



**UNIVERSIDAD DE A CORUÑA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**



**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Título: ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS  
CAD/CAE/CAM EN EL DISEÑO DE UN PATINETE**

**Autor: Tomás Fraga Martínez**

**Tutor: Manuel Jesús González Castro**

**Febrero 2005**

# Índice

- Introducción
- Objetivo y alcance del proyecto
- Propuesta de diseño
- Cálculo estático
- Cálculo dinámico
- Conclusiones



# Introducción

- Historia del monopatín
  - Nacimiento en 1910
  - Popularización en 1960 (surf)
  - Proceso de mejora semejante a los patines



# Introducción

- Impulsión eléctrica
- Motor de combustión



- Introducción
- Objeto y alcance del proyecto
- Propuesta de diseño
- Cálculo estático
- Cálculo dinámico
- Conclusiones

# Objeto del proyecto

- Actualidad

- Propulsión motorizada

- Motor de combustión
    - Motor eléctrico



- ↑ Velocidad
      - ↑ Robustez
      - ↓ Combustible
      - ↓ Vida de las baterías

- Propulsión "humana"



- ↑ Autonomía ilimitada
    - ↓ Equilibrio

# Alcance del proyecto

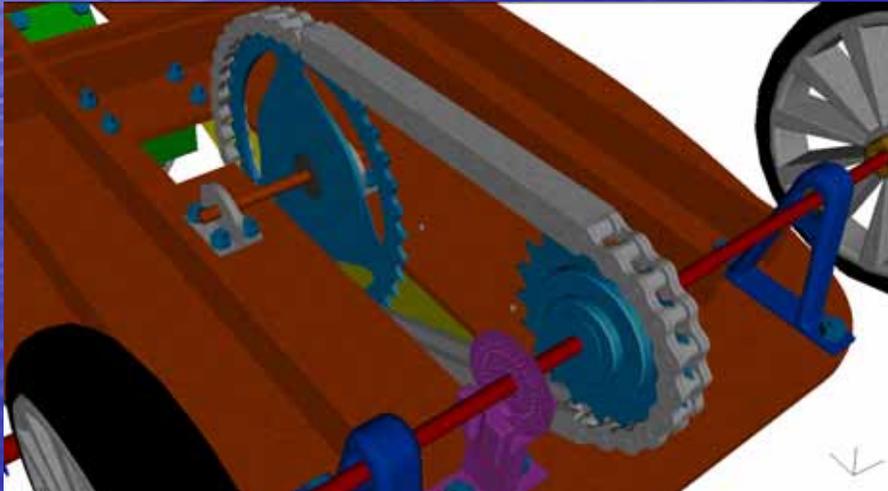
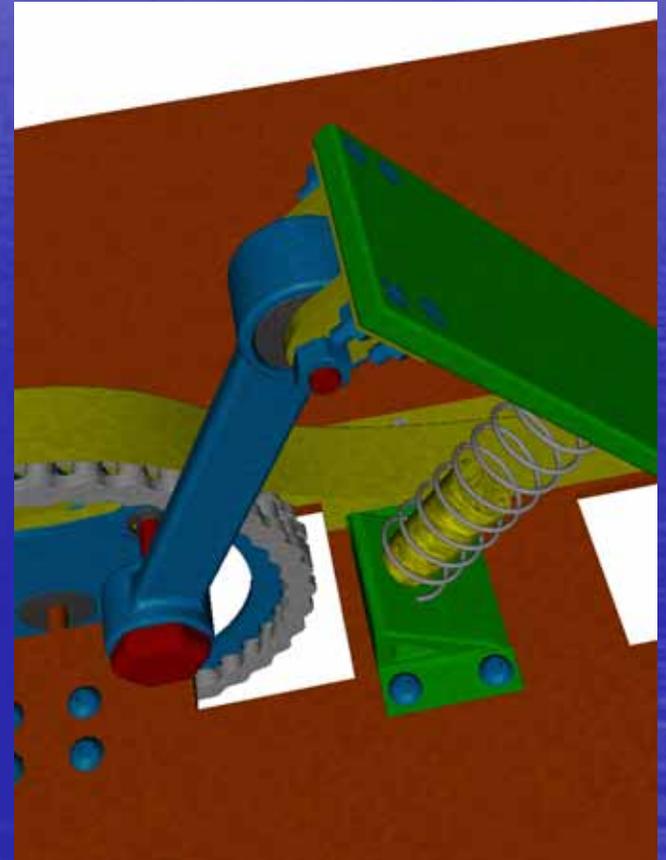
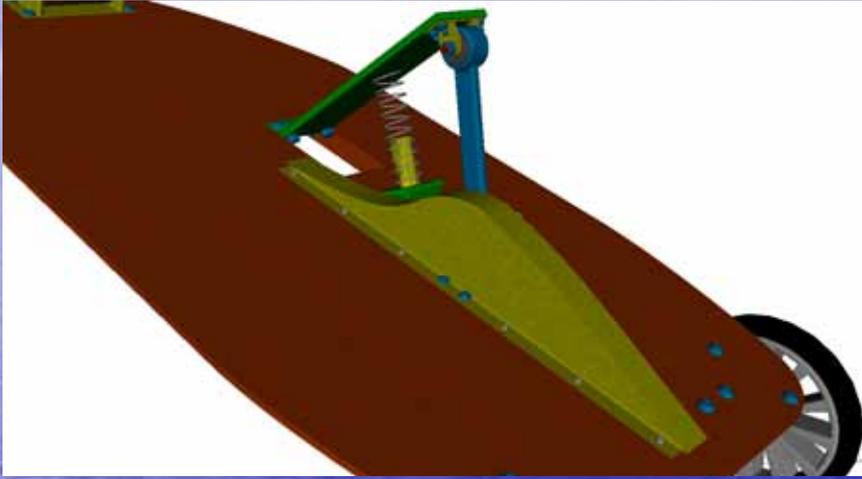
- Búsqueda de solución intermedia
  - Elevada autonomía
  - Robustez
  - Estabilidad
  - Velocidad
- Diseño íntegro en un sistema CAD/CAE/CAM

- Introducción
- Objetivo y alcance del proyecto
- Propuesta de diseño
- Cálculo estático
- Cálculo dinámico
- Conclusiones

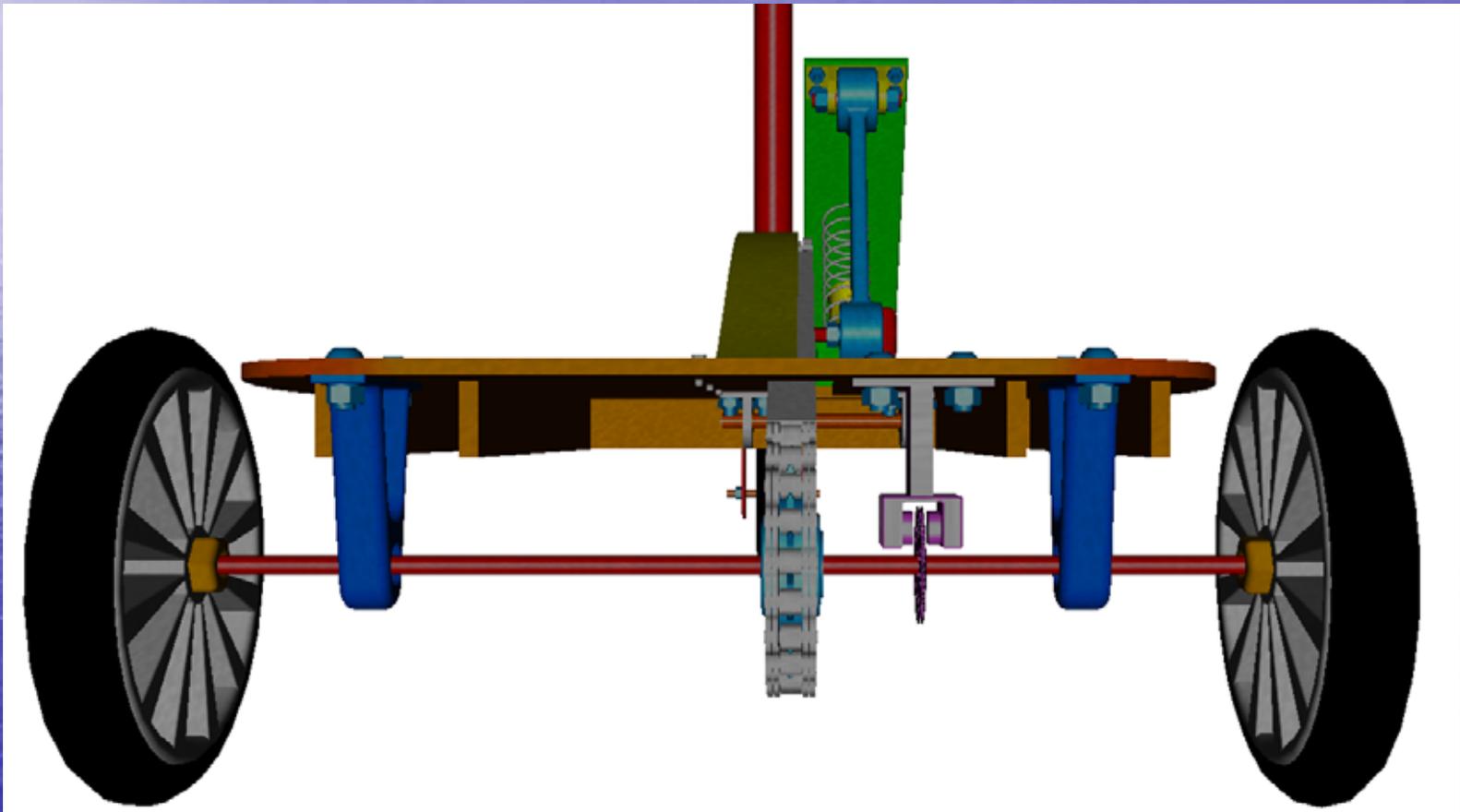
# Propuesta de diseño



# Propuesta de diseño



# Propuesta de diseño



- Introducción
- Objetivo y alcance del proyecto
- Propuesta de diseño
- Cálculo estático
- Cálculo dinámico
- Conclusiones

