

# **DISEÑO DE UNA BICICLETA DE MONTAÑA**

Dirigido por: Dr. D. José Ramón de Andrés Díaz

Realizado por: D. Javier López Martínez - [jlopezmtnez@hotmail.com](mailto:jlopezmtnez@hotmail.com)

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  
E.T.S.I. INDUSTRIALES**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

Málaga, Noviembre de 2005

## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

**7.- PRESUPUESTO**

## LA BICICLETA DE MONTAÑA

- ▶ California
- ▶ Años ´80
- ▶ Charlie Kelly & Gary Fisher

- ▶ RÁPIDO CRECIMIENTO
- ▶ CONTINUAS INNOVACIONES
- ▶ SE AMPLÍA SU CAMPO DE ACCIÓN

20 kg



10 kg

### DISCIPLINAS:

- Rally
- Descenso
- *Freeride*
- *All-mountain*



DISEÑO

{ CUADRO  
COMPONENTES

## LA BICICLETA DE MONTAÑA PARA RALLY

### CARACTERÍSTICAS DEL RALLY:

- Ascensos pronunciados
- Rápidos descensos
- Llanos
- Pequeños saltos
- Zonas reviradas con obstáculos

El diseño se realizará para  
personas de entre 170 y  
175 cm de altura

### OBJETIVOS DE DISEÑO:

- Estabilidad y maniobrabilidad
- Peso reducido
- Soportar los esfuerzos
- Rigidez apropiada
- Máxima transmisión del esfuerzo de pedaleo
- Absorción de vibraciones
- Durabilidad, resistencia a los factores atmosféricos
- Coste similar a otros cuadros de las mismas características

## PARTES DE UNA BICICLETA

- El cuadro

### Componentes:

- Ruedas
- Dirección
- Transmisión
- Frenos
- Sillín



## CUADRO RÍGIDO



## CUADRO CON SUSPENSIÓN

- Más ligero: 1,5 kg menos.
- Más económico.

- Mejor comportamiento en descensos sobre terrenos irregulares
- Mayor pérdida de energía del pedaleo



Aunque es creciente el uso de cuadros con suspensión siguen siendo más utilizados los cuadros rígidos.



**OPTAMOS POR EL CUADRO RÍGIDO**

## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

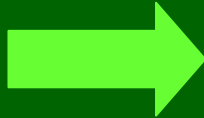
**7.- PRESUPUESTO**

## MATERIAL DEL CUADRO

► AÑOS '80: ACERO (100%)

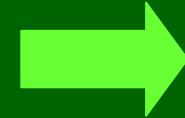
► EN LA ACTUALIDAD:

- Aceros
- Aleaciones de aluminio
- Aleaciones de titanio
- Aleaciones de magnesio
- Fibras de carbono



## CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS:

- Densidad
- Módulo de elasticidad
- Límite de rotura
- Límite de fluencia
- Límite de fatiga
- Elongación
- Tenacidad



**DISEÑO**

ALUMINIO 90 %



## PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

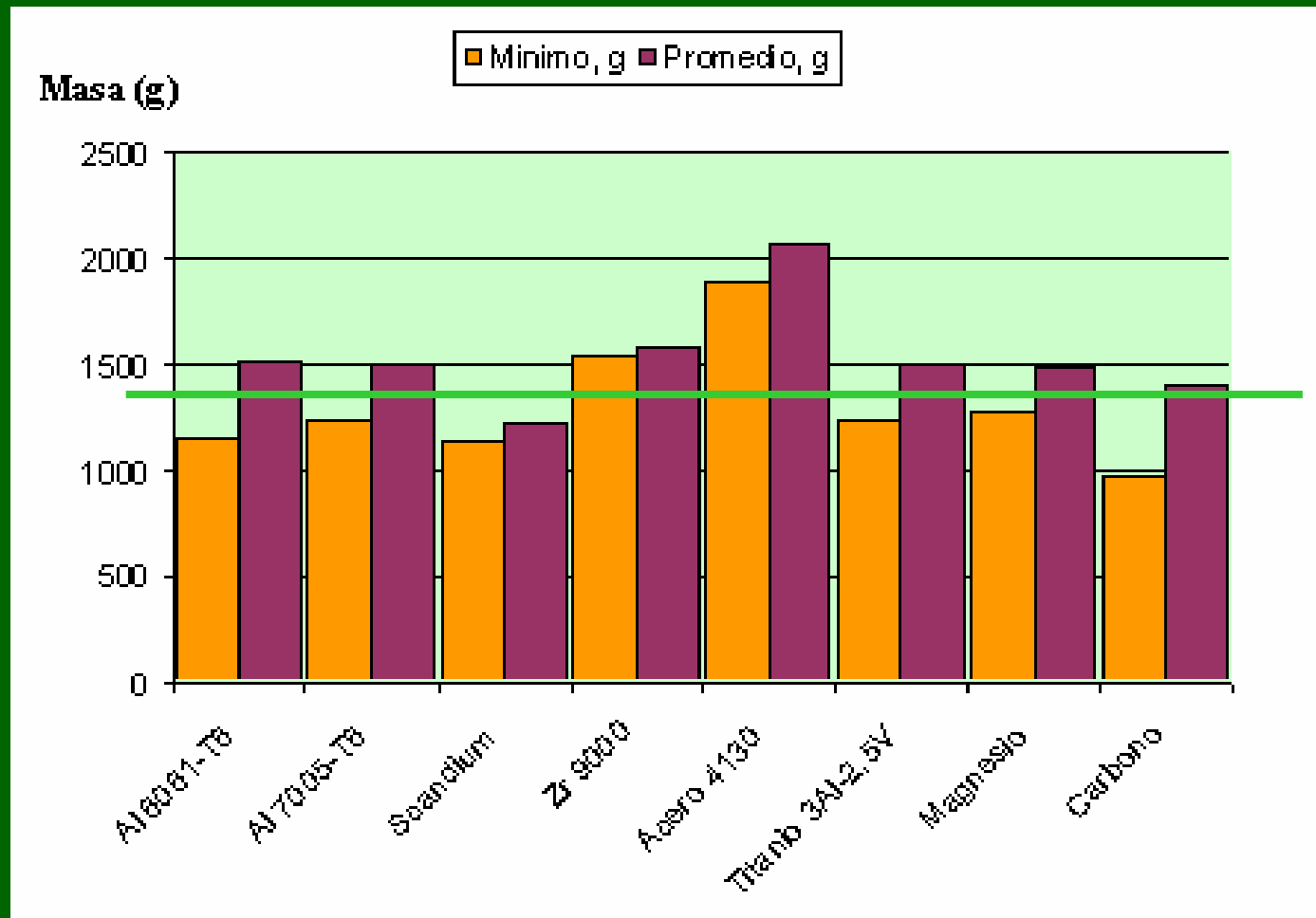
- RESISTENCIA Y COMPORTAMIENTO A FATIGA
- EXTRUSIONABILIDAD
- SOLDABILIDAD
- RESISTENCIA A LOS FACTORES ATMOSFÉRICOS
- AMORTIGUACIÓN DE VIBRACIONES
- RESISTENCIA AL IMPACTO Y A LA ABRASIÓN
- COSTE DEL MATERIAL



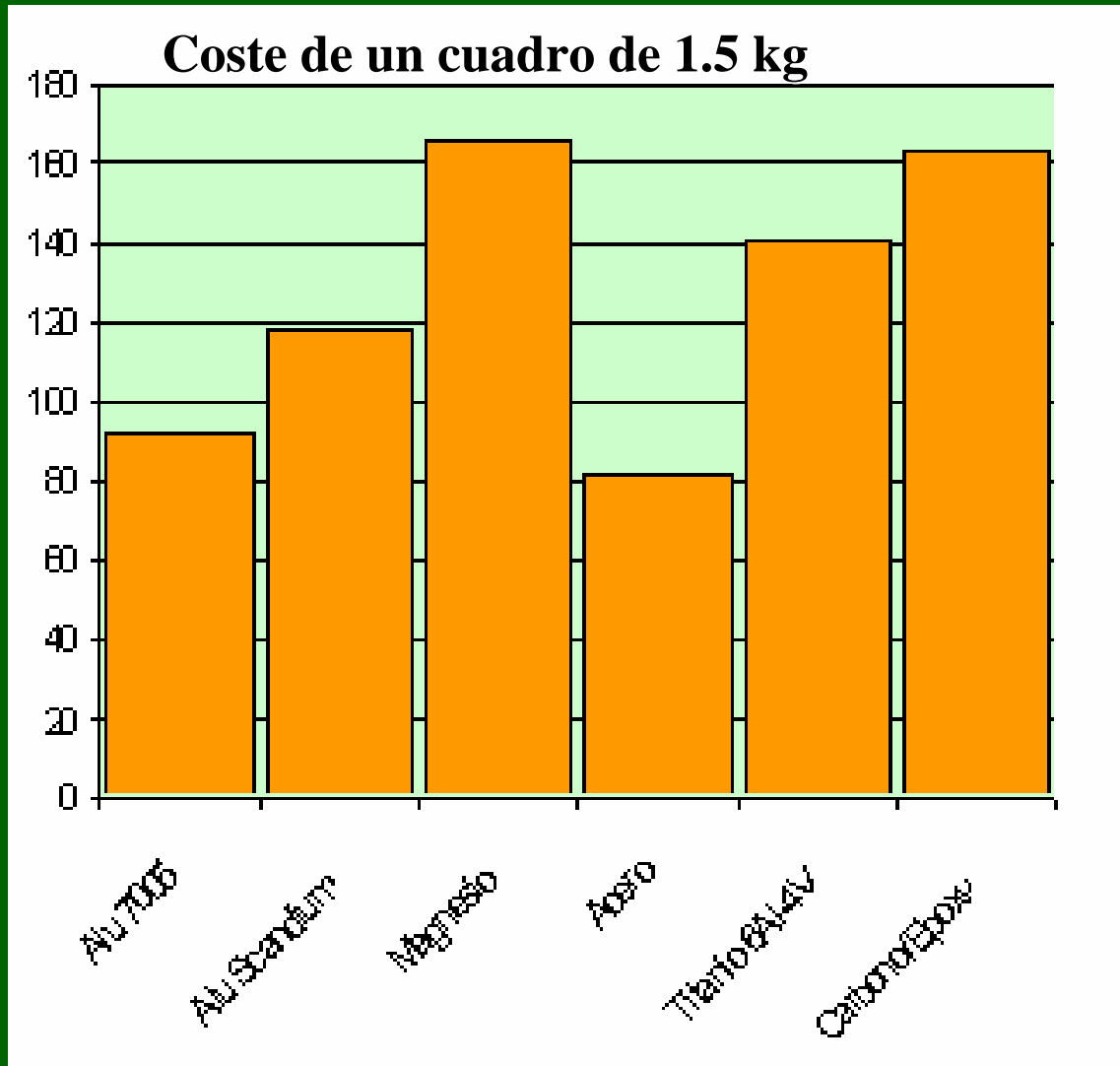
- PESO
- COSTE DE FABRICACIÓN

# PESO DEL CUADRO

MATERIAL → DISEÑO → TAMAÑO Y ESPESOR DEL TUBO → PESO



## COSTE DE FABRICACIÓN DEL CUADRO



- ↑
- MAGNESIO
  - CARBONO
  - TITANIO
  - ALUMINIO
  - ACERO

## RELACIÓN PESO - PRECIO

**ALUMINIO**  **MEJOR RELACIÓN PESO - PRECIO**  
  
**CALIDAD - PRECIO**

**MENOR PRECIO**  **ACERO**

**MENOR PESO**  **CARBONO**

 **ELEGIMOS LAS ALEACIONES DE ALUMINO**

## ALUMINIO SCANDIUM

- ALEACIÓN MODERNA, 7075-T6 + Sc
- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SUPERIORES (**NO** NORMALIZADA)

## ALUMINIO 6061-T6

- ESTADOS UNIDOS
- MEJOR EXTRUSIONABILIDAD
- TRATAMIENTO TÉRMICO

## ALUMINIO 7005-T6

- EUROPA
- MAYOR RESISTENCIA
- MADURACIÓN NATURAL



**ALUMINIO 7005-T6**

## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

**7.- PRESUPUESTO**

# GEOMETRÍA DE LA BICICLETA

CUADRO (COMPONENTES)



