

DISEÑO DE UNA BICICLETA DE MONTAÑA

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

Realizado por: D. Javier López Martínez - 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

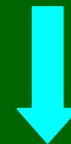
7.- PRESUPUESTO

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

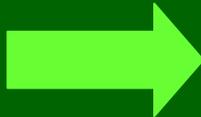
7.- PRESUPUESTO

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 %

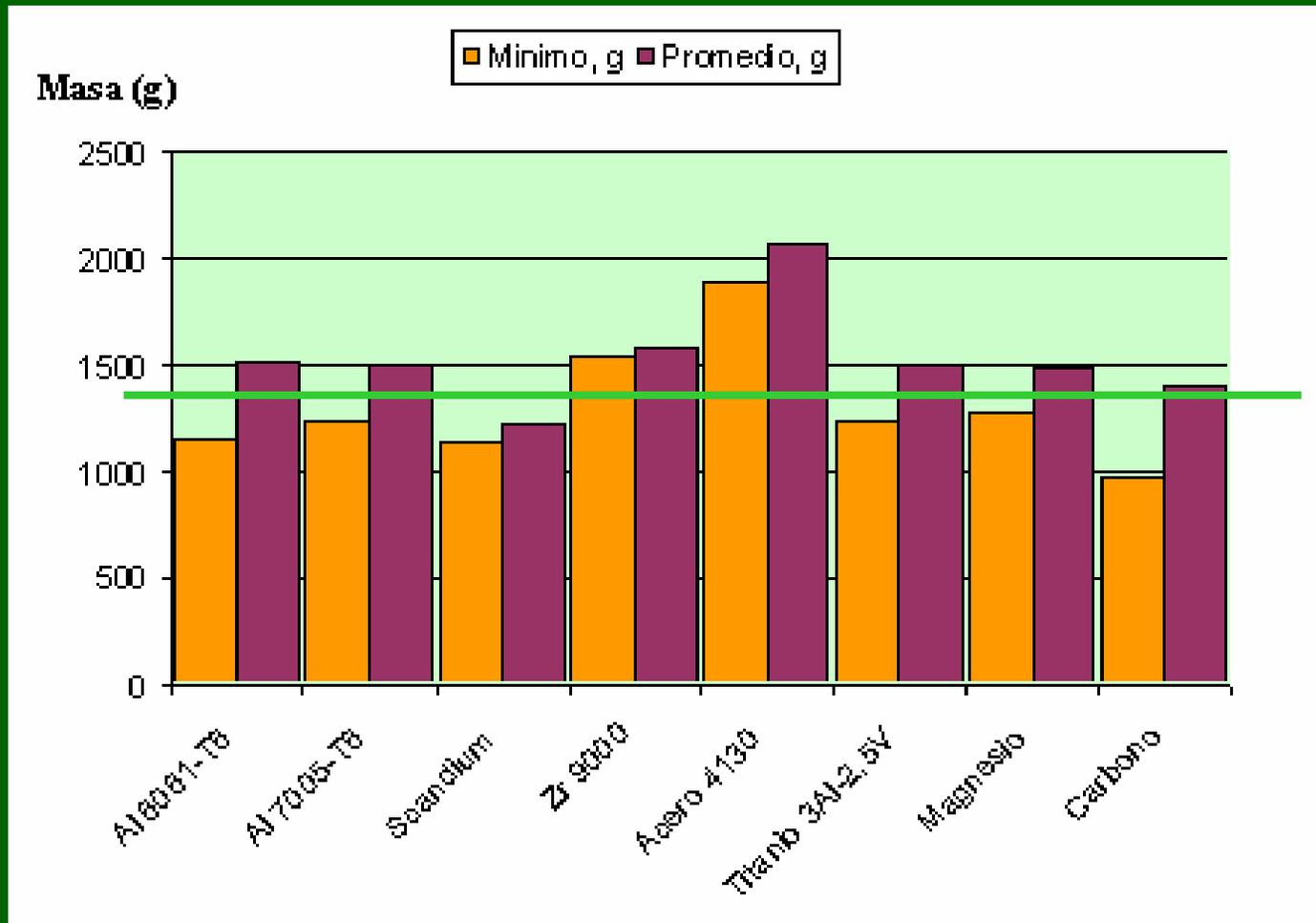
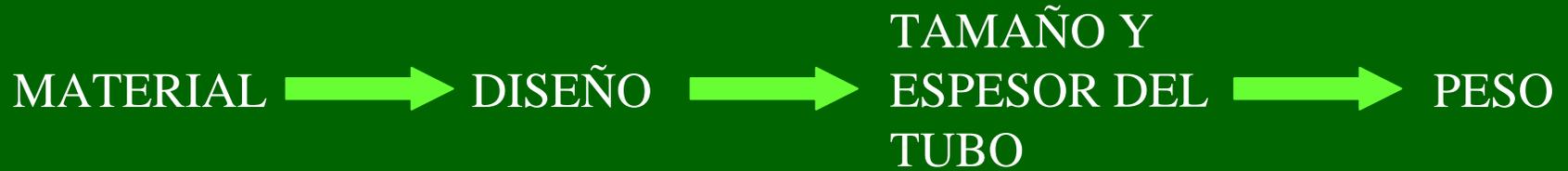
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