# Cálculo estático

- Existencia de elementos más solicitados



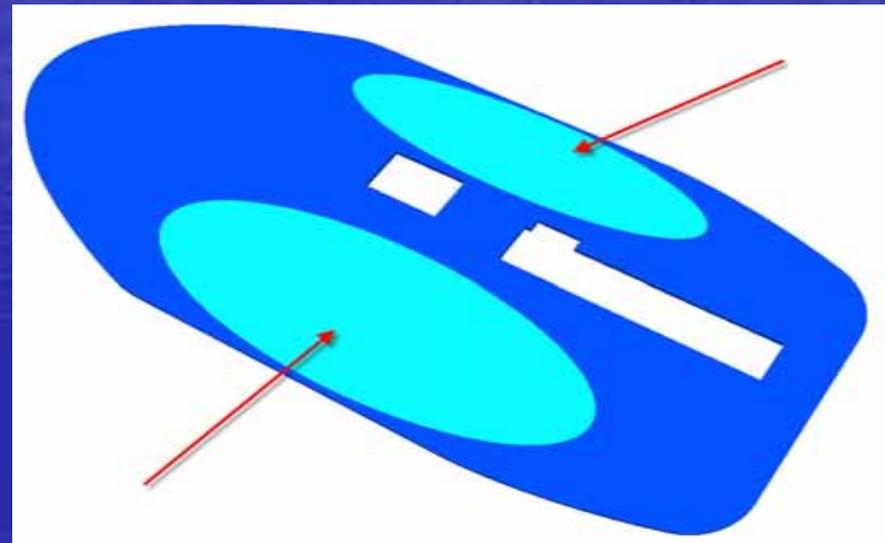
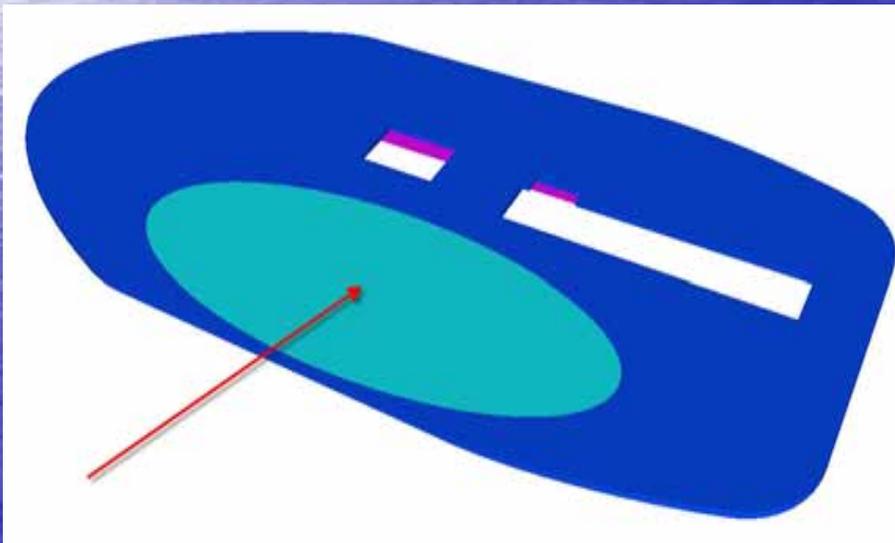
- Comprobación estructural: FEM
- Condiciones de cálculo
  - Empleo de aluminio ( $S_y=110\text{MPa}$ )
  - Carga de prueba elevada
- Elementos estructurales básicos
  - Tabla
  - Tren delantero
- Coeficiente de seguridad en servicio  $> 2$

# Cálculo estático: tabla

- Casos estudiados

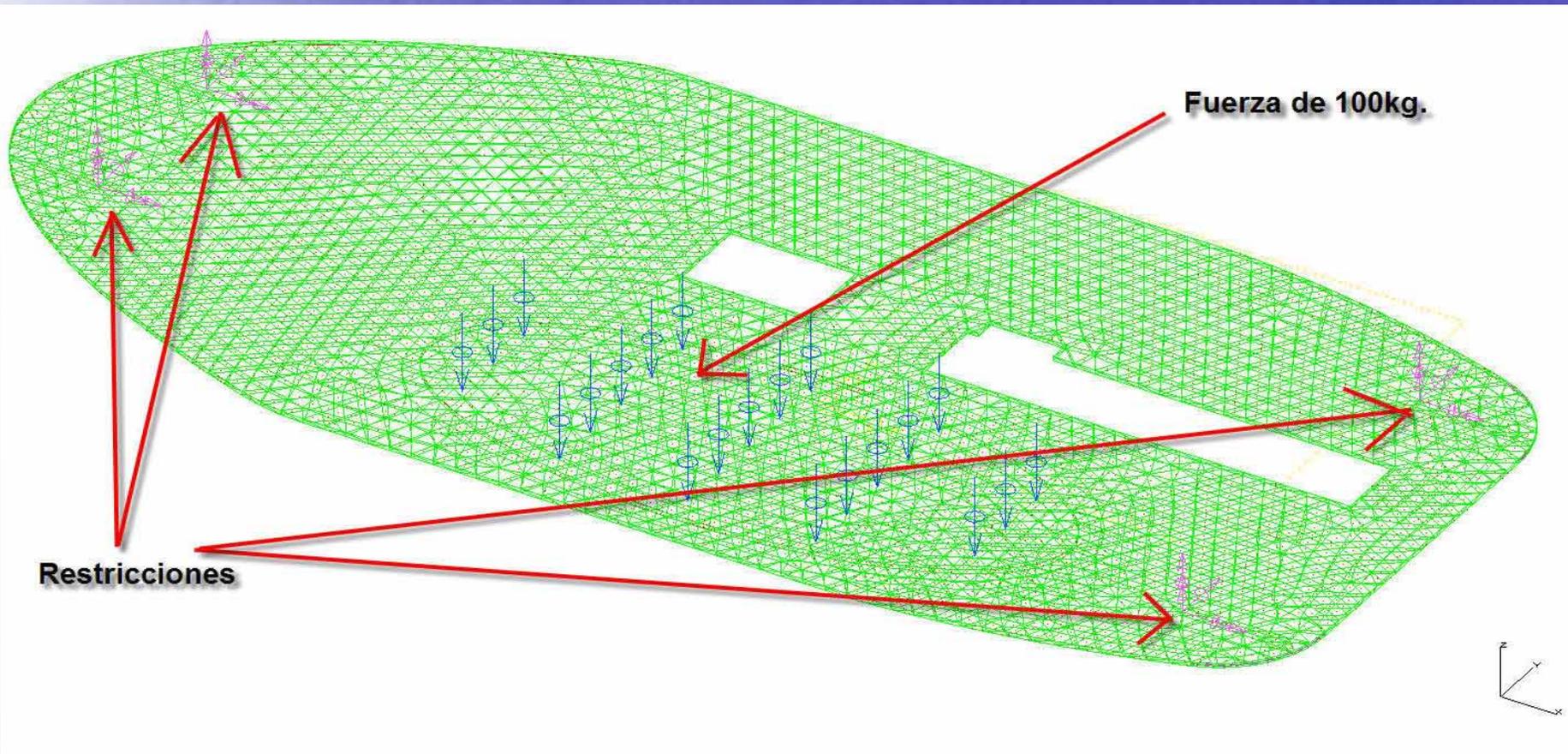
- Carga de 100kg.

- Cargas de 50kg.



# Condiciones de contorno

- Punto de partida: espesor 2mm.