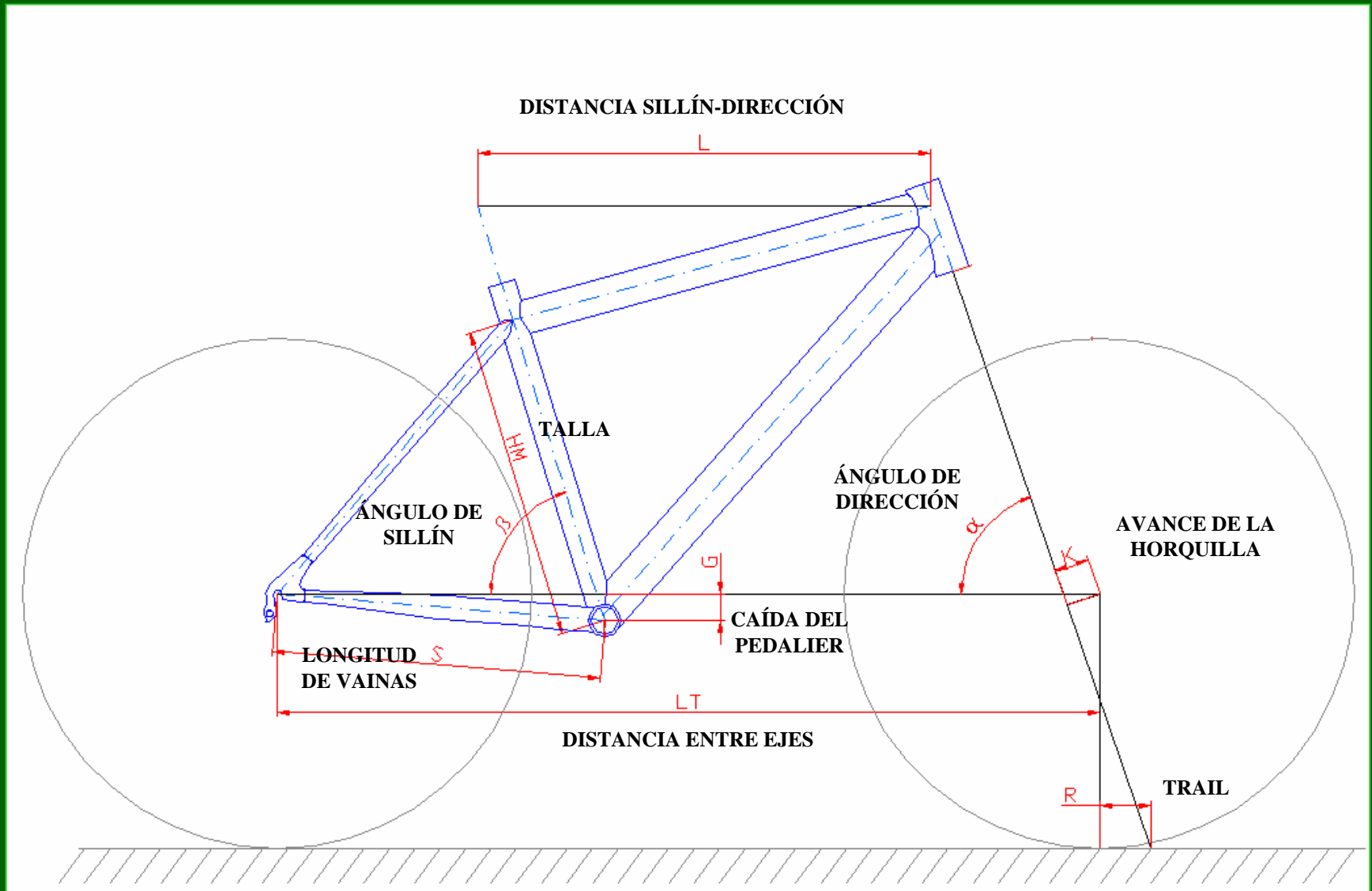
GEOMETRÍA



CONDUCCIÓN









- ESTABILIDAD
- MANEJABILIDAD
- TRACCIÓN
- RENDIMIENTO Y COMODIDAD

## DIMENSIONES FUNDAMENTALES

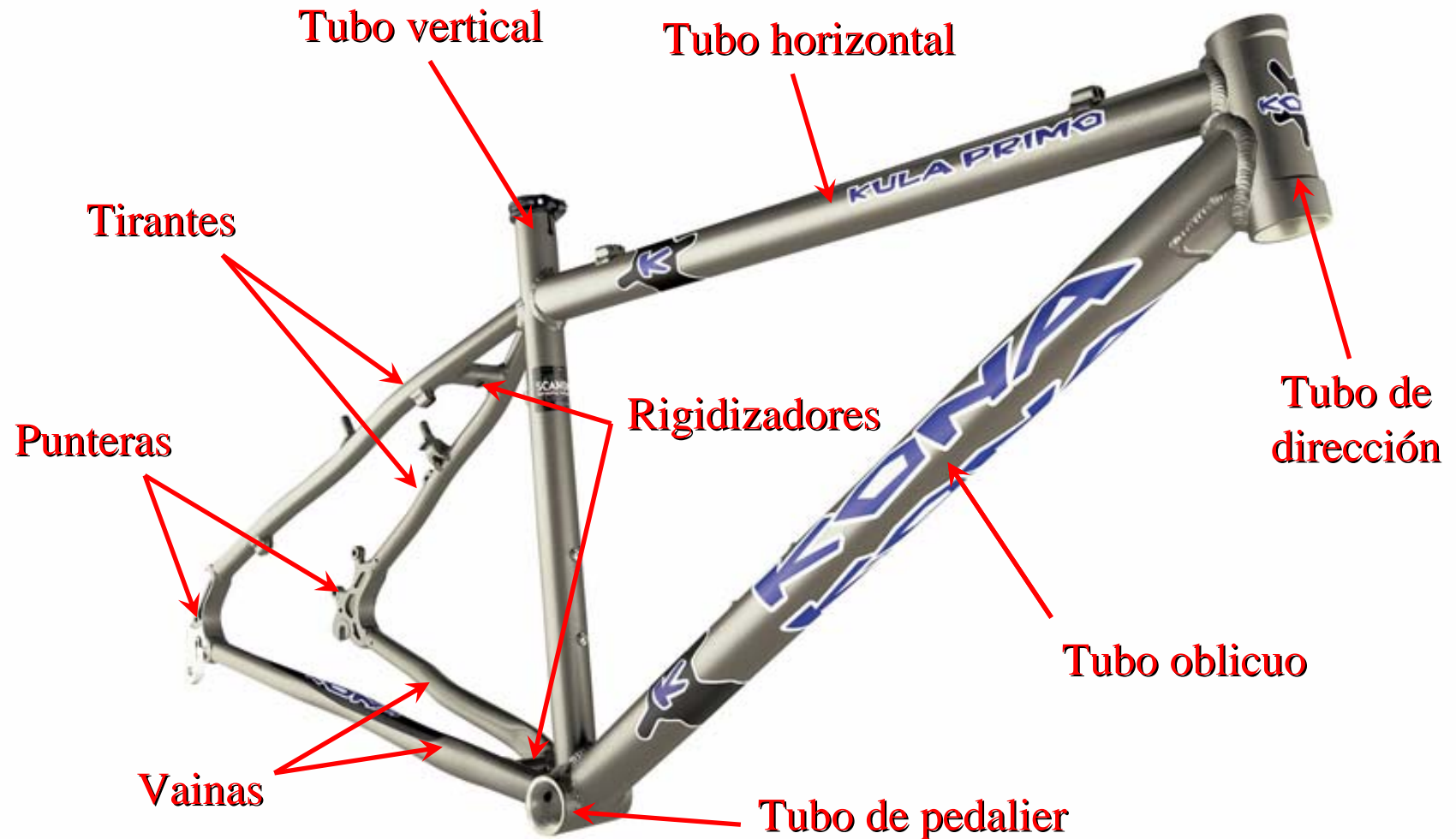




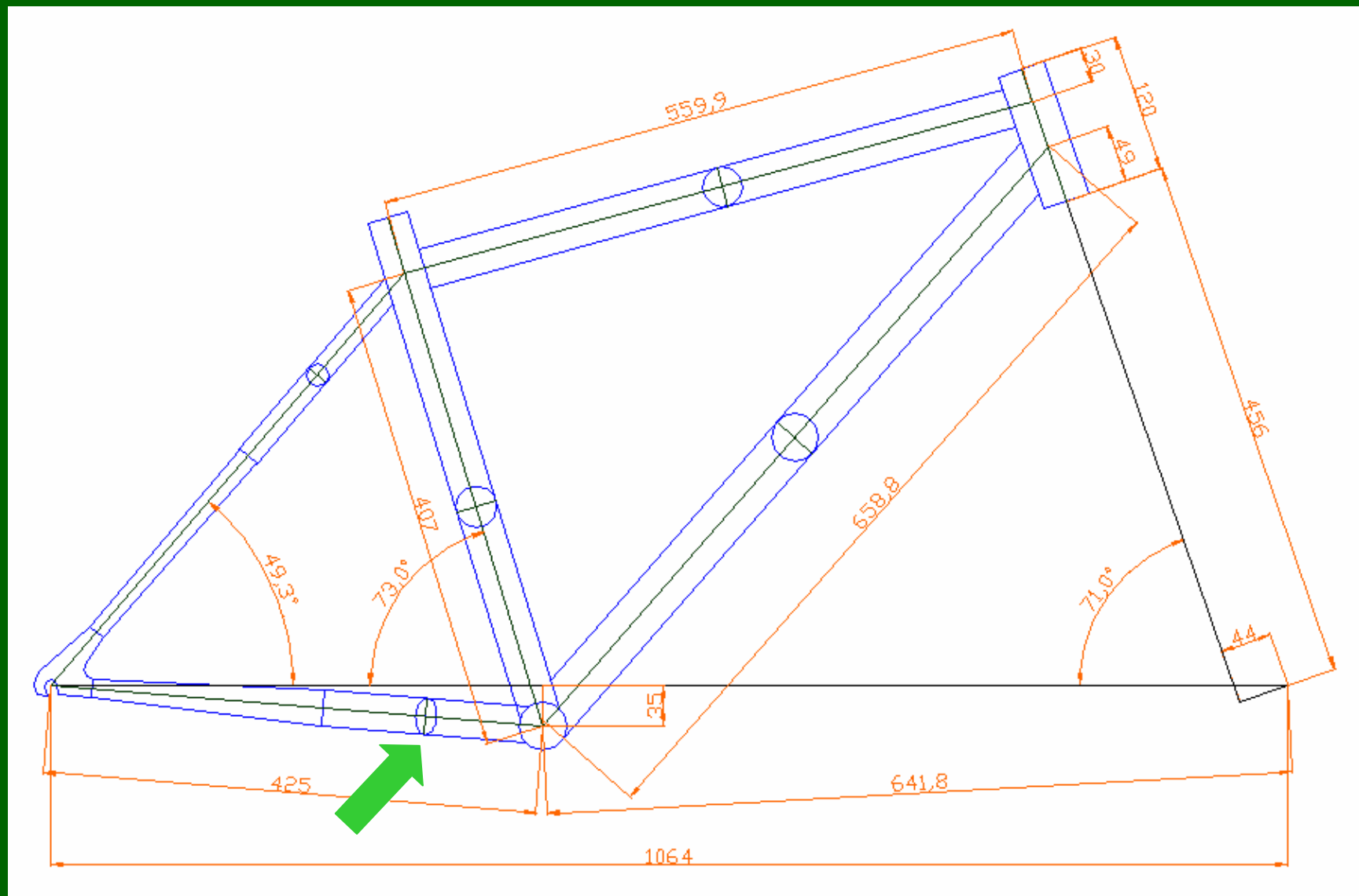
**DIMENSIONES DE NUESTRA BICICLETA****CARACTER COMPETITIVO < > COMODIDAD**

• TALLA		457 mm	(440-580 mm)
• ÁNGULO DE DIRECCIÓN		71°	(± 1°)
• ÁNGULO DE SILLÍN		73°	(± 1°)
• DISTANCIA ENTRE EJES		1064 mm	(1045-1108 mm)
• DISTANCIA SILLÍN-DIRECCIÓN		585 mm	(555-608 mm)
• CAÍDA DEL PEDALIER		35 mm	(30-40 mm)
• LONGITUD DE VAINAS		425 mm	(415-425 mm)
• AVANCE DE LA HORQUILLA		44 mm	(35-46 mm)

