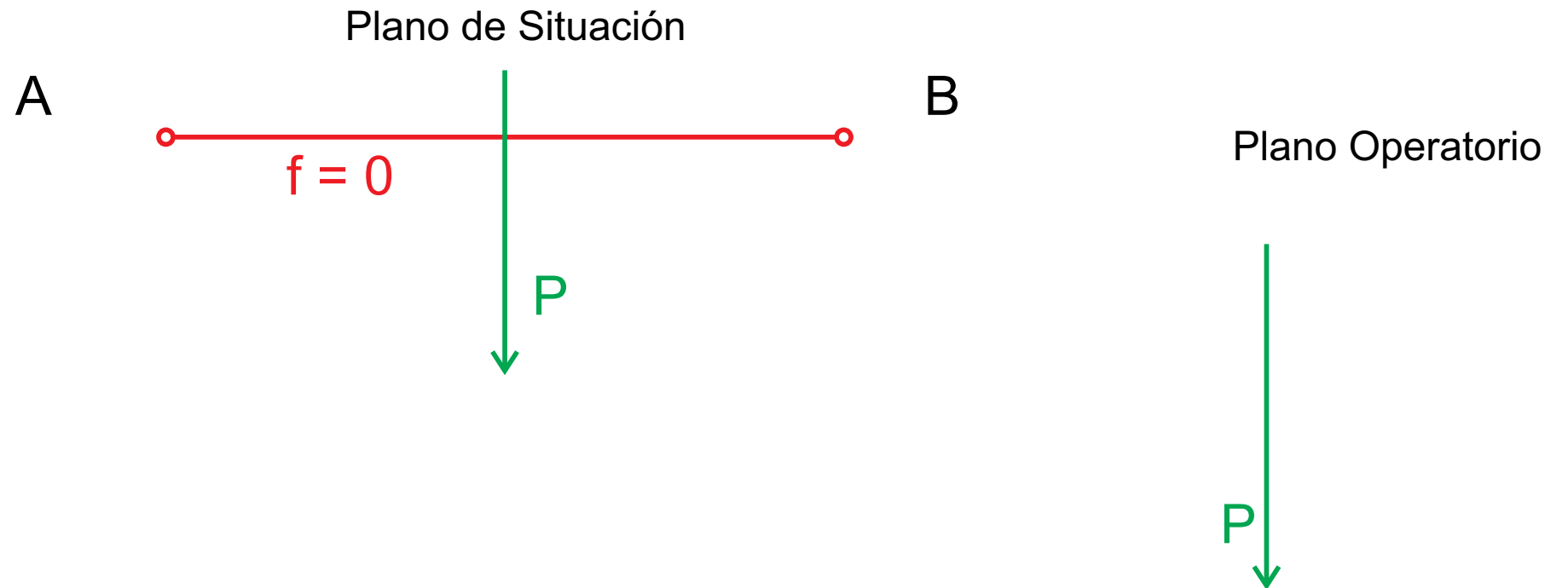
$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Que sucede cuando la flecha es cero?*



P = Carga (daN)

f = flecha

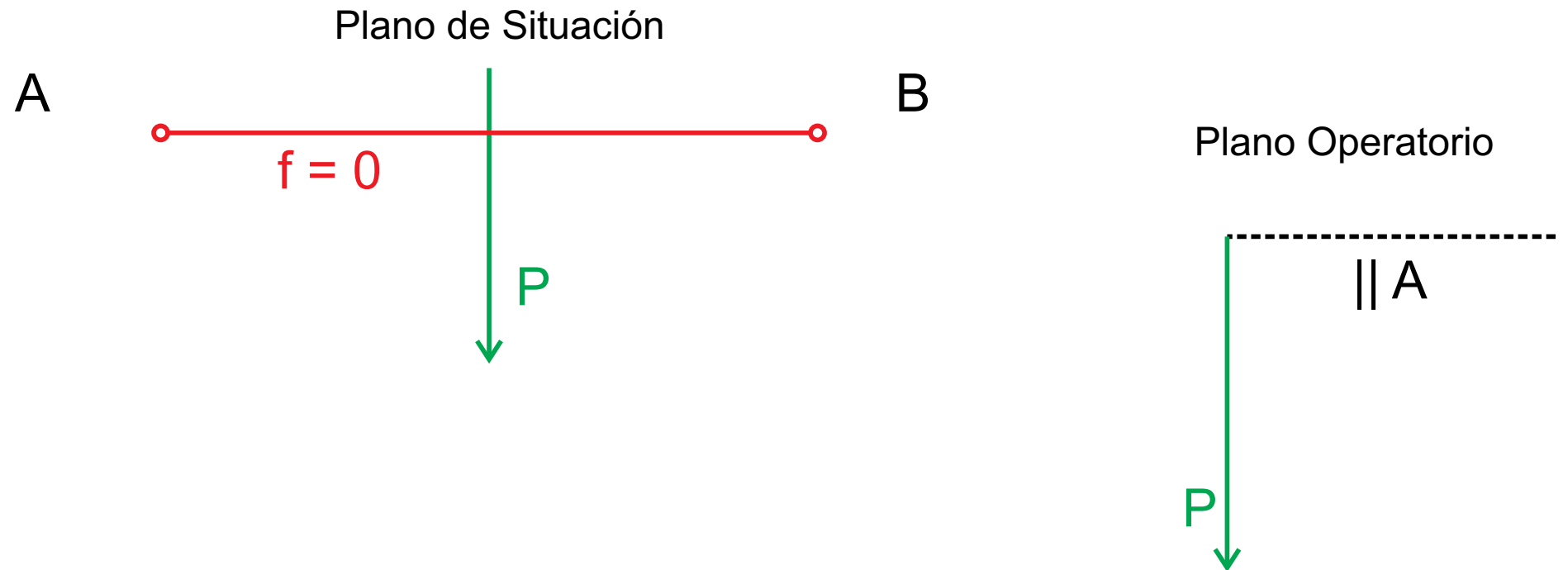
d = distancia entre puntos de amarre



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Que sucede cuando la flecha es cero?*



P = Carga (daN)

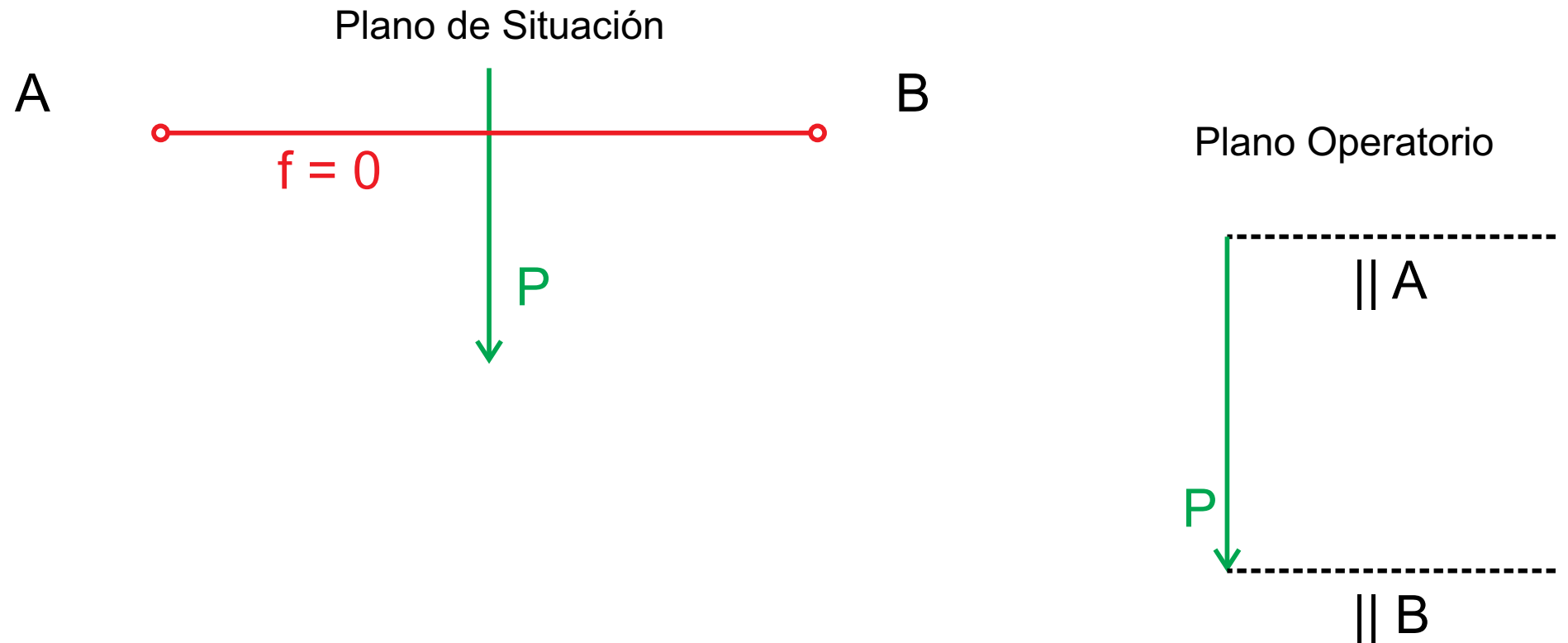
f = flecha

d = distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Que sucede cuando la flecha es cero?*



$P =$  Carga (daN)

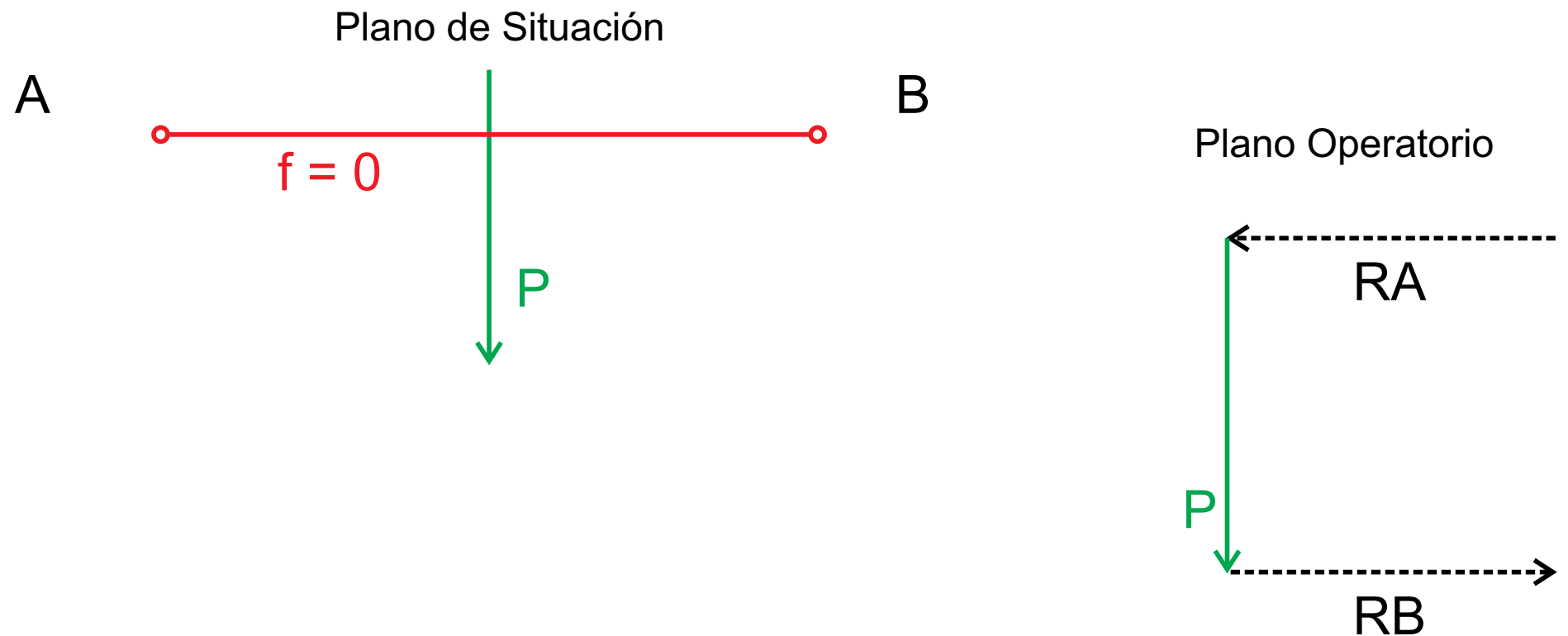
$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Que sucede cuando la flecha es cero?*



RA y RB se cortan en el infinito por lo cual es un cable inviable.

P = Carga (daN)

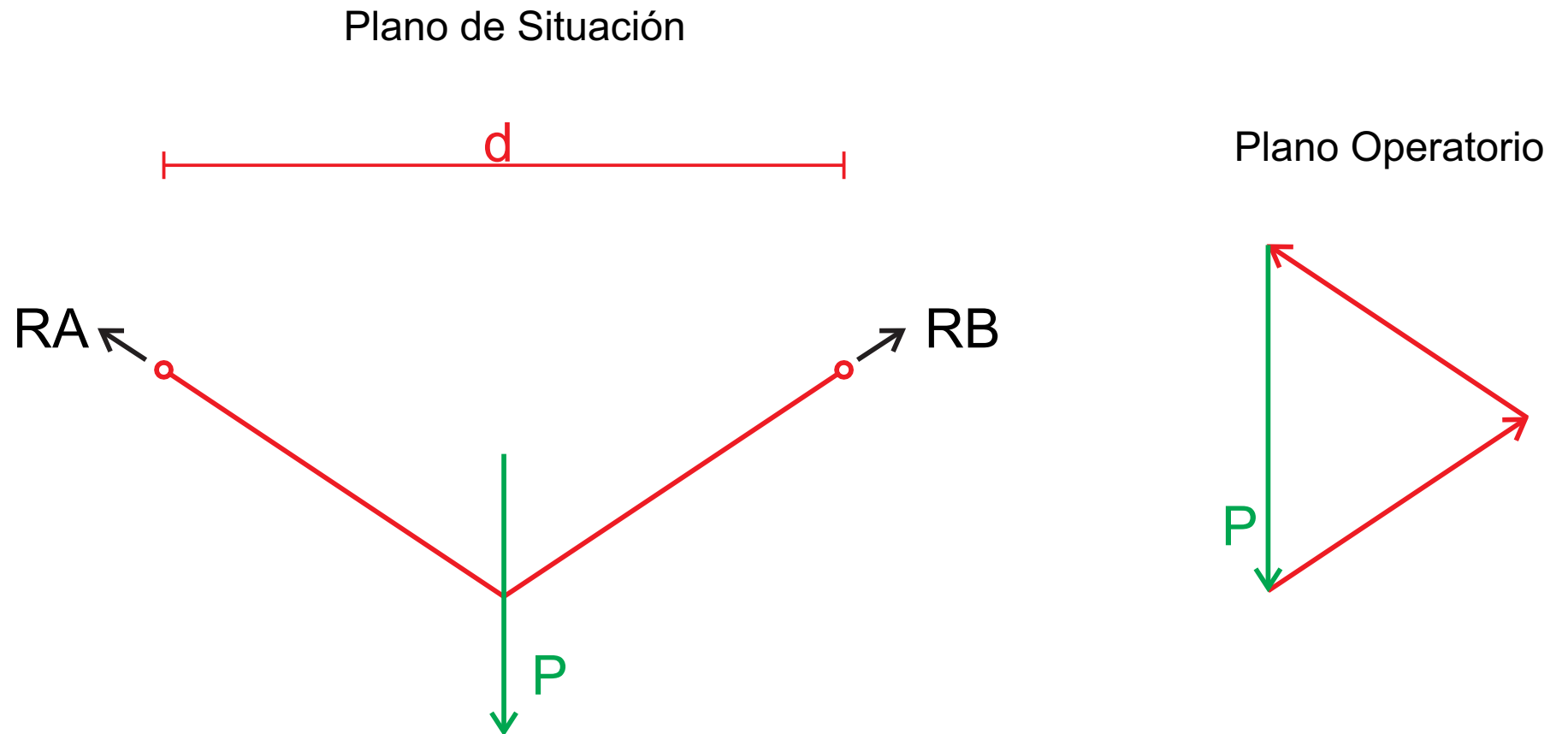
f = flecha

d = distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: distancia entre puntos de amarre*



$P =$  Carga (daN)