# Tabla 2mm

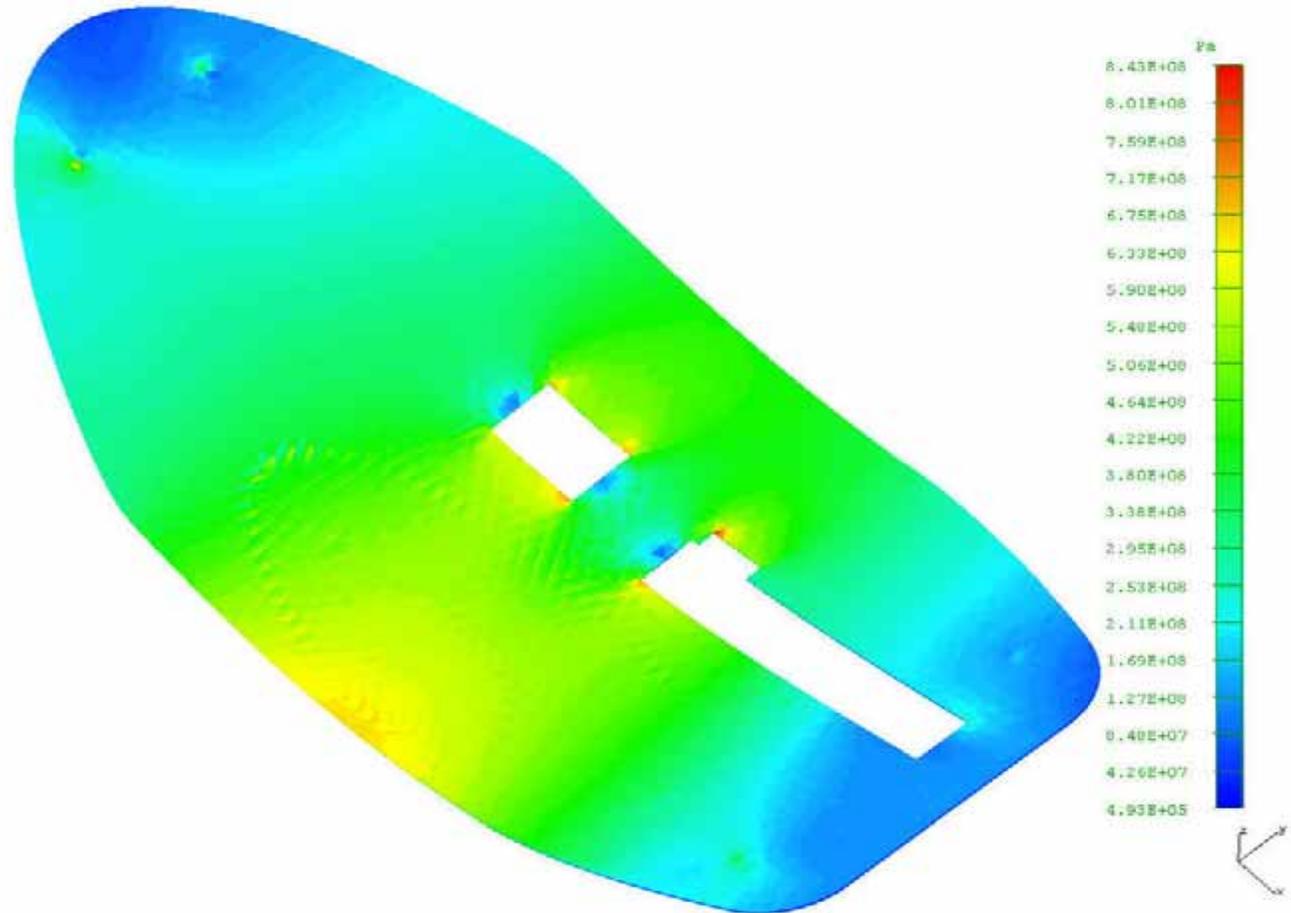
❖ Tensión: 843MPa

❖ Flecha: 27cm



NO CUMPLE

```
Display 1  
Fem1  
B.C. 1,STRESS_3,LOAD SET 1  
D:\idf11\fe6.mf1  
STRESS Von Mises Unaveraged Top shell  
Min: 1.11E+06 Pa Max: 8.43E+08 Pa  
B.C. 1,DISPLACEMENT_1,LOAD SET 1  
D:\idf11\fe6.mf1  
DISPLACEMENT XYZ Magnitude  
Min: 1.65E-04 m Max: 2.69E-01 m  
Part Coordinate System
```



# Tabla 4mm

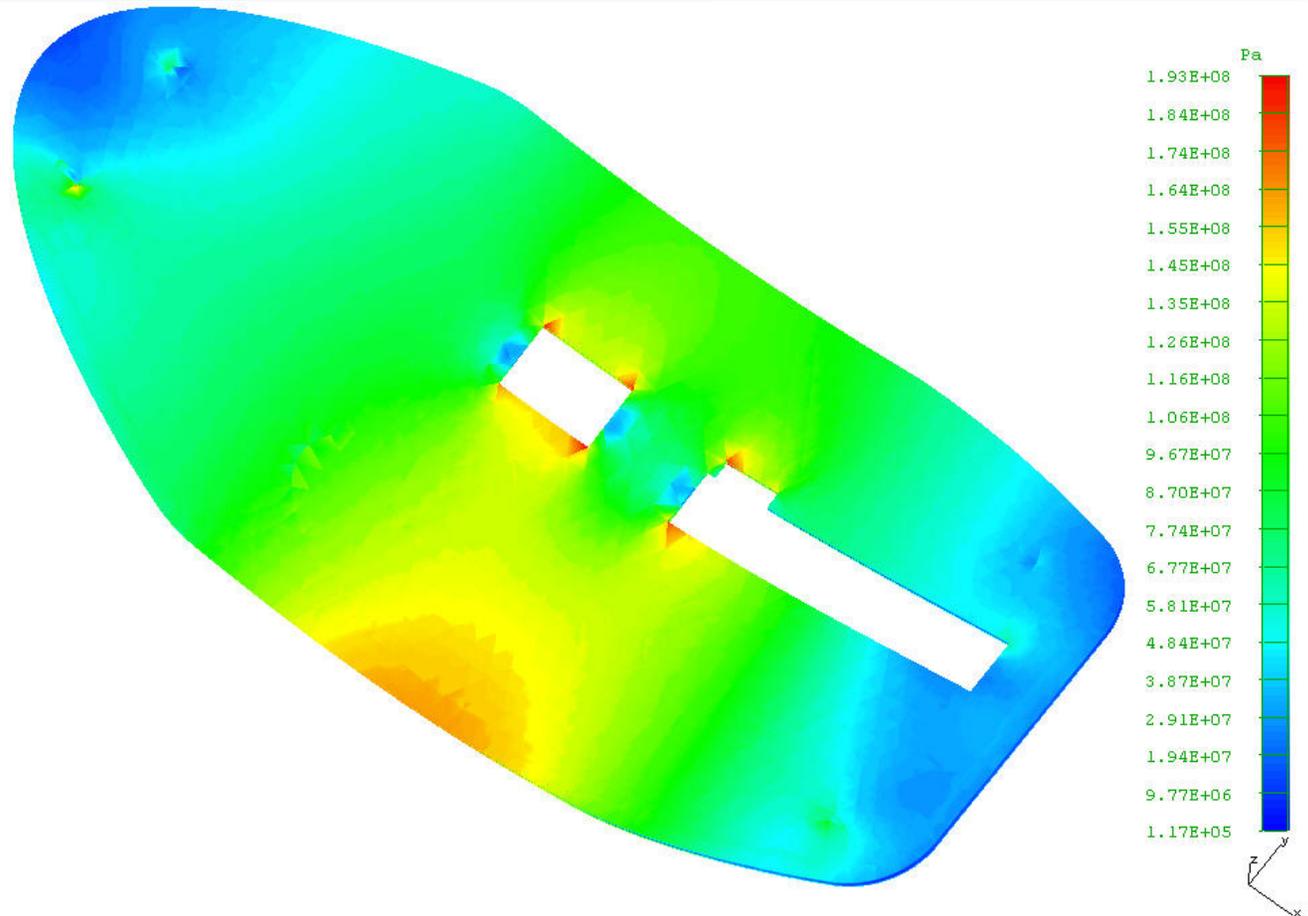
❖ Tensión: 193 MPa

❖ Flecha: 3.5cm



NO CUMPLE

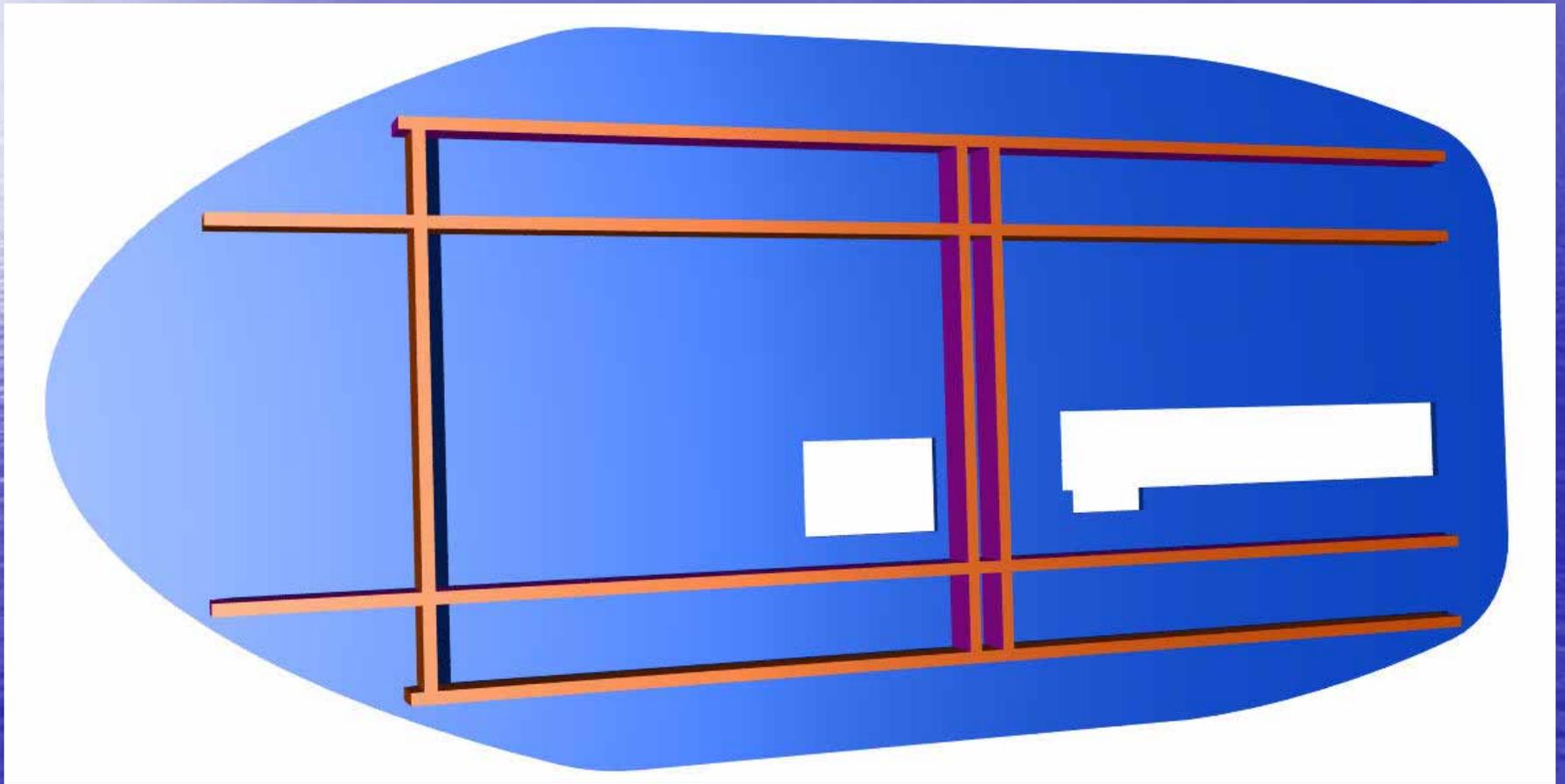
```
Display 1
Fem1
  B.C. 1,STRESS_3,LOAD SET 1
D:\idfil\fe6.mfl
STRESS Von Mises Unaveraged Top shell
Min: 4.02E+05 Pa Max: 1.93E+08 Pa
  B.C. 1,DISPLACEMENT_1,LOAD SET 1
D:\idfil\fe6.mfl
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Min: 6.74E-03 m Max: 3.45E-02 m
Part Coordinate System
```