- 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

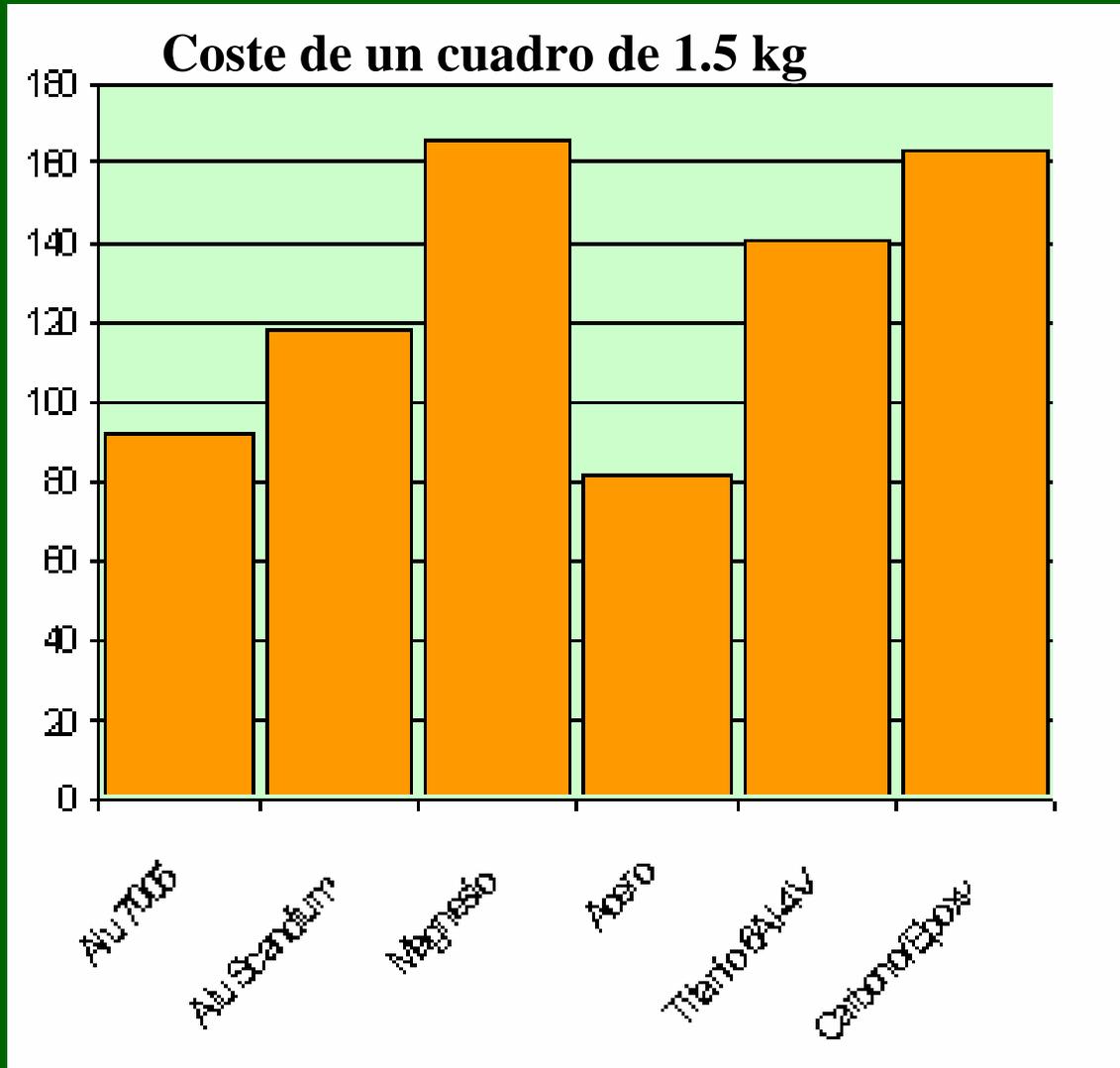


- PESO
- COSTE DE FABRICACIÓN

PESO DEL CUADRO



COSTE DE FABRICACIÓN DEL CUADRO



- MAGNESIO
- CARBONO
- TITANIO
- ALUMINIO
- ACERO

RELACIÓN PESO - PRECIO



MENOR PRECIO  ACERO

MENOR PESO  CARBONO

 ELEGIMOS LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

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)