## TUBOS DEL CUADRO



## PRIMER MODELO



## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

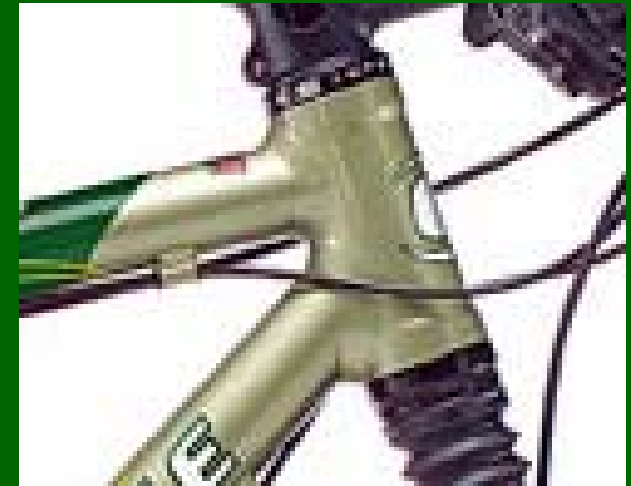
**7.- PRESUPUESTO**

## UNIONES SOLDADAS

MODELO 3D



CORDONES DE SOLDADURA



- ANCHO DEL CORDÓN:  $7 \div 9 \text{ mm}$

- ASPECTO ONDULADO



MECÁNIZADOS

- CONCAVO



ÁNGULO AGUDO

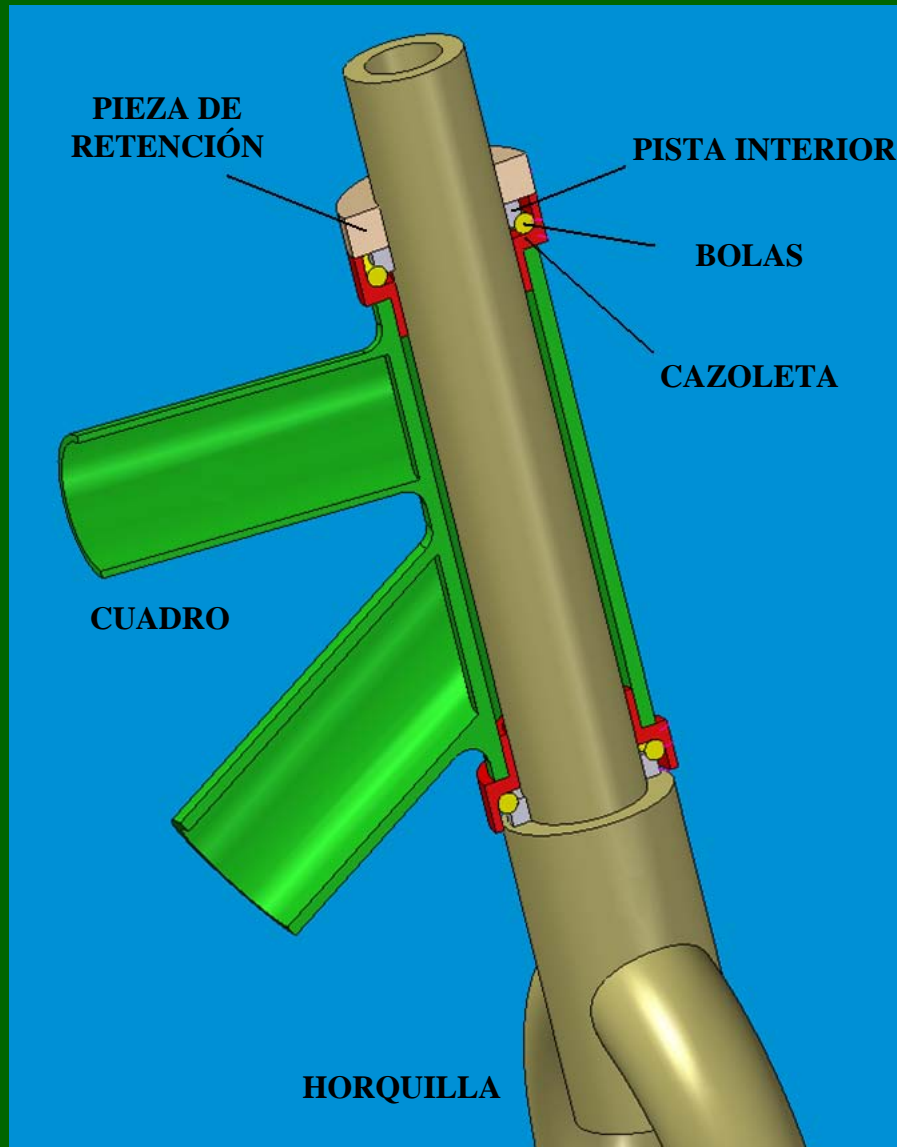
- CONVEXO



ÁNGULO OBTUSO



## CONJUNTO: CUADRO-RODAMIENTOS-HORQUILLA



Rodamientos



COSMOSDesignSTAR

### CONTACTO ENTRE SUPERFICIES

- *BONDED*

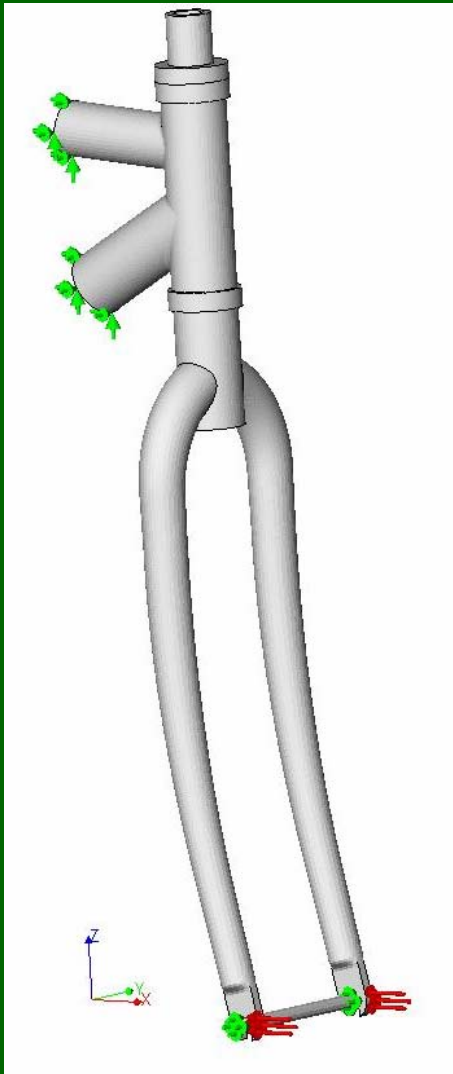
- *SURFACE*

- *SHRINK FIT*

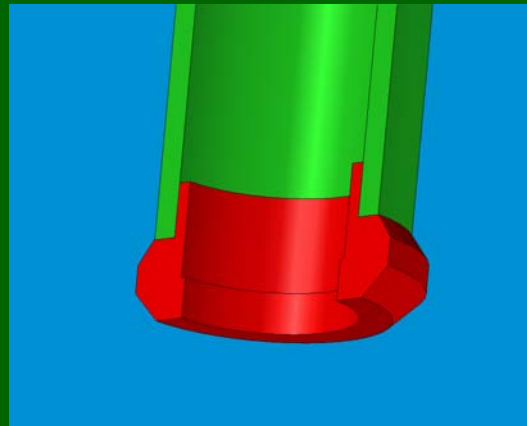


COSTE  
COMPUTACIONAL

# CONJUNTO CUADRO-RODAMIENTOS-HORQUILLA



- IGUAL DISTRIBUCIÓN Y VALOR DE TENSIONES EN EL CUADRO
- PEQUEÑAS VARIACIONES LOCALIZADAS CERCA DE LOS CONTACTOS



**RODAMIENTO  
DE  
UNA ÚNICA PIEZA**



## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

**7.- PRESUPUESTO**

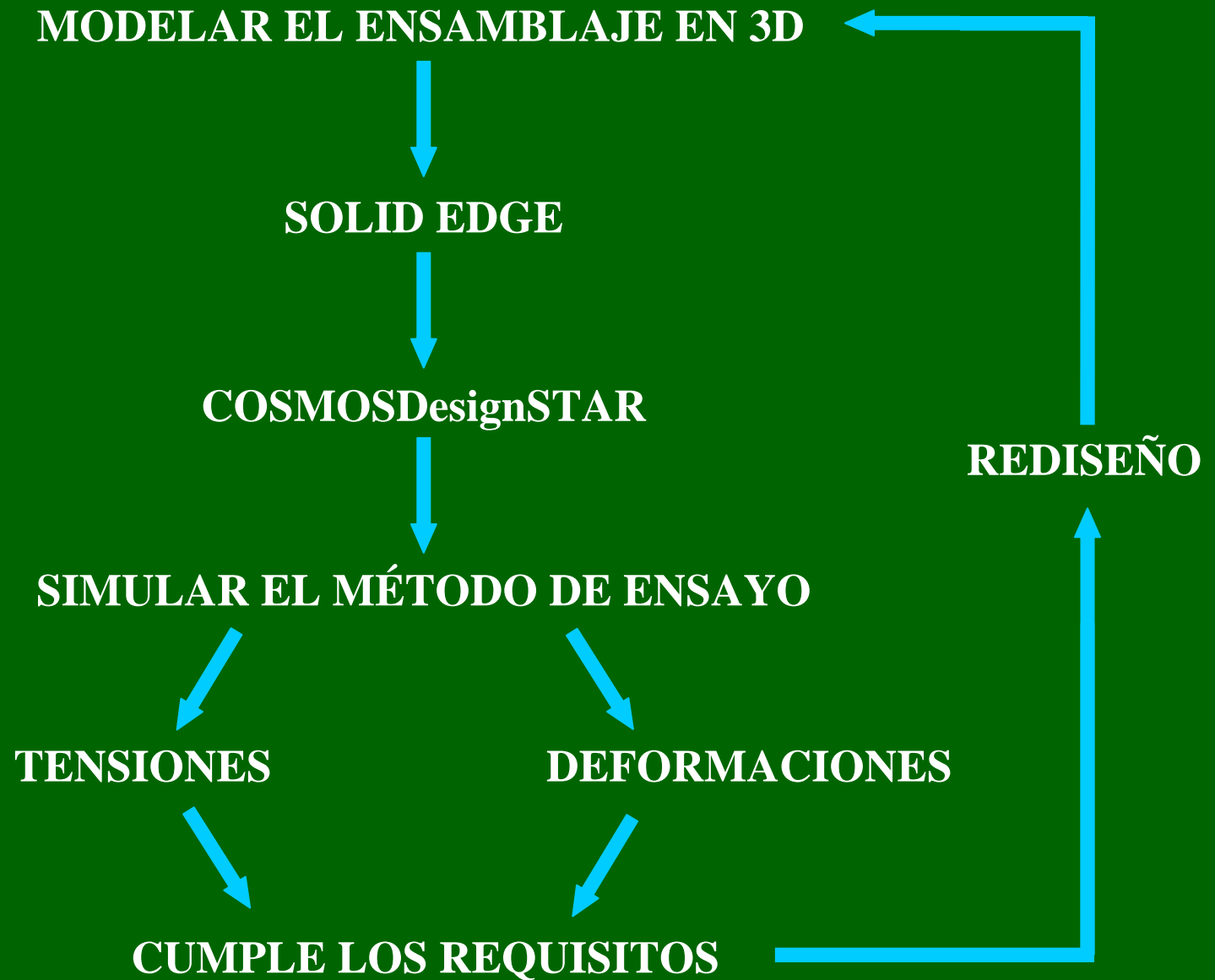
## ¿SOPORTARÁ EL CUADRO LOS ESFUERZOS?

REPRODUCIR LAS CARGAS A LAS QUE ES SOMETIDO

**prEN 14766:2003** *Mountain-bicycles – Safety requirements and test methods*

REALIZAR 5 ENSAYOS AL CUADRO

- Ensayo de fatiga: fuerzas de pedaleo
- Ensayo de fatiga: fuerzas horizontales
- Ensayo de fatiga: fuerzas verticales → **NO**
- Ensayo de impacto: caída de una masa
- Ensayo de impacto: caída del cuadro



## ENSAYOS DE FATIGA

### LÍMITE DE FATIGA DEL CUADRO

Aluminio 7005-T6		
	Material base	Región soldada
Límite de rotura, MPa	350	315
Límite de fluencia, MPa	290	261
Límite de fatiga, MPa	150	135