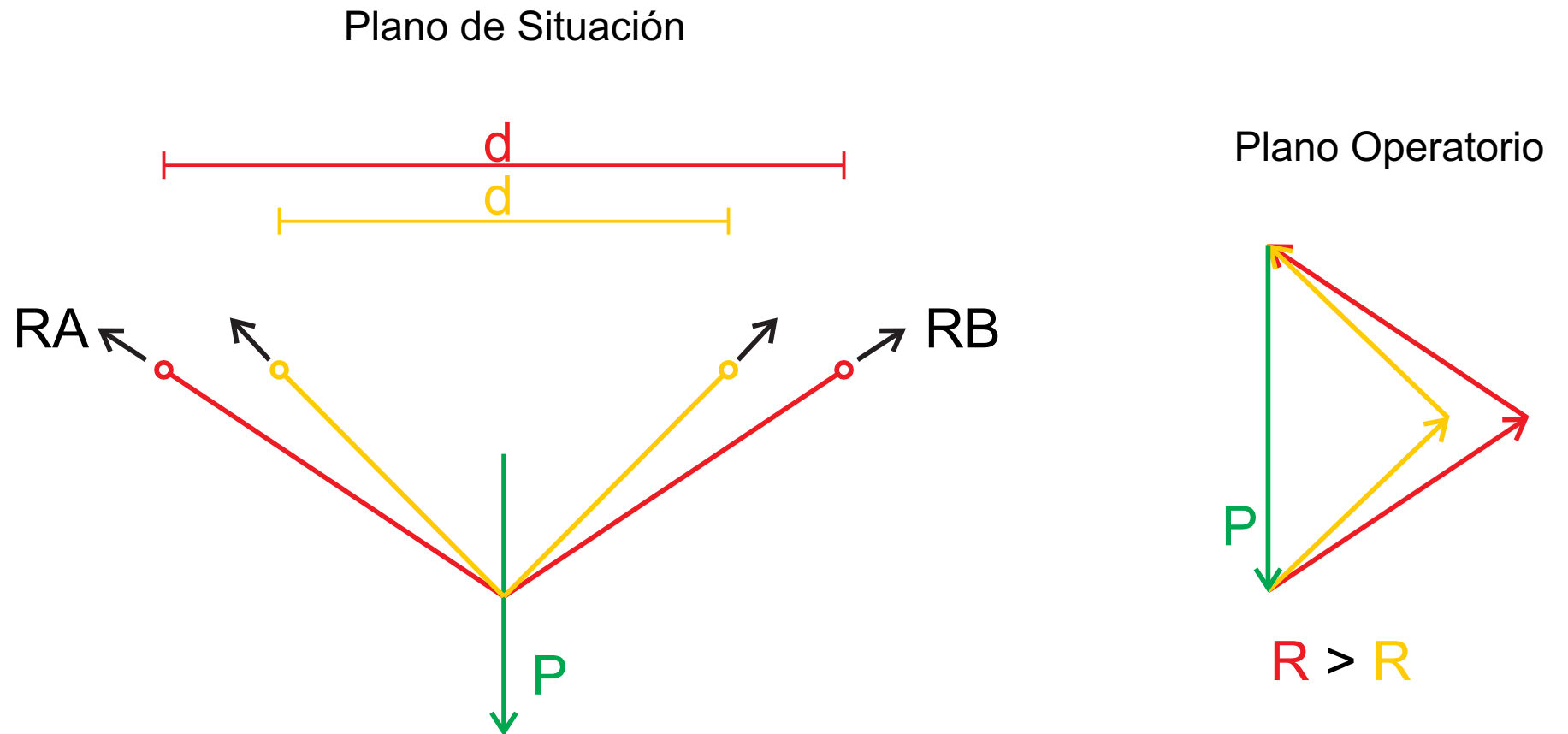
$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: distancia entre puntos de amarre*



$P =$  Carga (daN)

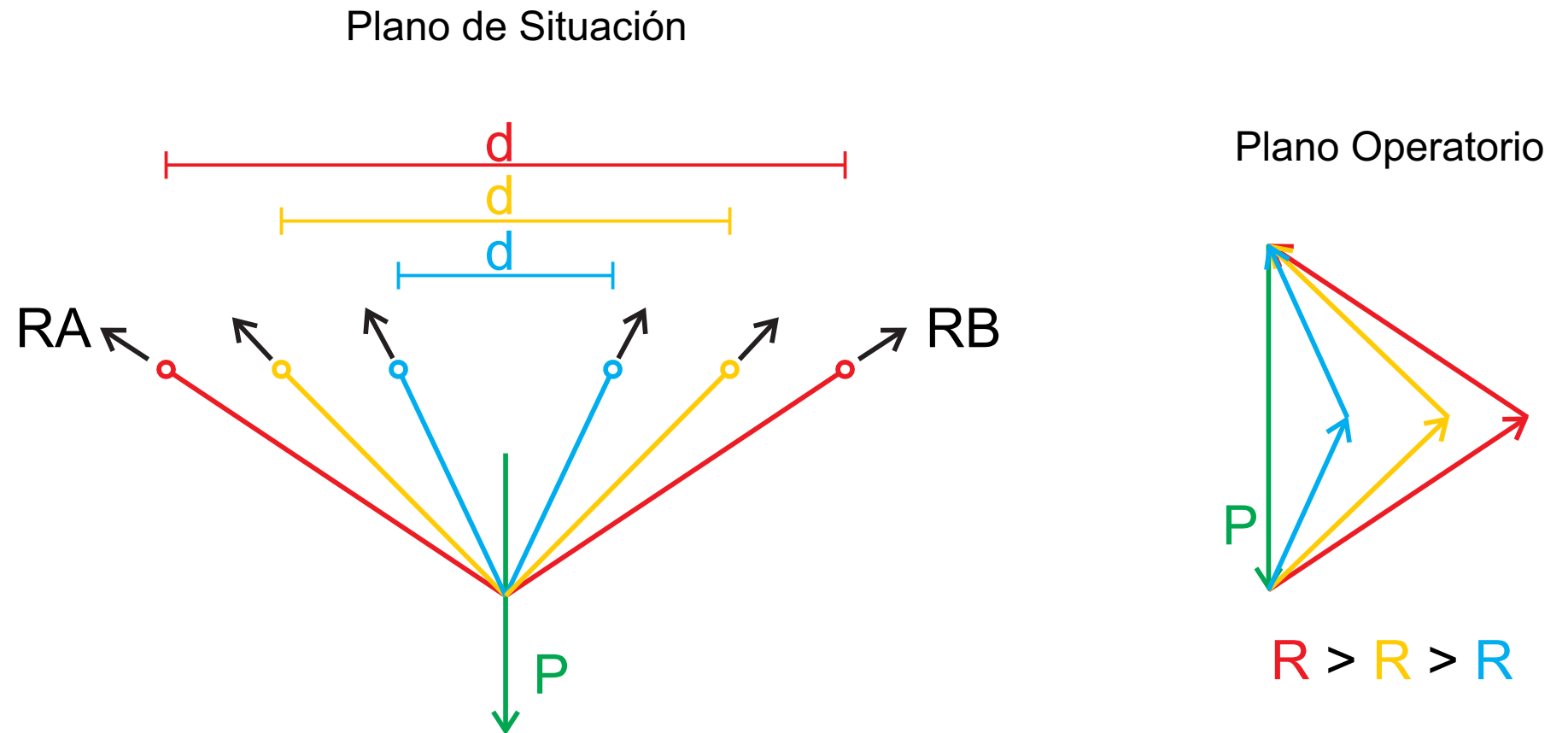
$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: distancia entre puntos de amarre*



$P$  = Carga (daN)

$f$  = flecha

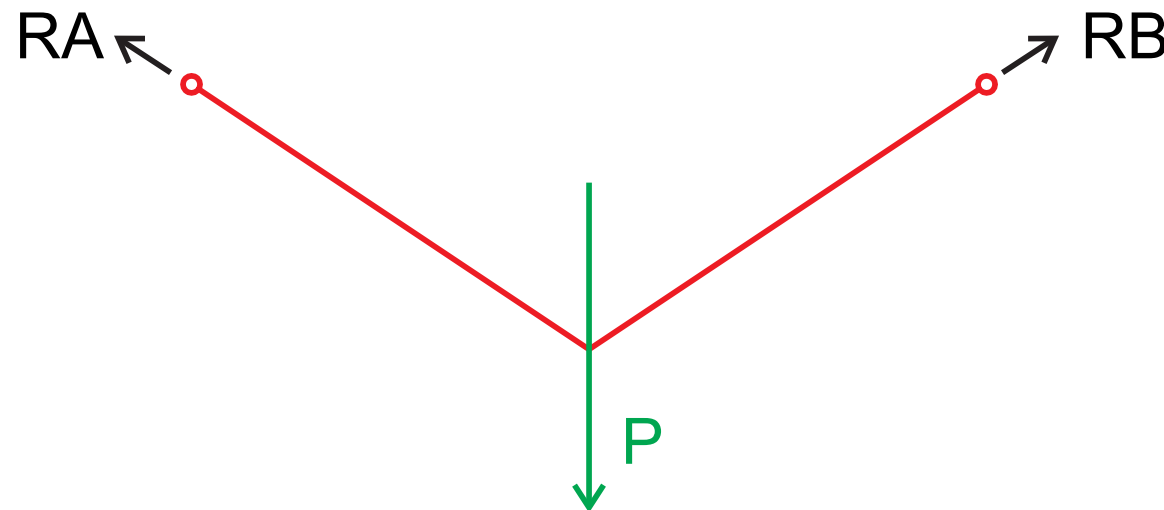
$d$  = distancia entre puntos de amarre

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: altura entre puntos de amarre*

Plano de Situación

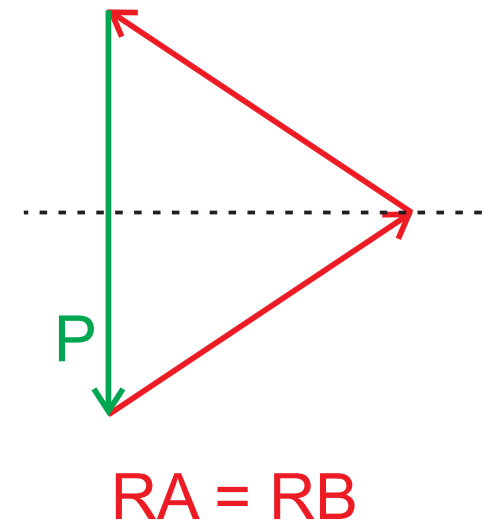


$P =$  Carga (daN)

$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

Plano Operatorio

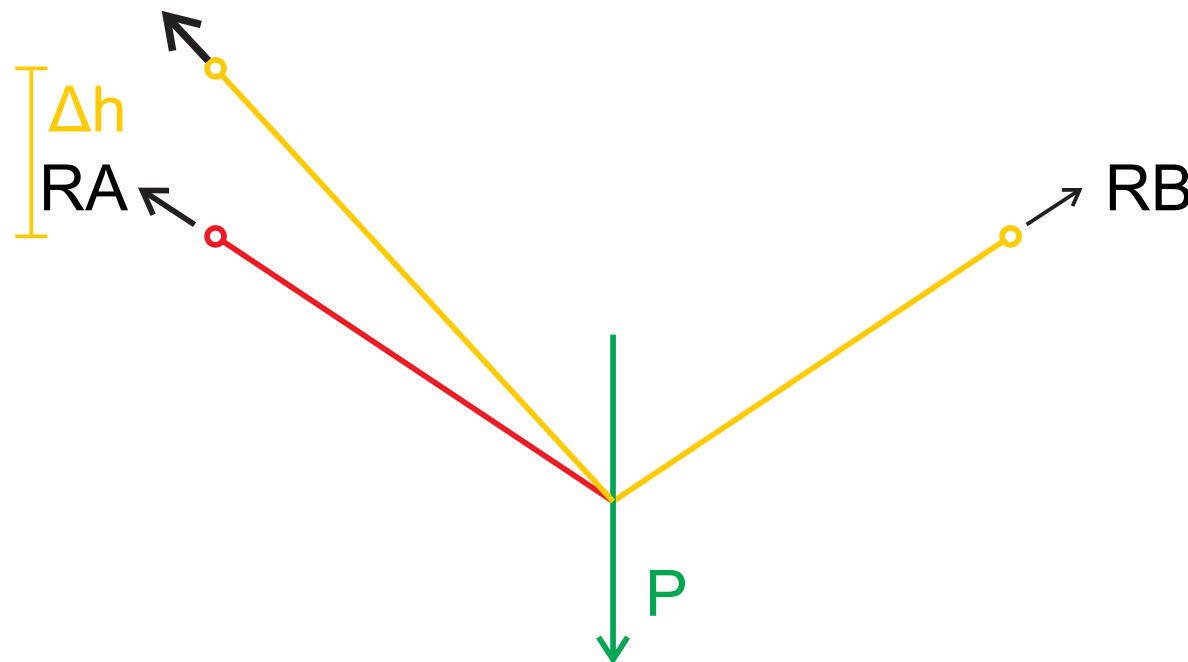


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: altura entre puntos de amarre*

Plano de Situación

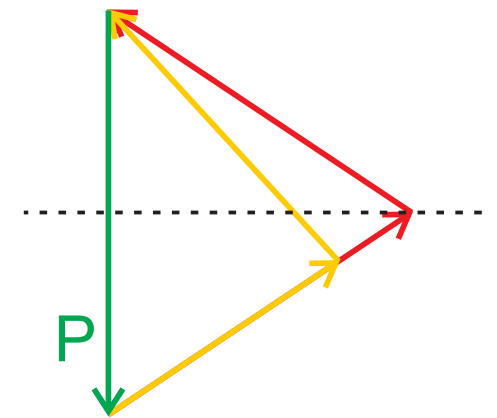


$P =$  Carga (daN)

$f =$  flecha

$d =$  distancia entre puntos de amarre

Plano Operatorio



$RA = RB$

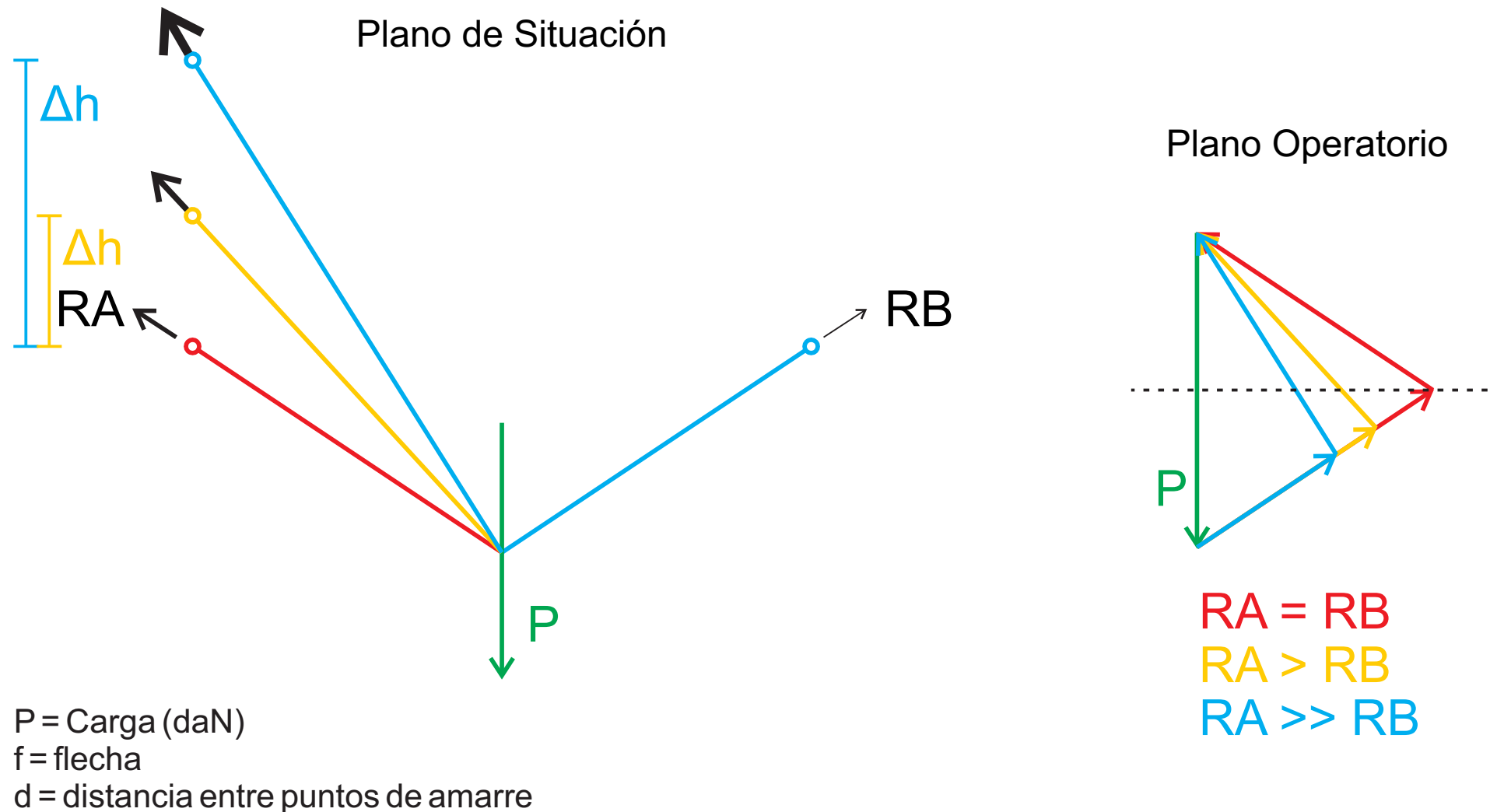
$RA > RB$



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Variable: altura entre puntos de amarre*



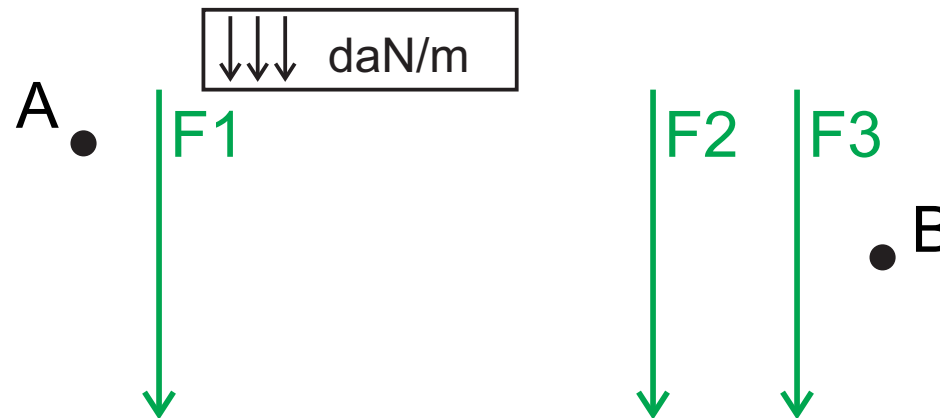
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Multiples cargas*

