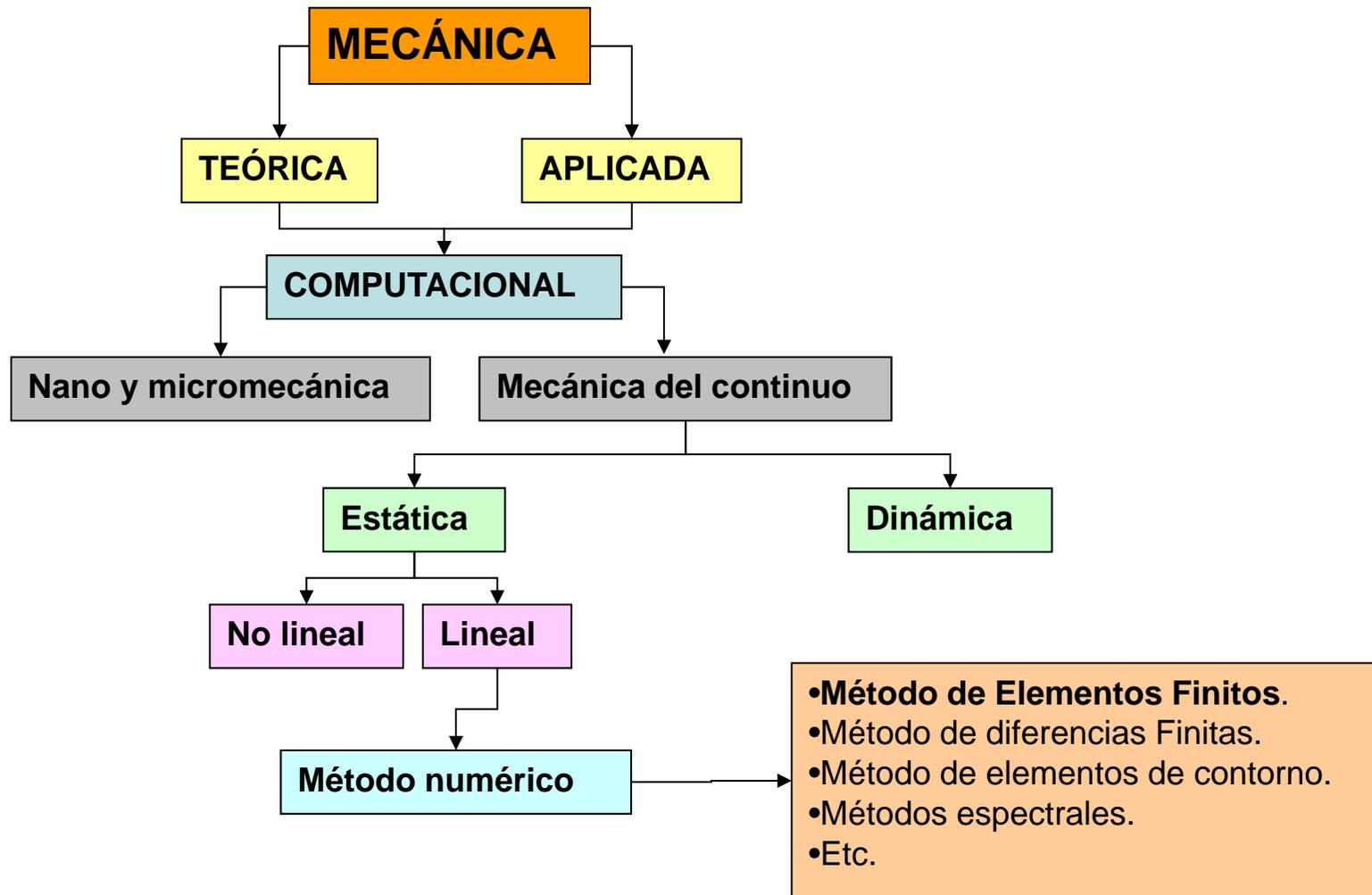


Modelización Mecánica de Elementos Estructurales

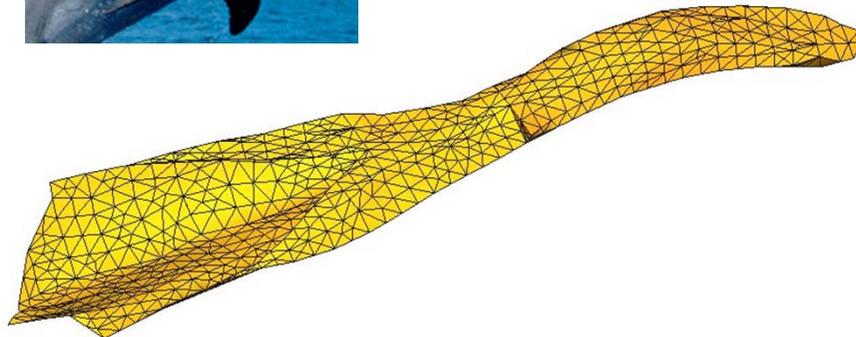
Viana L. Guadalupe Suárez
Carmelo Militello Militello
Departamento de Ingeniería Industrial
Área de Mecánica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial
Universidad de La Laguna
Tenerife, España

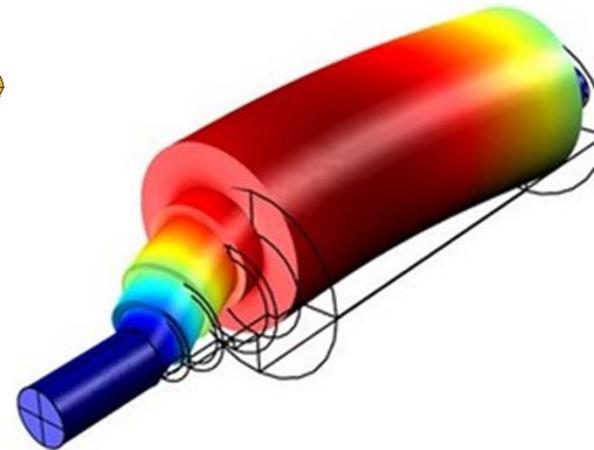


• ¿Qué es un MODELO?