- Factores que modifican el límite de fatiga

### LÍMITE DE FATIGA DEL CUADRO A VIDA FINITA

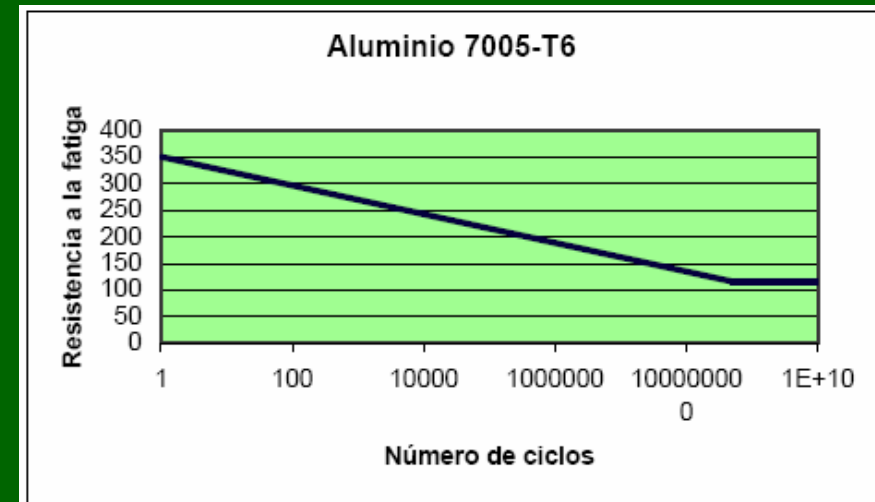
#### Curvas de Wöhler

##### Material base

$$S_{ef @N} = 350 - 26.9 \log N \quad (N < 5 \cdot 10^8 \text{ ciclos})$$

##### ZAT

$$S_{ef @N} = 315 - 24.2 \log N \quad (N < 5 \cdot 10^8 \text{ ciclos})$$

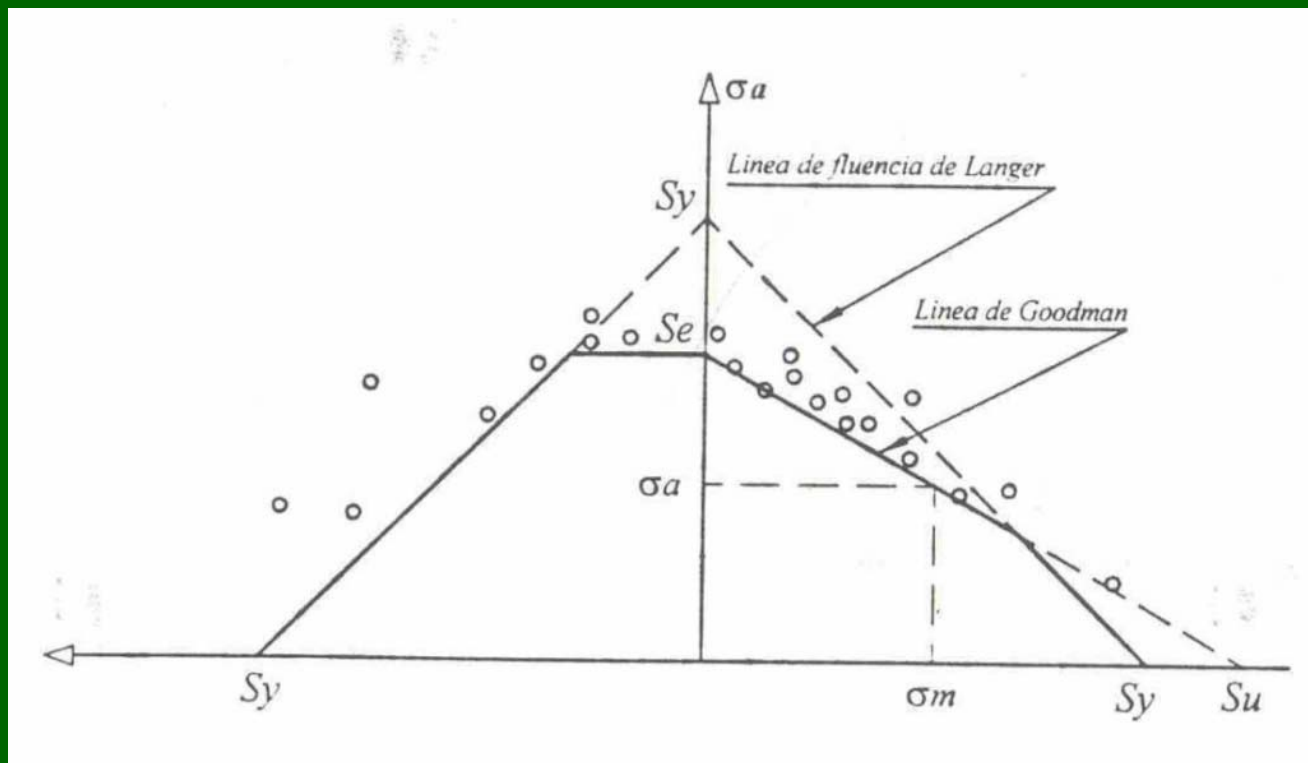


## ESFUERZOS FLUCTUANTES

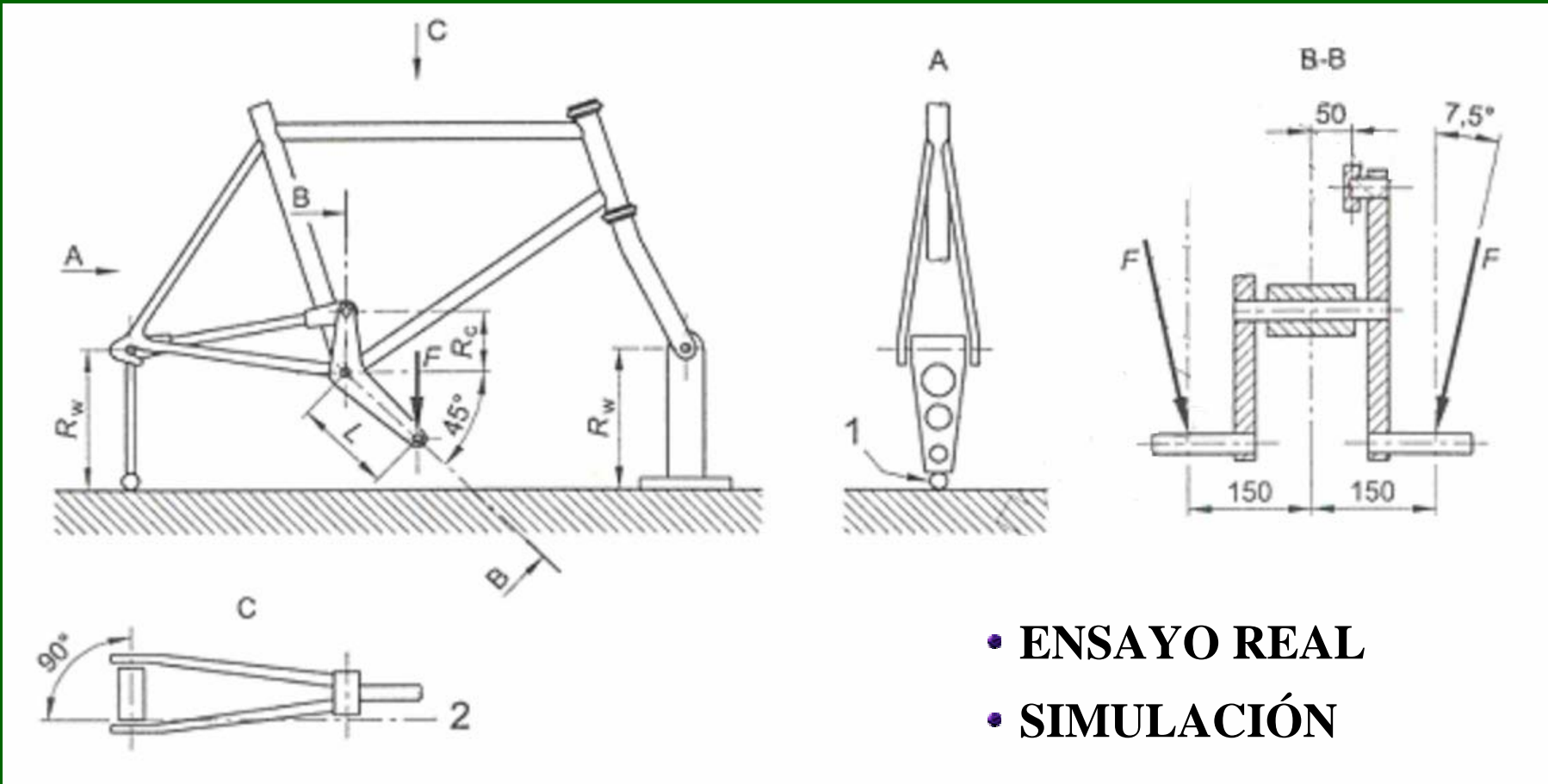
Línea de Goodman  $(\sigma_a / S_e) + (\sigma_m / S_u) = 1$

Línea de Langer  $|\sigma_m / S_y| + (\sigma_a / S_y) = 1$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \\ \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \end{array} \right.$$



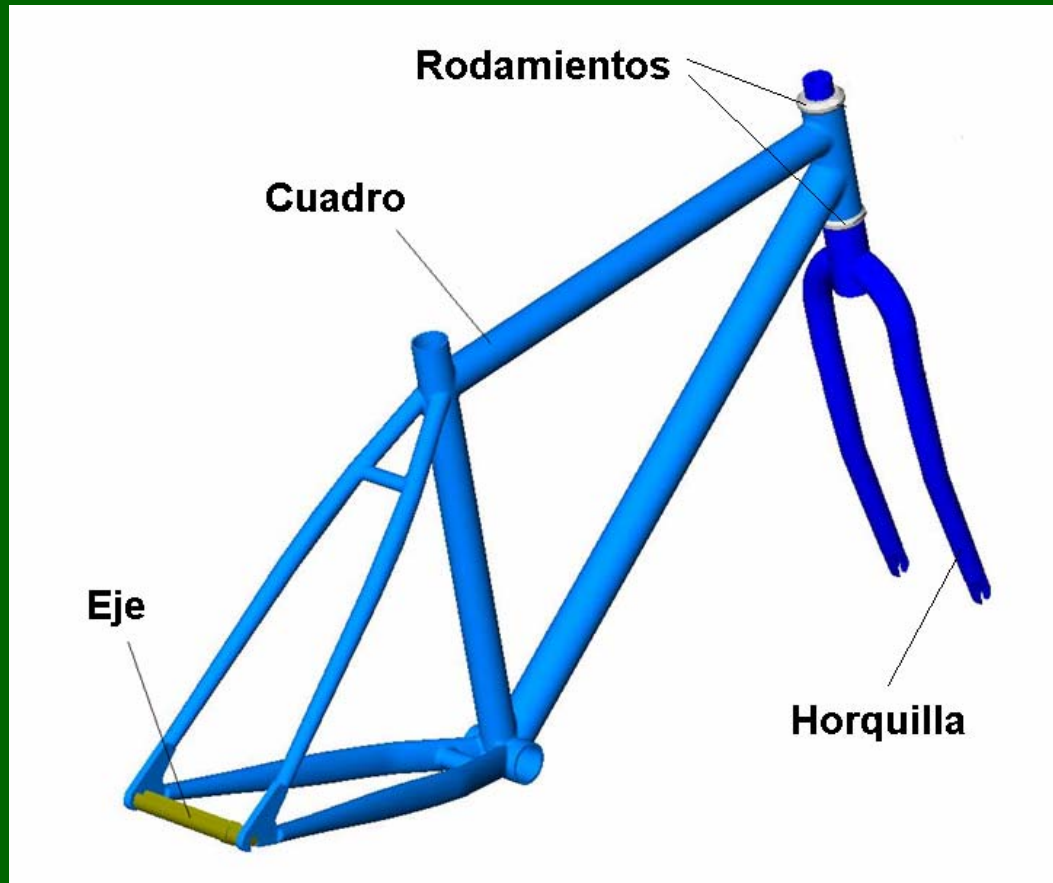
# ENSAYO DE FATIGA: FUERZAS DE PEDALEO



- ENSAYO REAL
- SIMULACIÓN

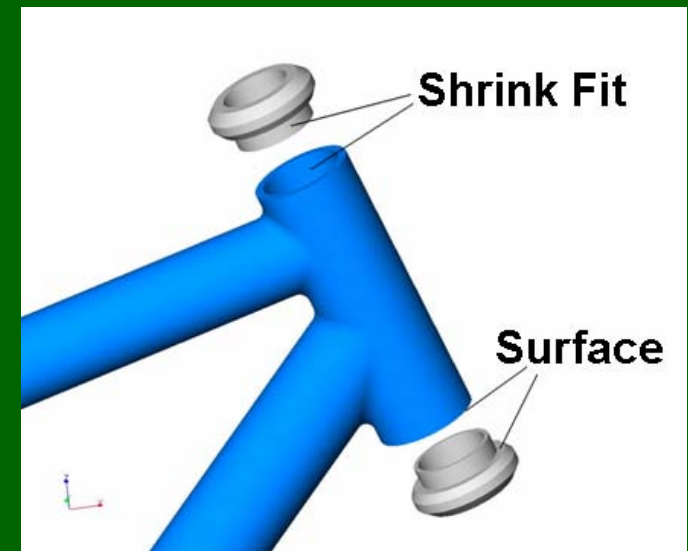
- $F = 1\,200\text{ N}$ ; 100 000 ciclos
- No debe haber fracturas o grietas visibles

## PARTES DEL CONJUNTO

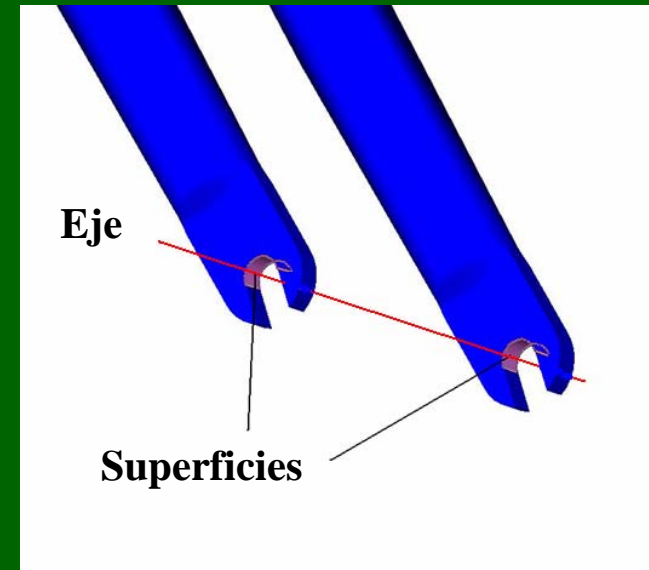
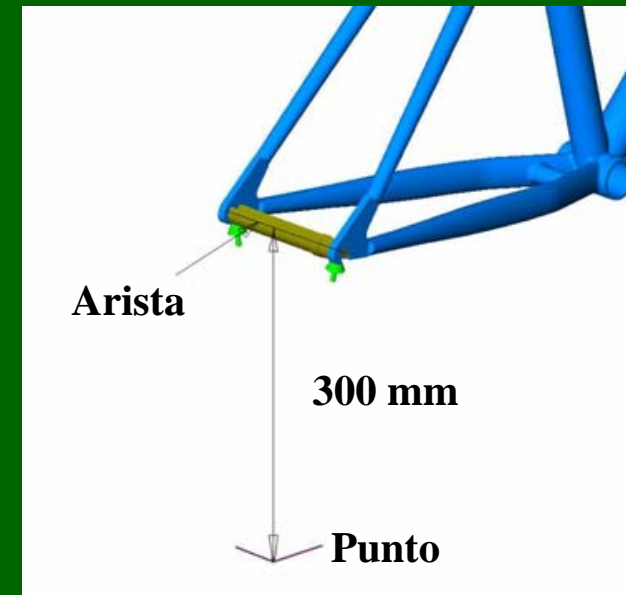
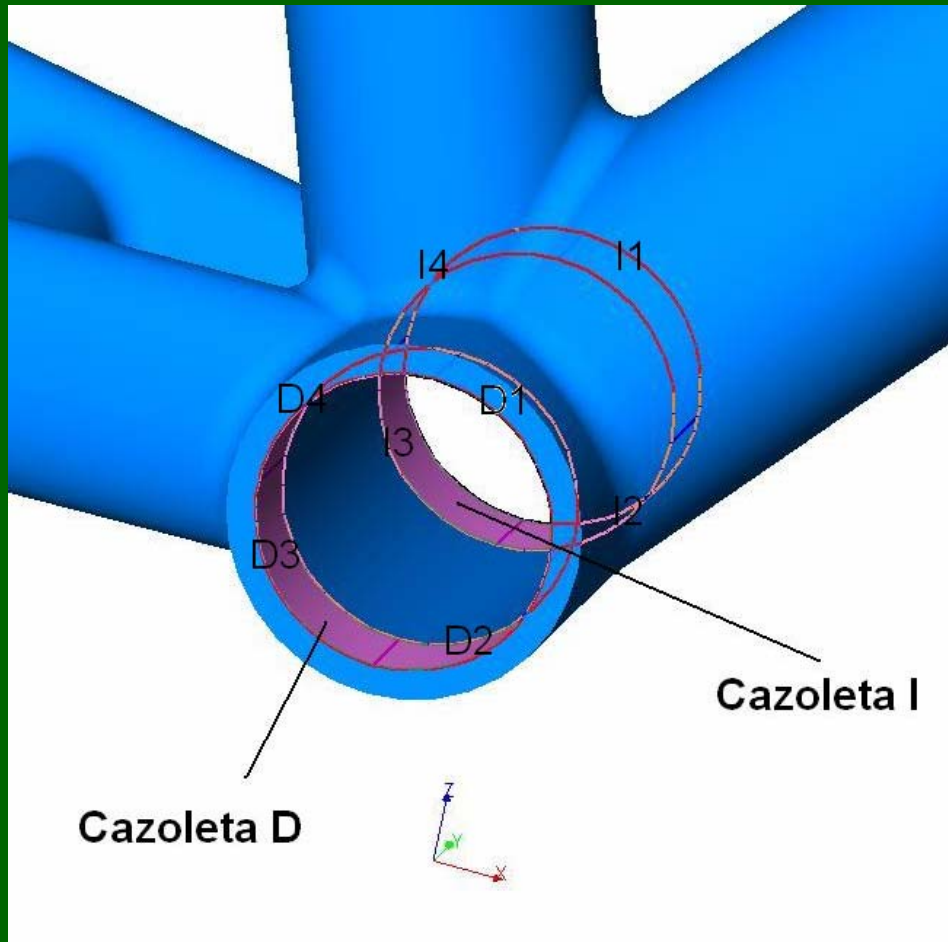