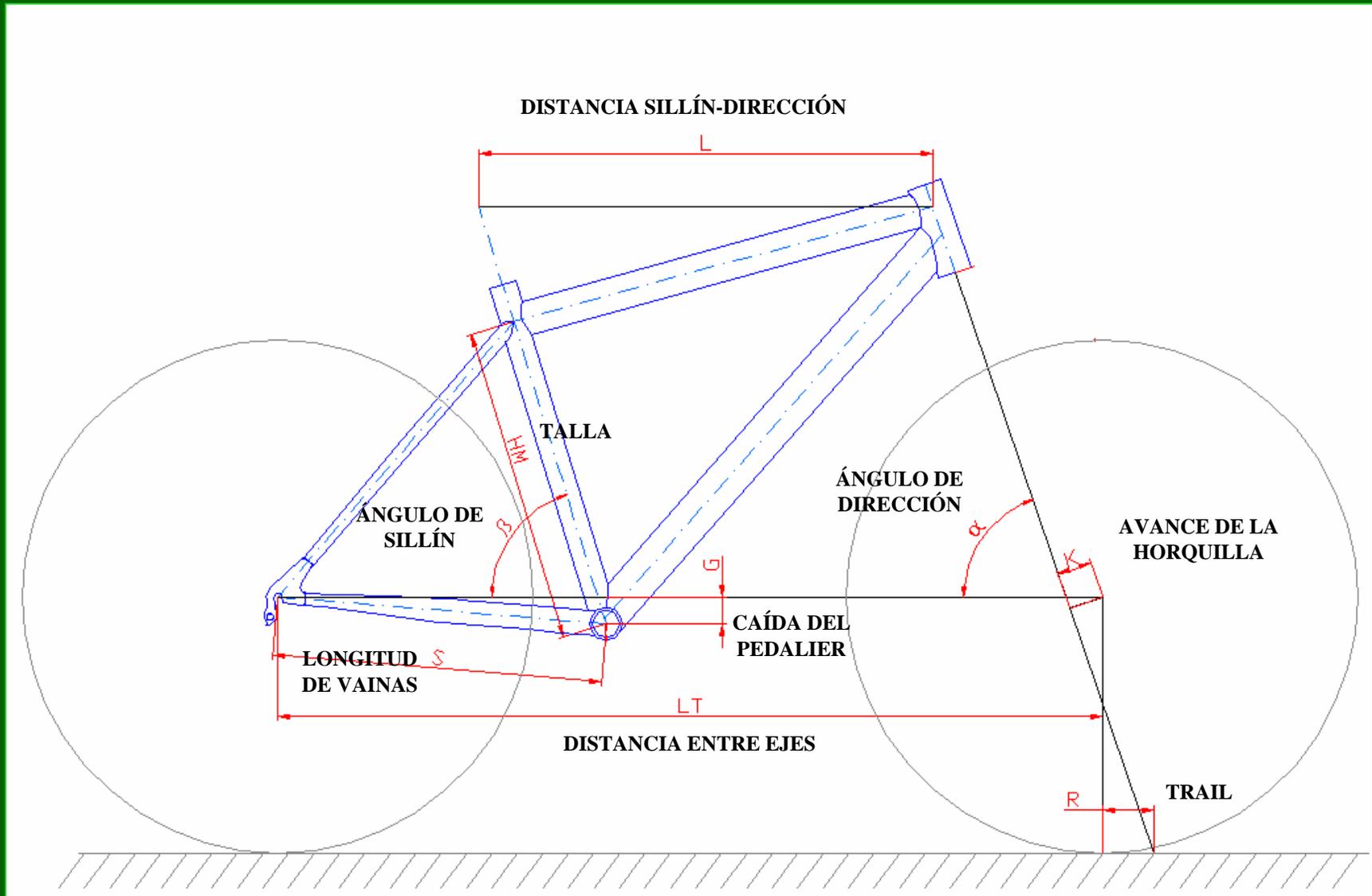
GEOMETRÍA



CONDUCCIÓN

- ESTABILIDAD
- MANEJABILIDAD
- TRACCIÓN
- RENDIMIENTO Y COMODIDAD

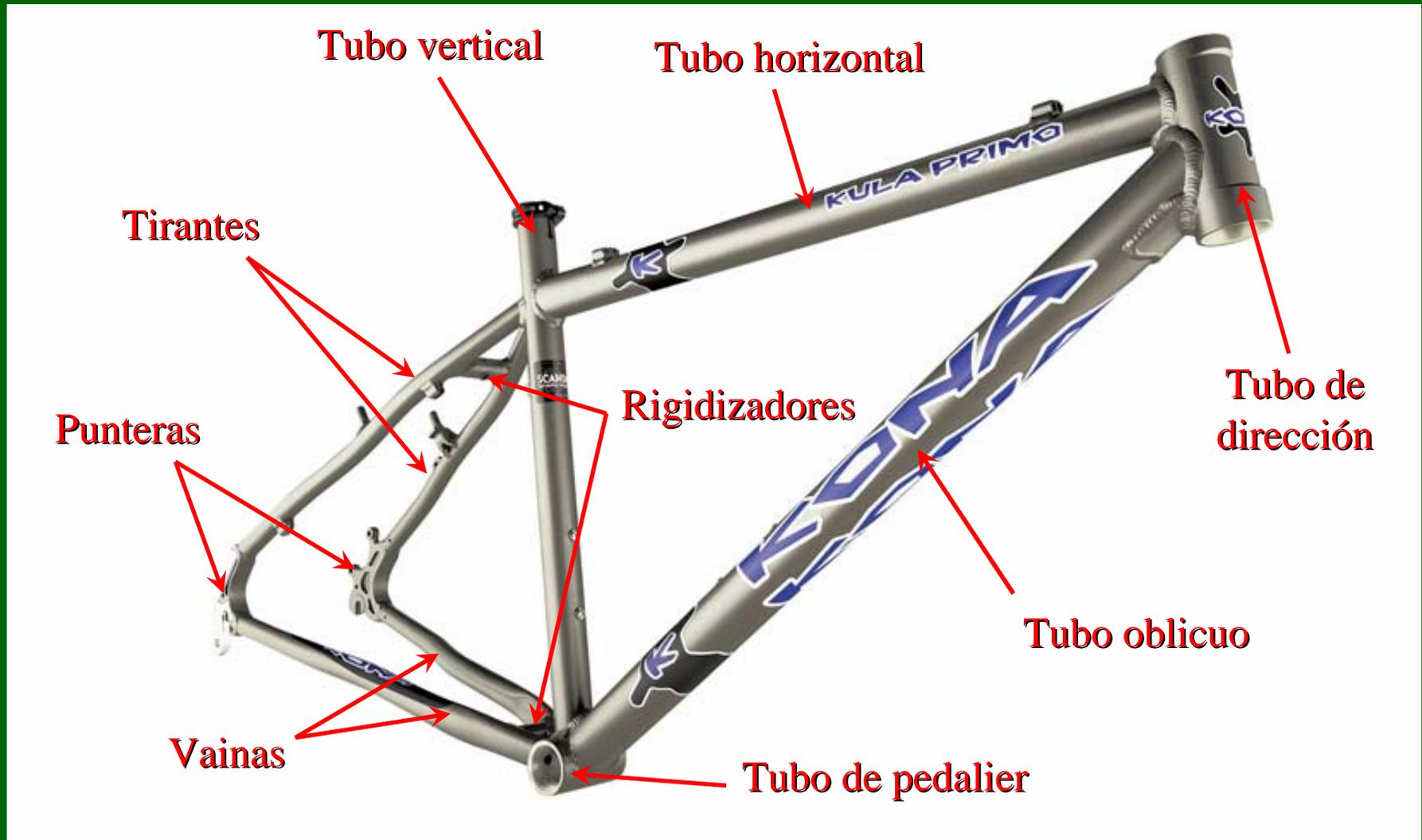
DIMENSIONES FUNDAMENTALES



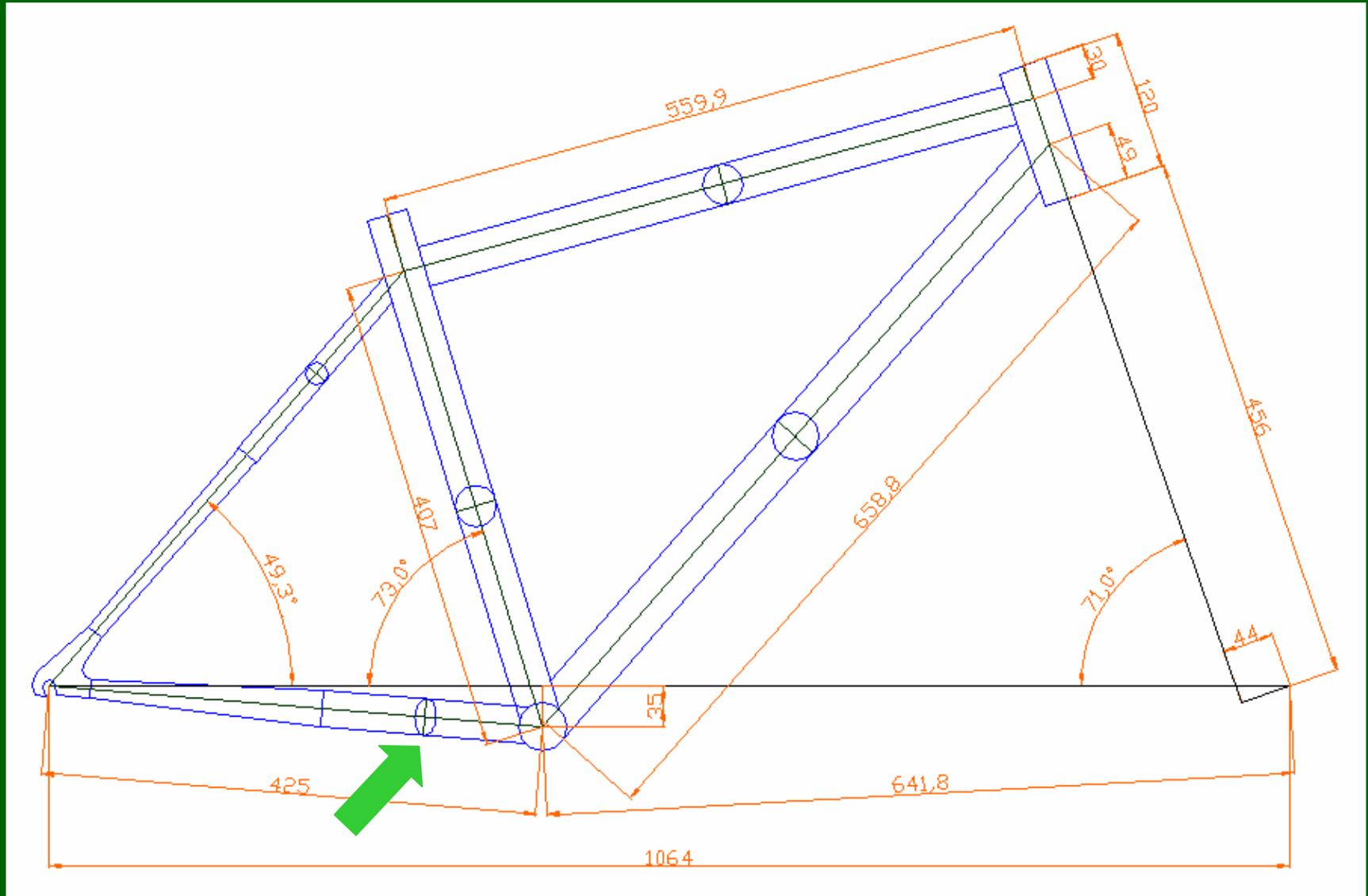