Plano de Situación

Plano Operatorio

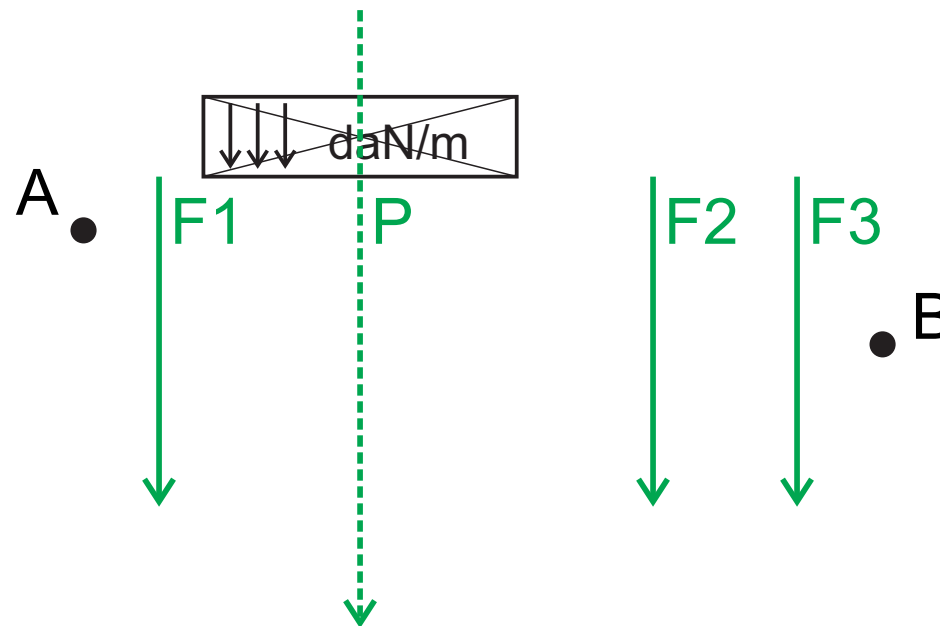


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

### *Multiples cargas*

Plano de Situación



Plano Operatorio

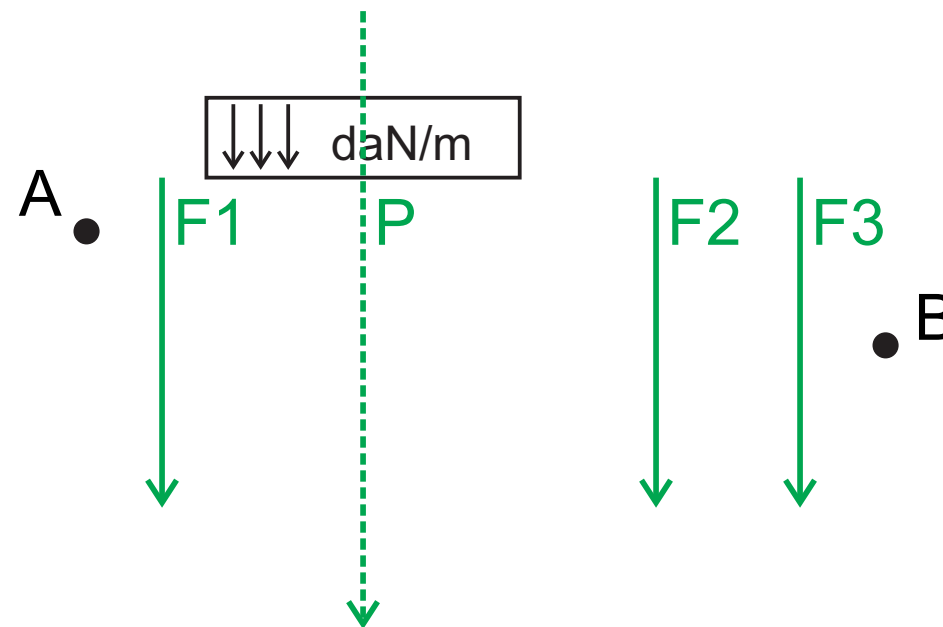
1. Hallar la resultante de la carga uniformemente distribuida.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

### *Multiples cargas*

Plano de Situación



Plano Operatorio

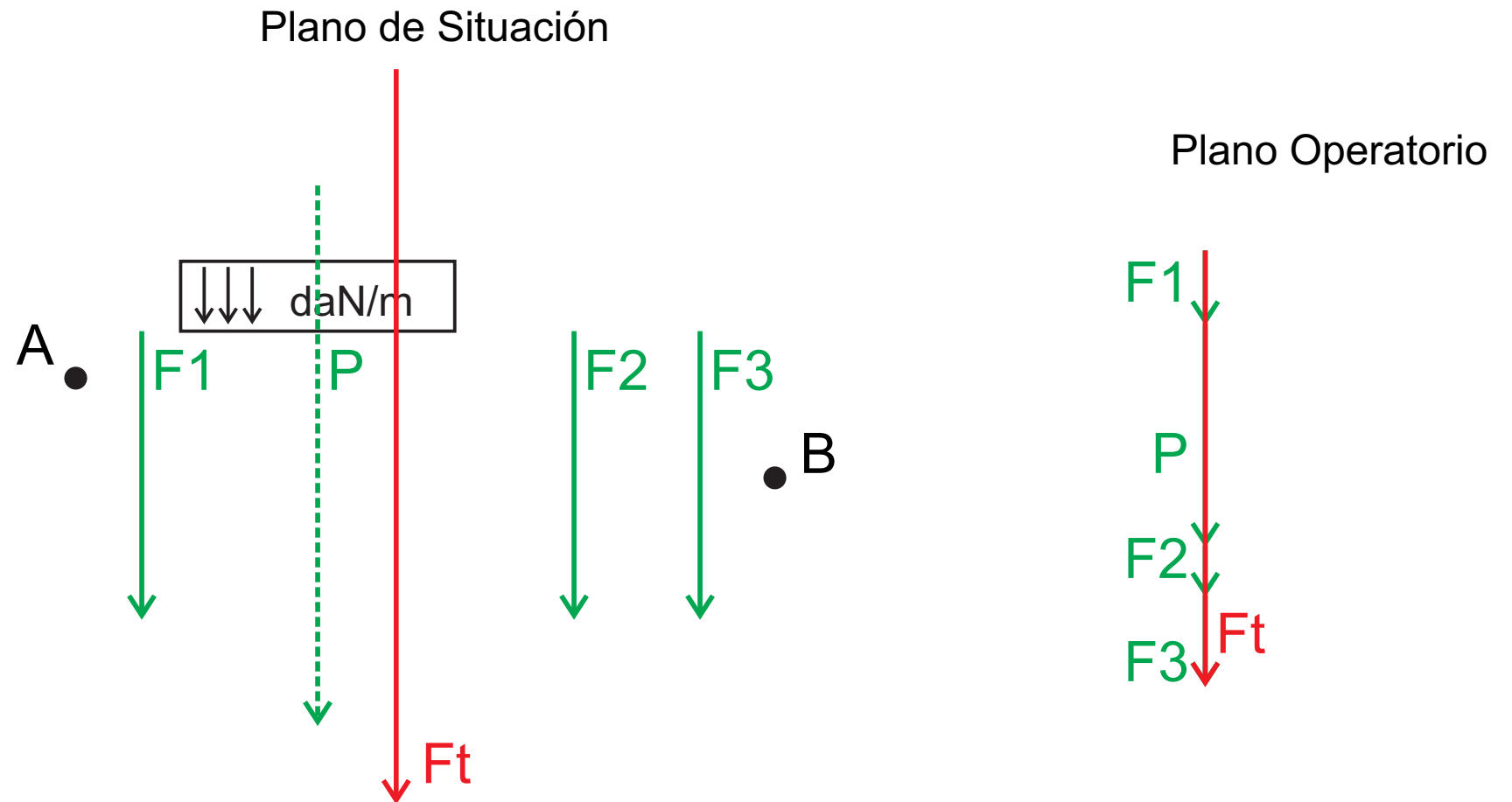


2. Componer las fuerzas activas en el plano operatorio.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Multiples cargas*

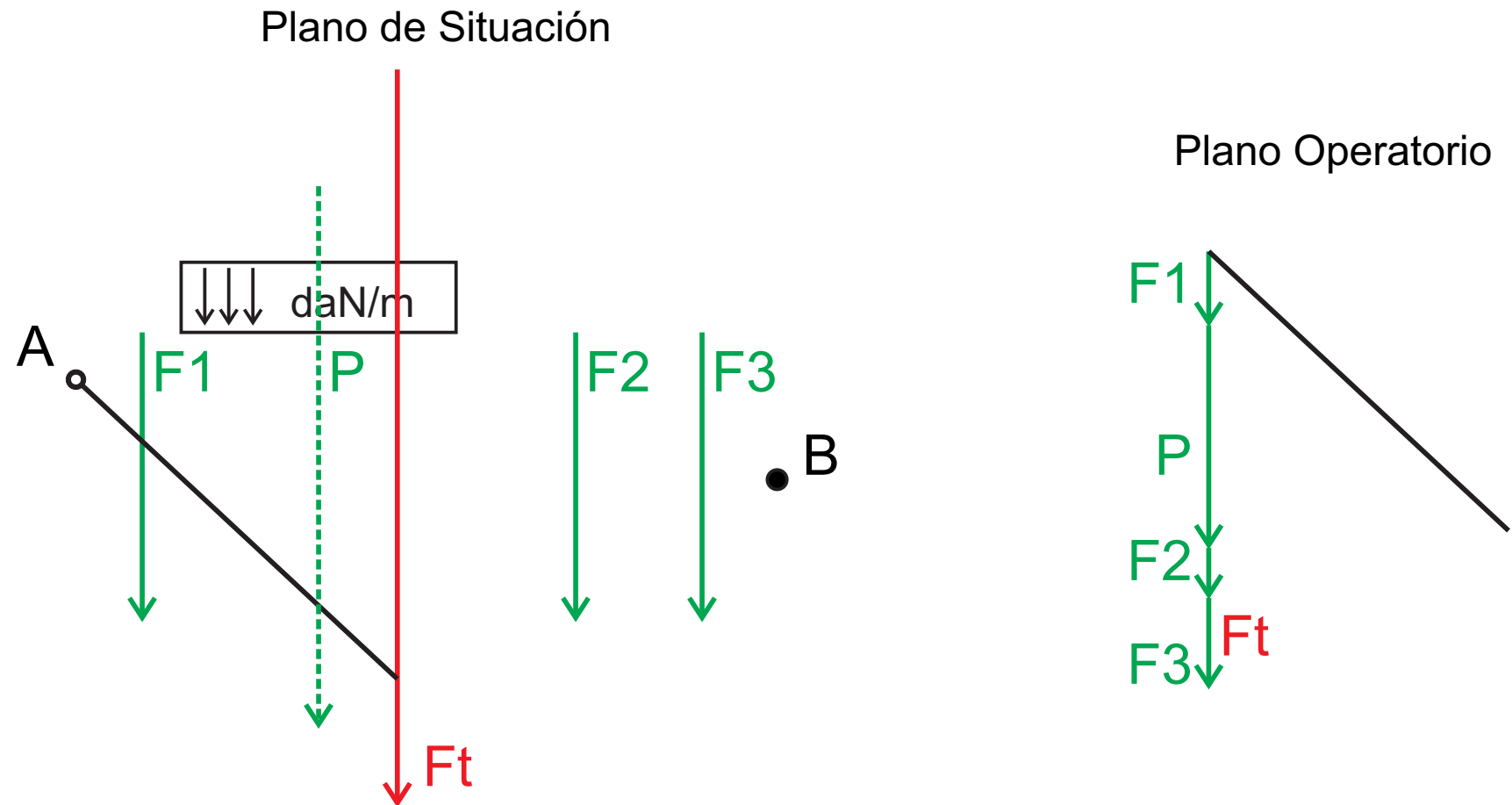


3. Hallar  $F_t$  y ubicarla: Ritter o funicular auxiliar.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Multiples cargas*

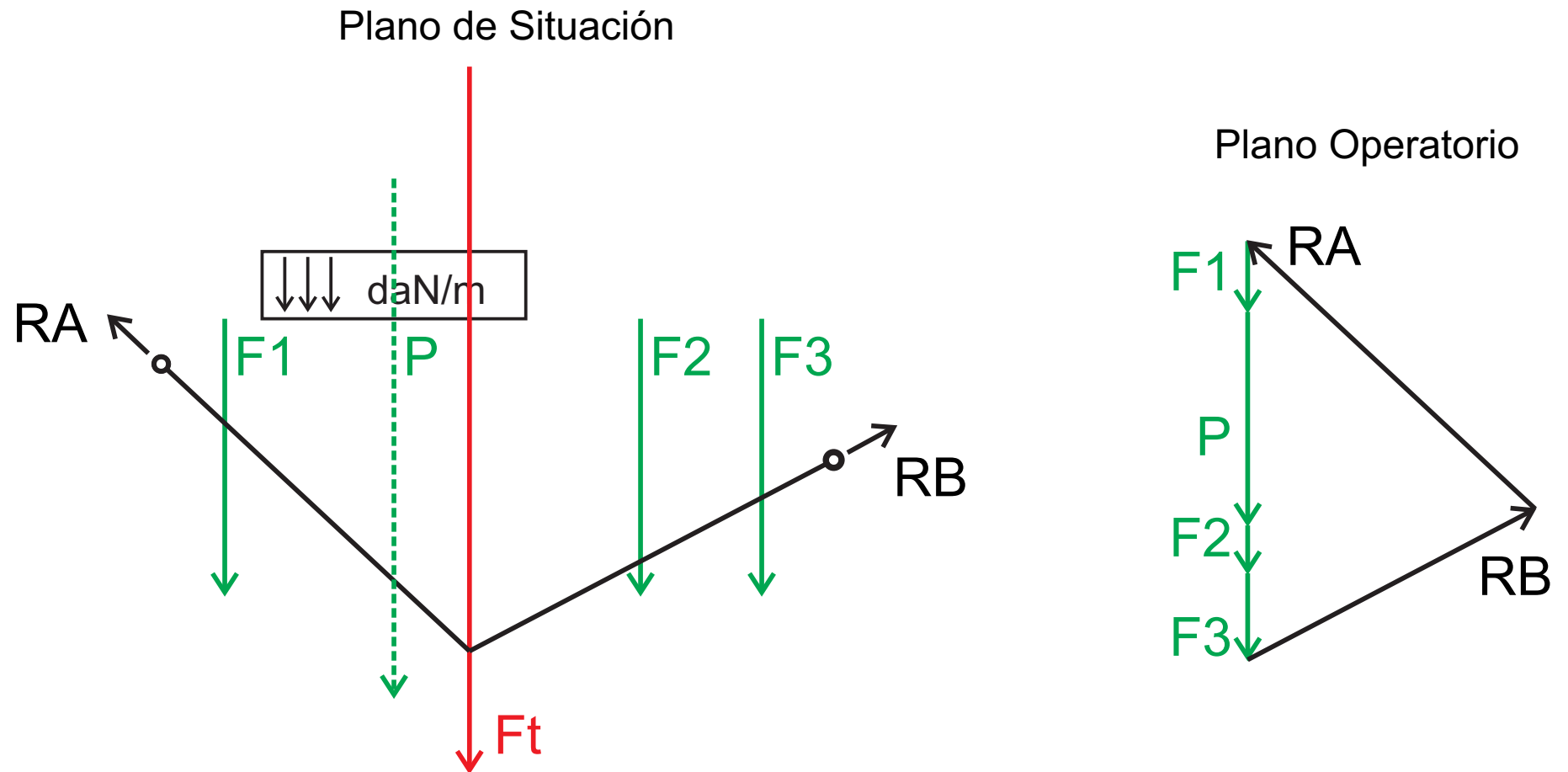


4. Trazar un rayo funicular desde A hasta Ft.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Multiples cargas*

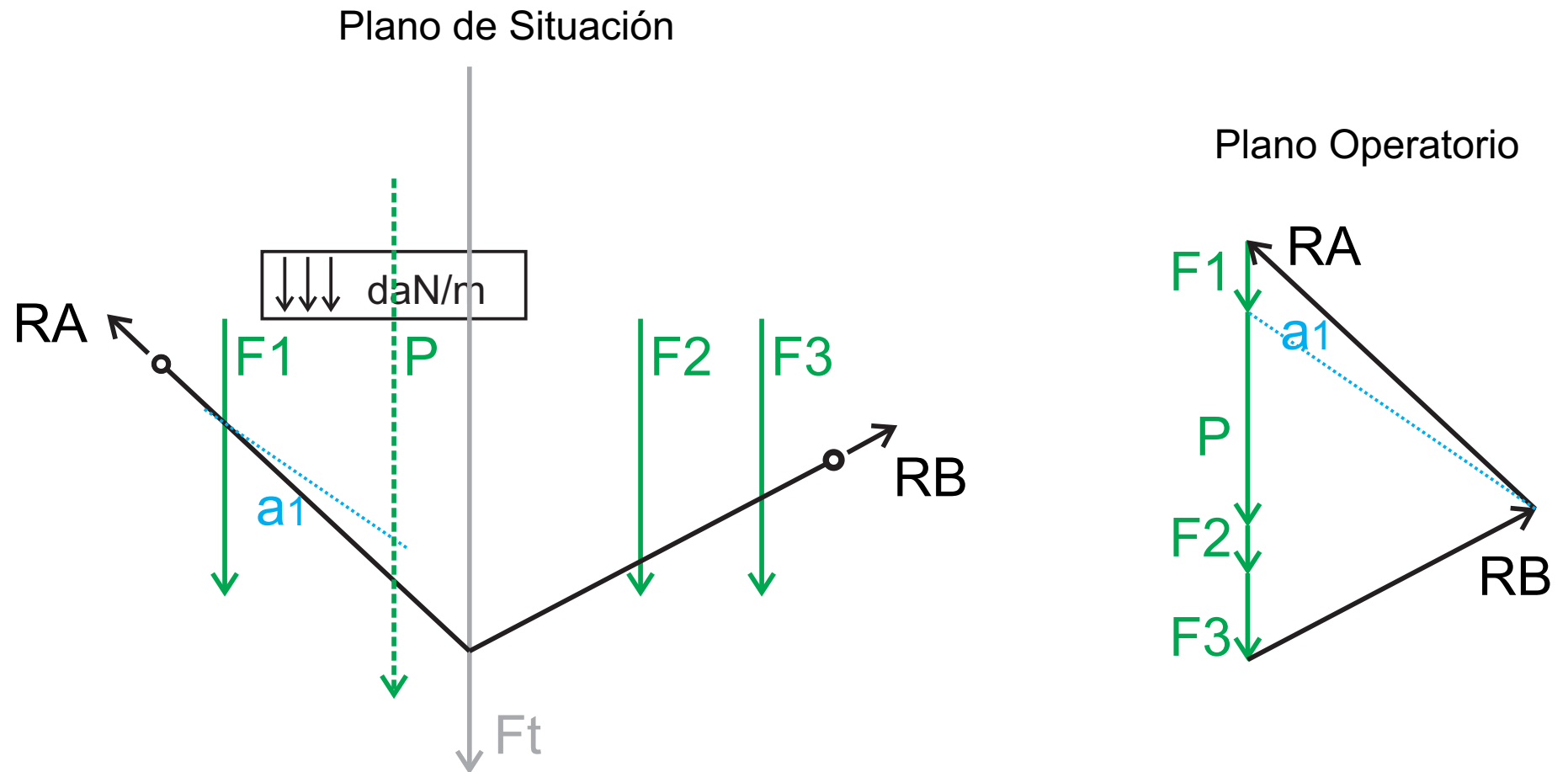


5. Trazar el otro rayo funicular y cerrar el polígono vectorial.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Trzado del Cable*