Es una representación matemática que describe un comportamiento físico mediante un sistema de ecuaciones matemáticas cuyas incógnitas representan las magnitudes que permiten describir el comportamiento del objeto.



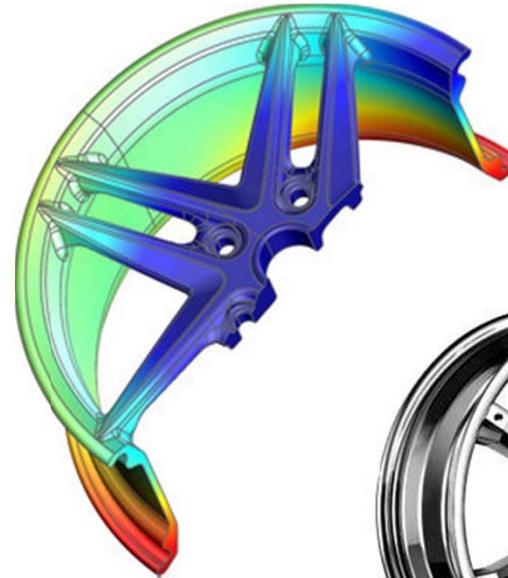
***Modelo de la mandíbula inferior de la cabeza de un delfín.**
->Estudio de la transmisión del sonido



***Modelo de un rotor de un motor eléctrico.**
->Estudio de las frecuencias propias



***Modelo de un cigüeñal de un motor.
->Estudio modal de las vibraciones.**



***Modelo de un llanta de una rueda
->Estudio de las tensiones y
deformaciones estructurales**

•Tipos de Problemas.

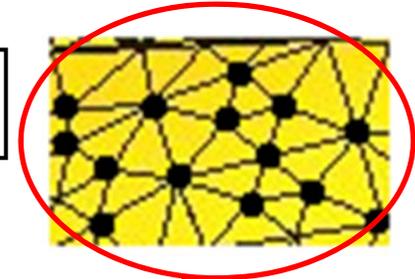
| Problema Físico | Leyes físicas (Principio de conservación) | VARIABLES físicas (incógnitas) | VARIABLES calculadas | Constantes de los materiales |
|------------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Deformación elástica estructural | Equilibrio de Fuerzas | Desplazamientos o fuerzas | Tensión o deformación | Módulo de Young, constante de Poisson |
| Redes eléctricas | Equilibrio de corrientes | Voltaje o amperios | Flujo eléctrico | Conductividad eléctrica |
| Torsión | Conservación de la energía potencial | Función de tensiones | Torsión | Módulo de corte |
| Transferencia de Calor | Conservación de la energía | Temperatura | Flujos de temperatura | Conductividad térmica |
| Fluidos | Conservación del momento | Velocidad | Estados de tensiones | Viscosidad |
| Fluidos a través de medios porosos | Conservación de la masa | Presión hidráulica | Flujos de presión | Permeabilidad |
| Electrostática | Conservación del flujo de corriente eléctrica | Potencial Eléctrico | Flujo Eléctrico | Permitividad |
| Magnetismo | Conservación del potencial magnético | Potencial Magnético | Flujo magnético | Permeabilidad magnética. |

•Modelo físico-matemático-computacional.