DIMENSIONES DE NUESTRA BICICLETA**CARACTER COMPETITIVO < > COMODIDAD**

• 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: $7 \div 9$ mm

- ASPECTO ONDULADO



MECÁNIZADOS

- CONCAVO



ÁNGULO AGUDO

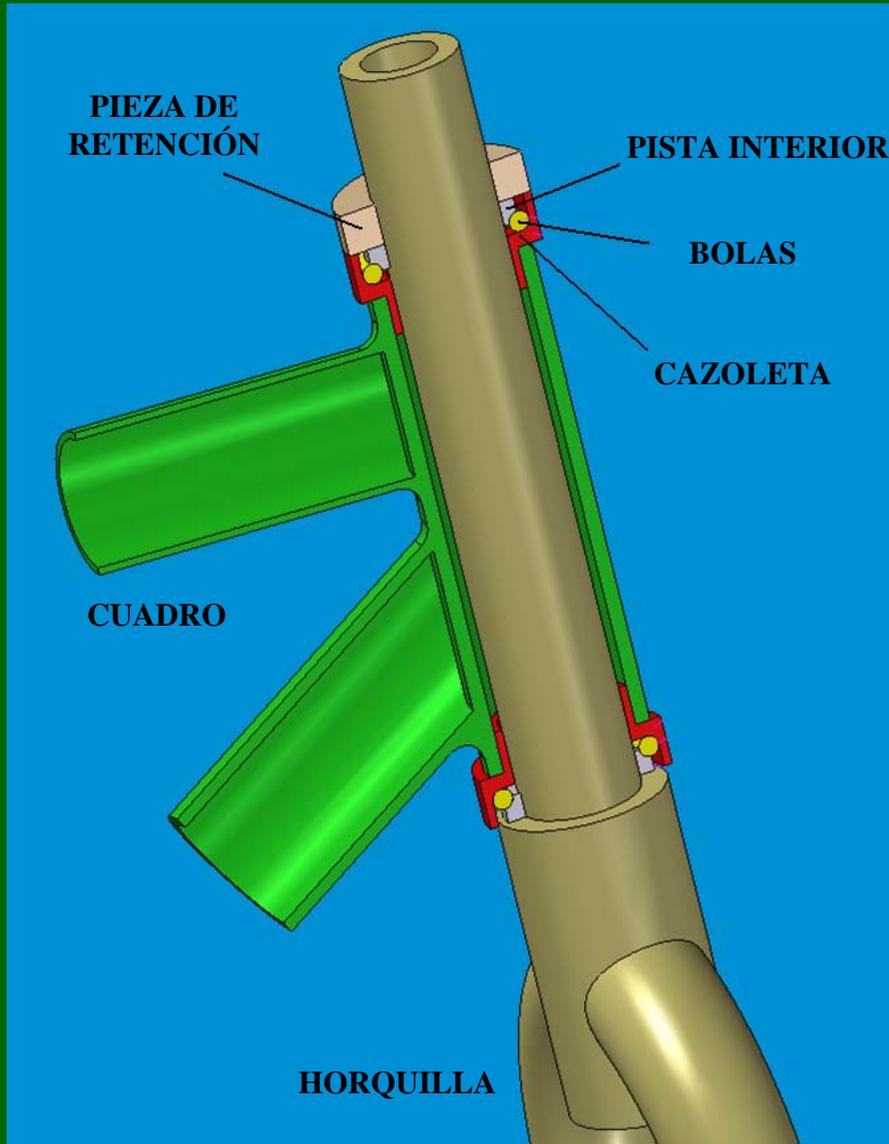
- CONVEXO



ÁNGULO OBTUSO



CONJUNTO: CUADRO-RODAMIENTOS-HORQUILLA