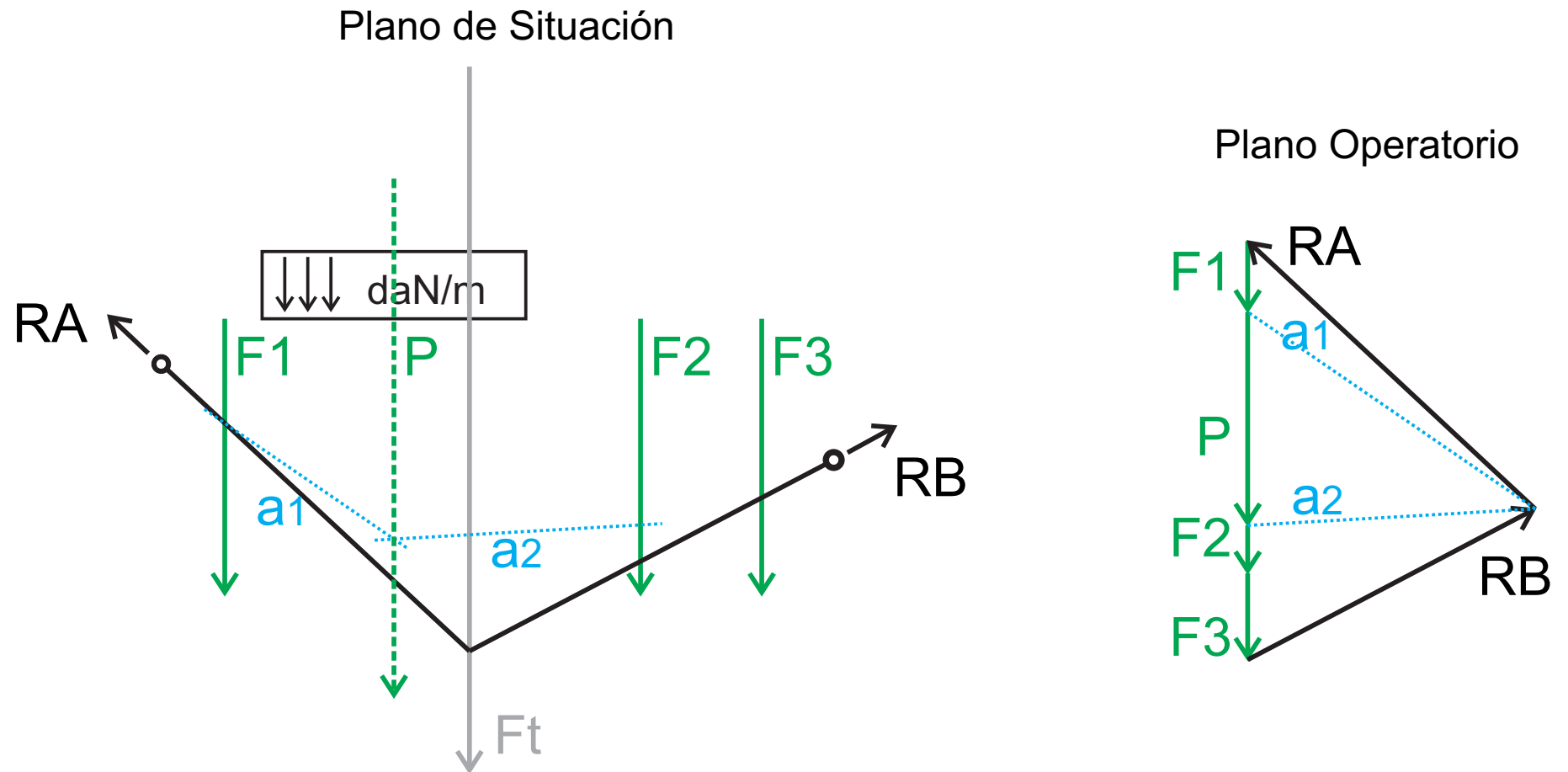
6. Completar los rayos funiculares intermedios y trasladarlos al plano de situación.



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Trazado del Cable*

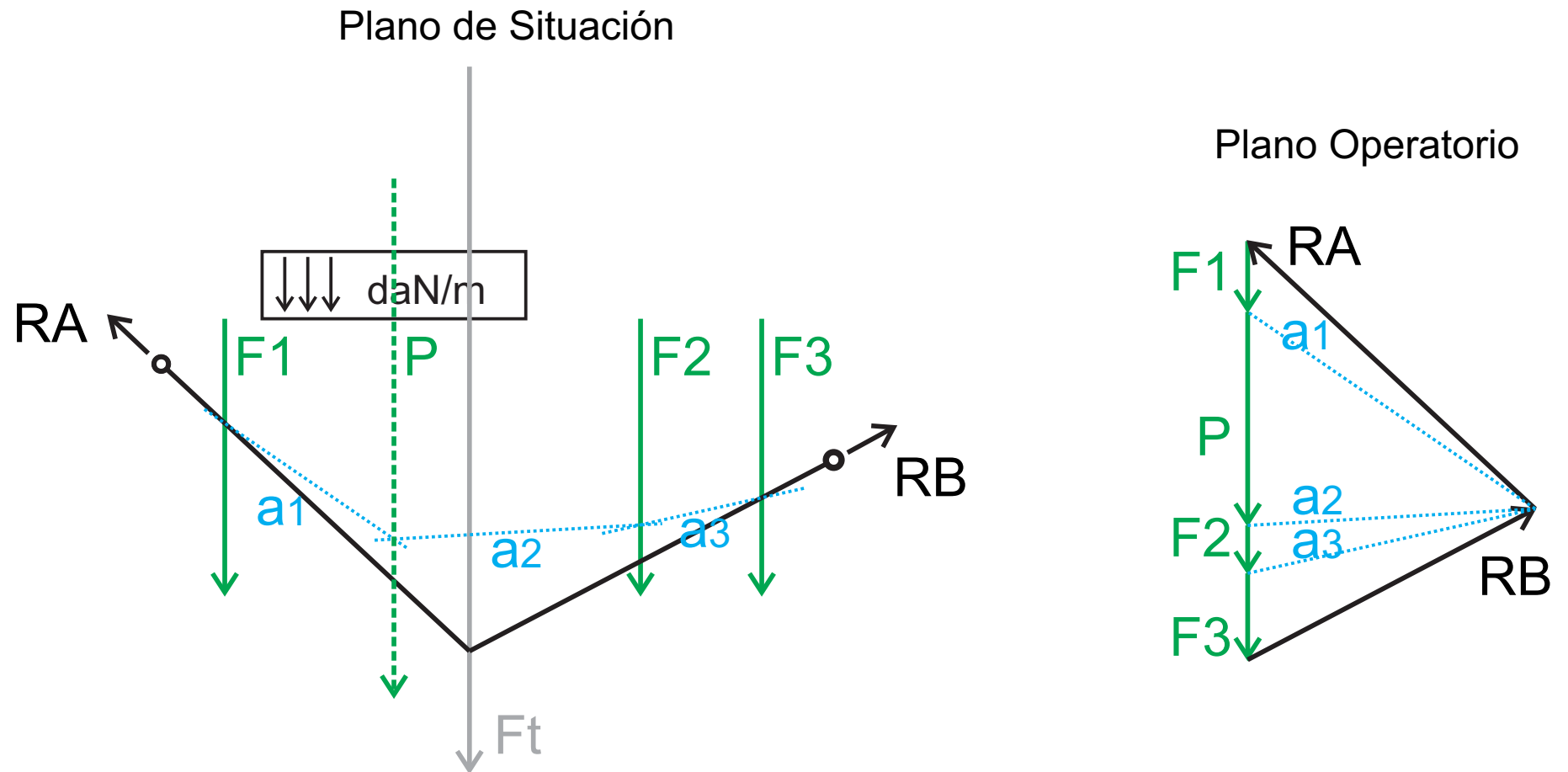


6. Completar los rayos funiculares intermedios y trasladarlos al plano de situación.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Trzado del Cable*

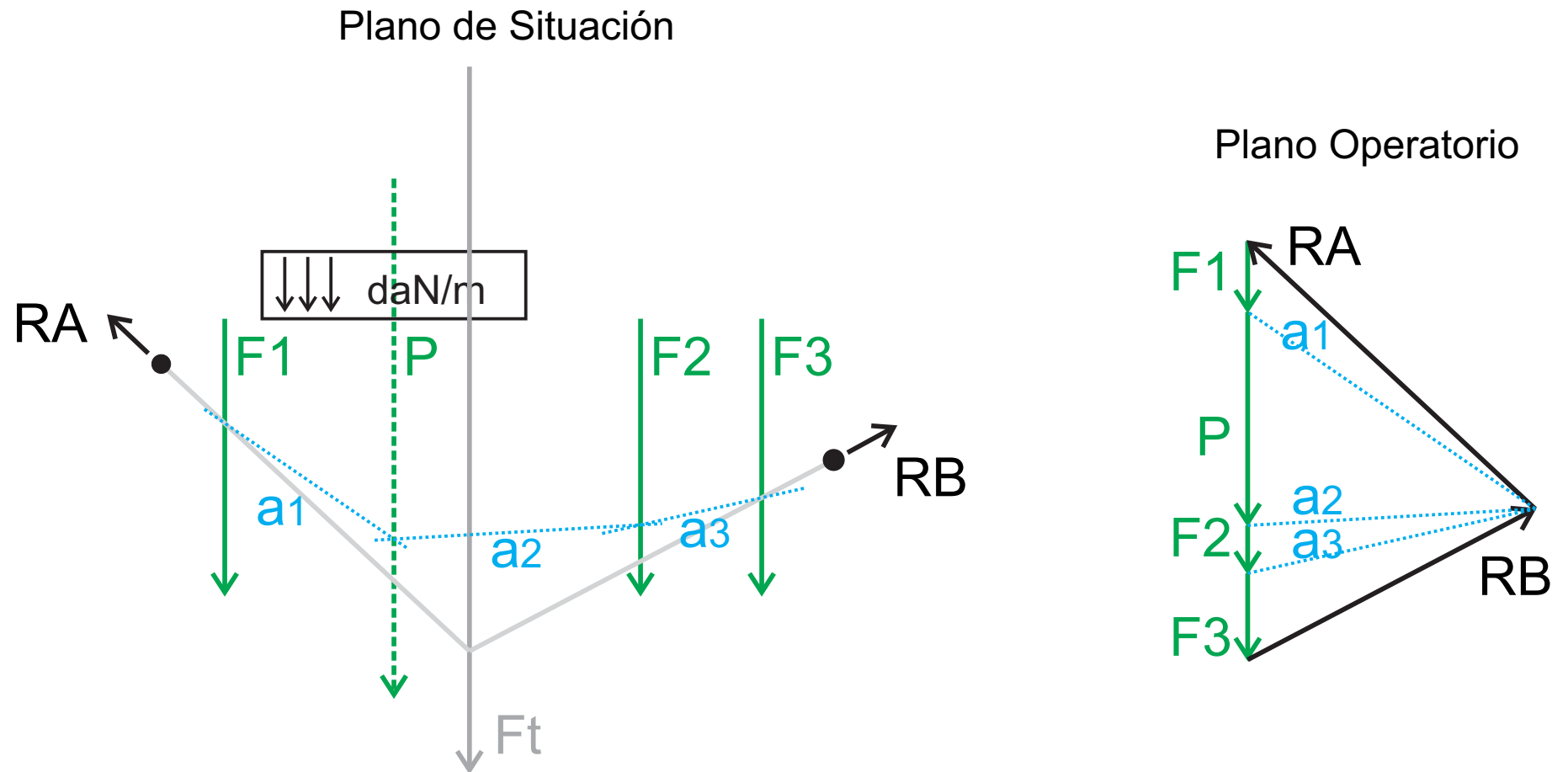


6. Completar los rayos funiculares intermedios y trasladarlos al plano de situación.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Trazado del Cable*

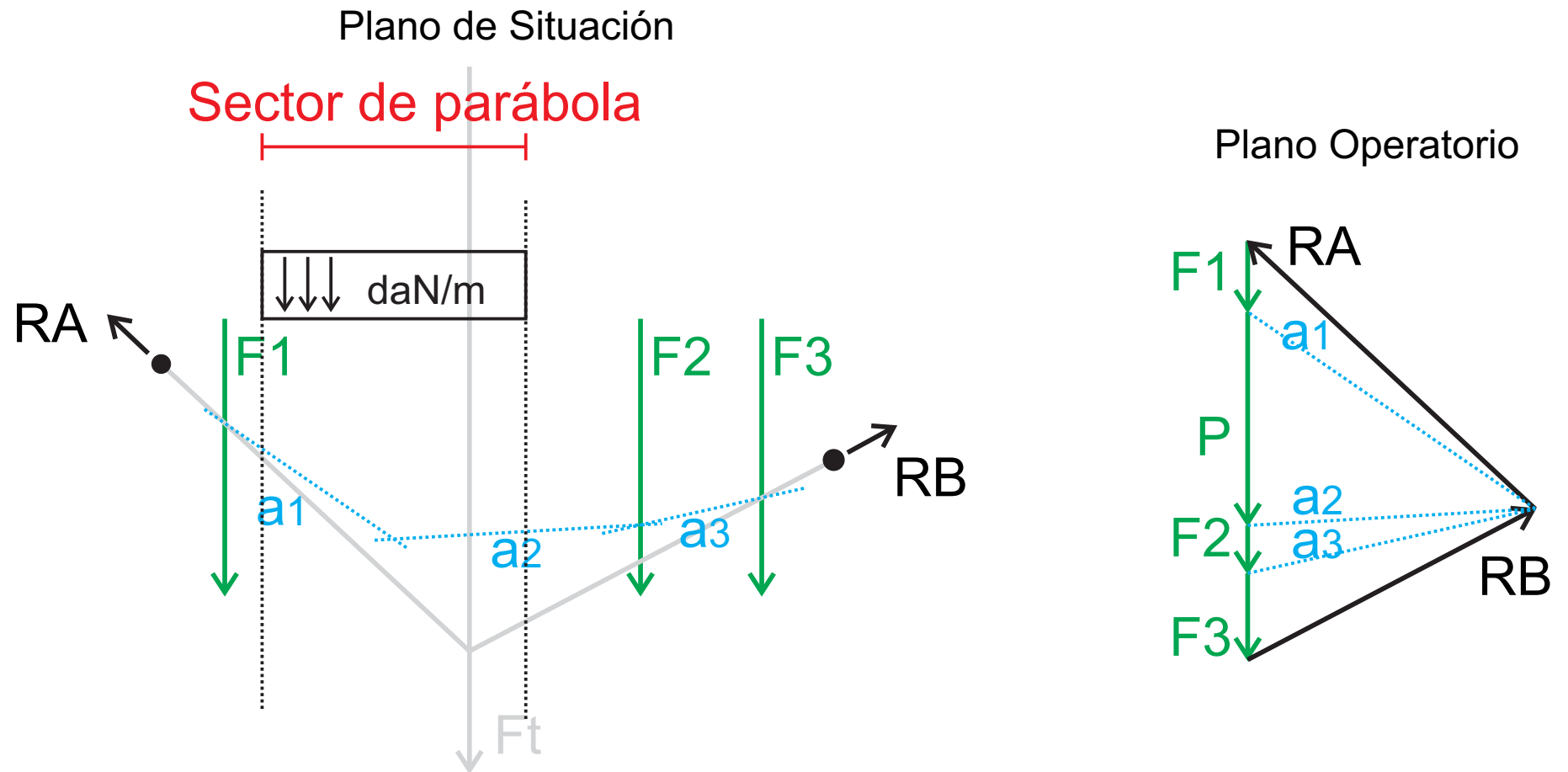


7. El cable adopta la forma del trazado funicular exceptuando donde está la carga uniforme.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Trazado del Cable*