# Alternativas

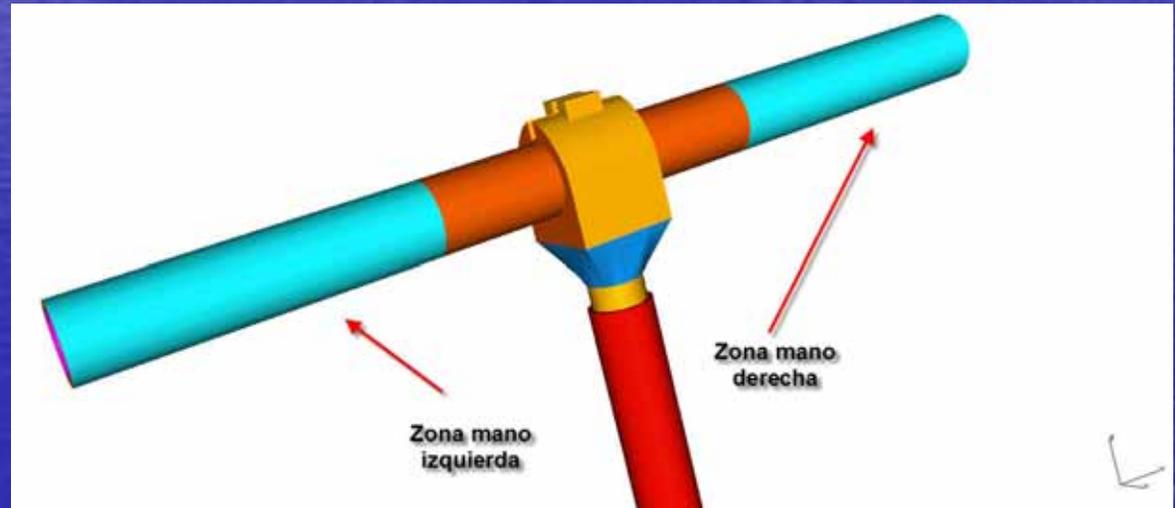
- Incrementar espesor de la tabla
- Otro material (acero)
- Empleo de rigidizadores

# Solución adoptada



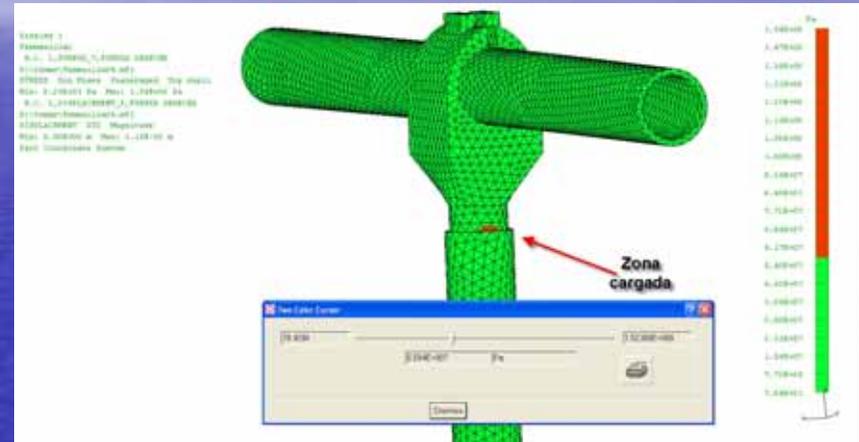
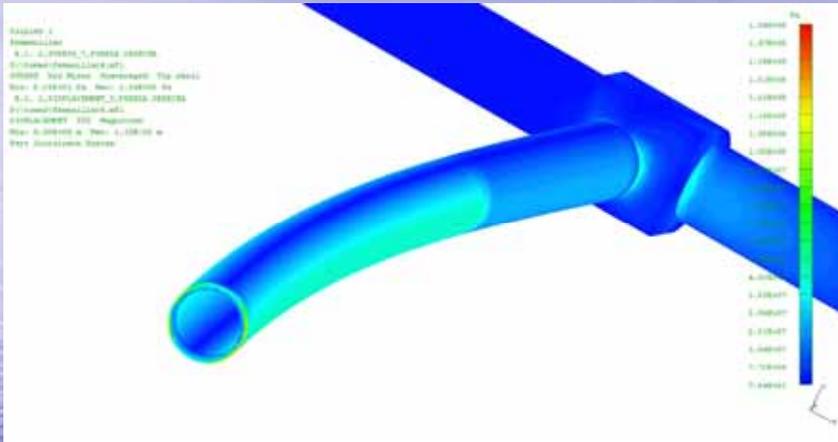


# Cálculo estático: tren delantero

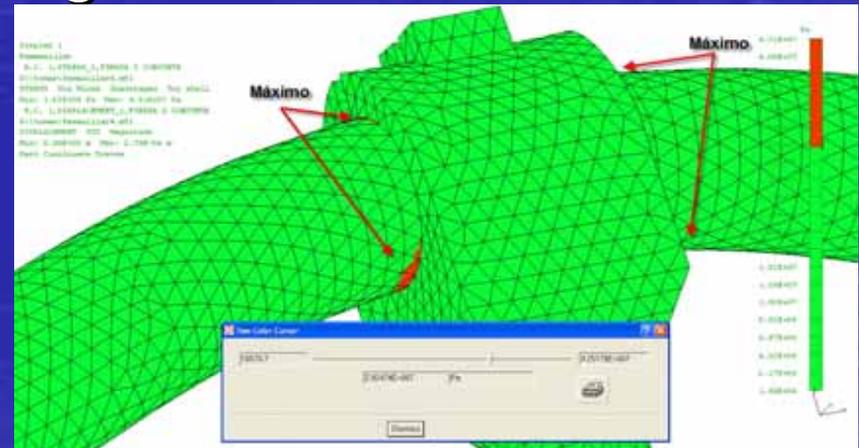
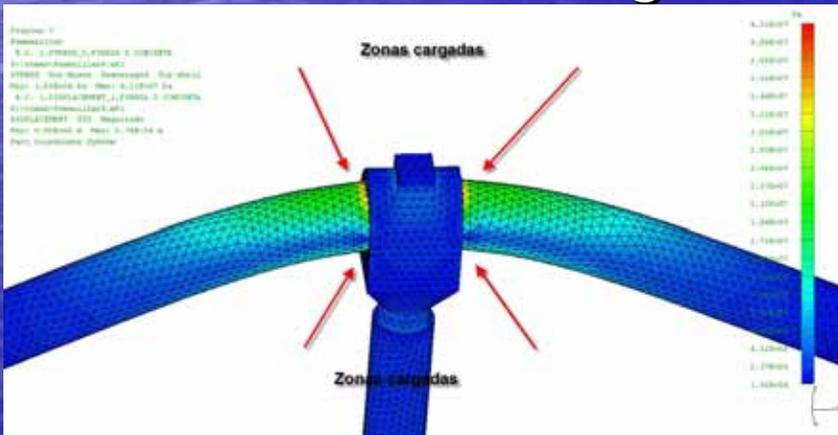


# Resultados

- Carga de 30kg lateral

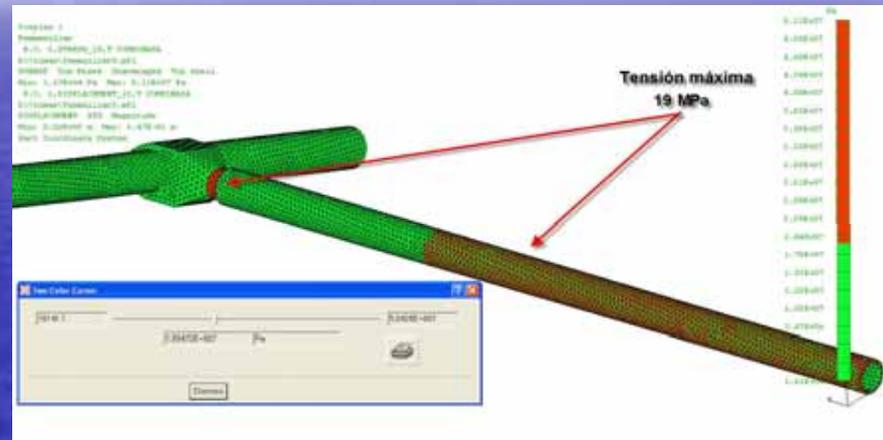
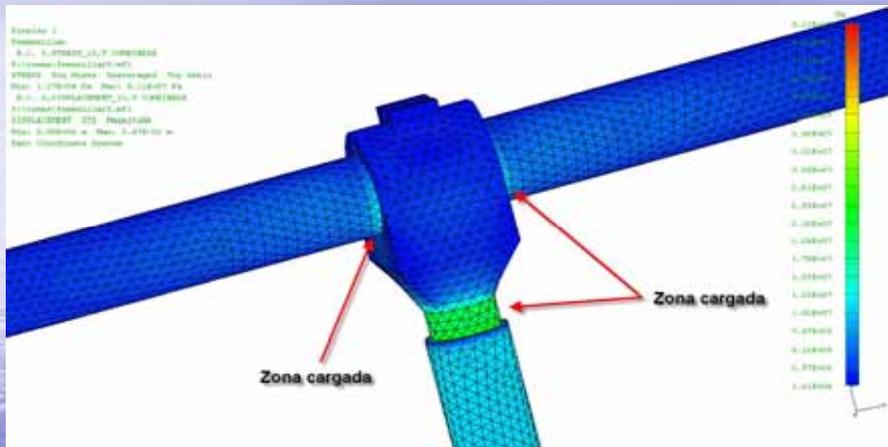