## AJUSTE DE LOS RODAMIENTOS

Apriete  $0.1 \div 0.2$  mm



## CONDICIONES DE CONTORNO

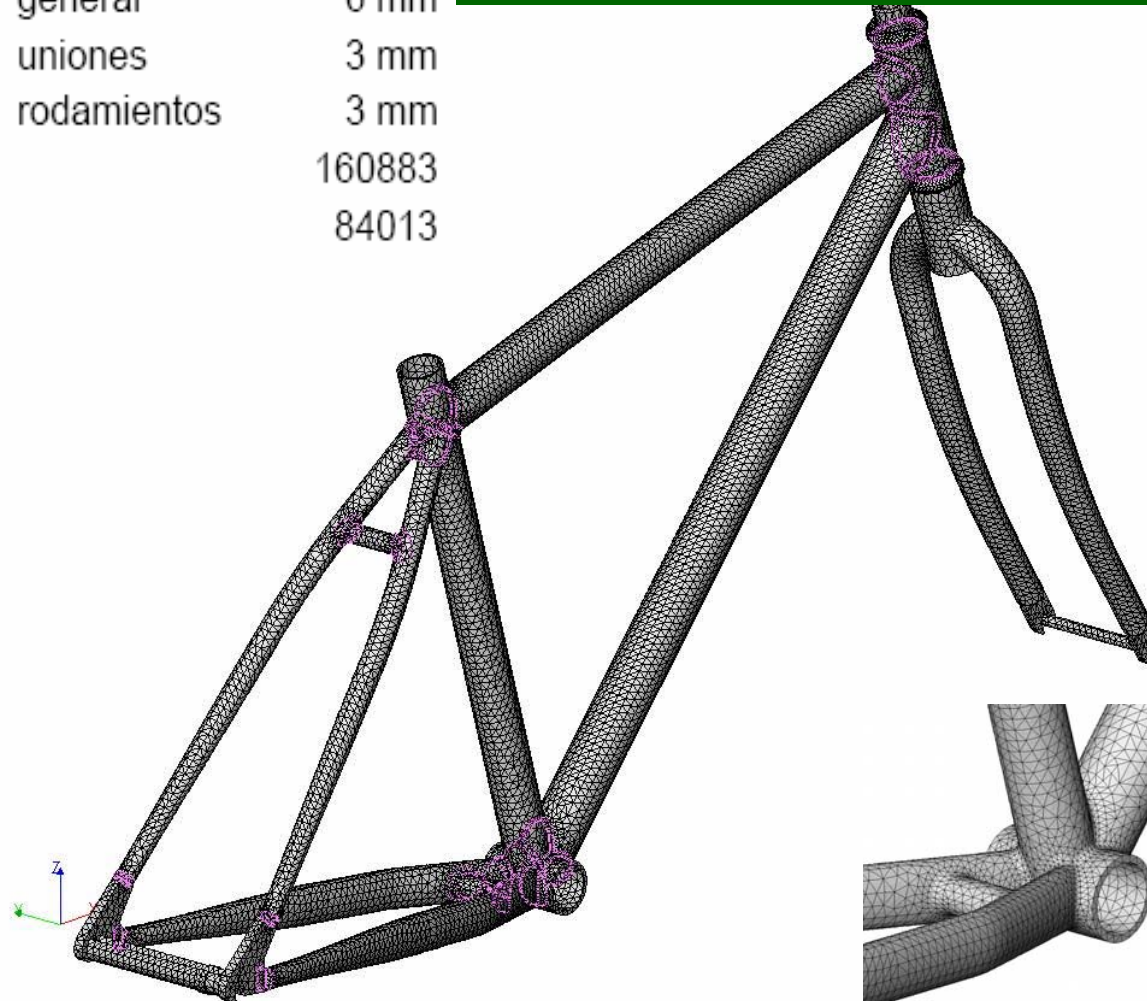




# MALLADO

## ELEMENTOS TETRAÉDRICOS DE 2º ORDEN

Tamaño de elemento:	general	6 mm
	uniones	3 mm
	rodamientos	3 mm
Número de nodos		160883
Número de elementos		84013



## TIPO DE ANÁLISIS

ANÁLISIS DINÁMICO



ELEVADO COSTE  
COMPUTACIONAL



ANÁLISIS ESTÁTICO

FRECUENCIA DE APLICACIÓN  
DE LA CARGA  $<$  1/3 DE LA MENOR FRECUENCIA  
DE RESONANCIA

1.5 Hz frecuencia de pedaleo

$2 \div 5$  Hz , *EFBe Engineering For Bikes*

$> 15$  Hz

FRECUENCIA DEL 1<sup>er</sup> MODO = 48.18 Hz  $>$  15 Hz



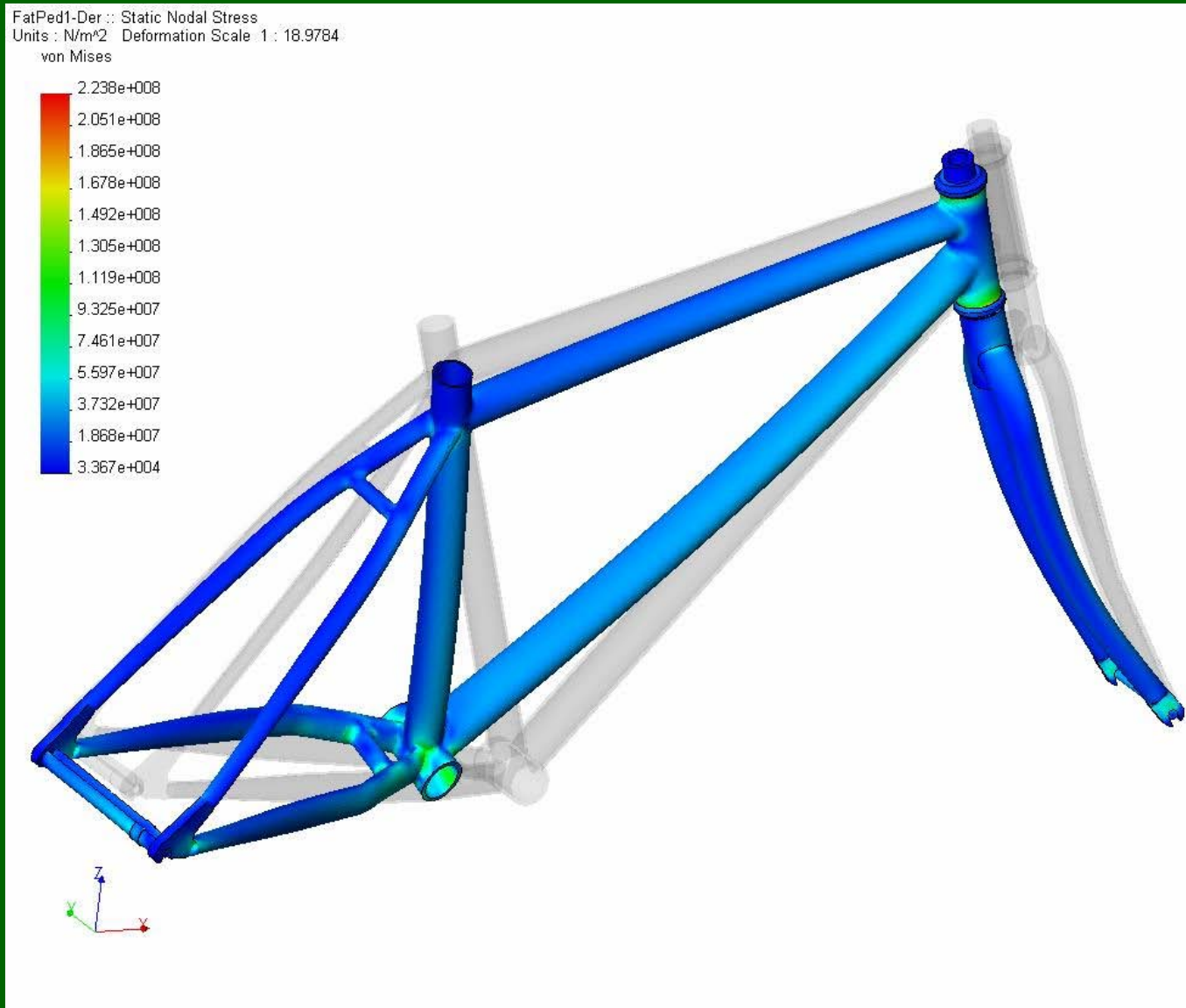
ANÁLISIS  
ESTÁTICO

SIN PLASTIFICACIÓN



LINEAL

## PEDAL DERECHO: TENSIONES DE VON MISES



The diagram shows a truss structure with a horizontal force of  $+1200\text{ N}$  applied at joint 1 (pointing left) and a reaction force of  $-600\text{ N}$  at joint 2 (pointing right). The truss consists of several members forming a triangular shape. The joints are labeled 1 and 2.