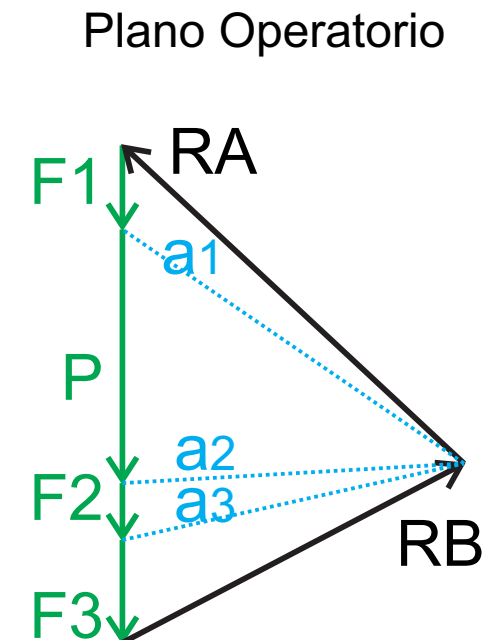
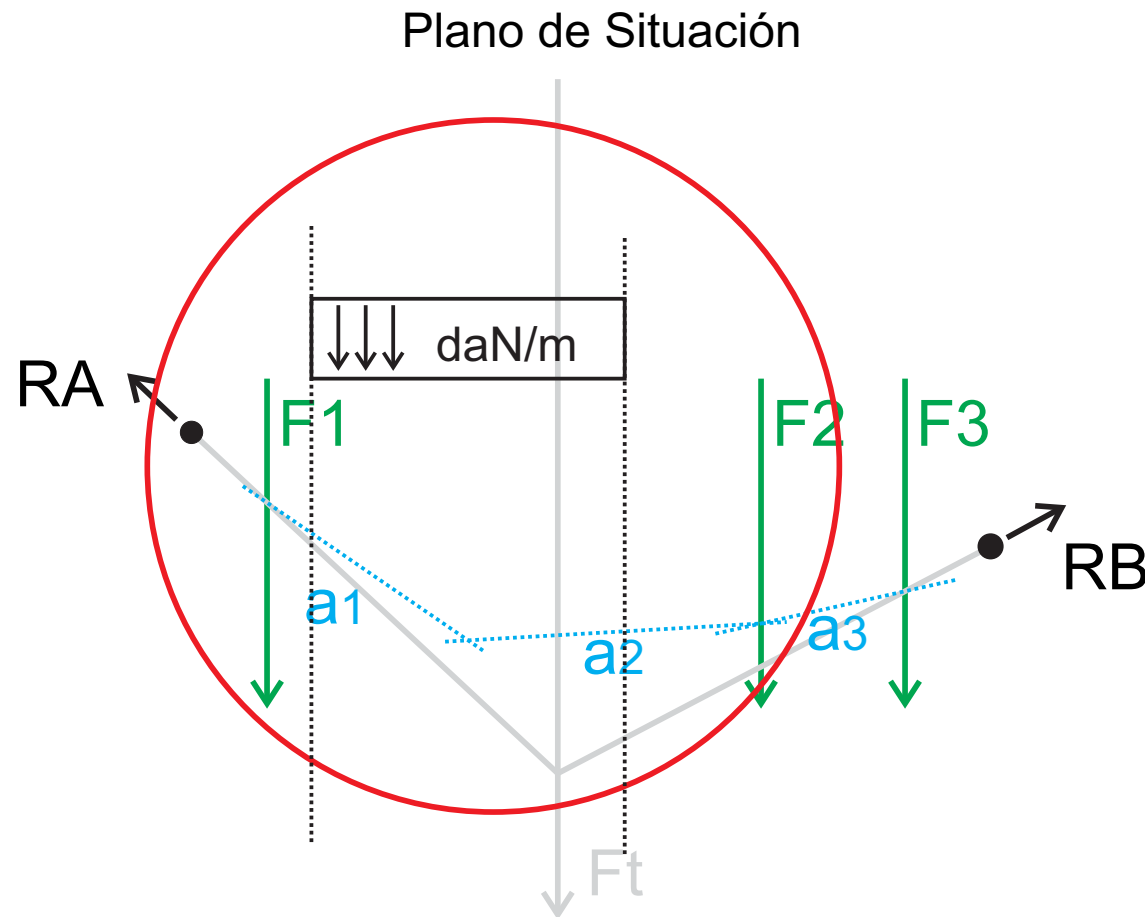


8. La carga uniforme hace que el cable tenga forma de una parábola.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

*Trzado del Cable*

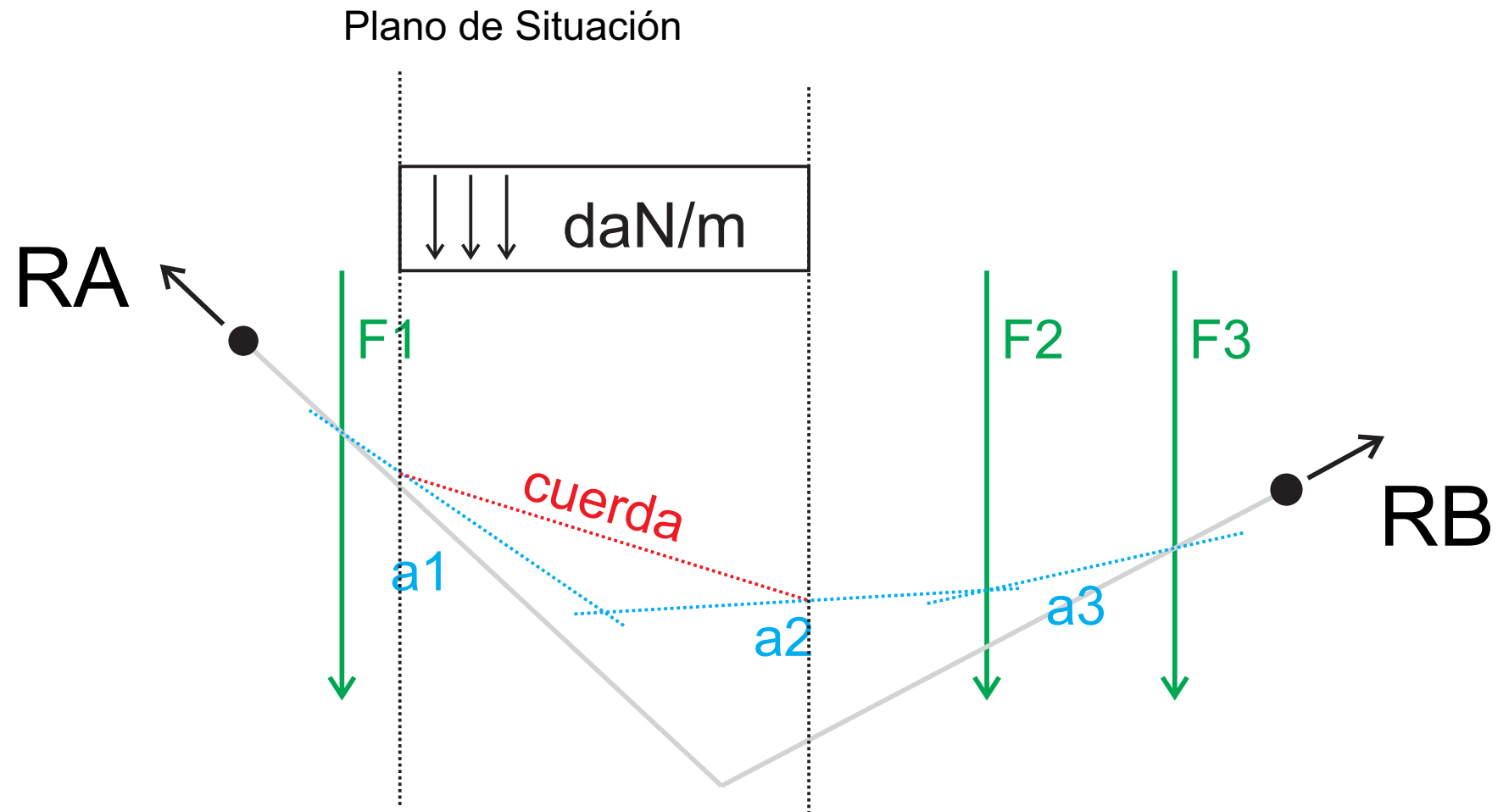


Hagamos un zoom.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

### *Trazado del Cable*

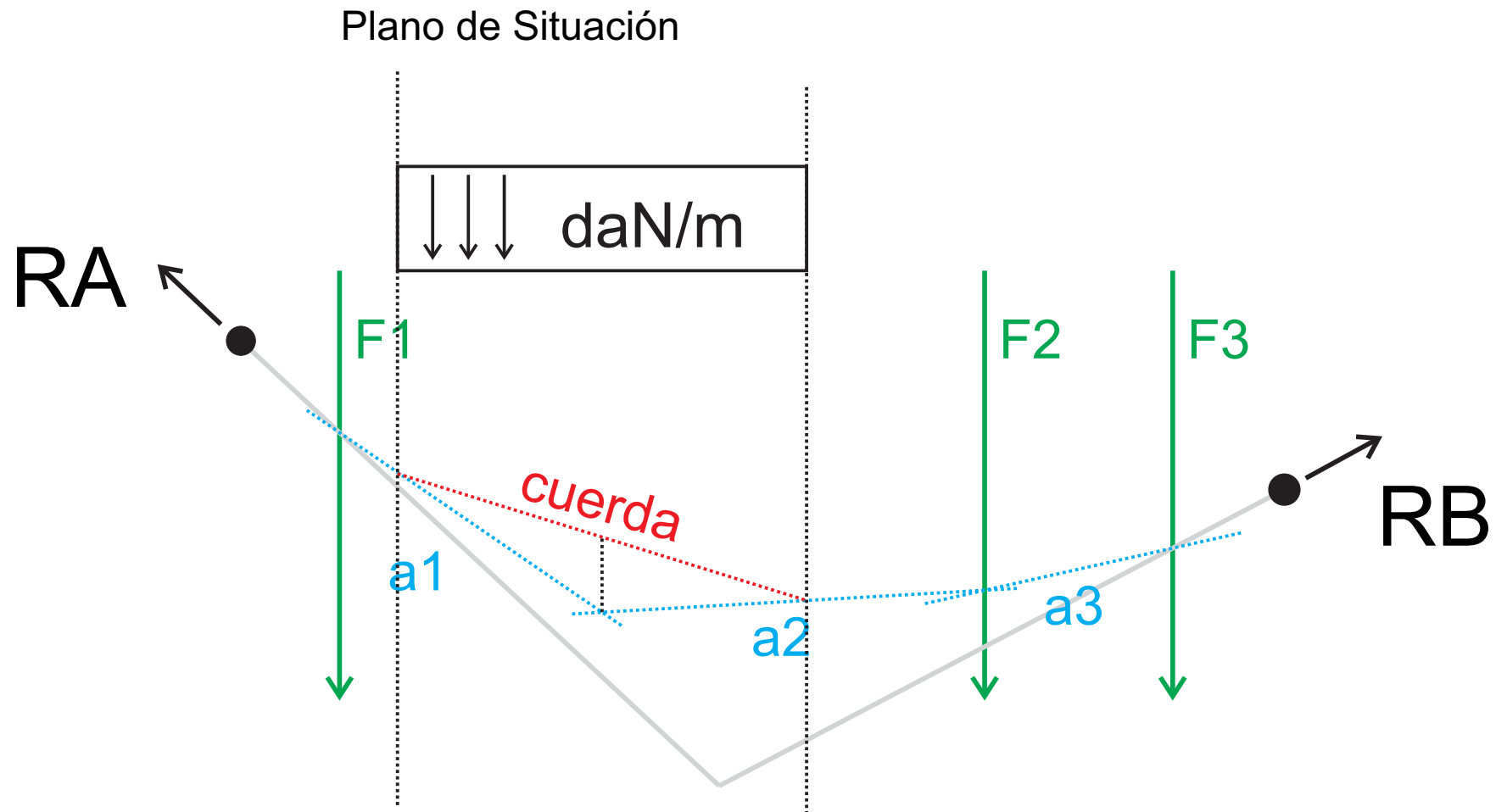


9. Para trazar la parábola primero se debe hallar la cuerda.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

### *Trazado del Cable*

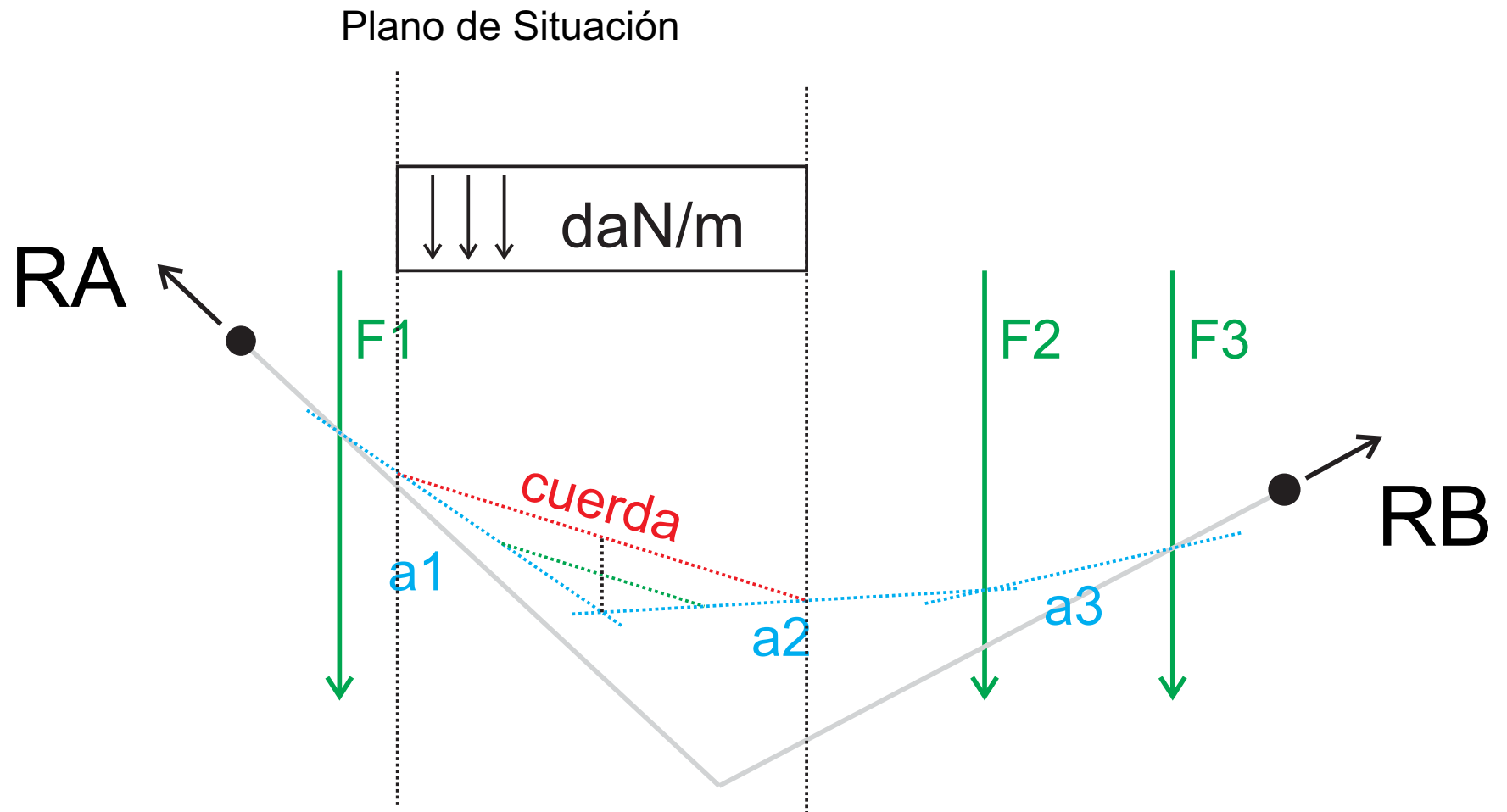


10. Se lleva una paralela a la carga desde la intersección del trazado funicular hasta la cuerda.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

### *Trazado del Cable*



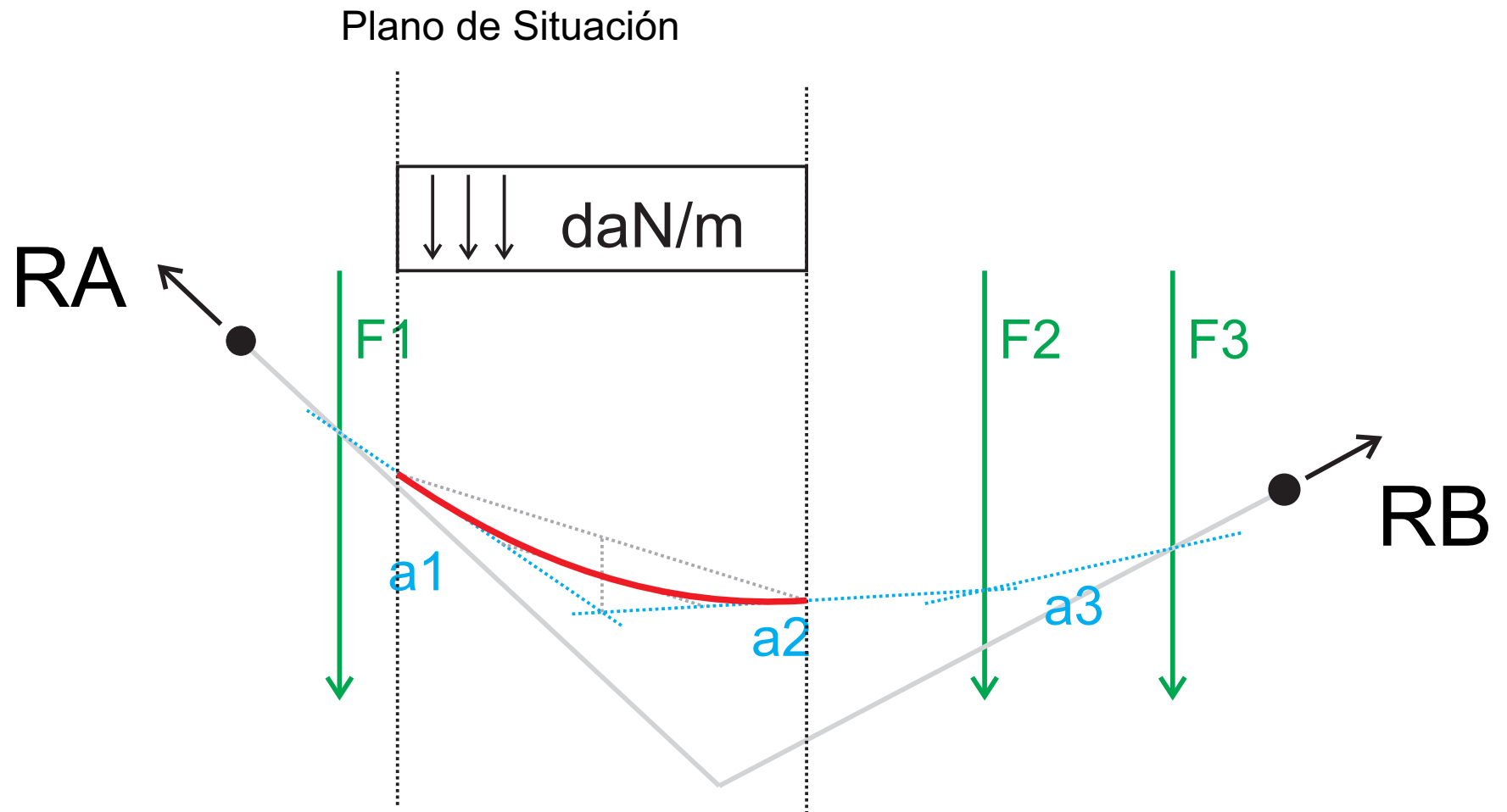
11. Por el punto medio de este trazado, se pasa una paralela a la cuerda