Rodamientos

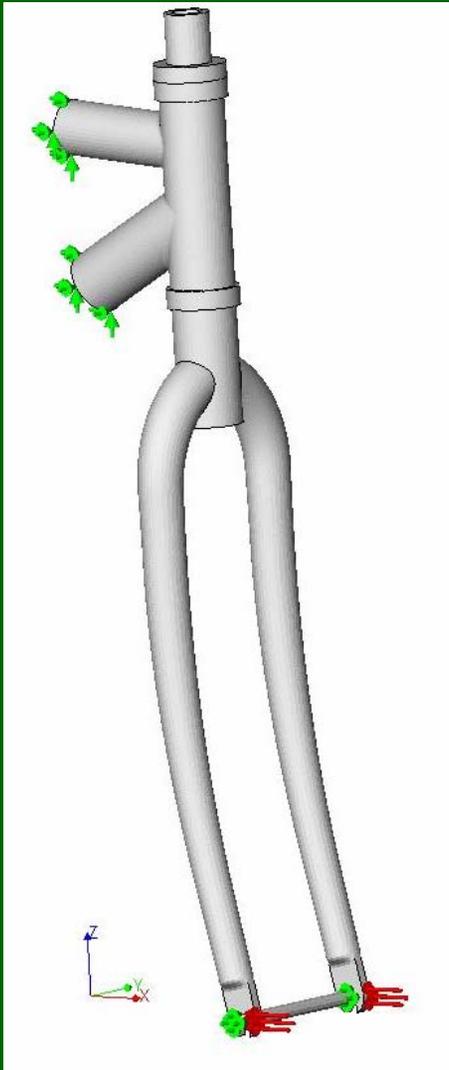


COSMOSDesignSTAR

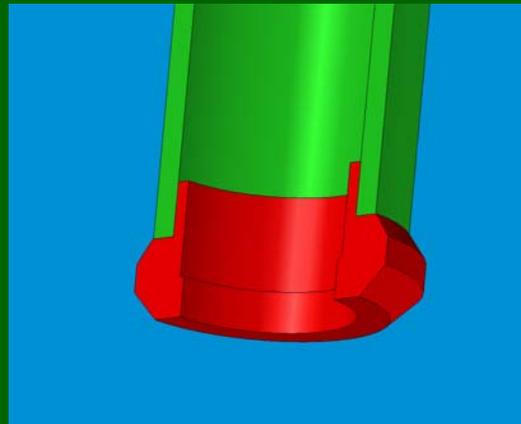
CONTACTO ENTRE SUPERFICIES

- 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

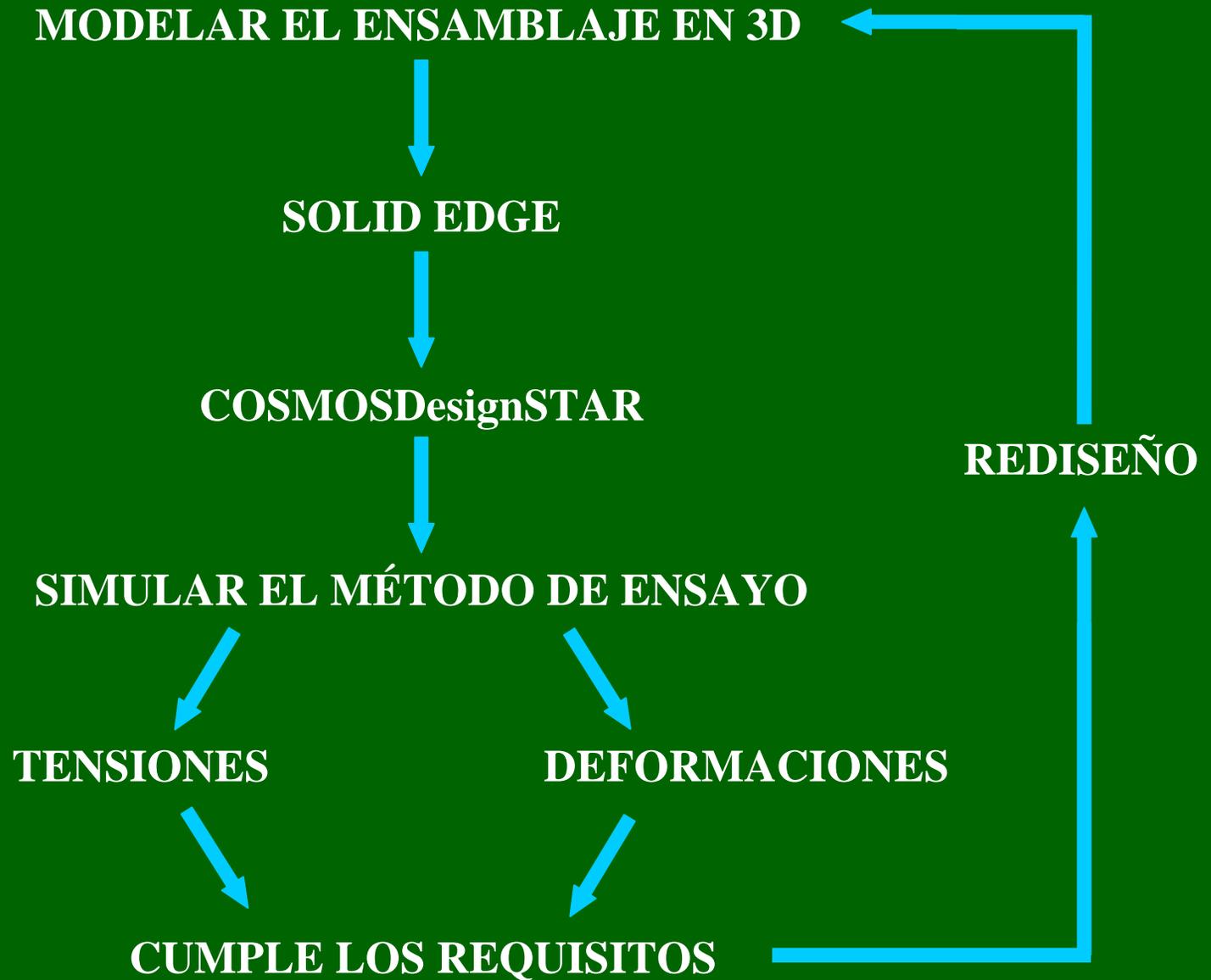
¿SOPORTARÁ EL CUADRO LOS ESFUERZOS?