- Carga de 30kg simétrica

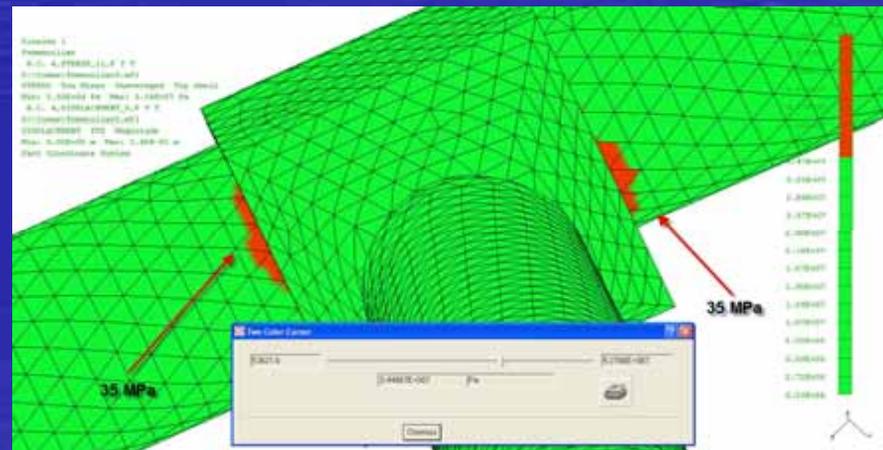
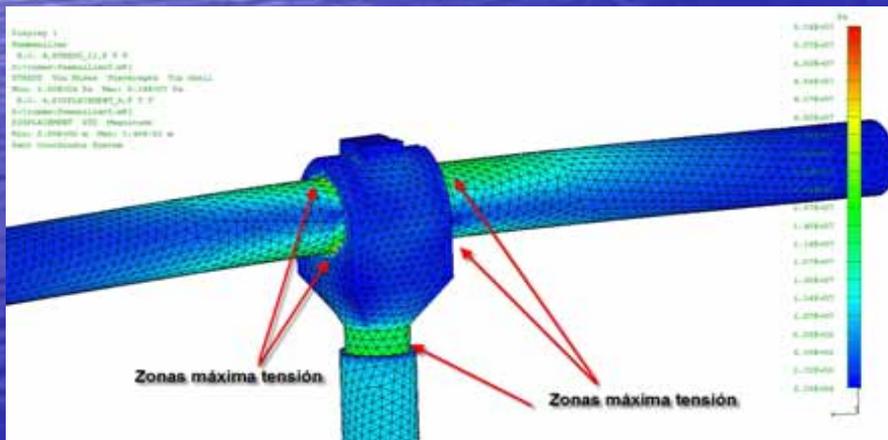


# Resultados

- Torsión 5kg



- Combinada



# Resumen del cálculo estático

- Modificaciones en elementos estructurales
- Rediseño
- Coeficiente de seguridad  $> 2$

- Introducción
- Objetivo y alcance del proyecto
- Propuesta de diseño
- Cálculo estático
- Cálculo dinámico
- Conclusiones

# Cálculo dinámico

- Condiciones de estudio
  - Fuerza de 100kg sobre el pedal
  - Patinete parado

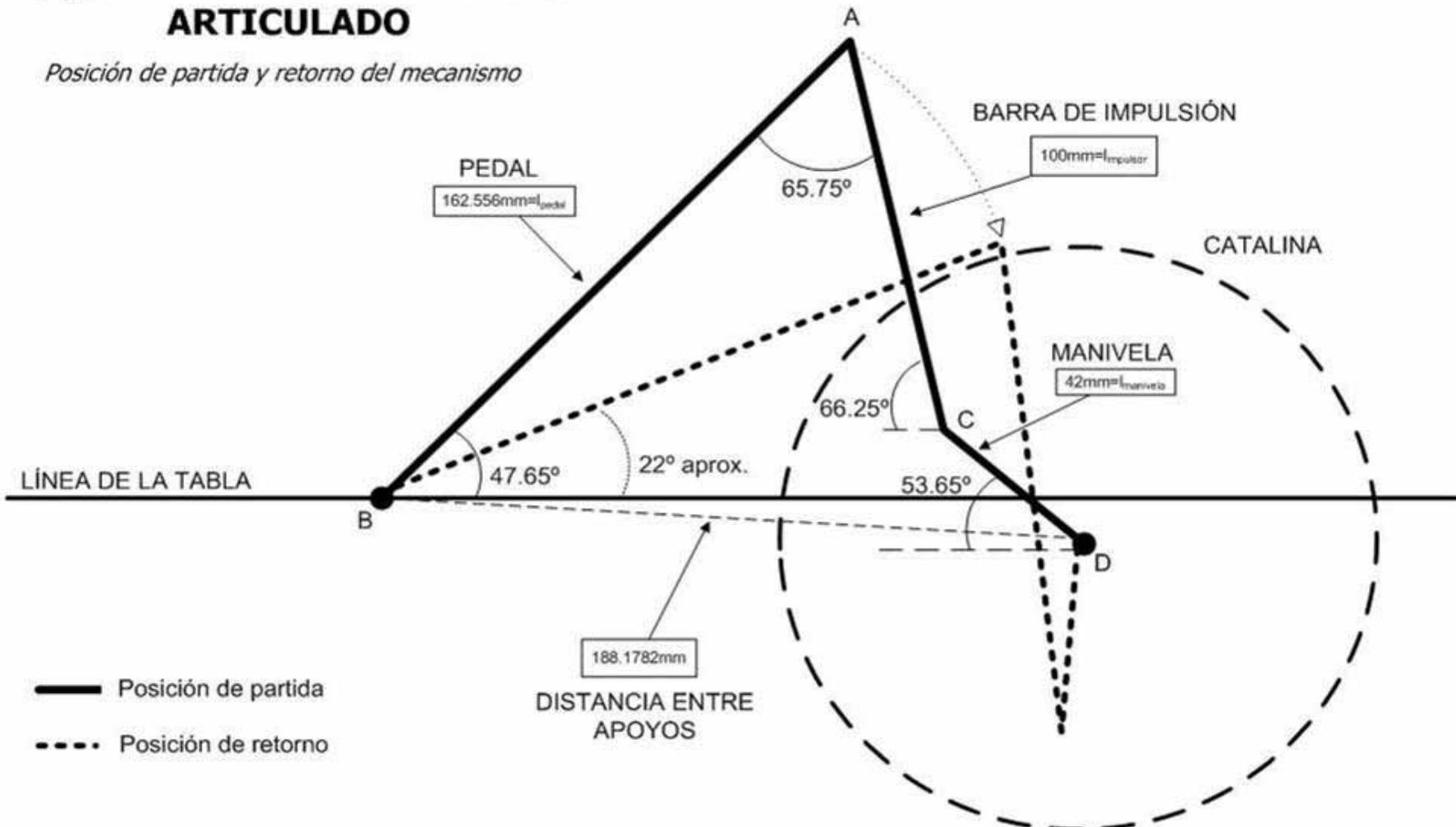


- Posición inicial del mecanismo → esfuerzos
- División en 7 sólidos rígidos

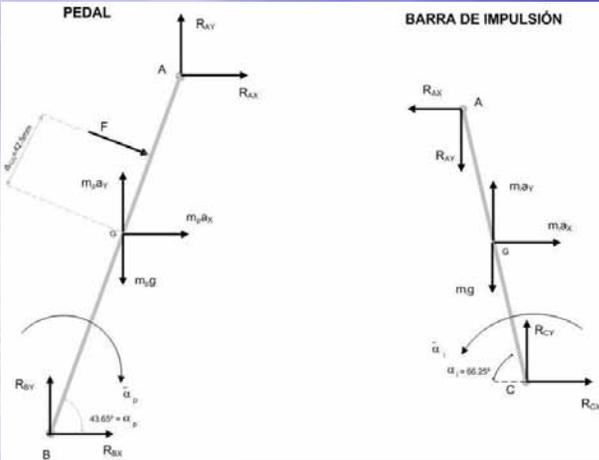
# Posición inicial

## ESQUEMA DEL CUADRILÁTERO ARTICULADO

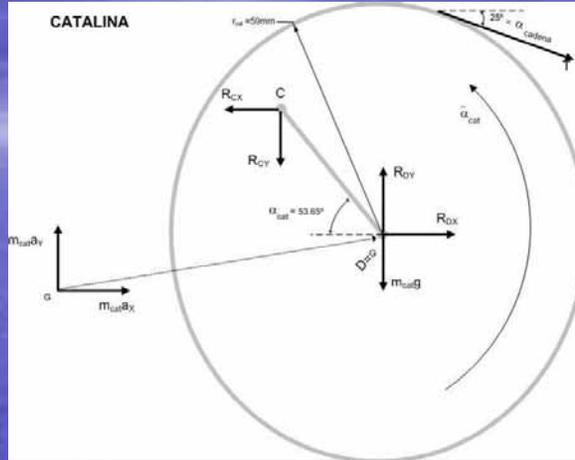
*Posición de partida y retorno del mecanismo*