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

### *Trazado del Cable*

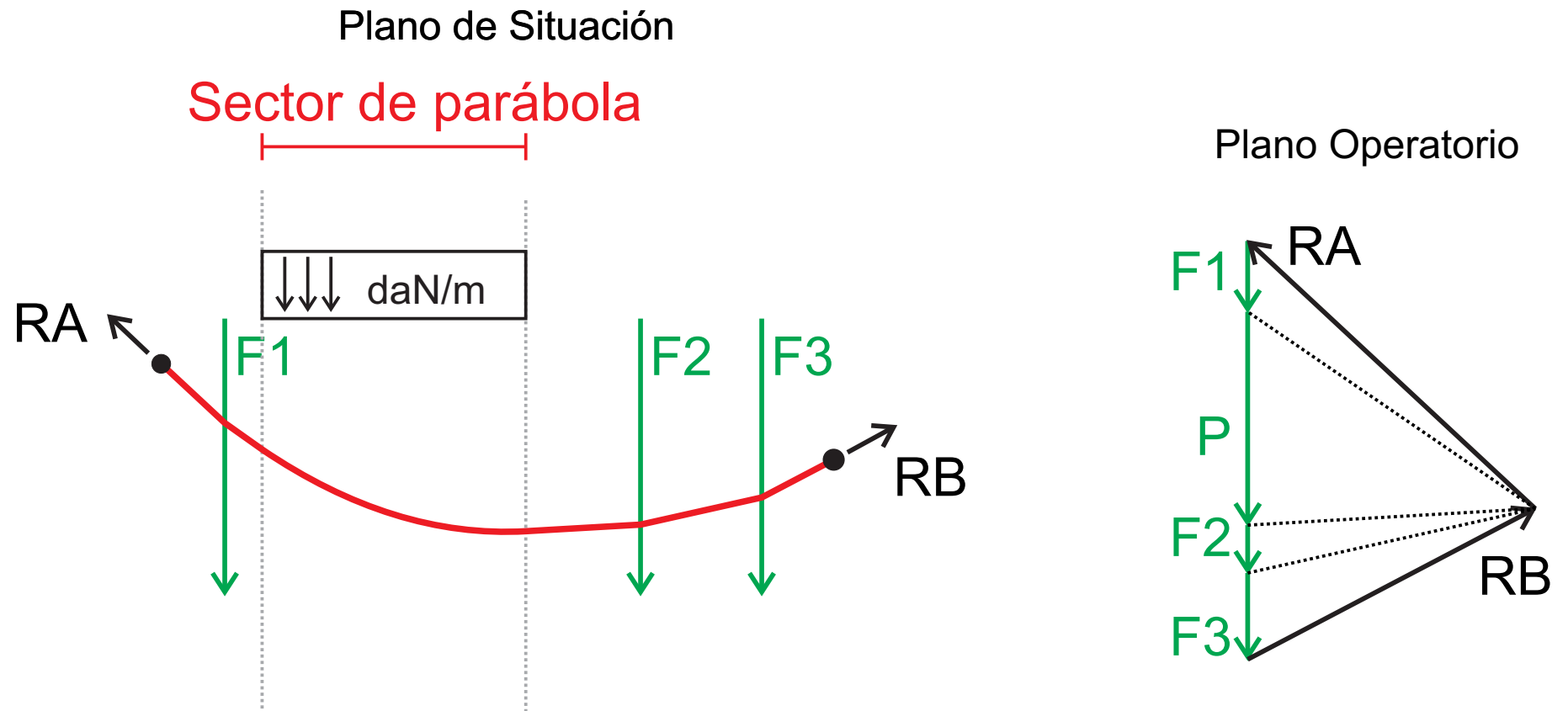


12. La parábola será tangente en ésta última paralela,  $a1$  y  $a2$

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio global

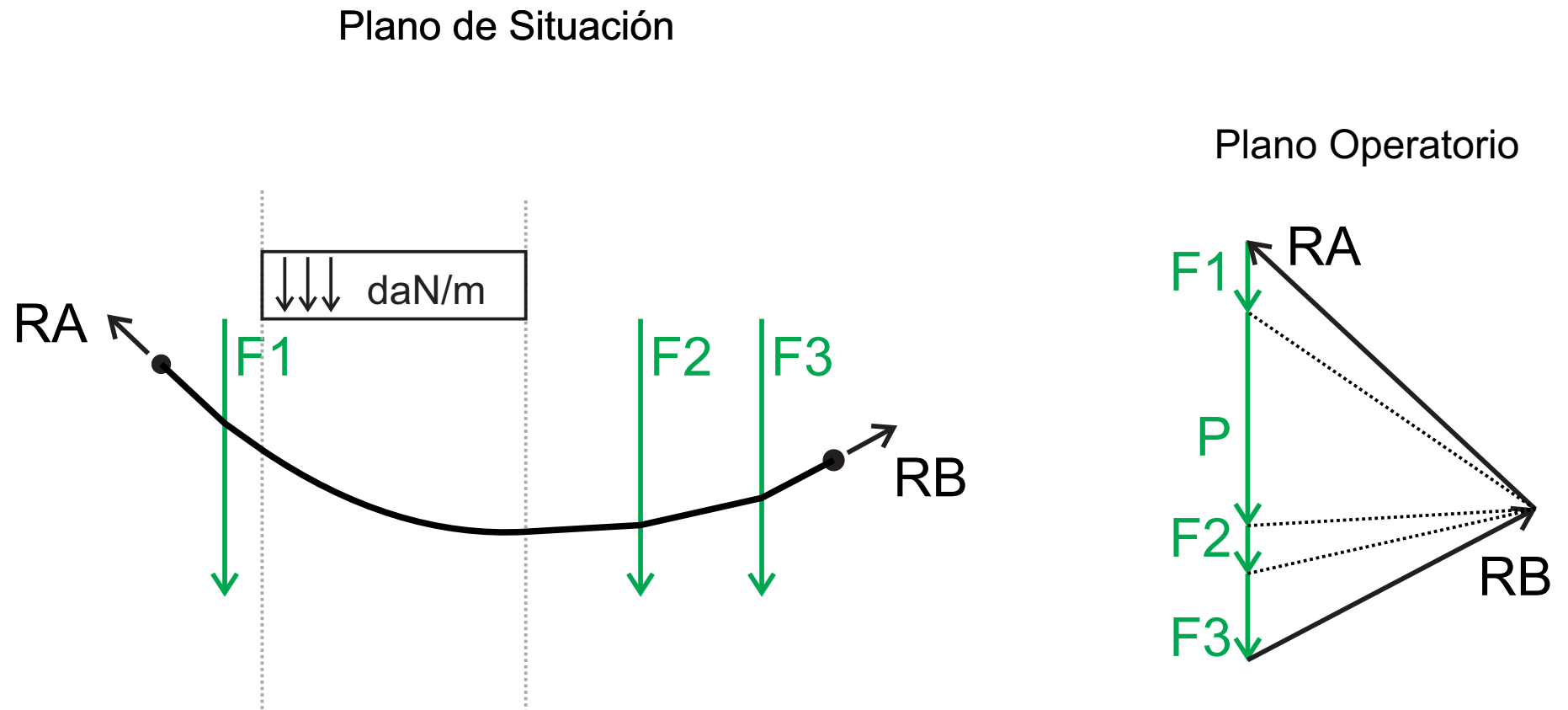
*Trazado del Cable*



Se distinguen tres sectores en el cable: uno con forma de parábola y dos de tramos rectos.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio de la parte



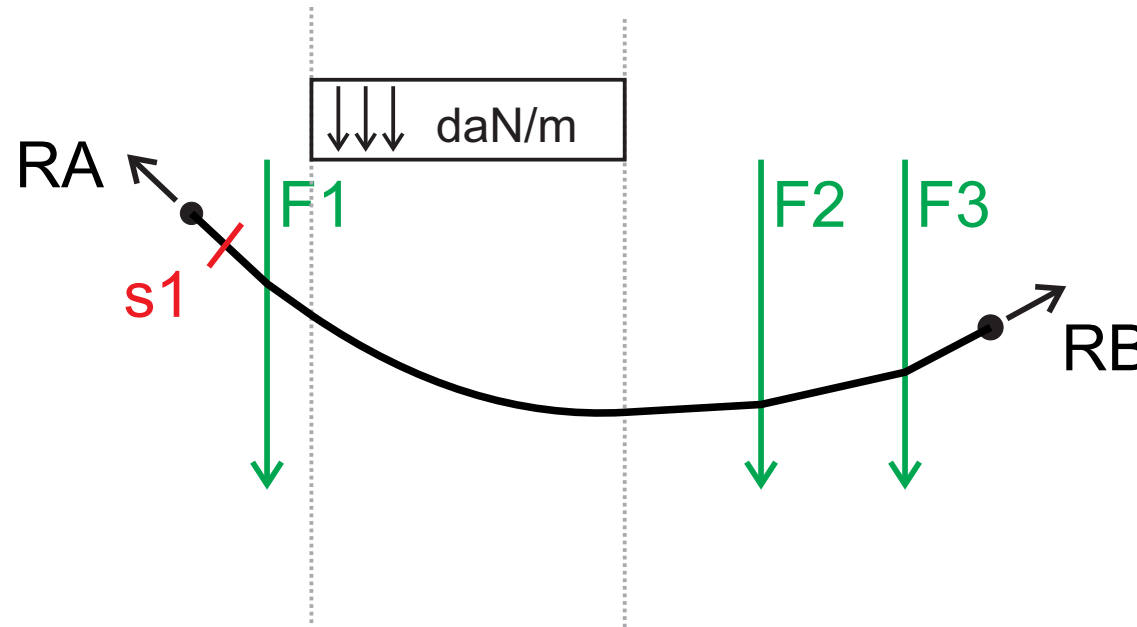
Los cables, como estructuras de forma activa, toman la forma de la Resultante Izquierda.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