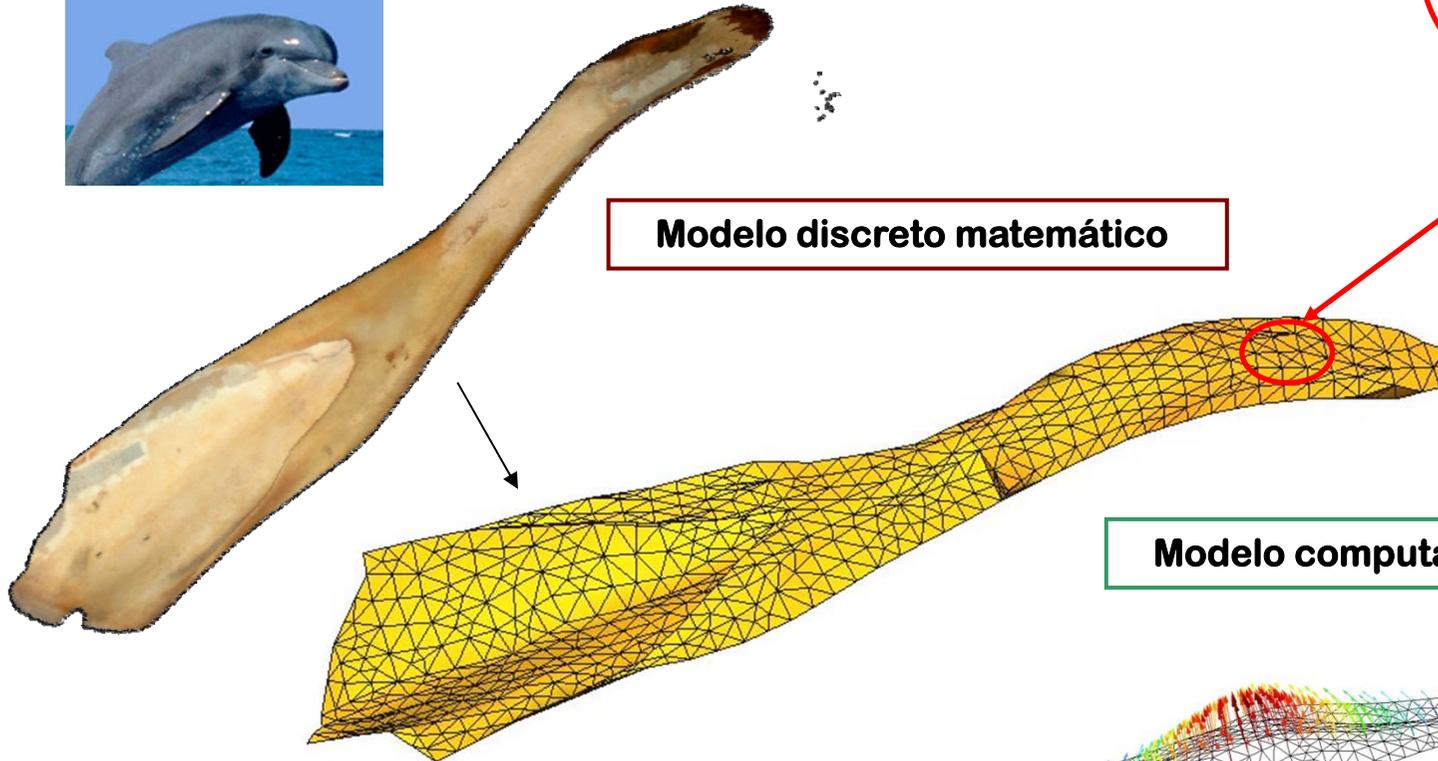
Modelo Físico



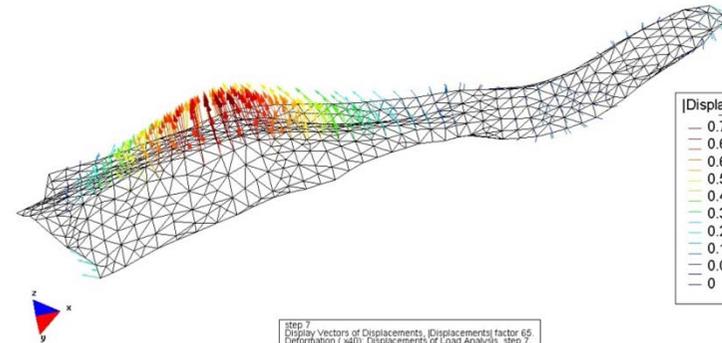
Proceso de Discretización:
METODO DE ELEMENTOS FINITOS



Modelo discreto matemático



Modelo computacional

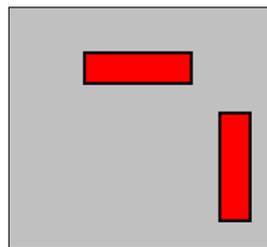


| [Displacements] | |
|-----------------|----------|
| - | 0.78625 |
| - | 0.69889 |
| - | 0.61153 |
| - | 0.52417 |
| - | 0.4368 |
| - | 0.34944 |
| - | 0.26208 |
| - | 0.17472 |
| - | 0.087361 |
| - | 0 |

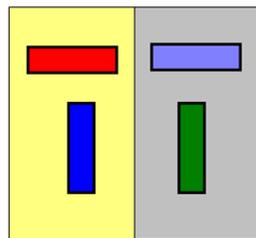
step 7
Display Vectors of Displacements, [Displacement factor 65,
Deformation (x40), Displacements of Load Analysis, step 7

•Hipótesis físicas sobre el modelo.

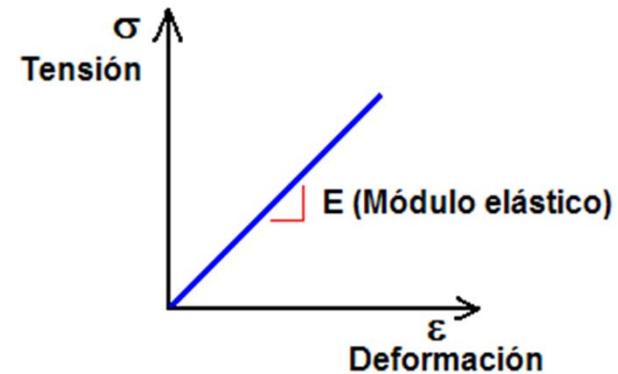
- Comportamiento lineal y elástico.
- El material es isótropo y homogéneo.



Material homogéneo e isótropo



Material no homogéneo y anisótropo



-Las cargas externas son estáticas: ***cargas que varían muy lentamente con el tiempo.***

-Rango de pequeñas deformaciones.

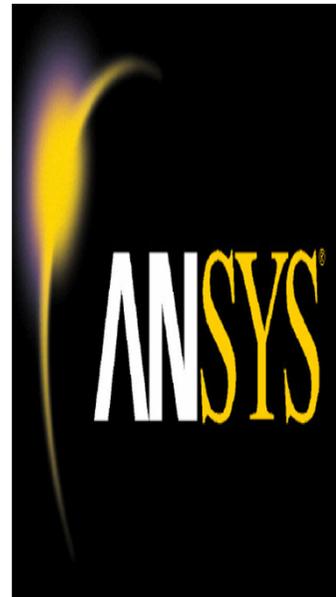
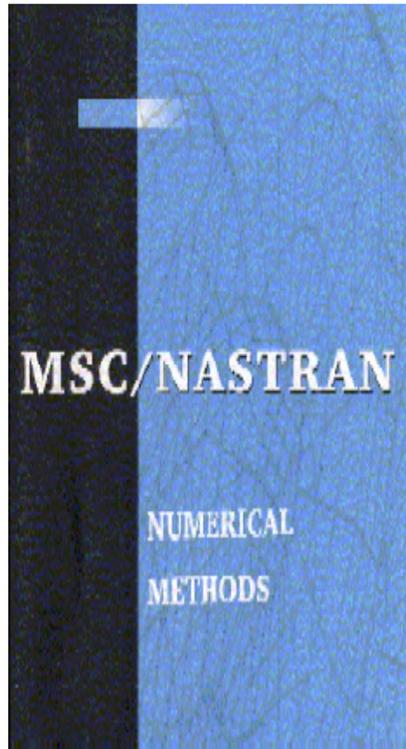
• Método de los Elementos Finitos (Finite Method Element).

- Mediante un **proceso de discretización** se divide el modelo real (continuo) en un número finito de elementos interconectados entre sí a través de los **nodos**.
- Es un método **numérico de aproximación** a la solución exacta del problema en puntos discretos llamados nodos.
- Este método parte de una función continua que representa la solución aproximada de cada **elemento**.
- Mediante la **interconexión o ensamblado** de todas las soluciones individuales para cada elemento se obtiene la solución completa del problema.