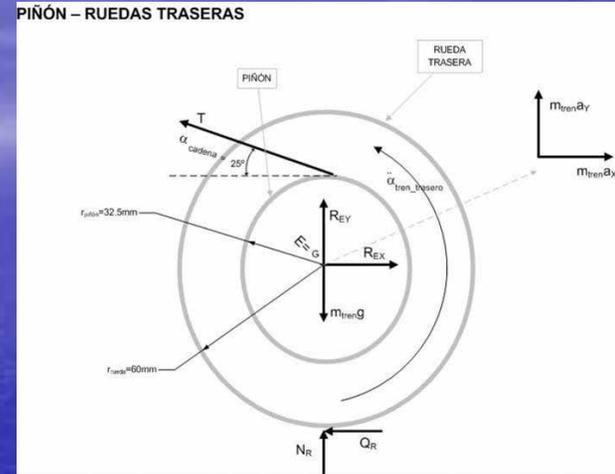
# Esfuerzos



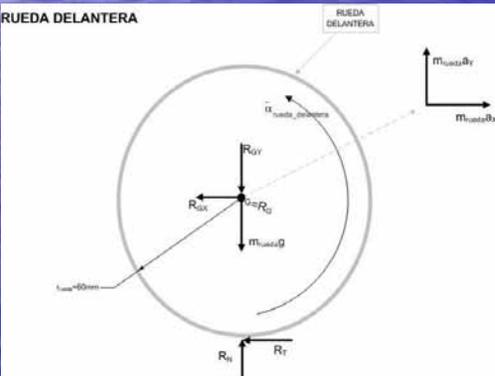
Pedal e impulsor



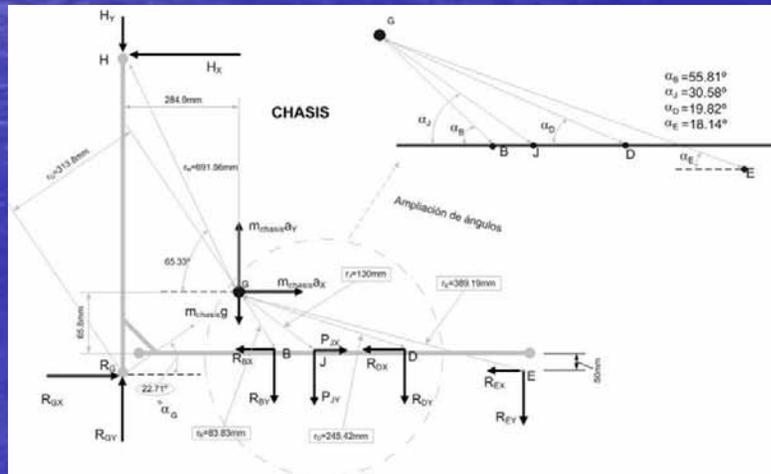
Catalina



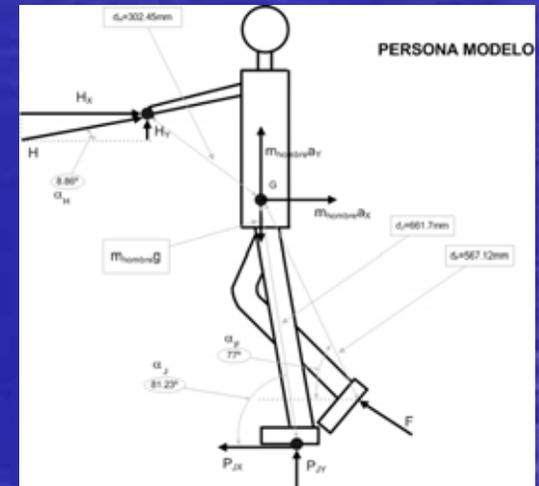
Tren trasero



Rueda delantera



Chasis



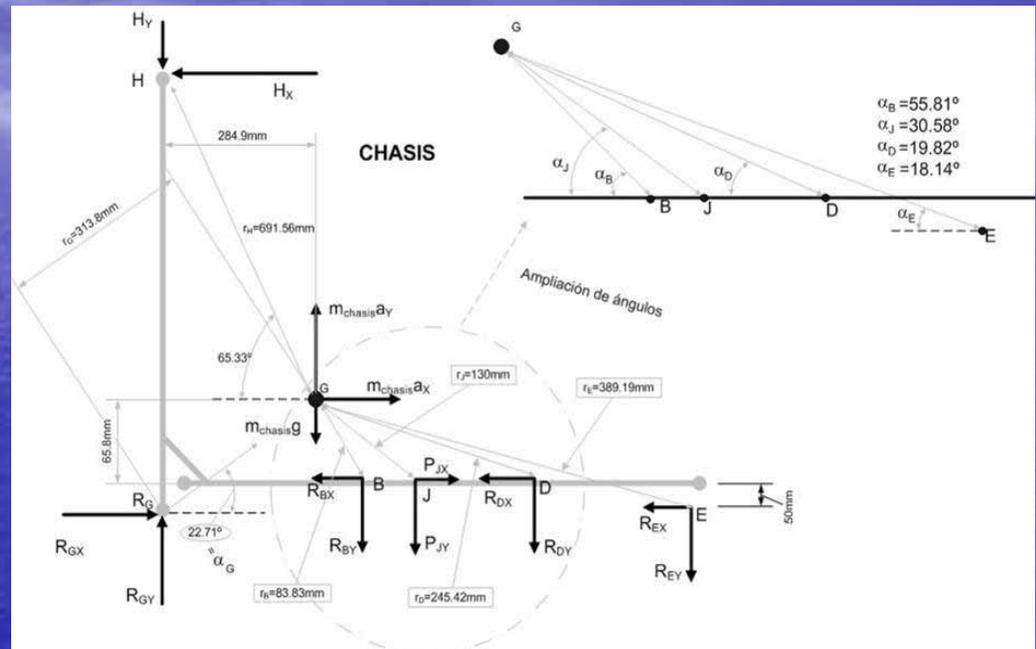
Persona modelo

# Resolución de ecuaciones

- Resolución conjunta del problema cinemático y dinámico
  - Sistema de 40 ecuaciones y 40 incógnitas
  - Dato de entrada:
    - Fuerza aplicada sobre el pedal: Estimación 100 kg
  - Incógnitas:
    - Reacciones en las uniones
    - Aceleraciones de cada elemento
  - Ecuaciones:
    - Ecuaciones dinámicas de cada elemento: ecs. Newton
    - Relaciones cinemáticas entre elementos
- Resolución para 3 posiciones de la fuerza y 5 ángulos: MATLAB

# Resolución de ecuaciones

- Ejemplo: chasis



$$-R_{BX} - R_{DX} - R_{EX} + R_{GX} + P_{JX} - H_X - m_{chasis} \cdot a_x = 0$$

$$-R_{BY} - R_{DY} - R_{EY} + R_{GY} - H_Y - P_{JY} - m_{chasis} \cdot g - m_{chasis} \cdot a_y = 0$$

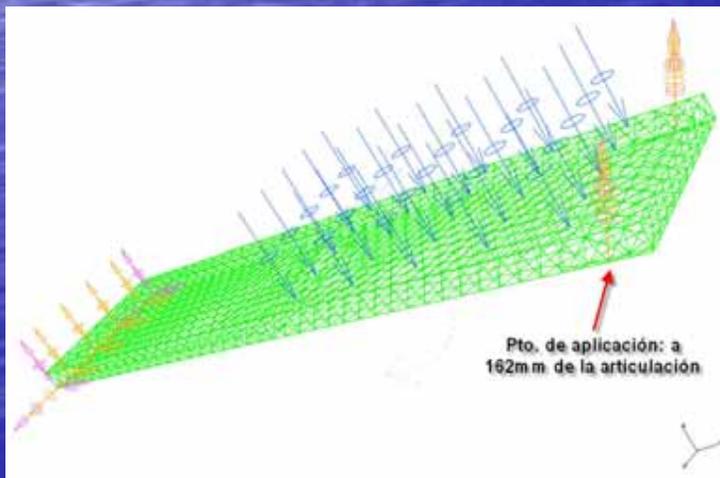
$$\begin{aligned}
 & - (R_{BX} \cdot \sin(\alpha_B) + R_{BY} \cdot \cos(\alpha_B)) \cdot r_B - (R_{DX} \cdot \sin(\alpha_D) + R_{DY} \cdot \cos(\alpha_D)) \cdot r_D - \\
 & - (R_{EX} \cdot \sin(\alpha_E) + R_{EY} \cdot \cos(\alpha_E)) \cdot r_E + (R_{GX} \cdot \sin(\alpha_G) - R_{GY} \cdot \cos(\alpha_G)) \cdot r_G + \\
 & + (P_{JX} \cdot \sin(\alpha_J) - P_{JY} \cdot \cos(\alpha_J)) \cdot r_J + (H_X \cdot \cos(\alpha_H) + H_Y \cdot \sin(\alpha_H)) \cdot r_H - \\
 & - I_{chasis} \cdot \ddot{\alpha}_{chasis} = 0
 \end{aligned}$$

# Análisis dinámico con I-DEAS

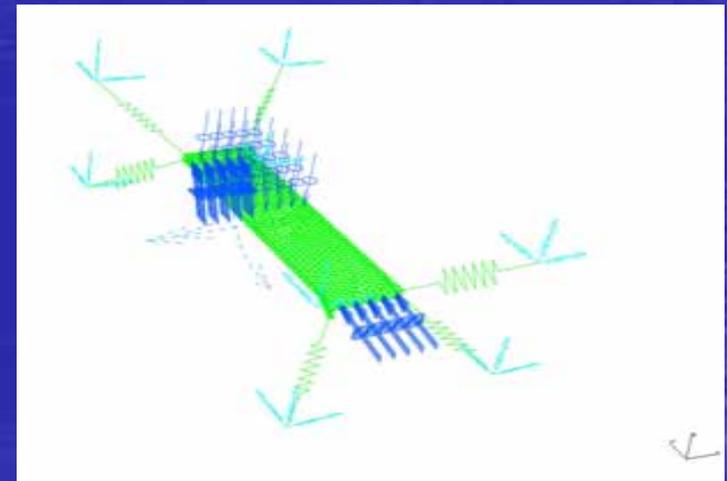
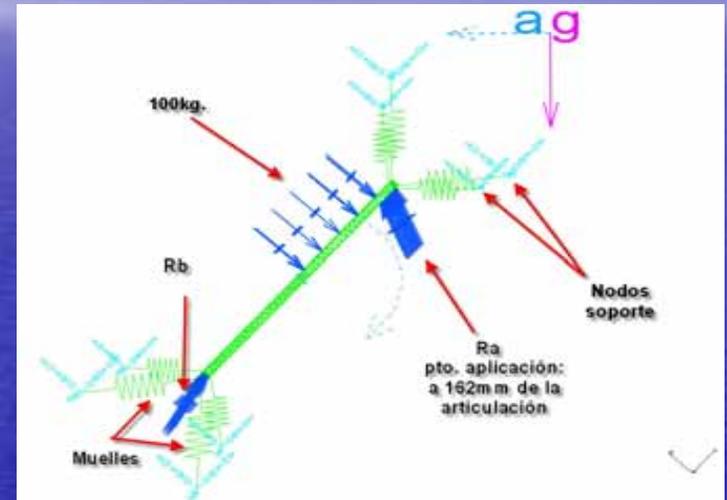
- Caso particular
  - F aplicada en la sección  $\frac{3}{4}$  desde la articulación
  - Normal al pedal
- Estudio del mecanismo en el arranque
- Introducción de aceleraciones y esfuerzos
- Definición de centros de gravedad
- Comprobación particular de cada elemento