- 36

## TIPO DE ANÁLISIS

FRECUENCIA DEL 1<sup>er</sup> MODO = 48.59 Hz > 15 Hz



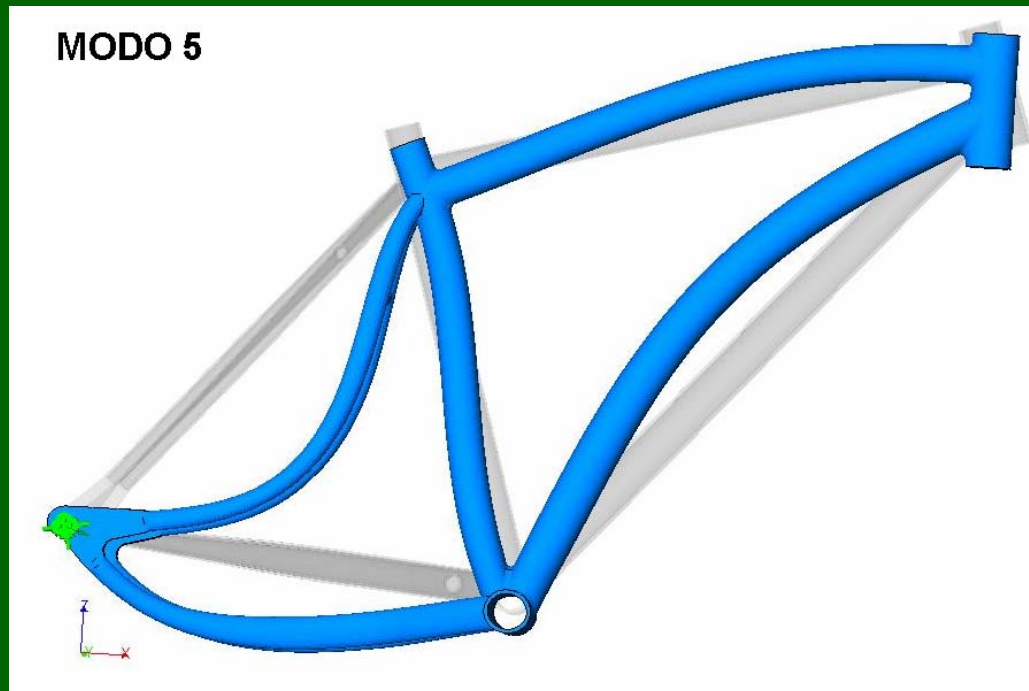
**ANÁLISIS  
ESTÁTICO**

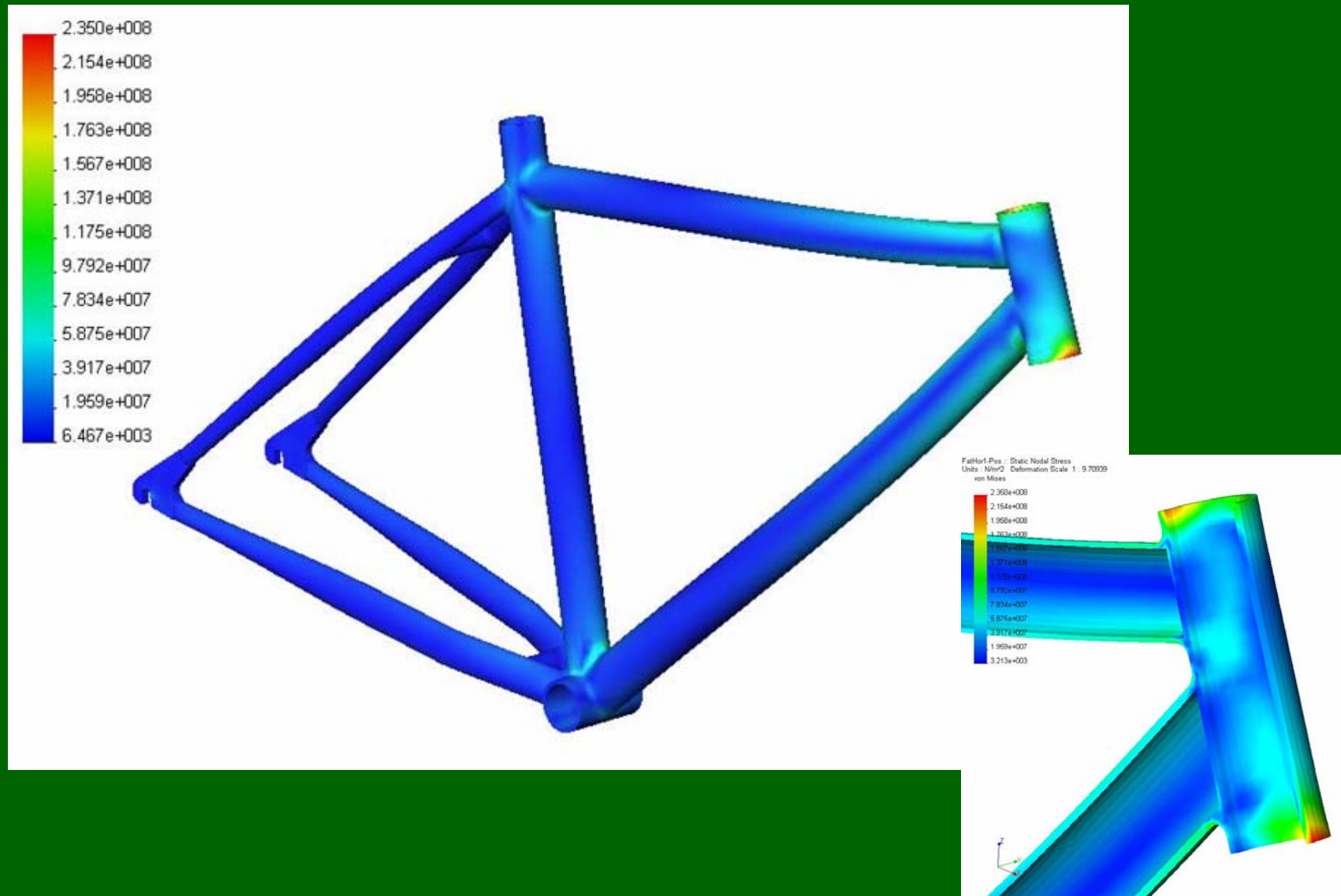
SIN PLASTIFICACIÓN



**LINEAL**

Frecuencia del 5<sup>o</sup> modo = 317.31 Hz



**FUERZA = 1200 N: TENSIONES DE VON MISES**

## ENSAYOS DE IMPACTO

- Baja velocidad de impacto  $< 50$  m/s
- No estudiamos la zona del impacto

### FENÓMENOS A CONSIDERAR

- Ondas de tensión  VALOR DESPRECIABLE

- Dinámica y vibraciones estructurales

▸ Elementos de contacto

▸ Plastificación del material



COSTE  
COMPUTACIONAL

### ANÁLISIS ESTÁTICO

- Comportamiento no lineal del material

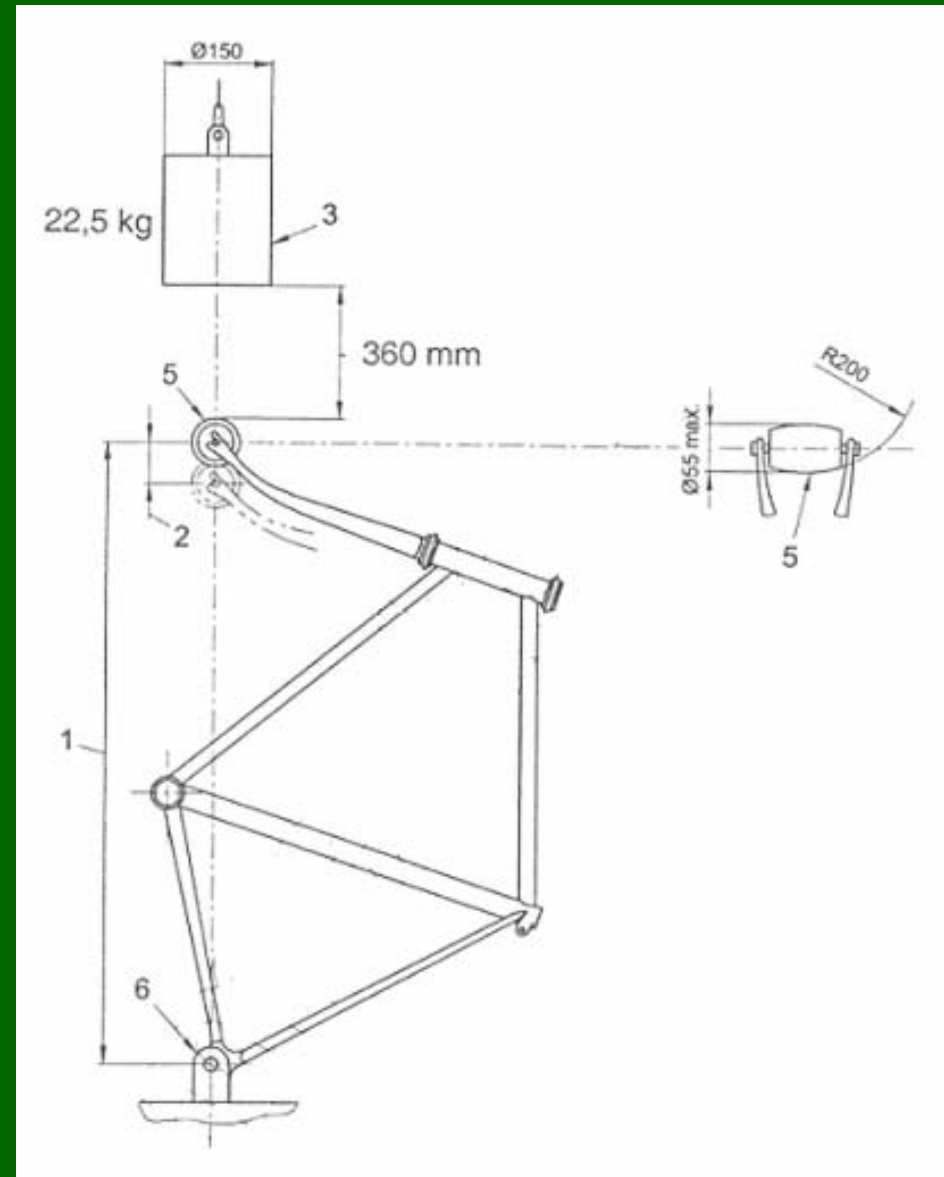
▸ Modelo de plastificación

ANÁLISIS NO LINEAL



## ENSAYO DE IMPACTO: CAÍDA DE UNA MASA

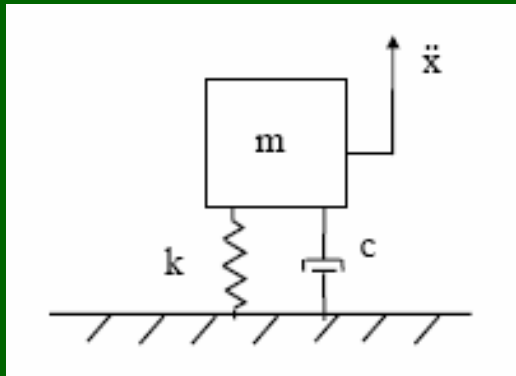
- No debe haber fracturas o grietas visibles
- Deformación permanente entre ejes < 10 mm





## FUERZA DE IMPACTO - SIMULAR

### Sistema de 1 g.d.l.



CUADRO

Constante elástica,  $k$

Coef. amortiguamiento,  $c$

Coef. amortiguamiento

→ 0.01 ÷ 0.03 →

MENOR VALOR DE  
FUERZA

↓  
ACELERÓMETRO

↓  
CURVA FUERZA-TIEMPO

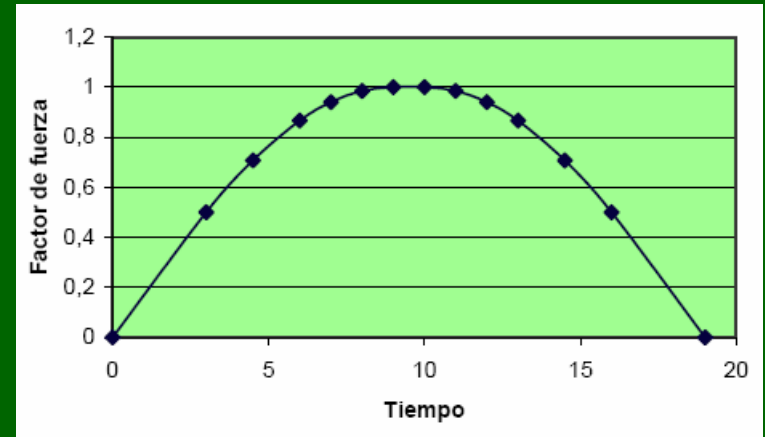
SISTEMA SIN  
AMORTIGUAMIENTO

## ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

► CONDICIONES DE CONTORNO

► CURVA FUERZA-TIEMPO

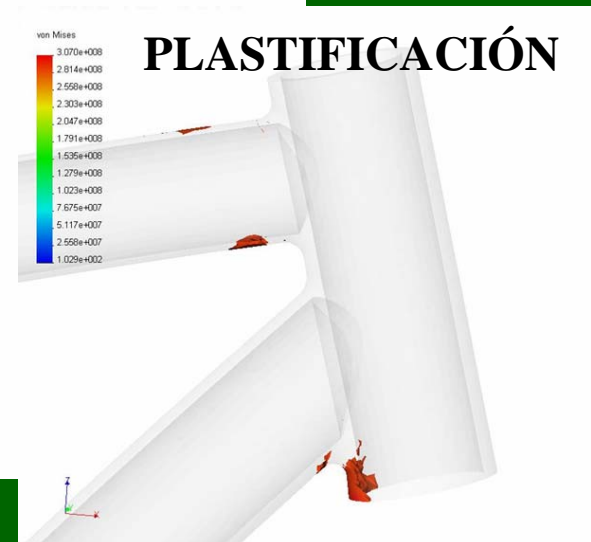
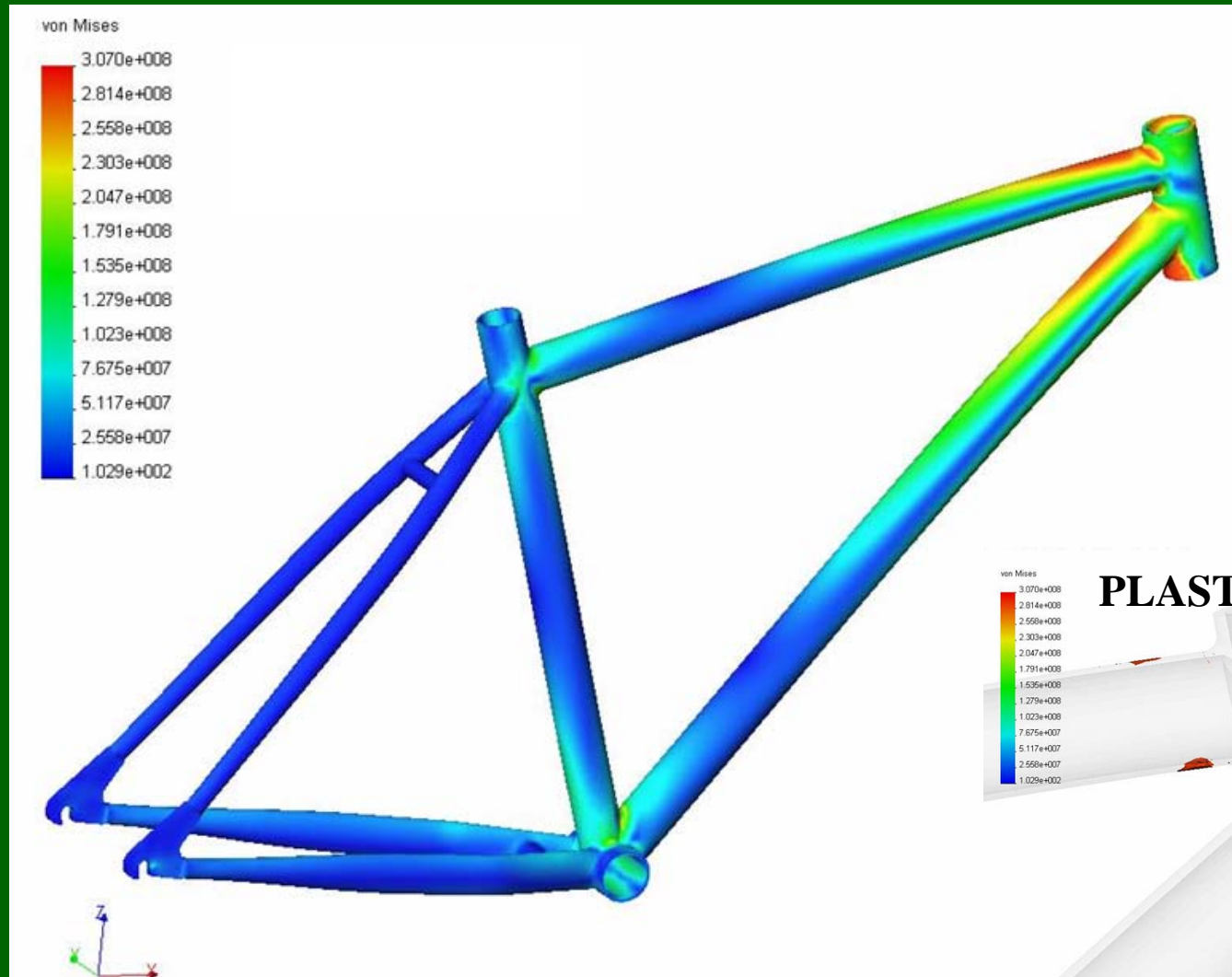
► MALLADO



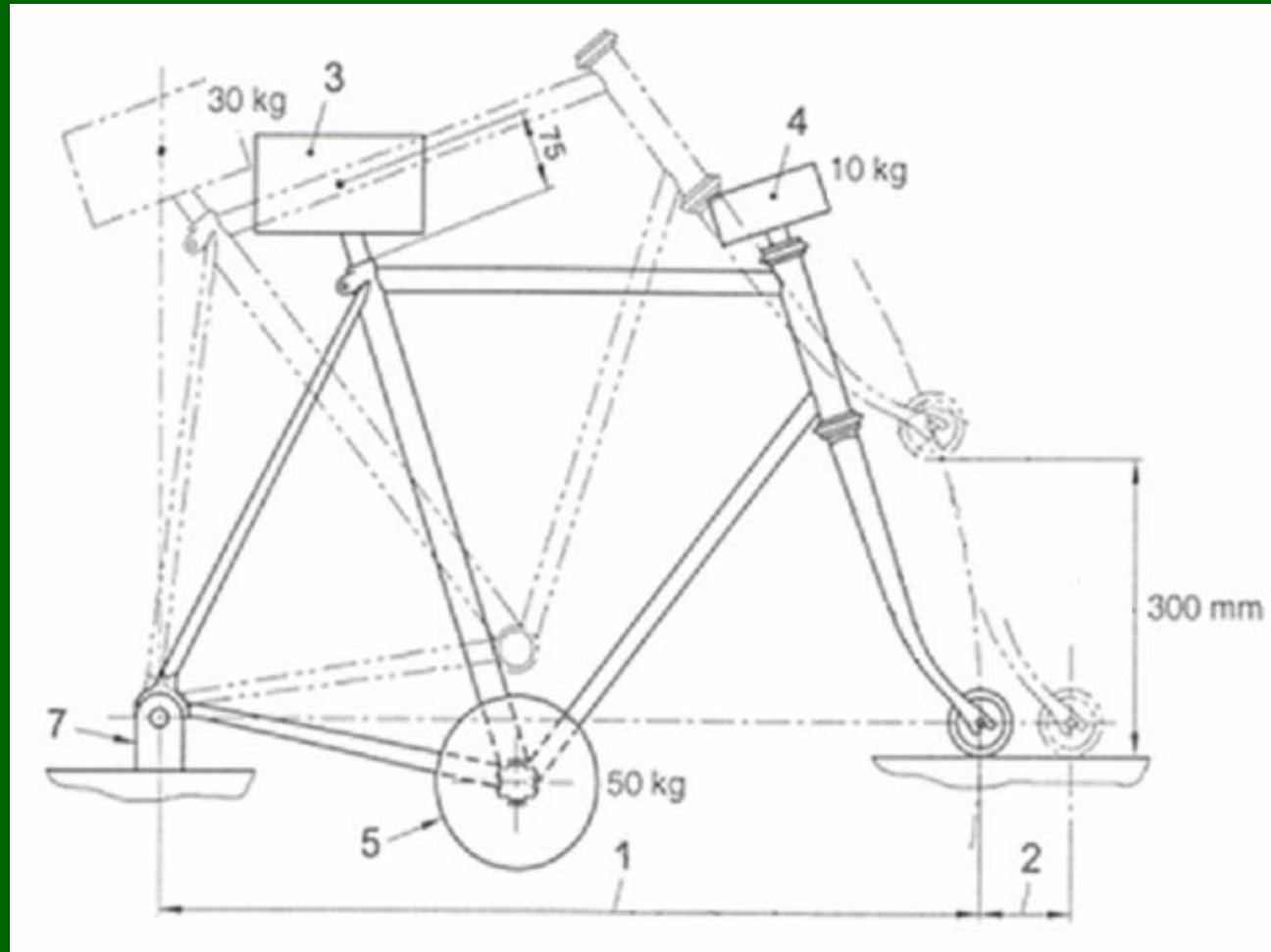
► MATERIAL → Modelo de plastificación Huber-Von Mises