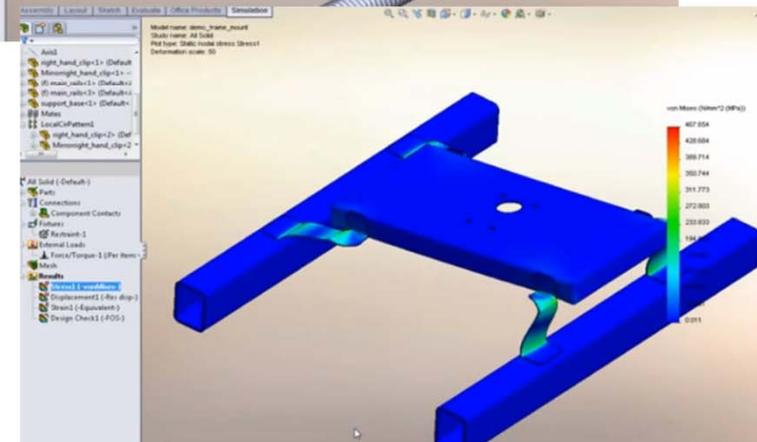
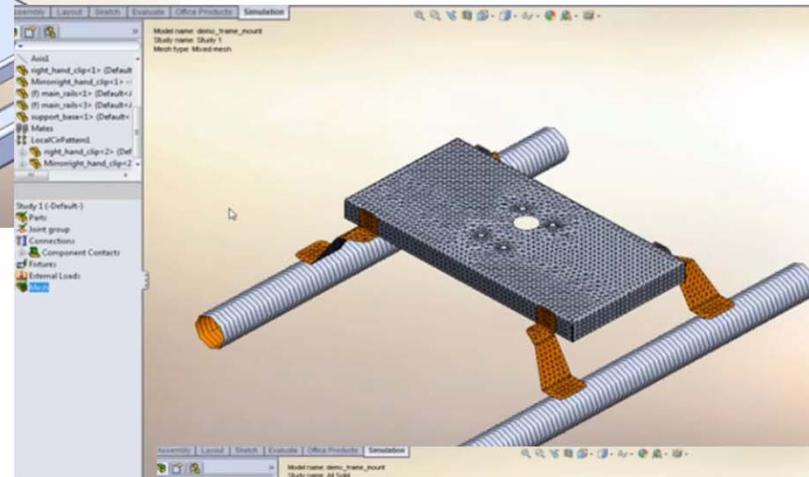
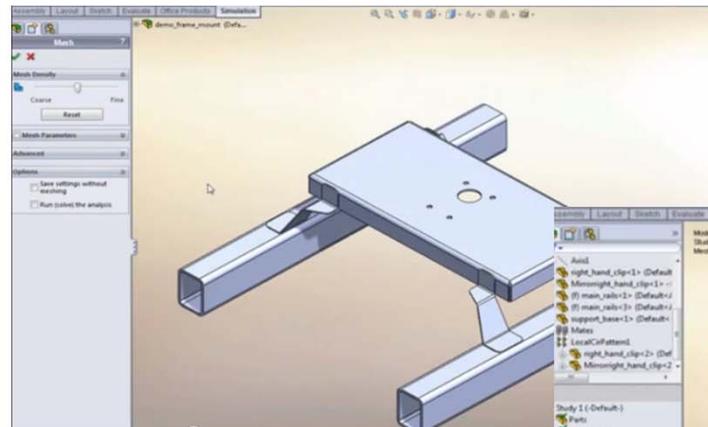
•Análisis: Modelo computacional

- ✿ El análisis consiste en determinar los desplazamientos frente a las acciones externas aplicadas a través de la matriz de rigidez K.
- ✿ La matriz de rigidez relaciona las propiedades elásticas de cada elemento. Su tamaño depende de los grados de libertad del elemento.
- ✿ El número máximo de nodos depende de la memoria RAM y del disco duro.
- ✿ Computacionalmente se realiza un almacenamiento compacto de la matriz K global de todos los elementos para agilizar los cálculos.
- ✿ El programa realiza la enumeración de los nodos y los elementos del problema. A estos índices vendrán referidos los desplazamientos de los nodos, las cargas aplicadas y las condiciones de contorno
- ✿ Para conseguir una mayor velocidad durante el cálculo matricial el programa puede efectuar una reenumeración de los nodos. Esta reenumeración tiene como fin reducir al mínimo el ancho de banda de la matriz de rigidez.

- **Software para el análisis por el Método de Elementos Finitos.**



• Software para el análisis por el Método de Elementos Finitos.



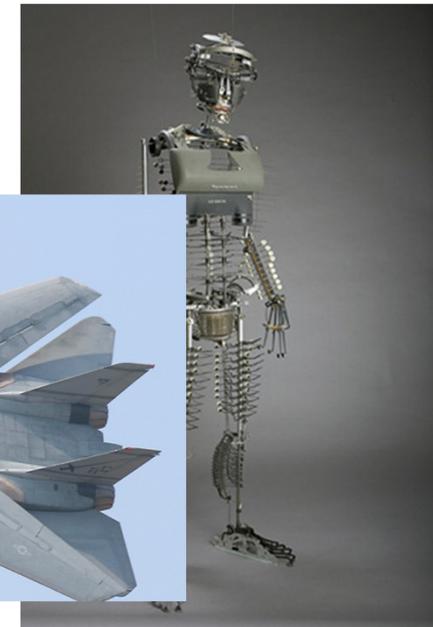
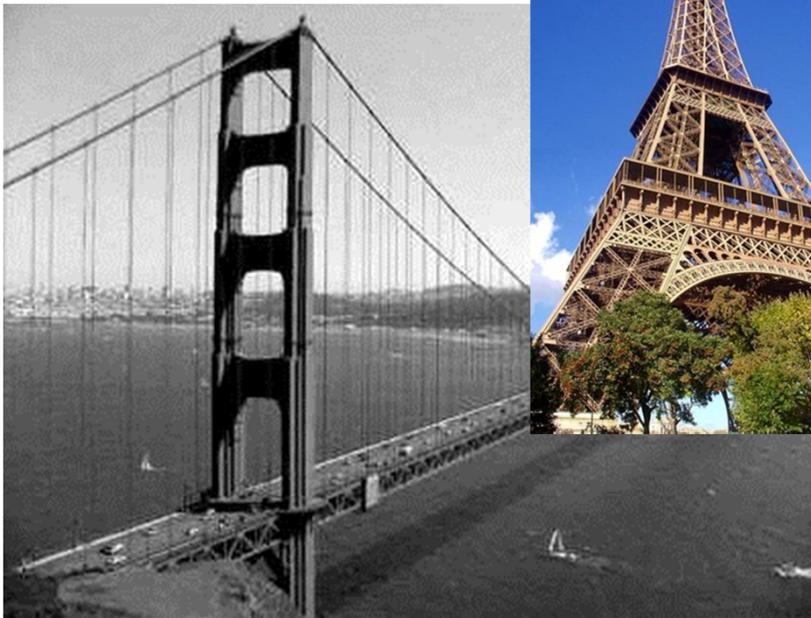
- Crear o importar la geometría en 2D o 3D.
- Definir tipo de elementos y materiales.
- Aplicar cargas y restricciones.
- Generar y refinar la malla de elementos finitos.
- Seleccionar el tipo de análisis: lineal.
- Ejecuta la simulación.
- Visualizar los resultados.