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

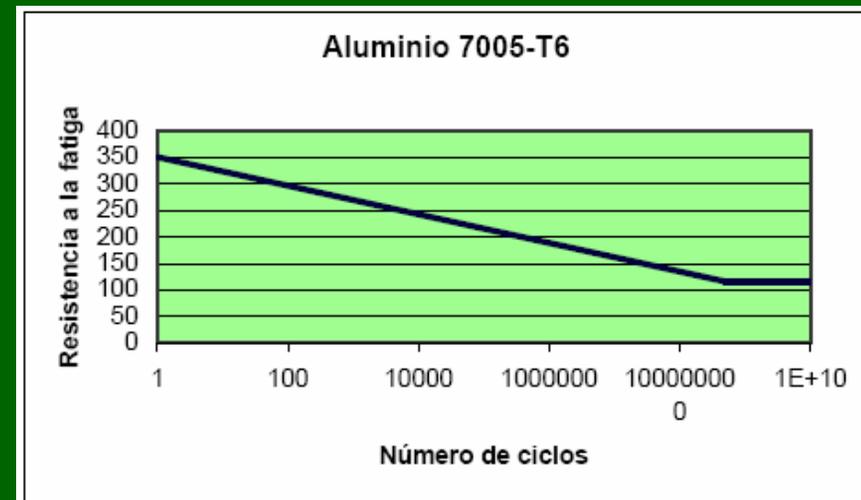
Curvas de Wöhler

Material base

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

ZAT

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

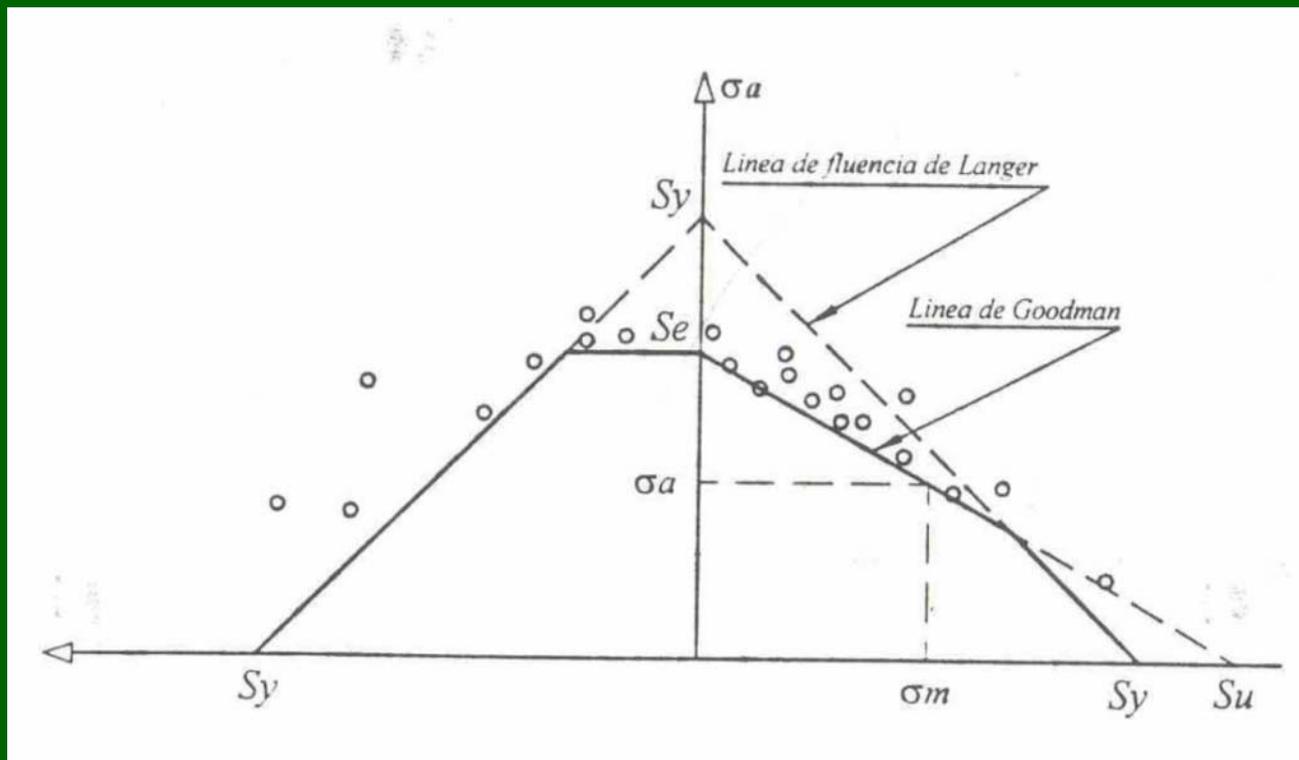


ESFUERZOS FLUCTUANTES

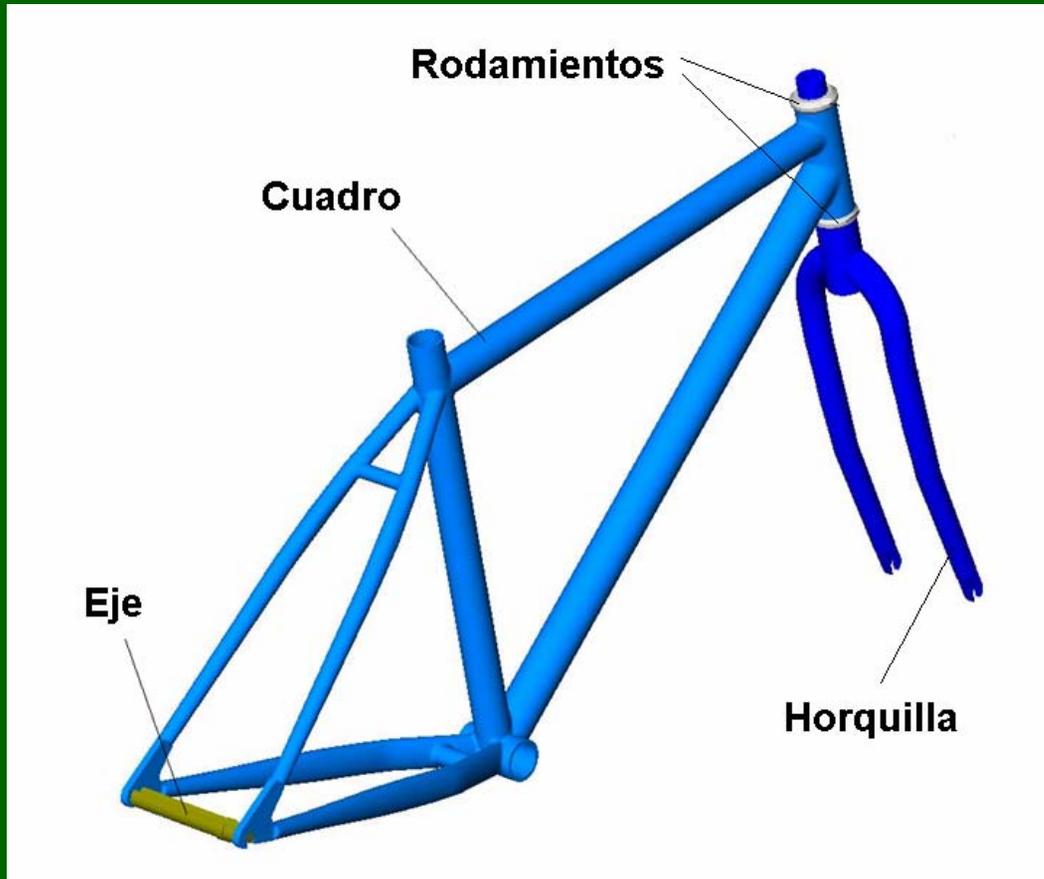