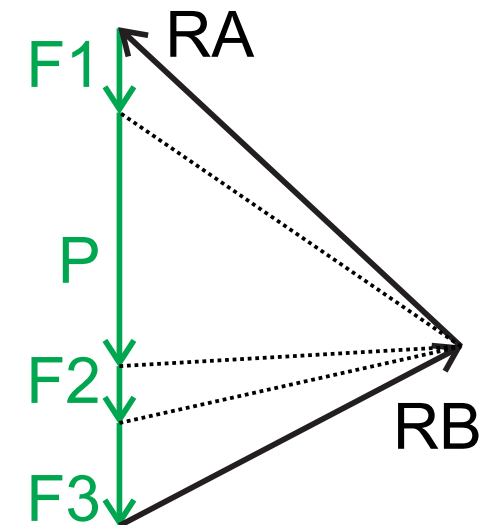
## ● Equilibrio de la parte

*Resultante Izquierda s1*

Plano de Situación



Plano Operatorio

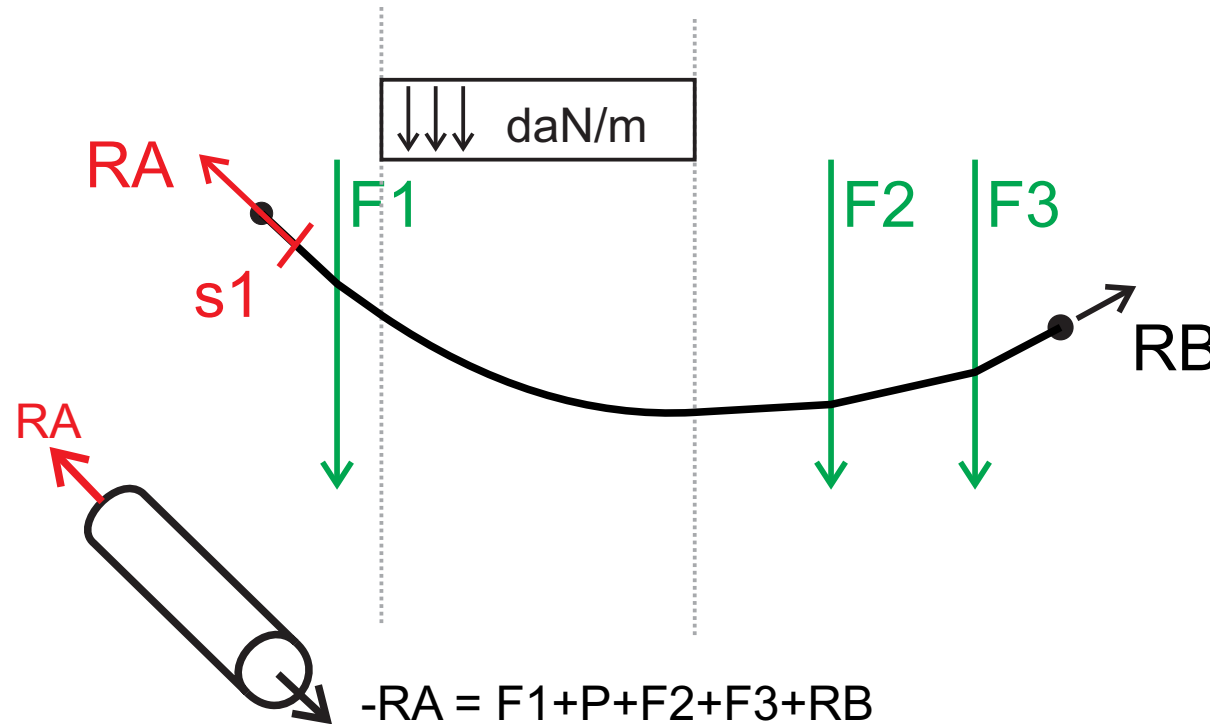


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

# ● Equilibrio de la parte

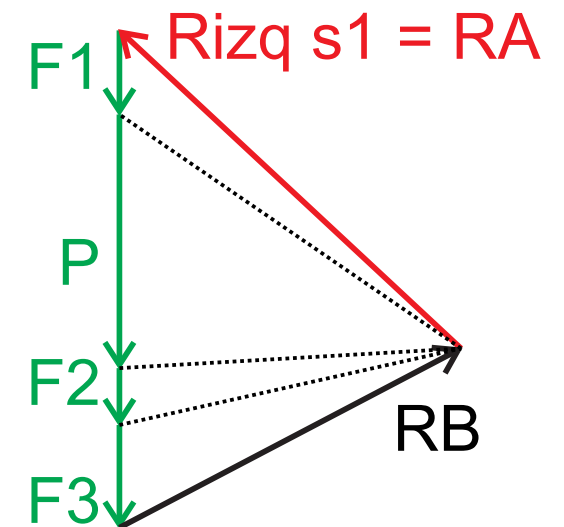
*Resultante Izquierda s1*

Plano de Situación



Esquema de dovela traccionada s1

Plano Operatorio

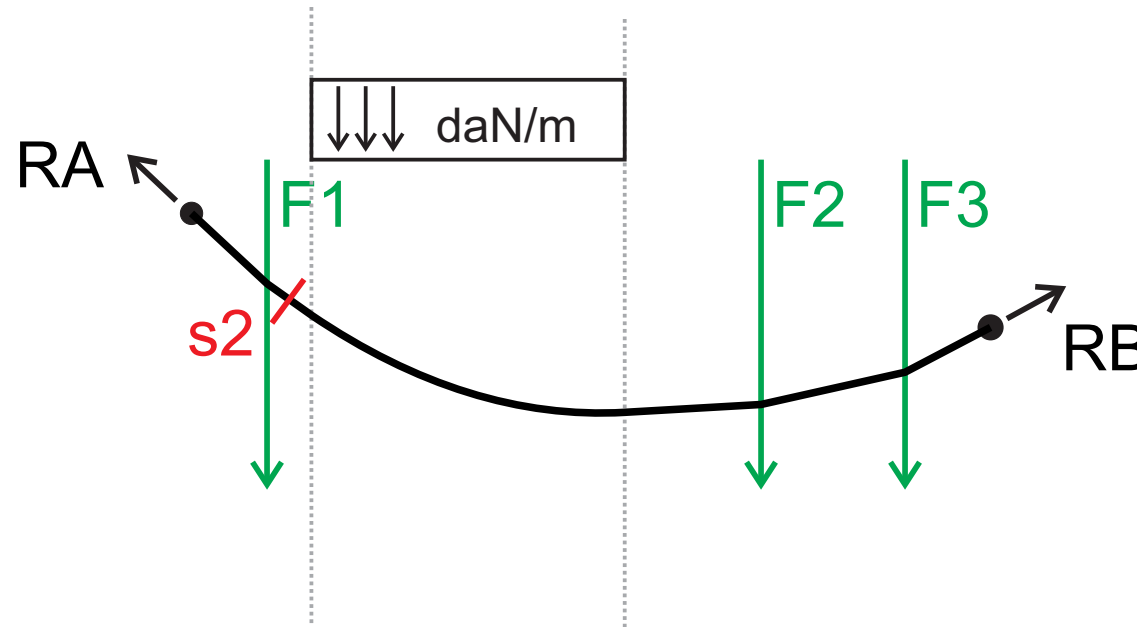


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

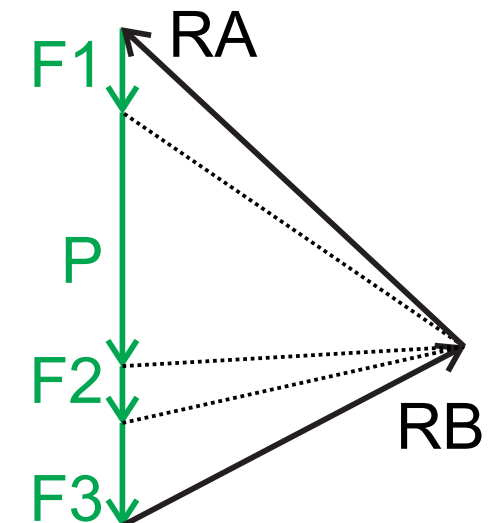
## ● Equilibrio de la parte

*Resultante Izquierda s2*

Plano de Situación



Plano Operatorio

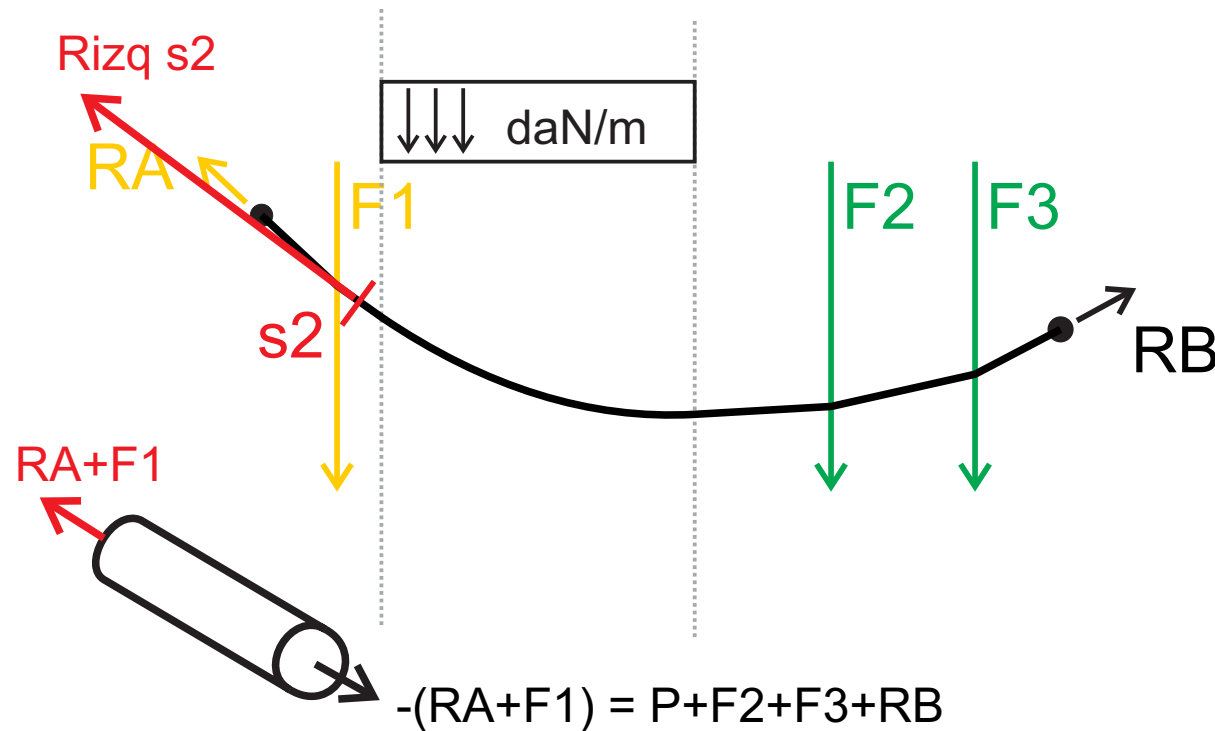


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio de la parte

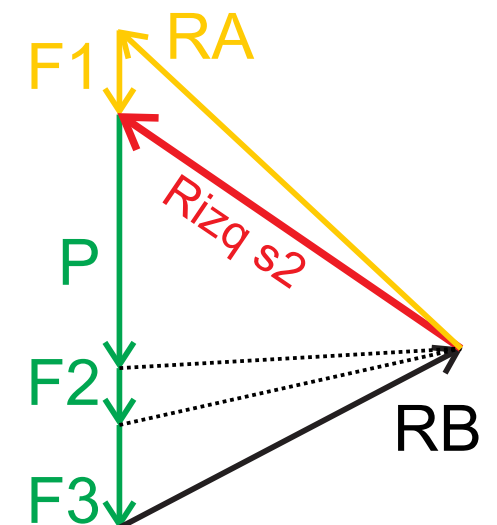
*Resultante Izquierda s2*

Plano de Situación



Esquema de dovela traccionada s2

Plano Operatorio

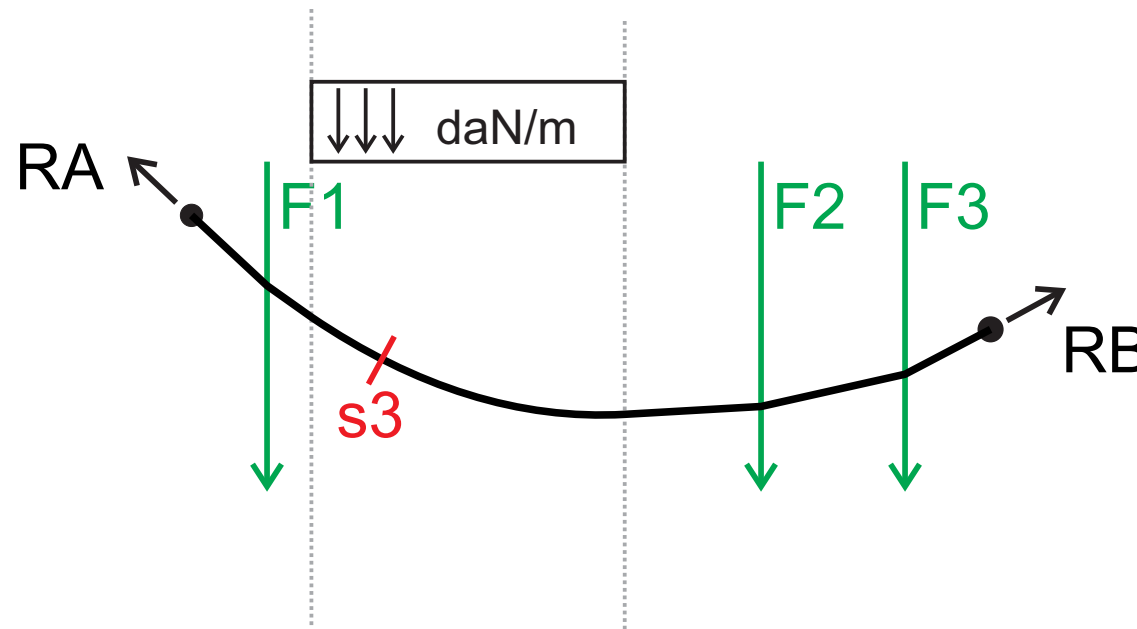


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

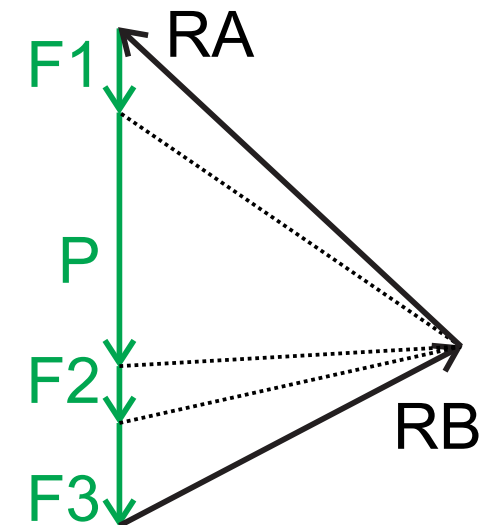
## ● Equilibrio de la parte

*Resultante Izquierda s3*

Plano de Situación



Plano Operatorio



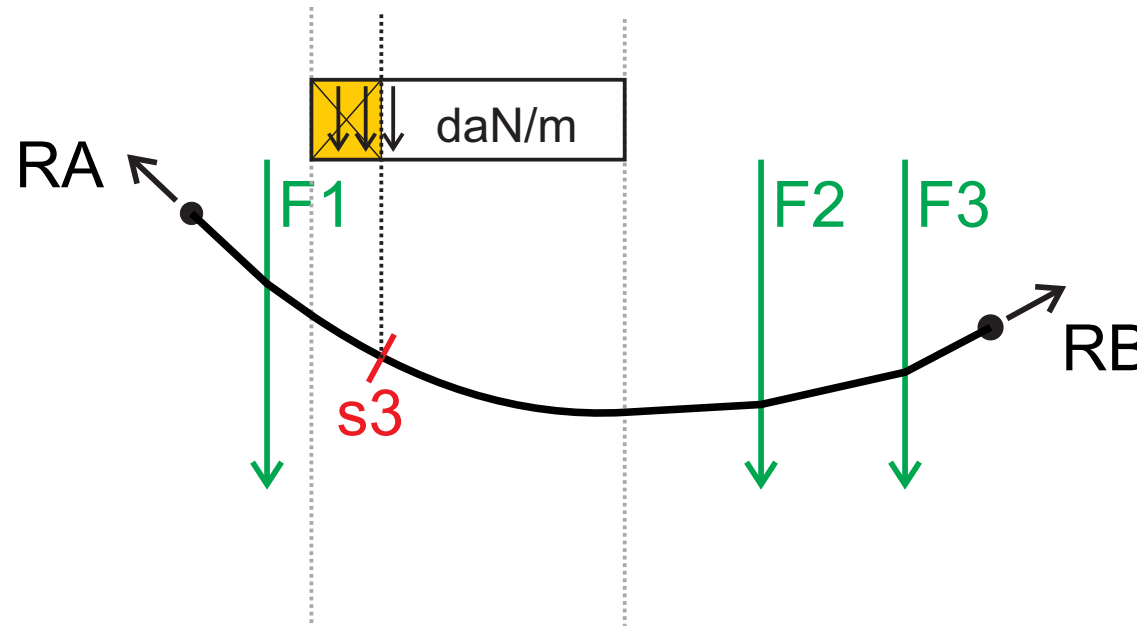


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

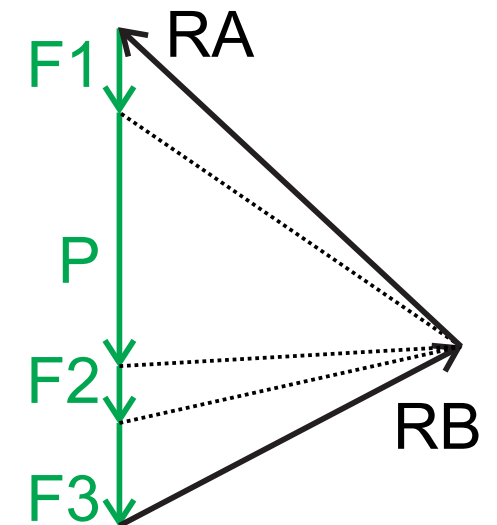
## ● Equilibrio de la parte

*Resultante Izquierda s3*

Plano de Situación



Plano Operatorio

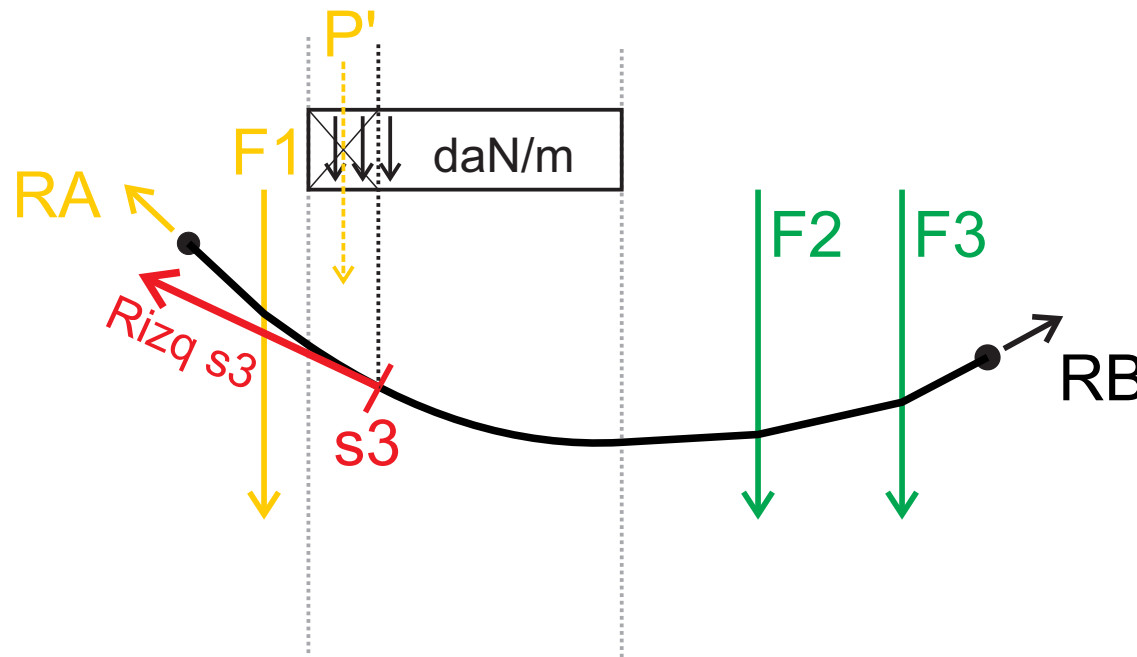


$$R_{izq} = RA + F1 + \text{sector de la carga uniformemente distribuida}$$

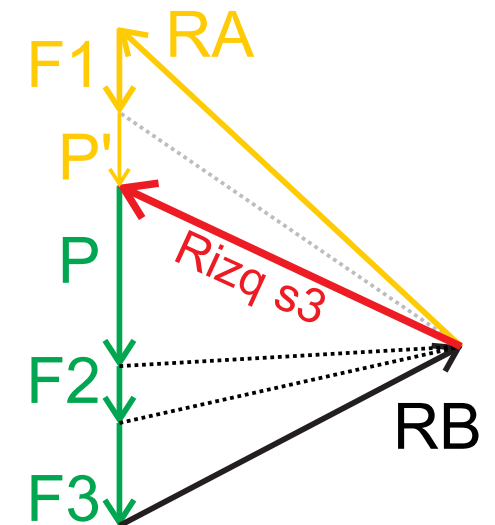
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