Conceptos básicos

• ¿Qué es un estructura?

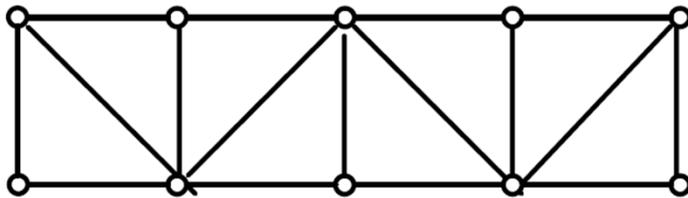
Una estructura es una combinación de elementos geométricos convenientemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas. Su finalidad es resistir y transmitir las fuerzas actuantes a sus apoyos de tal manera que se garantice su seguridad y funcionalidad.

Ejemplos de estructuras : *puentes, torres, edificios, estadios, techos, barcos, aviones, maquinarias, presas y hasta el cuerpo humano.*



•¿Qué tipos de elementos estructurales veremos?

1. Elementos estructurales de **BARRA**:



compresión



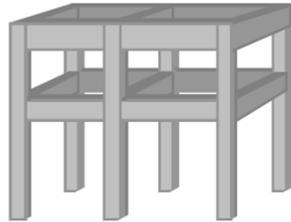
tracción

*Estructuras reticulares: Truss
(uniones articuladas)

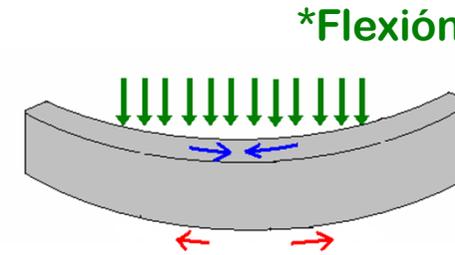


• ¿Qué tipos de elementos estructurales veremos?

2. Elementos estructurales de VIGA:



*Estructuras espaciales (uniones rígidas)



*Flexión



3. Elementos estructurales de **SUPERFICIE**:

➤ **Placa**

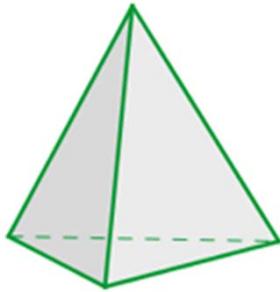


➤ **Cáscara**



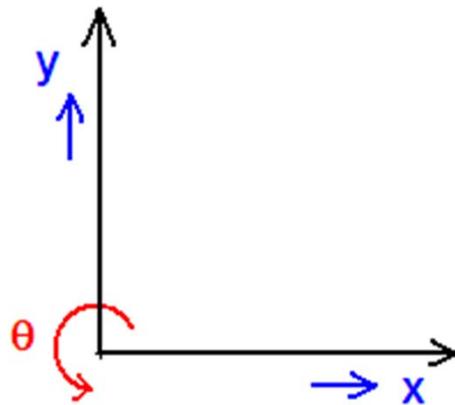
4. Elementos estructurales de **VOLUMEN**:

➤ **Sólidos 3D**

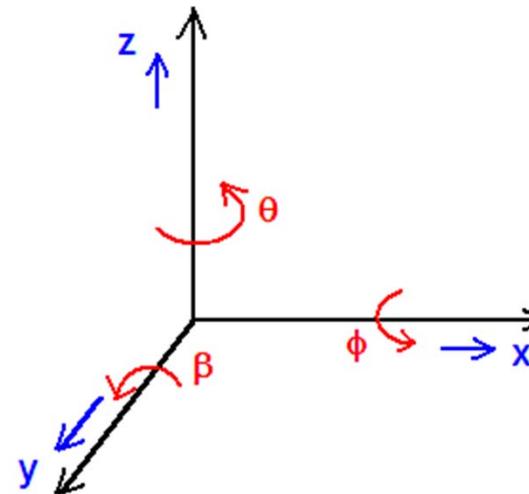


• ¿Qué son los **grados de libertad** de una estructura?

Los grados de libertad corresponden con las posibles traslaciones o rotaciones que puede sufrir una estructura.



* En el plano 2D

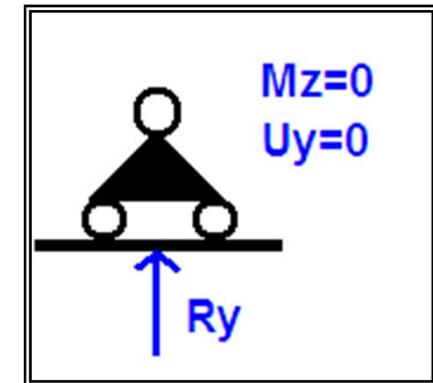
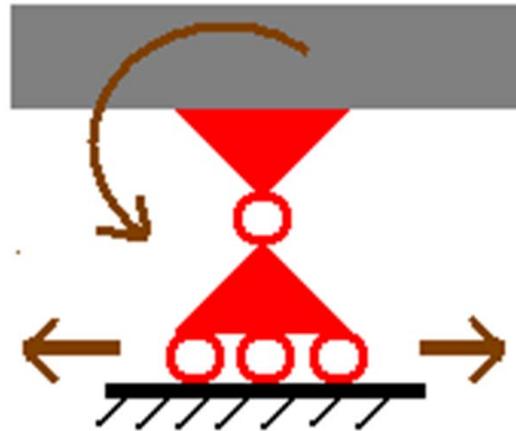


* En el espacio 3D

- ✓ Las deformaciones de las estructuras debidas a cargas externas se estudian en el equilibrio restringiendo los grados de libertad de dicha estructura.
- ✓ Las restricciones sobre una estructura se realizan a través de los apoyos.