Línea de Goodman $(\sigma_a / S_e) + (\sigma_m / S_u) = 1$

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

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

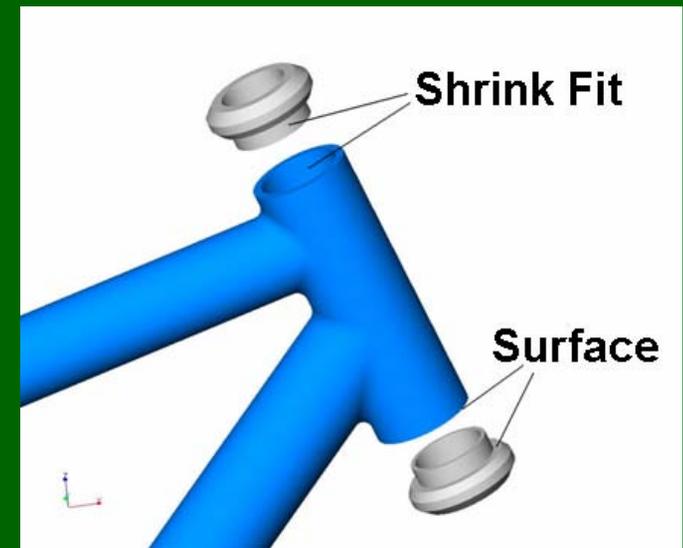


PARTES DEL CONJUNTO

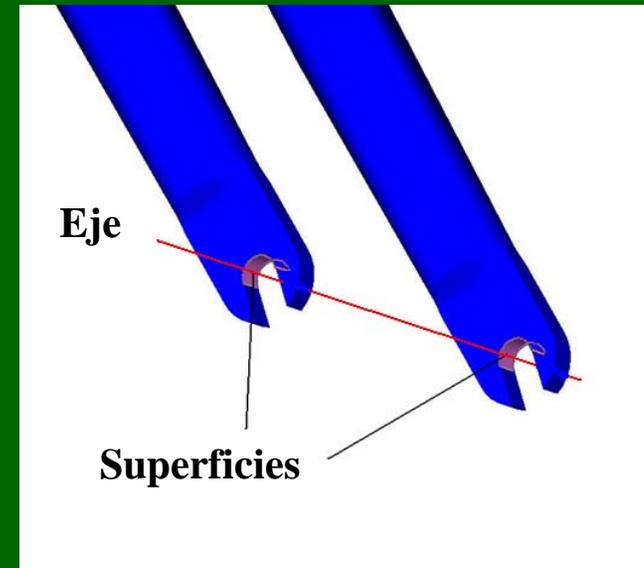
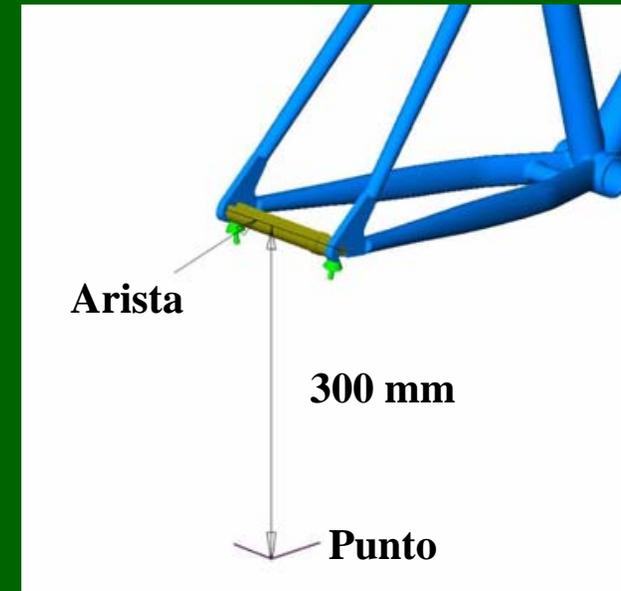
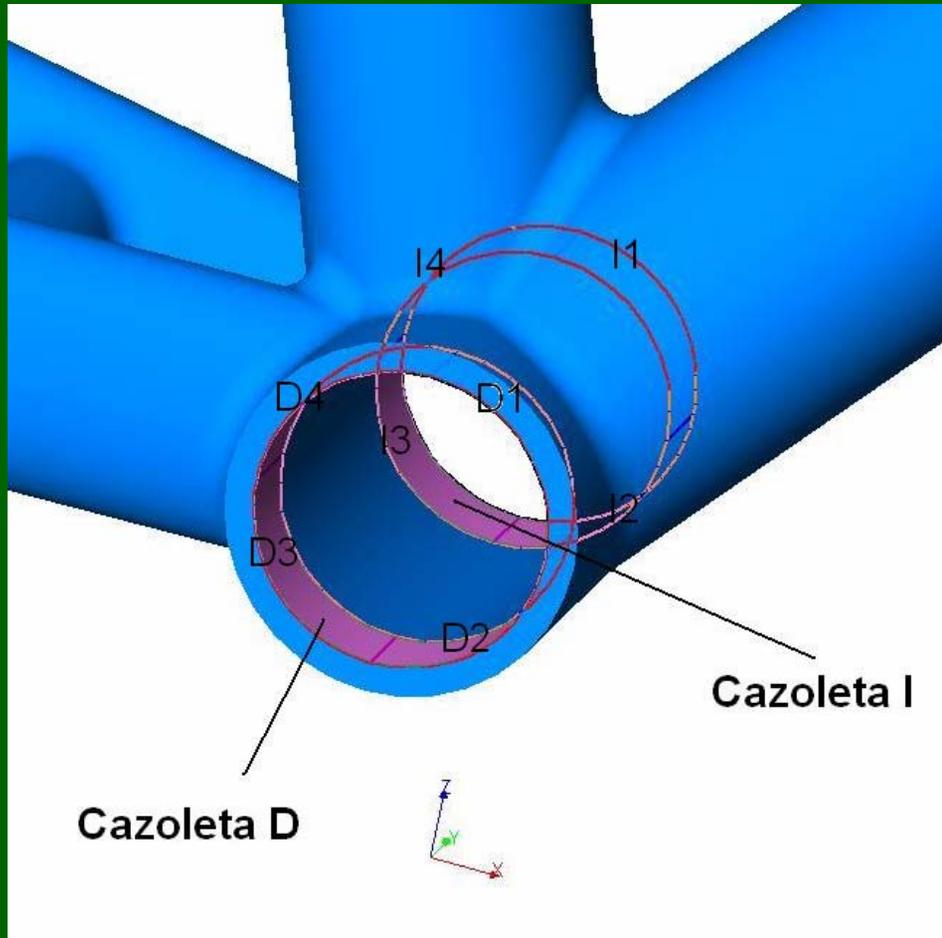