# Estudio dinámico del pedal

- Método 1

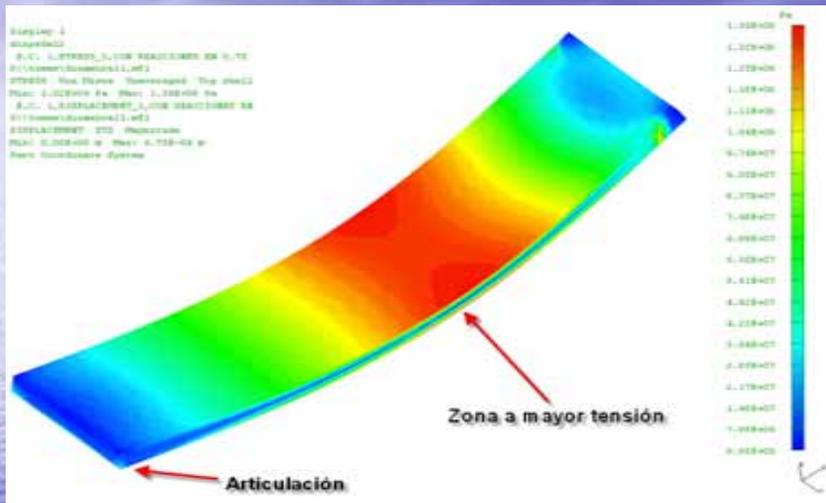


- Método 2

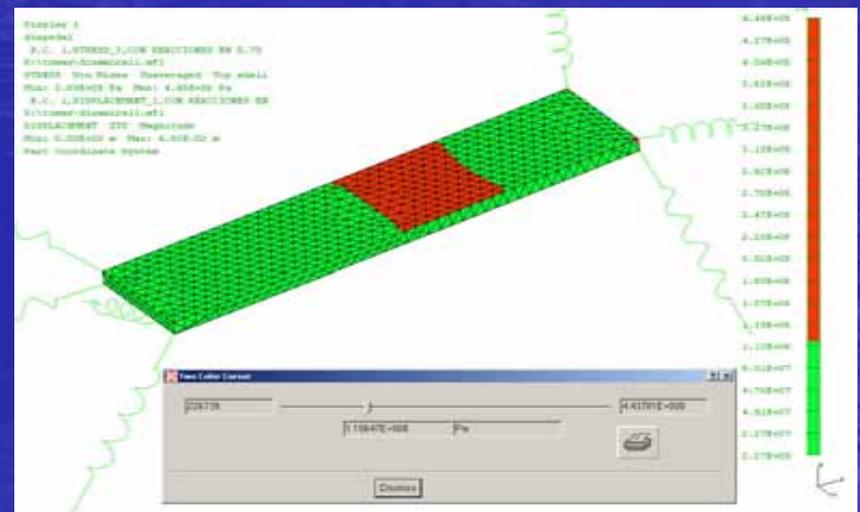
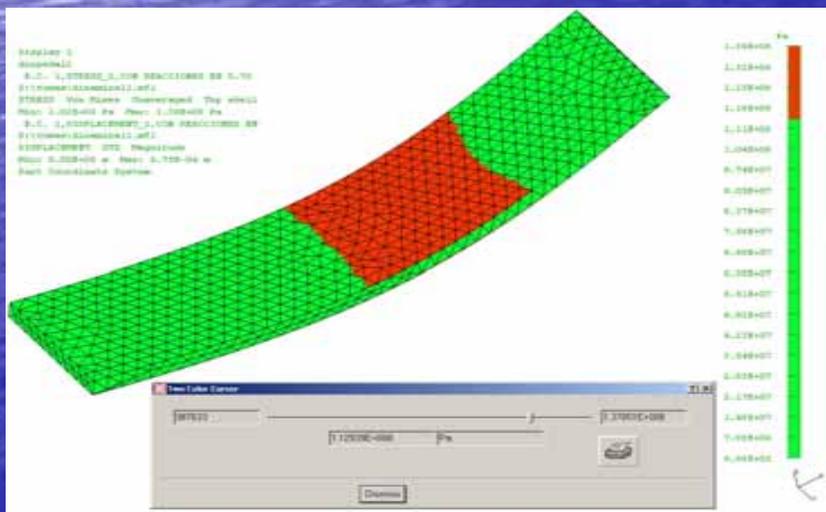
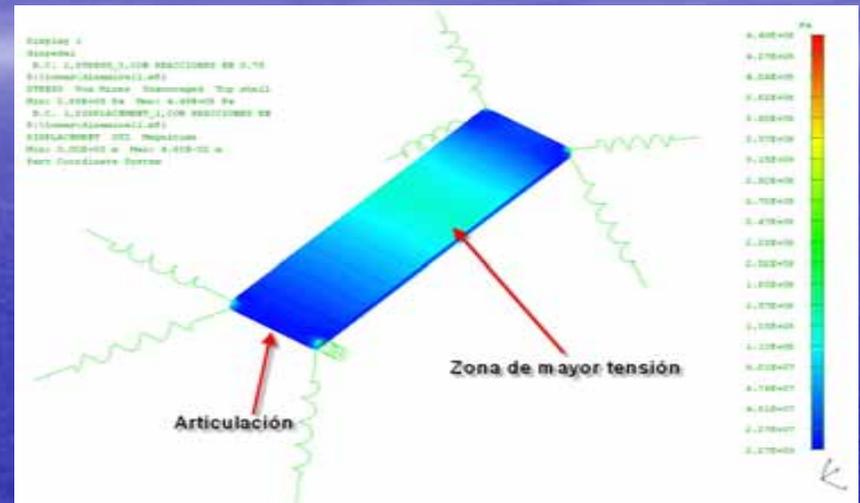