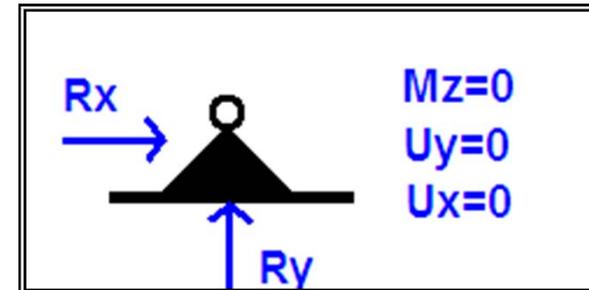
• ¿Cómo son los **apoyos de una estructura?**

1. Apoyo **TIPO I (simple)**: impide el movimiento vertical (en Y)



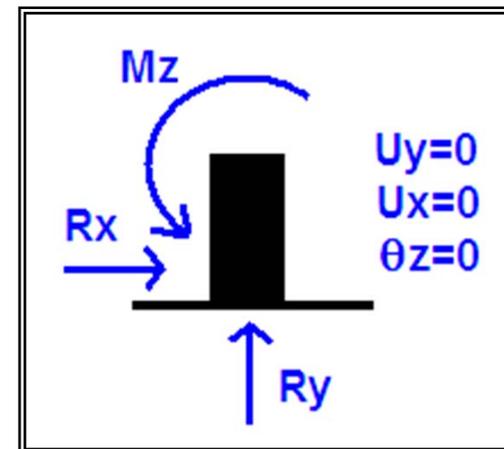
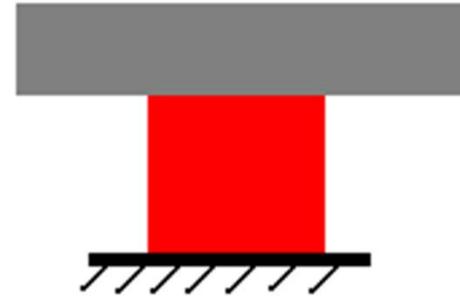
• ¿Cómo son los apoyos de una estructura?

2. Apoyo TIPO II (articulado): impide el movimiento horizontal y vertical (en X e Y)



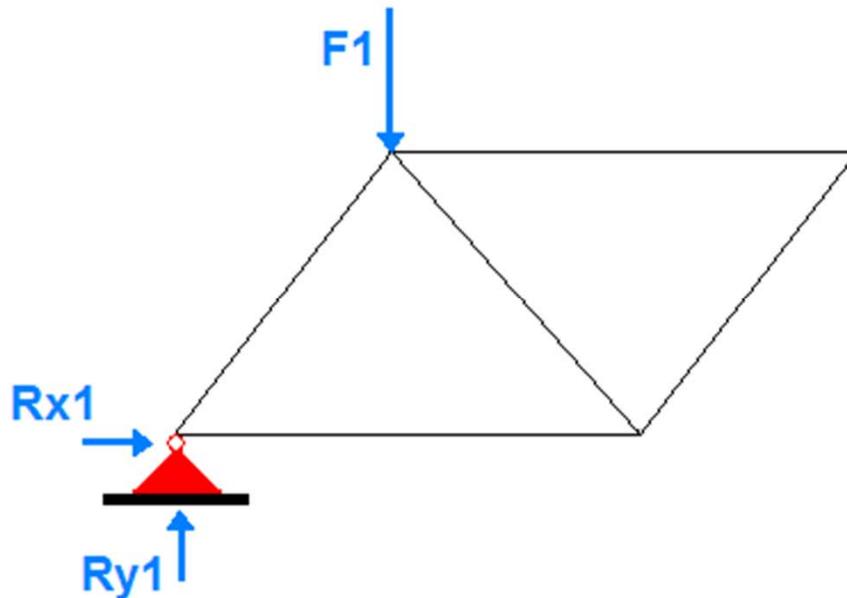
• ¿Cómo son los **apoyos de una estructura?**

3. Apoyo **TIPO III**: impide el movimiento horizontal, vertical y el giro (en **X, Y** y θ)



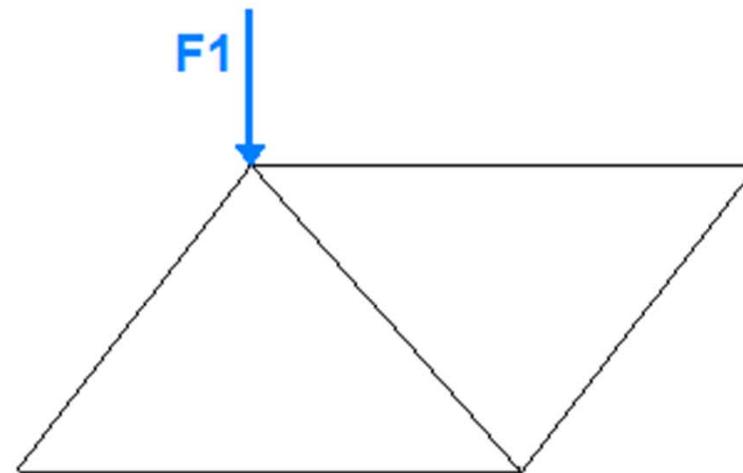
- ¿Qué tipos de estructuras podemos encontrarlos?