● **Equilibrio de la parte**  
*Resultante Izquierda s3*

Plano de Situación



Plano Operatorio



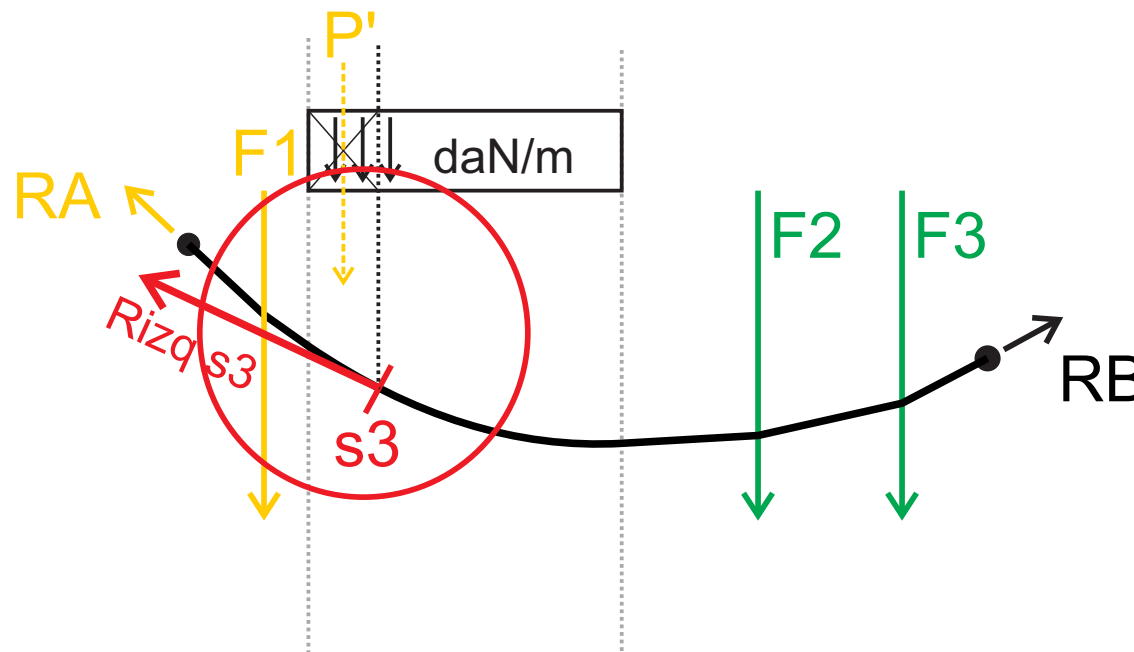
$Rizq = RA + F1 + P'$

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

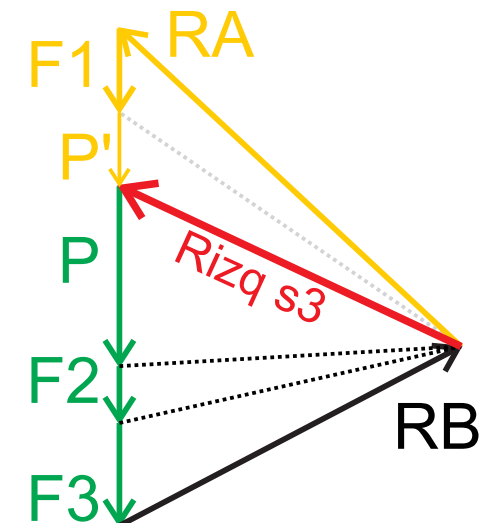
## ● Equilibrio de la parte

*Resultante Izquierda s3*

Plano de Situación



Plano Operatorio

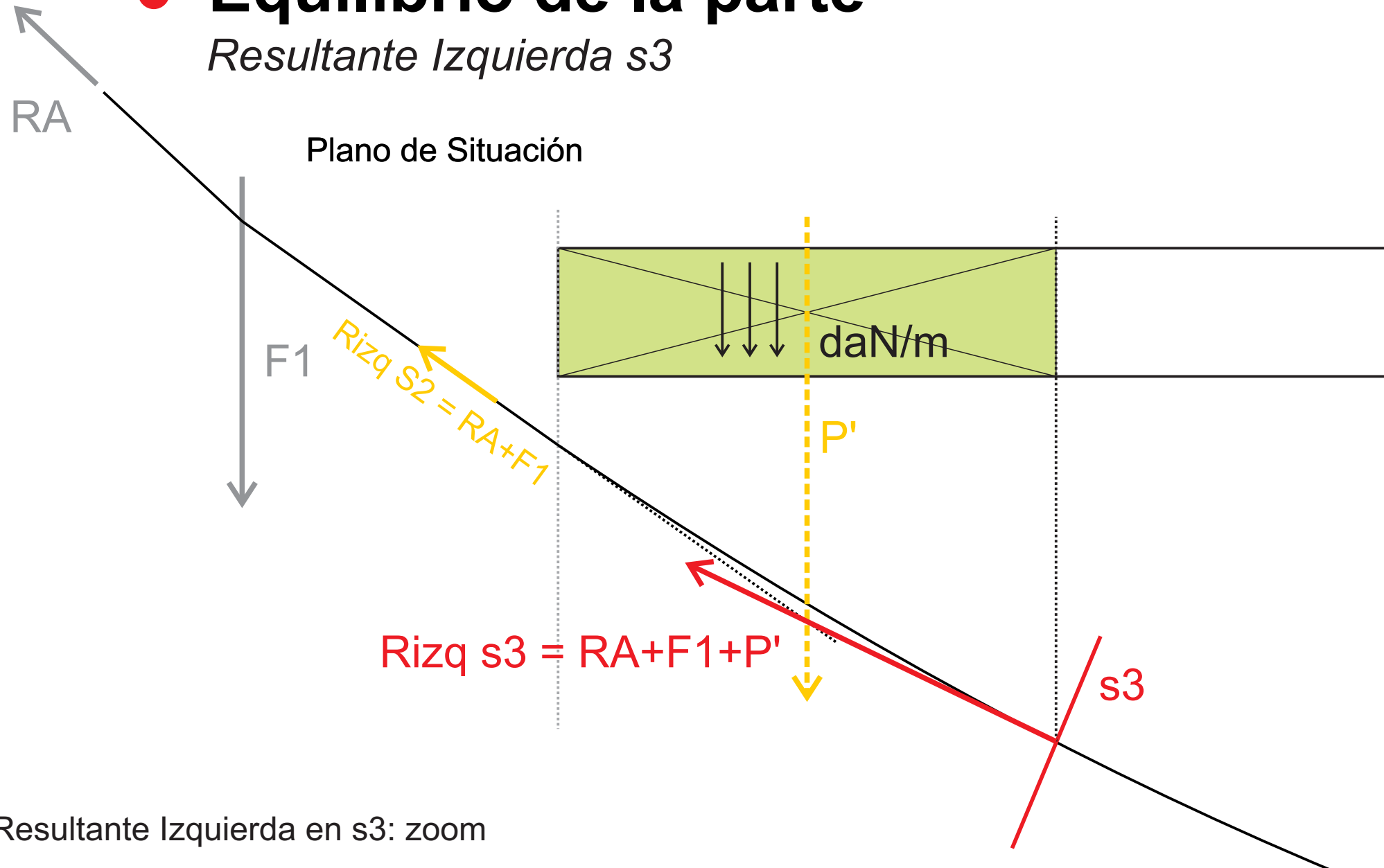


Hagamos un zoom

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Equilibrio de la parte

*Resultante Izquierda s3*



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado

$$\text{Tensión: } \sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma_d$  = tensión diseño (daN/cm<sup>2</sup>)

F = Fuerza (daN)

A = area (cm<sup>2</sup>)

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado

$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

Dato del material


Solicitud mayor

Incognita

$\sigma_d$  = tensión diseño (daN/cm<sup>2</sup>)  
F = Fuerza (daN)  
A = area (cm<sup>2</sup>)

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado

$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

$$A_{\min} = \frac{F}{\sigma_d}$$

$\sigma_d$  = tensión diseño (daN/cm<sup>2</sup>)  
 $F$  = Fuerza (daN)  
 $A$  = area (cm<sup>2</sup>)

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado

De esta manera se obtiene el área mínima de material necesaria para soportar esa fuerza.

Nosotros seleccionaremos una sección de material disponible en plaza que sea mayor a la mínima calculada.

Cual es la fuerza mayor a la que está sometido el cable?

$$A_{\min} = \frac{F}{\sigma_d}$$

$\sigma_d$  = tensión diseño (daN/cm<sup>2</sup>)

F = Fuerza (daN)

A = area (cm<sup>2</sup>)

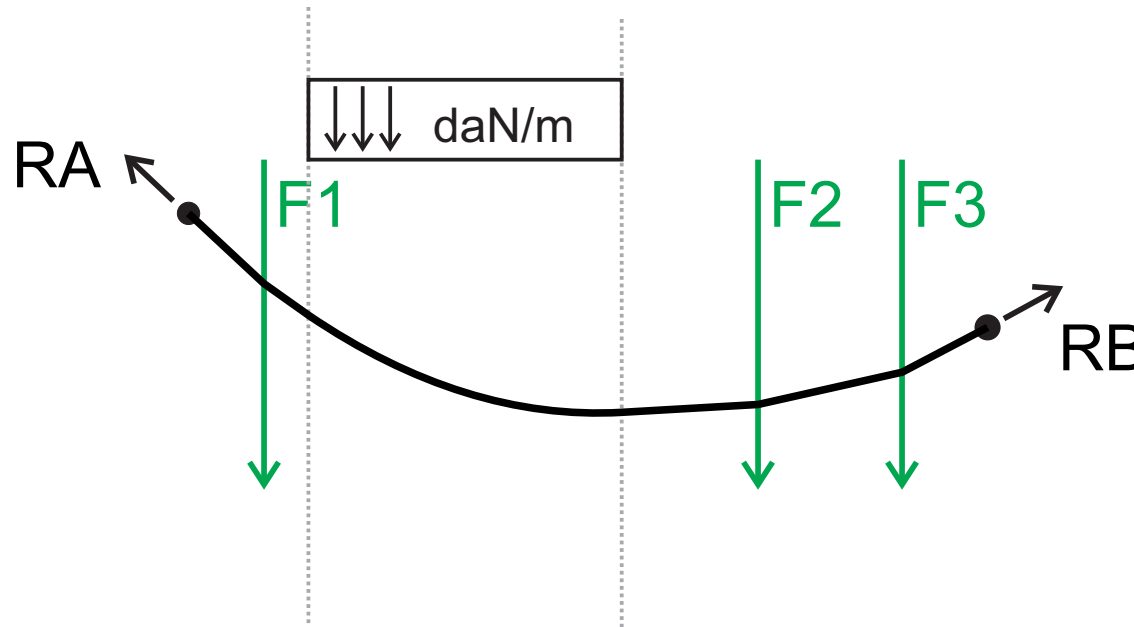


- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

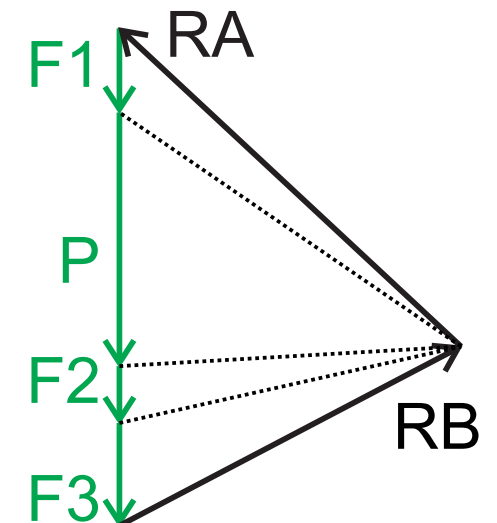
## ● Dimensionado

*Cual es la fuerza mayor a la que está sometido el cable?*

Plano de Situación



Plano Operatorio



- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trzado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado



*Enconces, cual es la tensión real a la que está sometido el cable?*

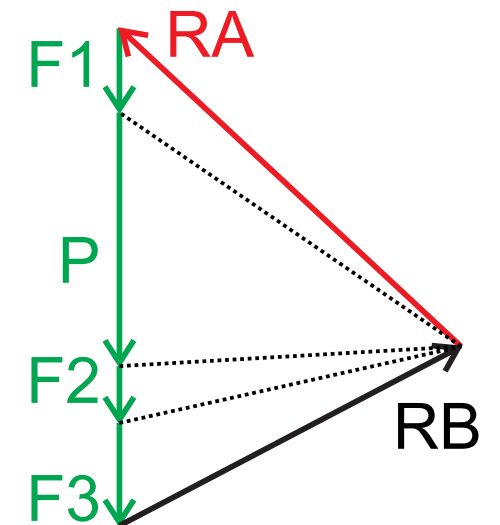
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado

Plano de Situación

$$A_{\min} = \frac{RA}{\sigma_d}$$

Plano Operatorio



*Enconces, cual es la tensión real a la que está sometido el cable?*

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Dimensionado

Volvemos a la fórmula original usando el área real seleccionada.

Evidentemente la tensión real será inferior que la tensión de diseño del material.

$$\frac{F}{A_{\text{real}}} = \sigma_{\text{real}}$$

Que sucede si en alguna situación se supera levemente la tensión de diseño del material?

$\sigma_d$  = tensión diseño (daN/cm<sup>2</sup>)

F = Fuerza (daN)

A = area (cm<sup>2</sup>)

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Estabilización de la Forma

Los cables, como estructuras de forma activa, varían su forma conforme varían las cargas, por ello se deben de agregar unidades funcionales auxiliares para evitar que esas deformaciones sean excesivas.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - Δ Flecha
  - Δ Distancia
  - Δ Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma
  - Narrows

## ● Estabilizacion de la Forma

Los cables, como estructuras de forma activa, varían su forma conforme varían las cargas, por ello se deben de agregar unidades funcionales auxiliares para evitar que esas deformaciones sean excesivas.

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows

## Peso Propio



Proyecto: Washington International Airport [1962] Eero Saarinen

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows

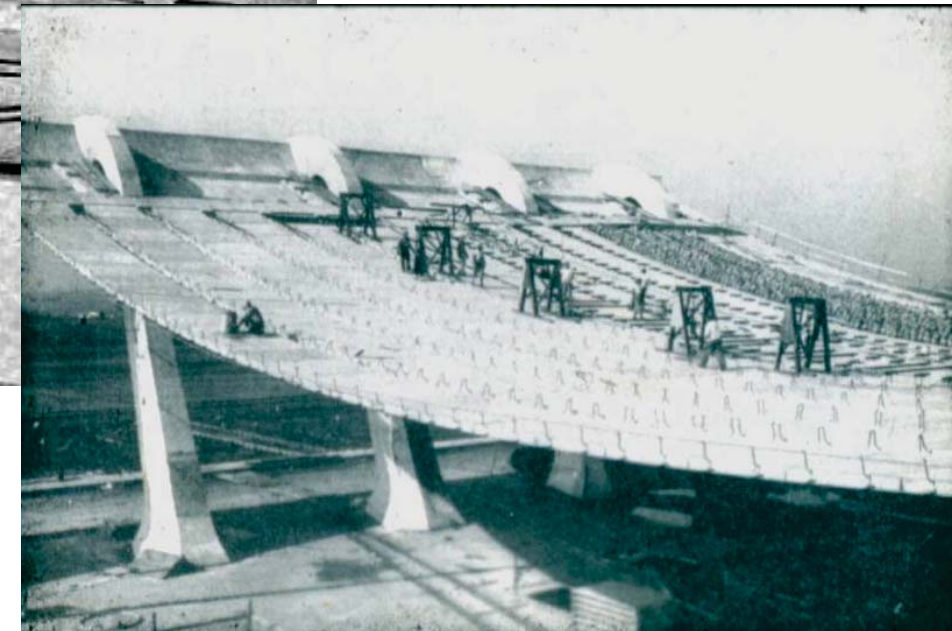
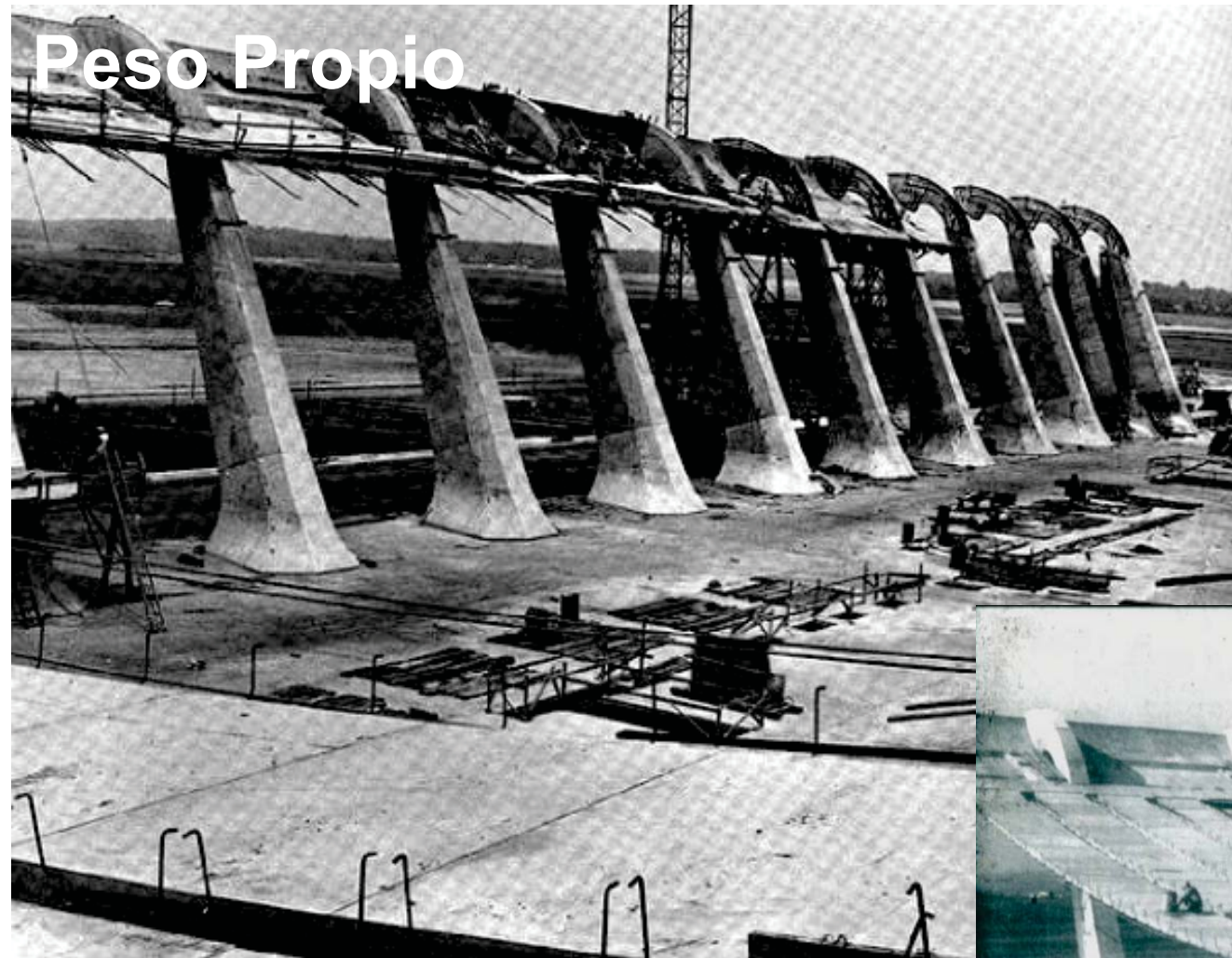
## Peso Propio



Proyecto: Washington International Airport [1962] Eero Saarinen



- Introducción  
Catenaria
- Material  
Tensión -  
Deformación  
Ley de Hooke  
Alargamiento  
Hip. Bernoulli  
Tensión diseño
- Equilibrio Global  
 $\Delta$  Flecha  
 $\Delta$  Distancia  
 $\Delta$  Altura  
Multip. Cargas  
Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado  
Tension Real
- Estabilización de la forma  
Peso Propio  
Rigidizadores  
Pretensado  
Tacoma  
Narrows



Proyecto: Washington International Airport [1962] Eero Saarinen

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows

## Elementos Rigidizadores



Proyecto: Golden Gate Bridge [1937] Strauss-Morrow-Ammann

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows

## Elementos Rigidizadores



Proyecto: Golden Gate Bridge [1937] Strauss-Morrow-Ammann

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows

## Elementos Rigidizadores



Proyecto: Golden Gate Bridge [1937] Strauss-Morrow-Ammann

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows



Pretensado

Proyecto: Munich Olympic Stadium [1972] Günther Behnisch

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows



Proyecto: Munich Olympic Stadium [1972] Günther Behnisch

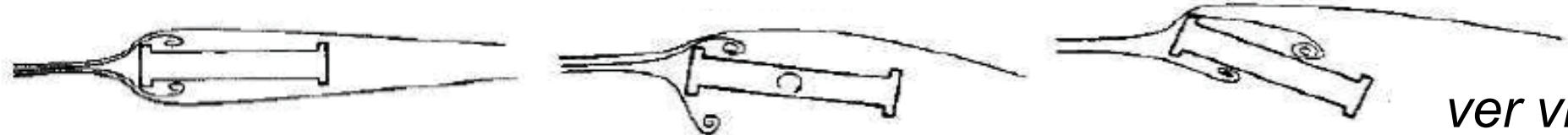
- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows



Proyecto: Munich Olympic Stadium [1972] Günther Behnisch

- Introducción
  - Catenaria
- Material
  - Tensión - Deformación
  - Ley de Hooke
  - Alargamiento
  - Hip. Bernoulli
  - Tensión diseño
- Equilibrio Global
  - $\Delta$  Flecha
  - $\Delta$  Distancia
  - $\Delta$  Altura
  - Multip. Cargas
  - Trazado
- Equilibrio Parte
- Dimensionado
  - Tension Real
- Estabilización de la forma
  - Peso Propio
  - Rigidizadores
  - Pretensado
  - Tacoma Narrows

## ● Tacoma Narrows Bridge



*ver video*