► MÉTODO DE SOLUCIÓN  
ITERATIVO → Newton-Raphson modificado con  
control de fuerza

## TENSIONES DE VON MISES

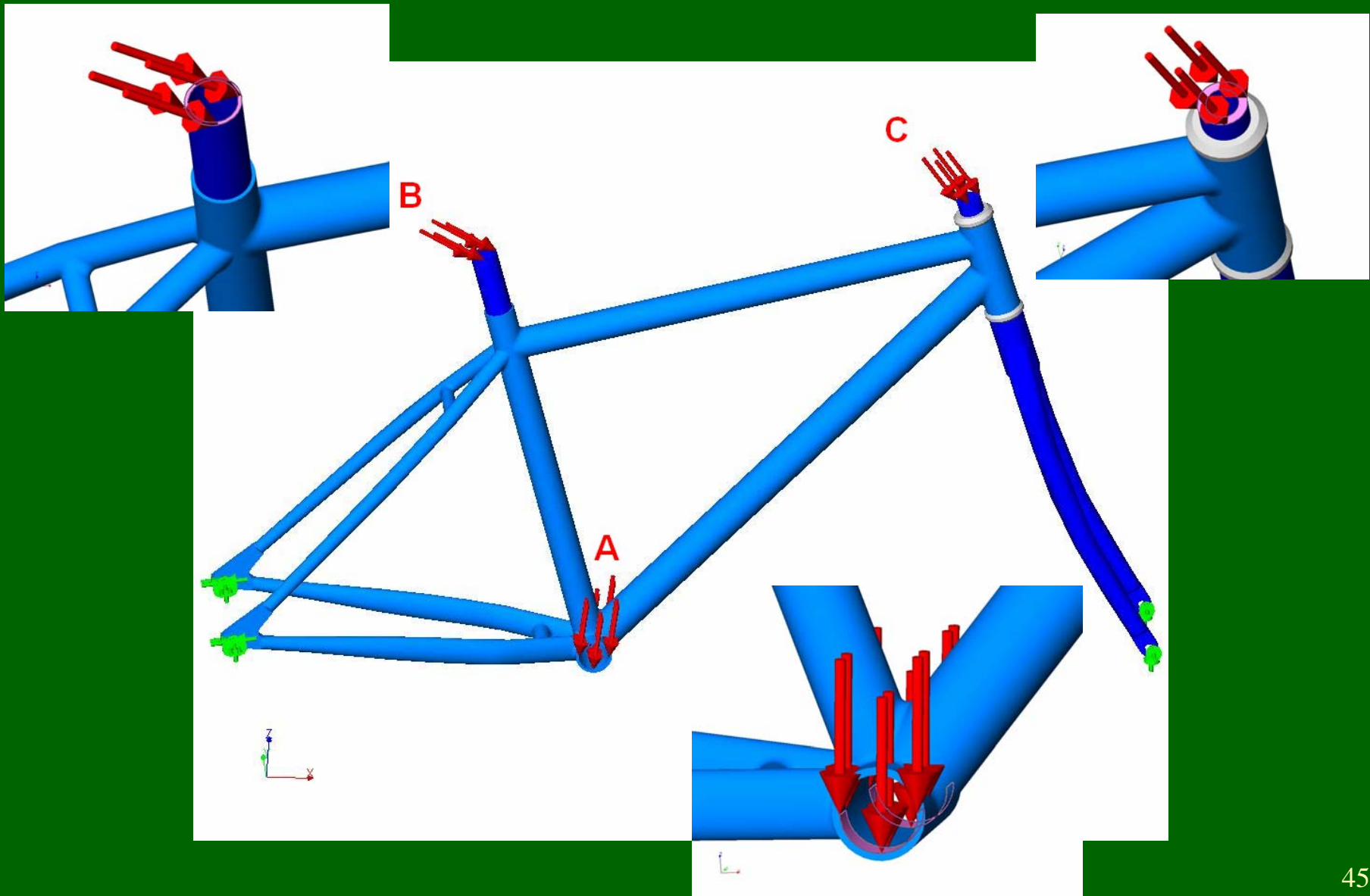


## ENSAYO DE IMPACTO: CAÍDA DEL CUADRO



- No debe haber fracturas o grietas visibles
- Deformación permanente entre ejes  $< 60$  mm

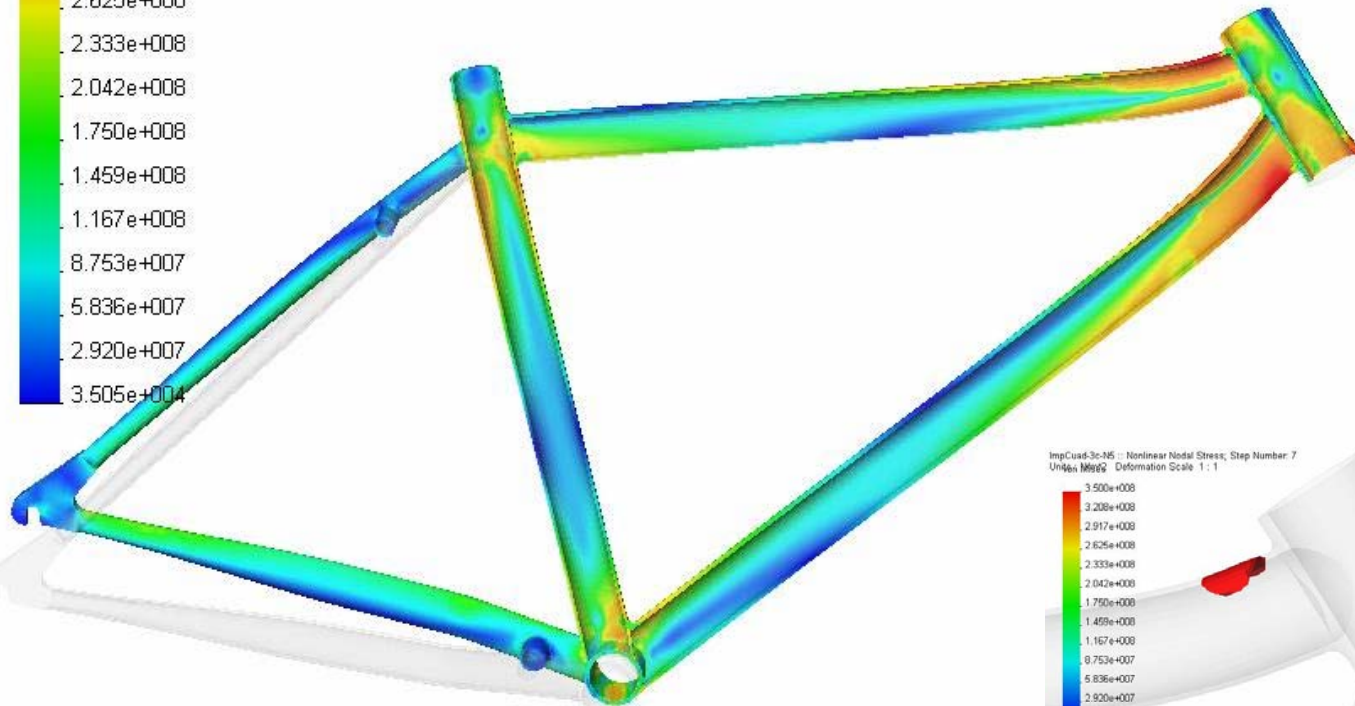
## CONDICIONES DE CONTORNO



## TENSIONES DE VON MISES

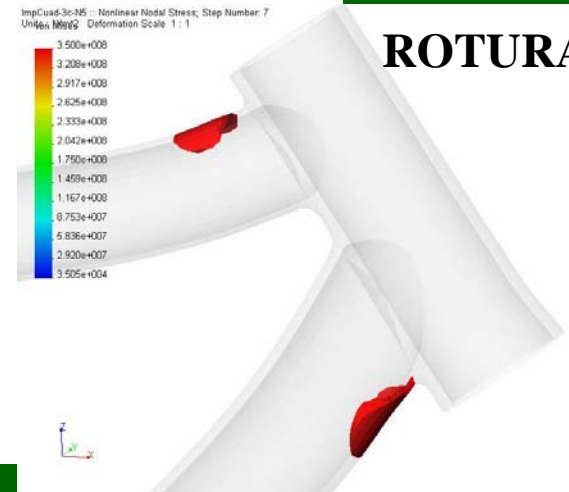
ImpCua3-3c-N5 :: Nonlinear Nodal Stress; Step Number: 7  
Units: MPa Deformation Scale: 1 : 1

3.500e+008  
3.208e+008  
2.917e+008  
2.625e+008  
2.333e+008  
2.042e+008  
1.750e+008  
1.459e+008  
1.167e+008  
8.753e+007  
5.836e+007  
2.920e+007  
3.505e+004



ImpCua3-3c-N5 :: Nonlinear Nodal Stress; Step Number: 7  
Units: MPa Deformation Scale: 1 : 1

3.500e+008  
3.208e+008  
2.917e+008  
2.625e+008  
2.333e+008  
2.042e+008  
1.750e+008  
1.459e+008  
1.167e+008  
8.753e+007  
5.836e+007  
2.920e+007  
3.505e+004

**ROTURA**

## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

**7.- PRESUPUESTO**

## REDISEÑO DEL CUADRO

**REDUCIR PESO**

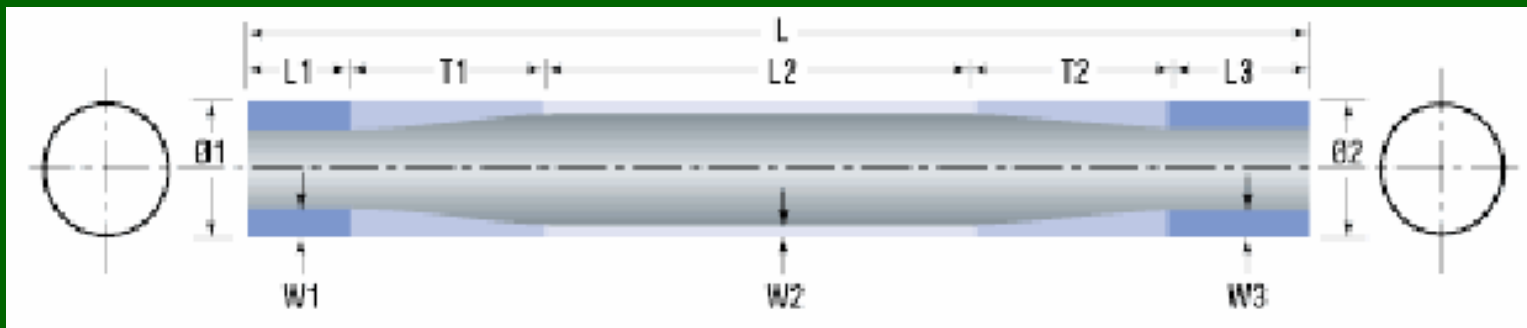


► prEN 14766:2003

► Comprobación a PANDEO

### VARIABLES DEL DISEÑO

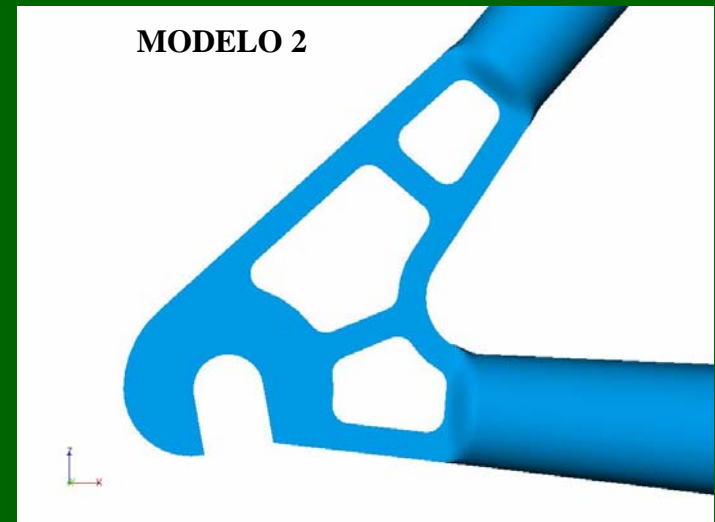
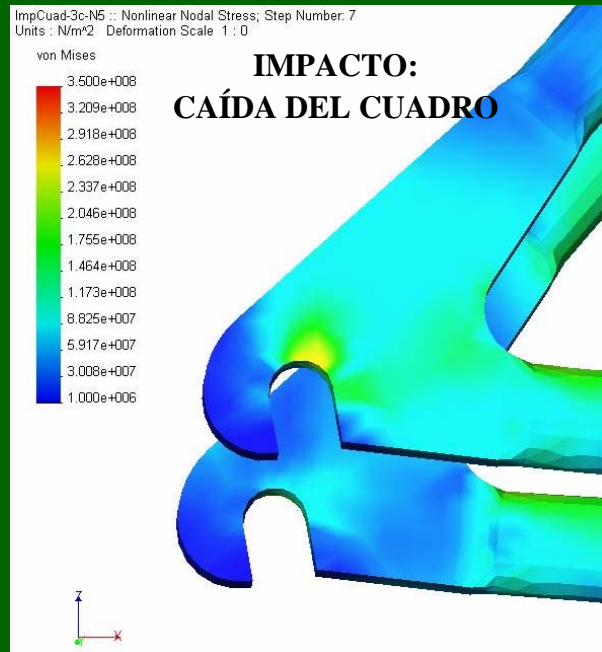
- Tamaño y forma de los tubos
  - Distribución y valor de las tensiones
  - Restricciones geométricas (componentes)
- Espesores (tubo embutido)