MECANISMO



*Los grados de libertad están restringidos parcialmente.
->Movimiento parcial: INESTABLE

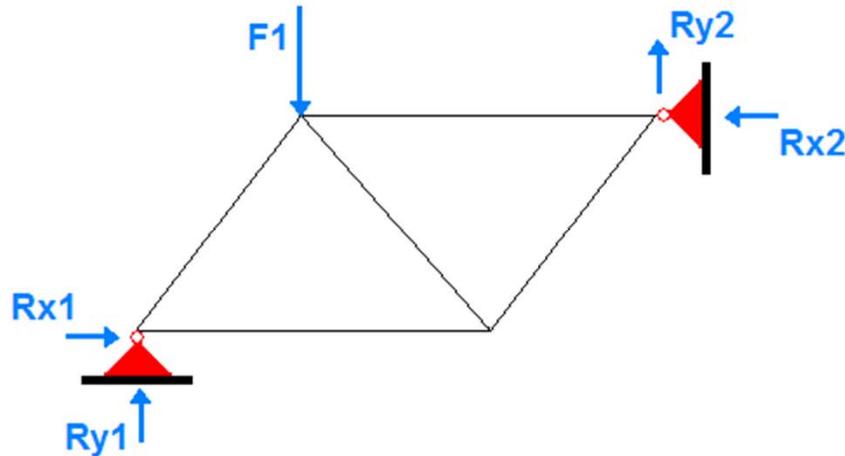
CUERPO RÍGIDO



*Los grados de libertad no están restringidos.
->Movimiento libre: INESTABLE

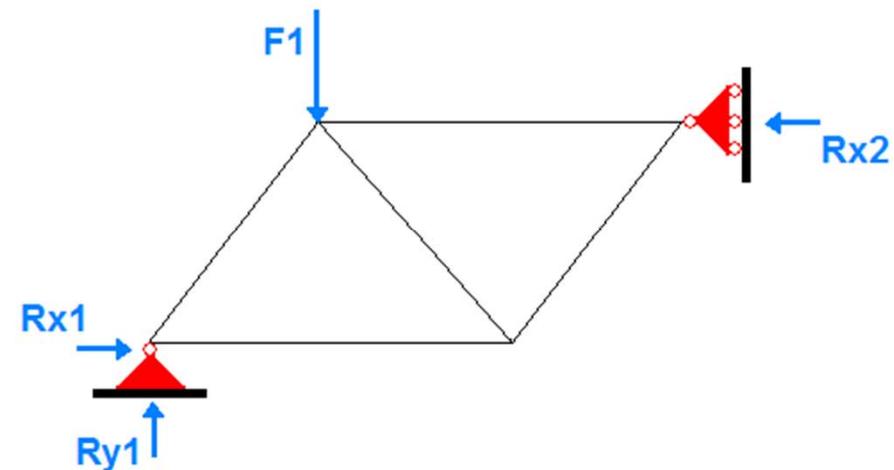
- ¿Qué tipos de estructuras podemos encontrarlos?

ESTRUCTURA HIPERESTÁTICA



*Los grados de libertad están Restringidos.
->No existe movimiento:
EQUILIBRIO ESTABLE
Nº equ. equilibrio < Nº incógnitas

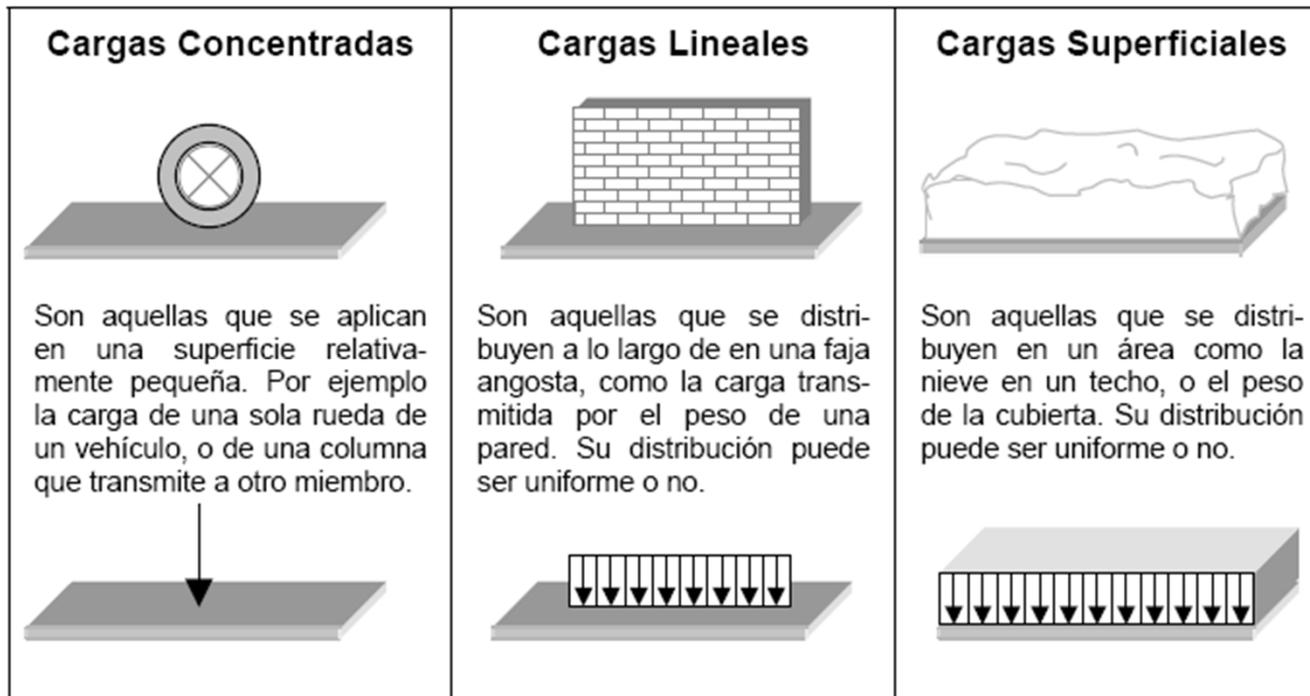
ESTRUCTURA ISOESTÁTICA



*Los grados de libertad están Restringidos.
->No existe movimiento:
EQUILIBRIO ESTABLE
Nº equ. equilibrio = Nº incógnitas

• ¿Qué tipo **esfuerzos** pueden actuar sobre una estructura?.

- a)- Por su forma: {
- Cargas concentradas.
 - Cargas lineales.
 - Cargas superficiales.