# Resultados

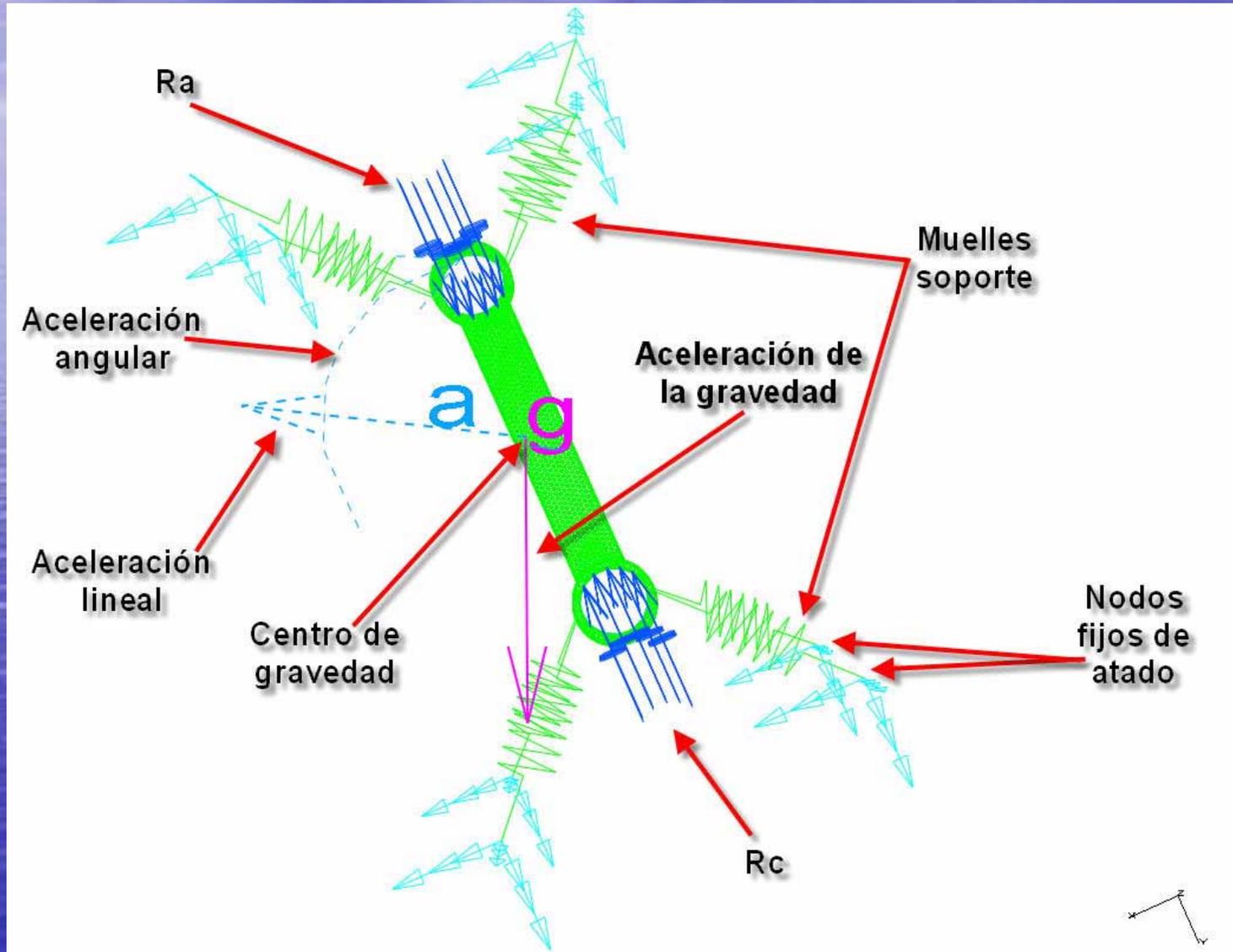
- Método 1



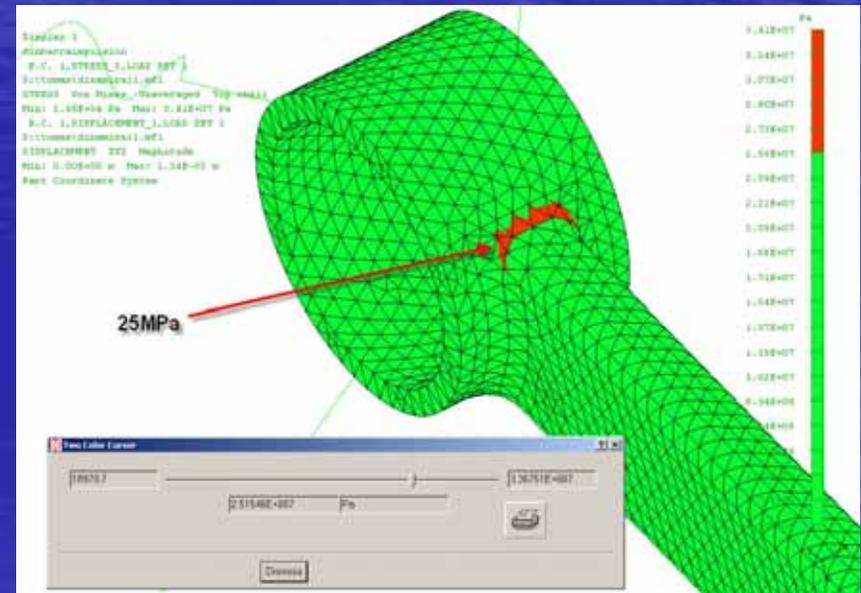
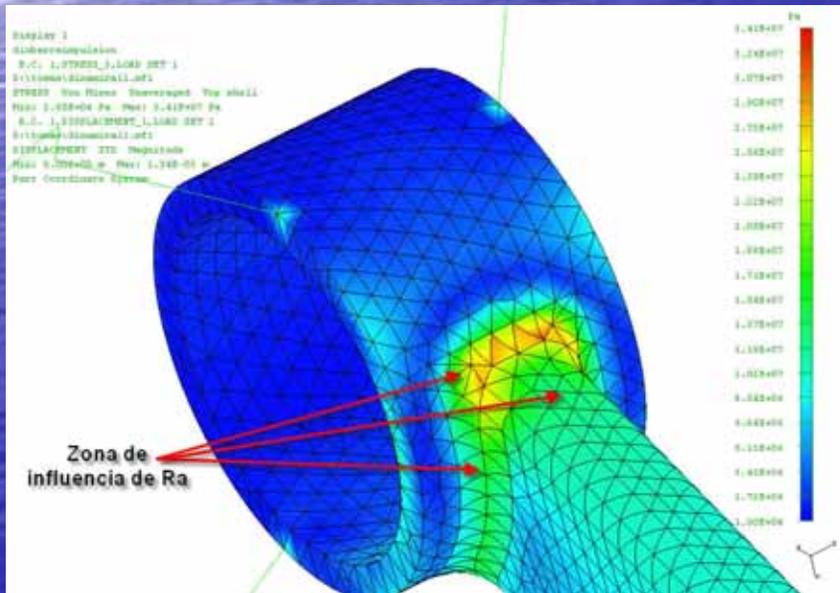
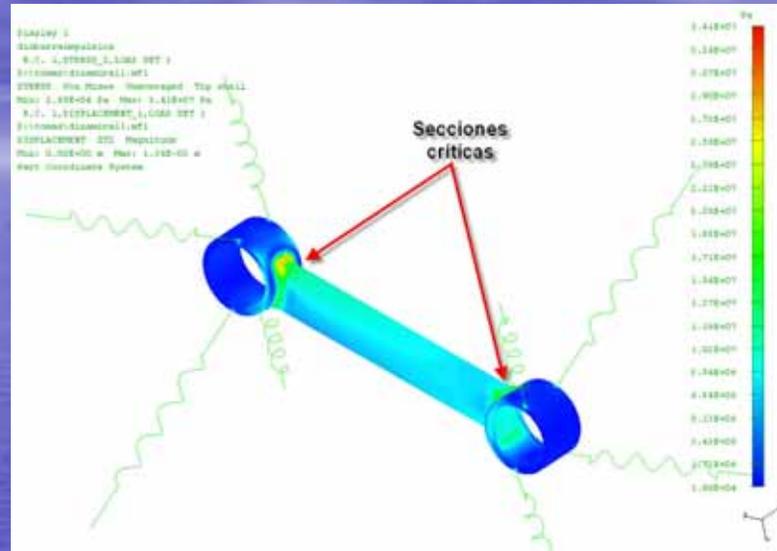
- Método 2



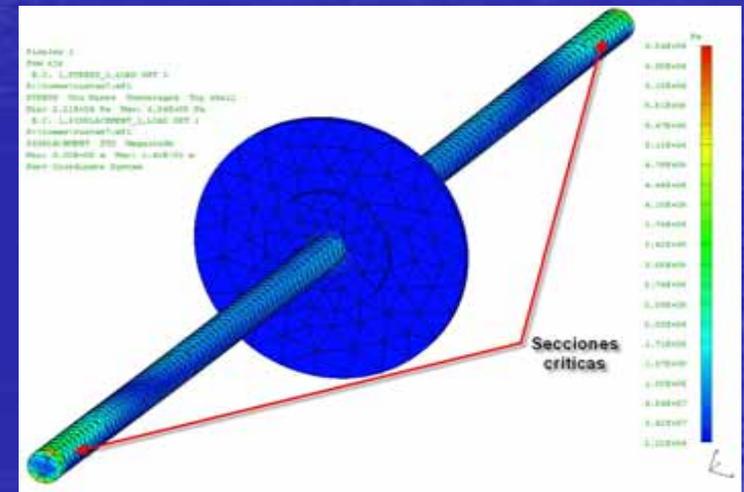
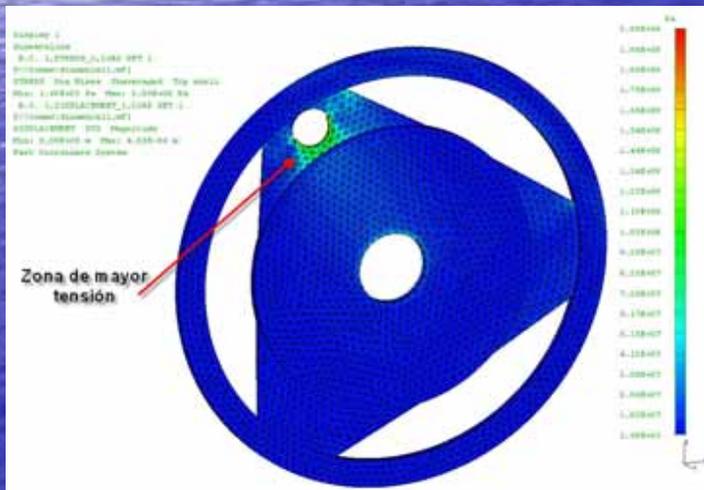
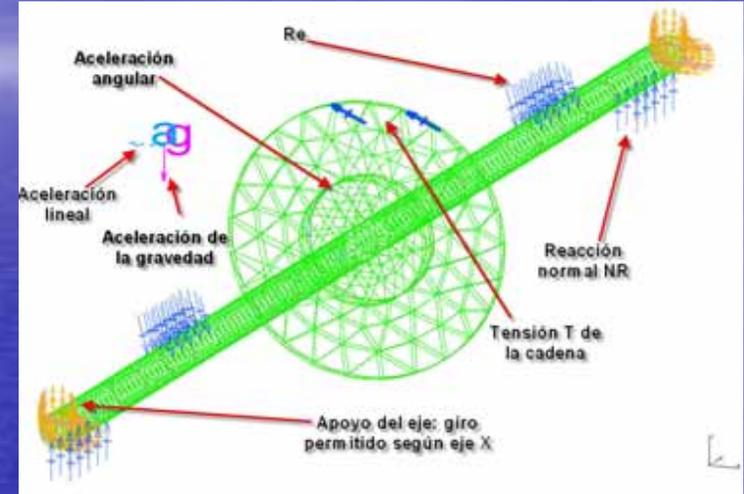
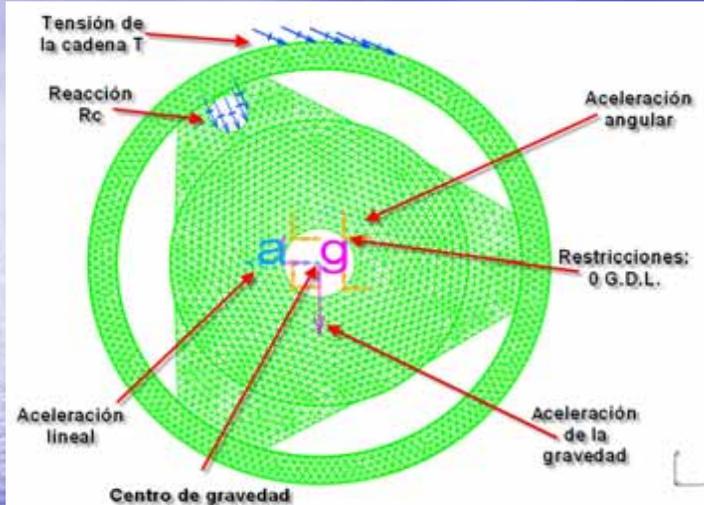
# Estudio dinámico del impulsor



# Resultados



# Otros elementos estudiados



- Catalina

- Eje trasero

# Resultados del cálculo dinámico

- Modificaciones en elementos
  - Rediseño del pedal
  - Elección de otro material
- Coeficiente de seguridad  $> 2$

- Introducción
- Objetivo y alcance del proyecto
- Propuesta de diseño
- Cálculo estático
- Cálculo dinámico
- Conclusiones

# Conclusiones

- Diseño novedoso
- Versatilidad
- Cálculo de elementos estructurales
- Empleo íntegro de herramientas CAD/CAE/CAM

# Prototipo en proceso de fabricación





**UNIVERSIDAD DE A CORUÑA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**



**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Título: ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS  
CAD/CAE/CAM EN EL DISEÑO DE UN PATINETE**

**Autor: Tomás Fraga Martínez**

**Tutor: Manuel Jesús González Castro**

**Febrero 2005**