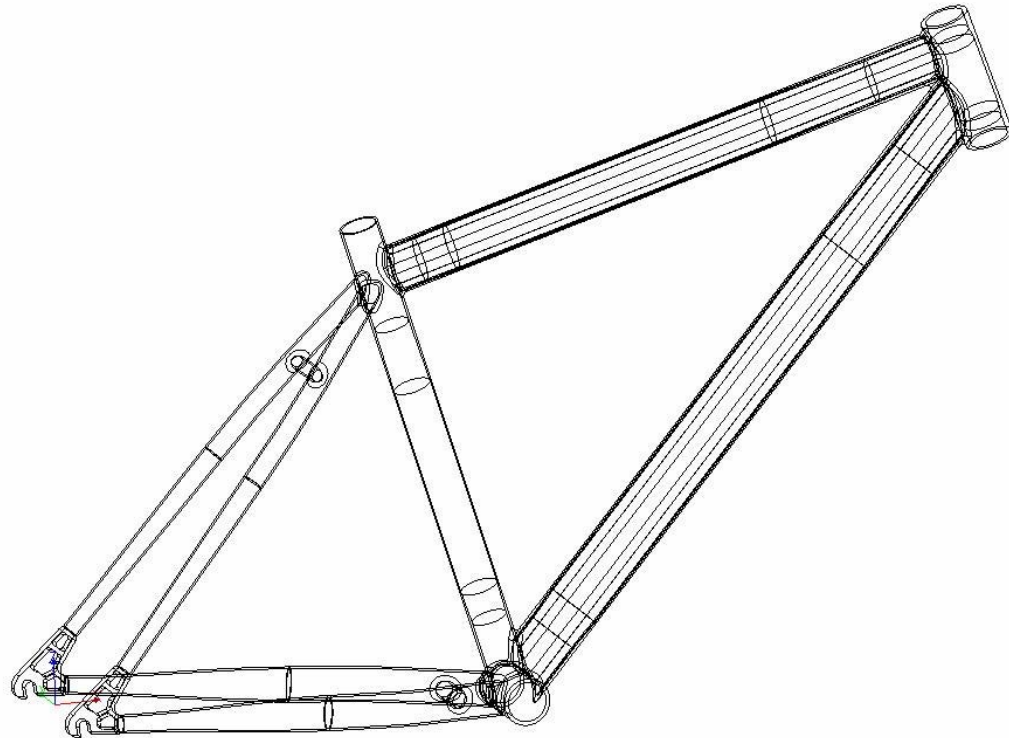


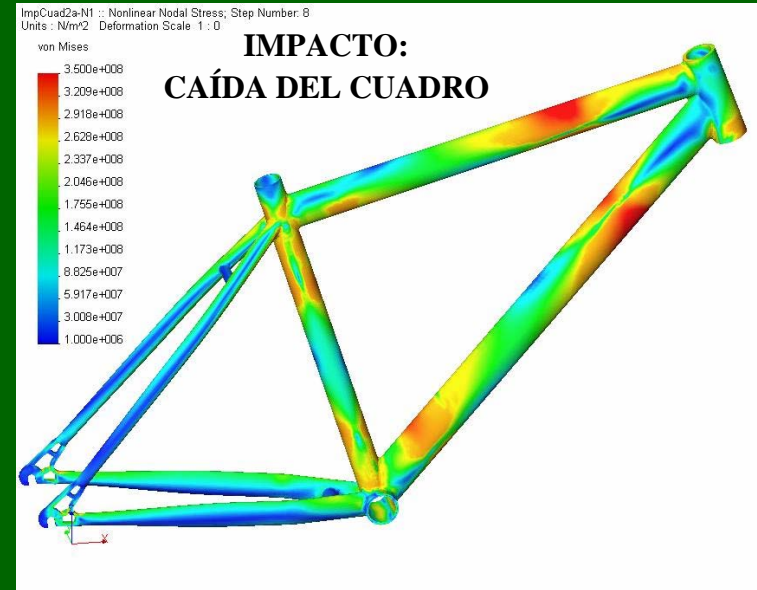
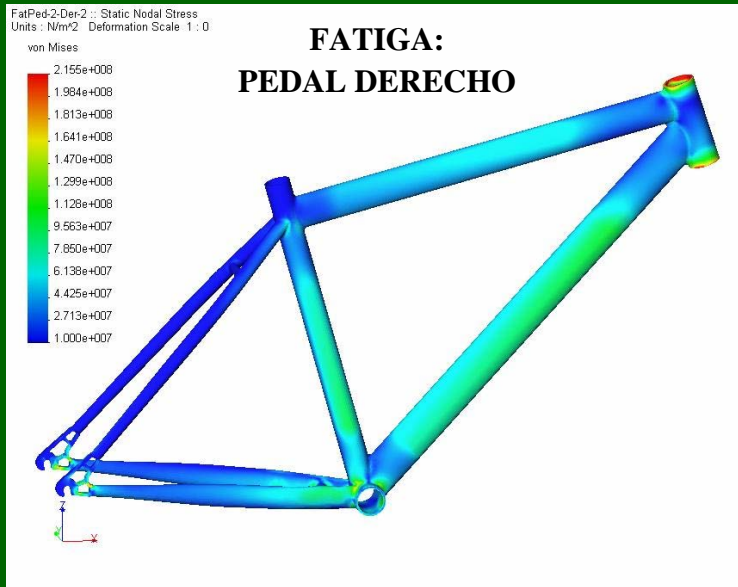
**DISEÑO DEL SEGUNDO MODELO**

<b>TUBO</b>	<b>OVALADO</b>	<b>EMBUTIDO</b>	<b>FORMA VARIABLE</b>
<b>HORIZONTAL</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>OBLICUO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>VERTICAL</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>TIRANTES</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>
<b>VAINAS</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>
<b>DIRECCIÓN</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>PEDALIER</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>RIGIDIZADORES</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>



## SEGUNDO MODELO

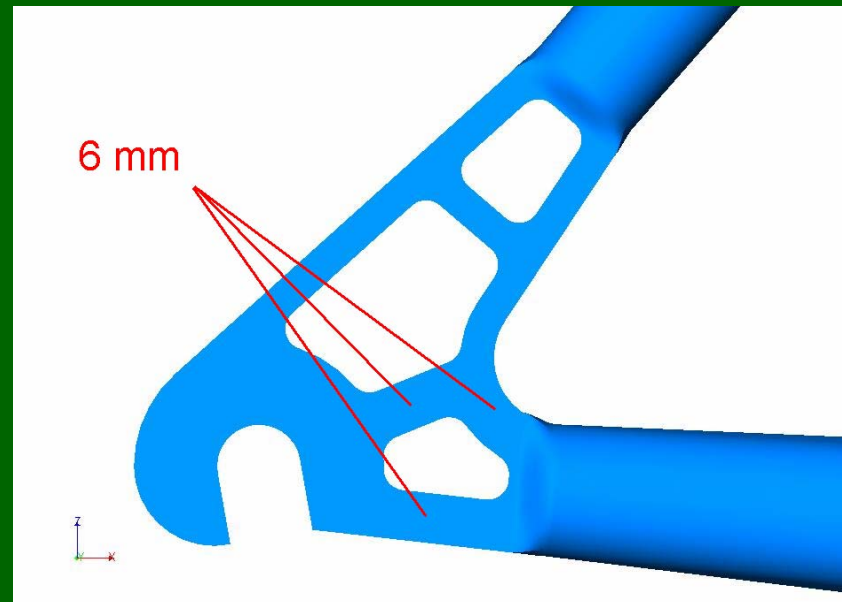




## DISEÑO DEL TERCER MODELO

SE HAN HECHO VARIACIONES EN:

- **ESPESORES DE LOS TUBOS**
- **LONGITUDES DE EMBUTIDO**



## ENSAYO DE IMPACTO: CAÍDA DEL CUADRO

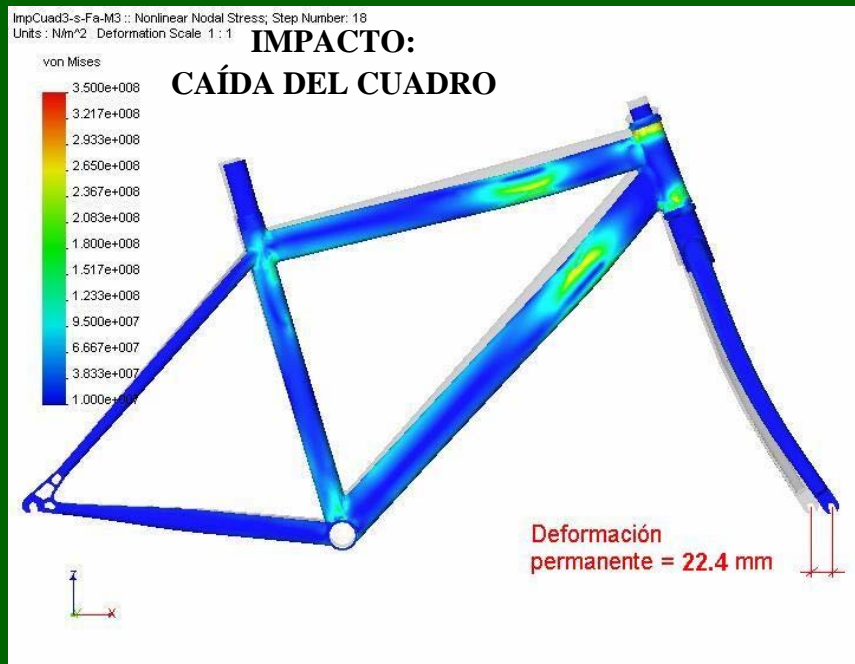


## VALIDACIÓN DEL TERCER MODELO

### COMPROBACIÓN DE TENSIONES

- Valores de tensión adecuados

### COMPROBACIÓN DE LA DEFORMACIÓN PERMANENTE



- Impacto: caída de una masa  
 $1.6 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$
- Impacto: caída del cuadro  
 $22.4 \text{ mm} < 60 \text{ mm}$



## COMPROBACIÓN A PANDEO

- ✦ Ensayos de impacto
- ✦ Módulo de cálculo a pandeo de COSMOSDesignSTAR

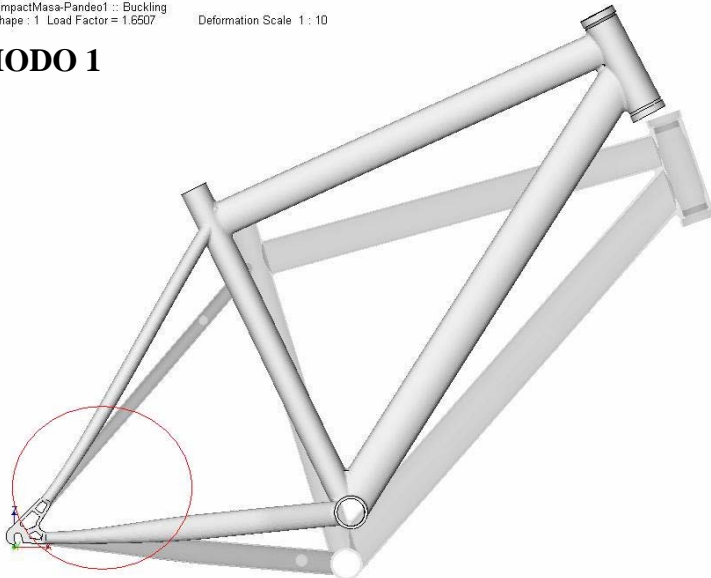
### Impacto: caída de una masa

Modo N°	Factor de carga crítico
1	1,65
2	2,64
3	2,88
4	3,32

PandeoImpactMasa-Pandeo1 :: Buckling  
Mode Shape : 1 Load Factor = 1.6507

Deformation Scale 1 : 10

#### MODO 1



### Impacto: caída del cuadro

Modo N°	Factor de carga crítico
1	1,09
2	-1,51
3	-1,55
4	1,81

ImpCuad3-p :: Buckling  
Mode Shape : 3 Load Factor = 1.0956

Deformation Scale 1 : 20

#### MODO 1





## MODELO DEFINITIVO



• **Peso del cuadro: 1.76 kg (2.21 kg)**

- **PROCESO DE FABRICACIÓN**

- ▶ Elementos adicionales (guías de cable, pivotes de los frenos)
- ▶ Soldadura
- ▶ Alineación del cuadro
- ▶ Maduración artificial
- ▶ Protección frente a la corrosión (anodizado, pintado)

- **MAQUINARIA**

- **COMPONENTES DEL CUADRO**

- ▶ Peso de los componentes            **9.11 kg**
- ▶ Peso de la bicicleta                **10.87 kg**

## ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

**2.- MATERIAL DEL CUADRO**

**3.- GEOMETRÍA**

**4.- MODELADO 3D**

**5.- ENSAYOS DE FATIGA E IMPACTO**

**6.- REDISEÑO DEL CUADRO**

**7.- PRESUPUESTO**

## PRESUPUESTO

Coste de material del cuadro	91,00 €
Coste de operaciones	33,80 €
Coste de soldadura	35,10 €
Coste de anodizado y pintado	2,66 €
Coste de accesorios	918,40 €
COSTE TOTAL =	1.080,96 €

# Diseño de una bicicleta de montaña