• ¿Qué tipo **esfuerzos** pueden actuar sobre una estructura?.

b)- Por su tiempo de aplicación: {

- Cargas estáticas.
- Cargas dinámicas. {

 - Cargas de impacto.
 - Cargas repetitivas.

c)- Por su origen: {

- Cargas gravitacionales. {

 - Cargas muertas.
 - Cargas vivas.

- Cargas ambientales. {

 - Cargas viento.
 - Cargas nieve.
 - Cargas sísmicas.

Cargas sobre un puente.

Carga de vehículos

(carga: muerta, distribuída)

Carga de frenado

(carga: dinámica repetitiva)

Carga de colisiones

(carga: dinámica de impacto)



Carga de la vía

(carga: muerta distribuida)

Carga de un camión
pesado

(carga: viva, puntual)

•Parámetros de verificación: **Factor de seguridad y Tensión admisible.**

•**Módulo elástico o módulo de Young (E).**

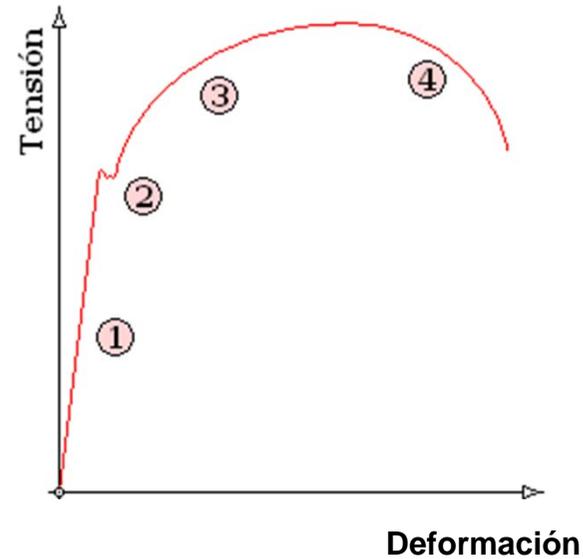
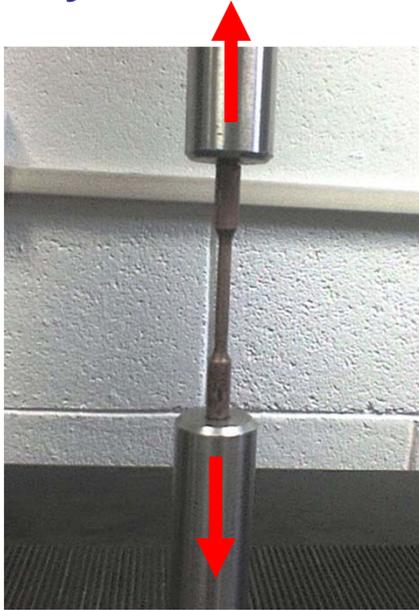
■El **módulo de elasticidad (E)** es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un **material elástico**, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

■Para un material **elástico lineal e isótropo**, el módulo de elasticidad tiene el mismo valor para una **tracción** que para una **compresión**, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado **límite elástico**, y es siempre mayor que cero: si se tracciona una barra, aumenta de longitud, no disminuye.

■Tanto el **módulo de Young** como el límite elástico son distintos para los diversos materiales (aceros, aluminio, cobre, latón, madera, etc).

■El **módulo de elasticidad** es una **constante elástica** que, al igual que el límite elástico, puede encontrarse empíricamente mediante el **ensayo de tracción** del material.

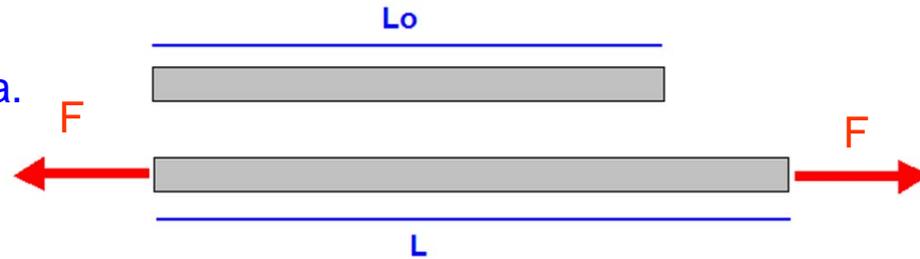
• Ensayo de tracción: Determinación del límite elástico.



1. **Deformación elástica:** el material recupera la forma si retiro la carga.
2. **Límite de fluencia (límite elástico a 0.2%).**
3. **Deformación plástica:** el material no recupera totalmente la forma.
4. **Estricción:** irreversibilidad de la deformación (punto de rotura.)

• **Deformación unitaria:**

l_0 = longitud natural (inicial) de la barra.
 L = Longitud final de la barra.



Tensión: $\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$

Deformación: $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$

• **Ley de Hooke:** $E = \frac{F/A}{\Delta l / l_0}$ $\sigma = E\varepsilon$

Establece que la deformación (estiramiento longitudinal Δl) de un material es directamente proporcional a la fuerza aplicada F .

$$F = K\Delta l \Rightarrow K = \frac{F}{\Delta l} \quad K = \text{Cte. de rigidez}^*$$

*Es la capacidad de un objeto para deformarse sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos en el rango lineal.

•Factor de seguridad.

Las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a las que estará sometida en servicio.

La capacidad de resistir una carga se conoce como **Resistencia**.

$$\text{Factor de seguridad} = \text{Resistencia verdadera} / \text{Resistencia requerida} > 1$$

Fallo en una estructura:

- El fallo puede significar la fractura y el colapso completo de una estructura o que las deformaciones han llegado a ser tan grandes que ya no pueden efectuar las funciones que le asignan.
- El factor de seguridad debe de tener en cuenta.
 - ✿ La sobrecarga accidental de la estructura por cargas que excedan las cargas de diseño.
 - ✿ Variación y magnitud.
 - ✿ Calidad de la mano de obra
 - ✿ Variaciones en la calidad de los materiales.
 - ✿ Deterioro por envejecimiento (corrosión)
 - ✿ Etc.

**El Factor de seguridad se determina en base a la experiencia y lo redactan en los códigos y especificaciones grupos de ingenieros experimentados.*



Colapso en el pasillo de la terminal 2E del aeropuerto Charles de Gaulle, Francia