AJUSTE DE LOS RODAMIENTOS

Apriete $0.1 \div 0.2$ mm



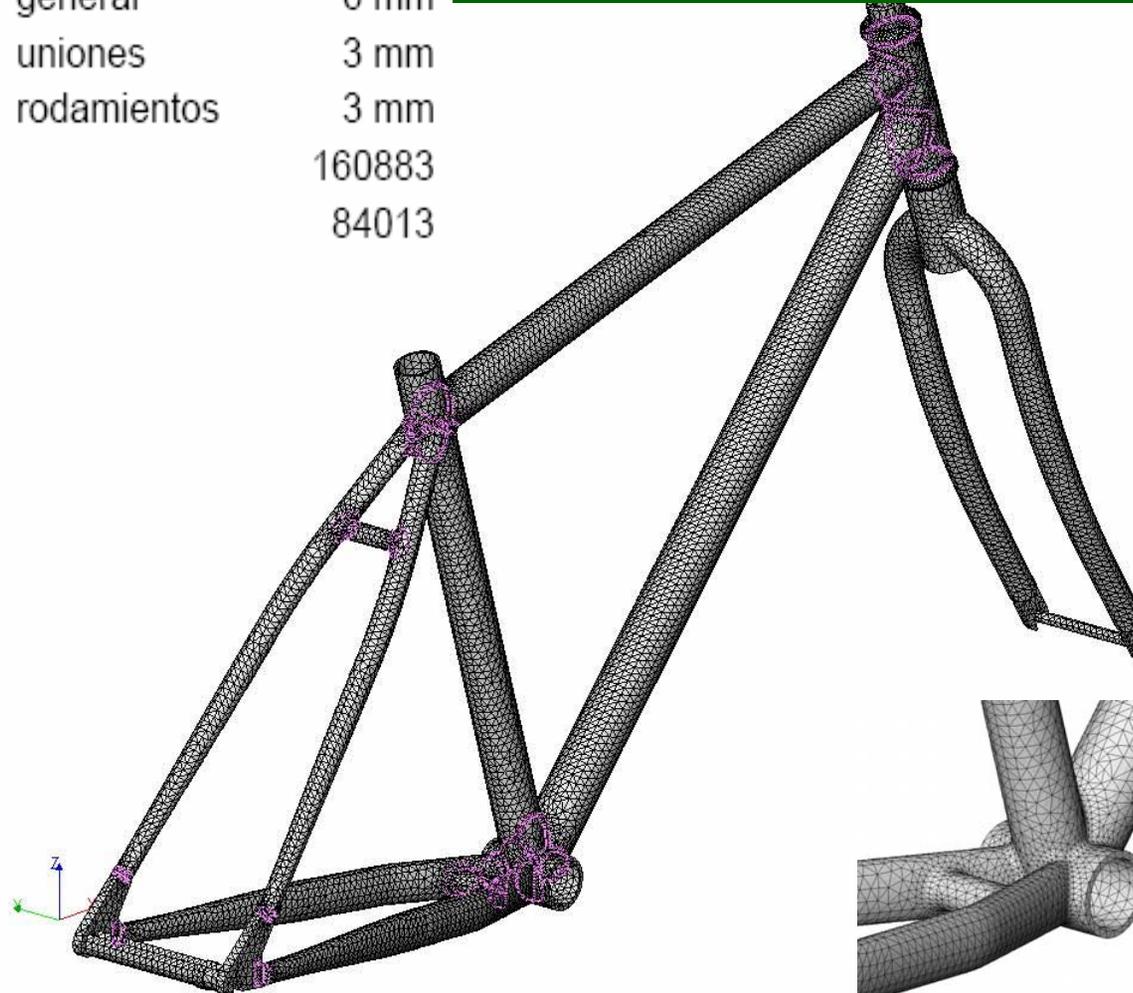
CONDICIONES DE CONTORNO



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 ÷ 5 Hz , *EFBe Engineering For Bikes*

> 15 Hz

FRECUENCIA DEL 1^{er} MODO = 48.18 Hz > 15 Hz



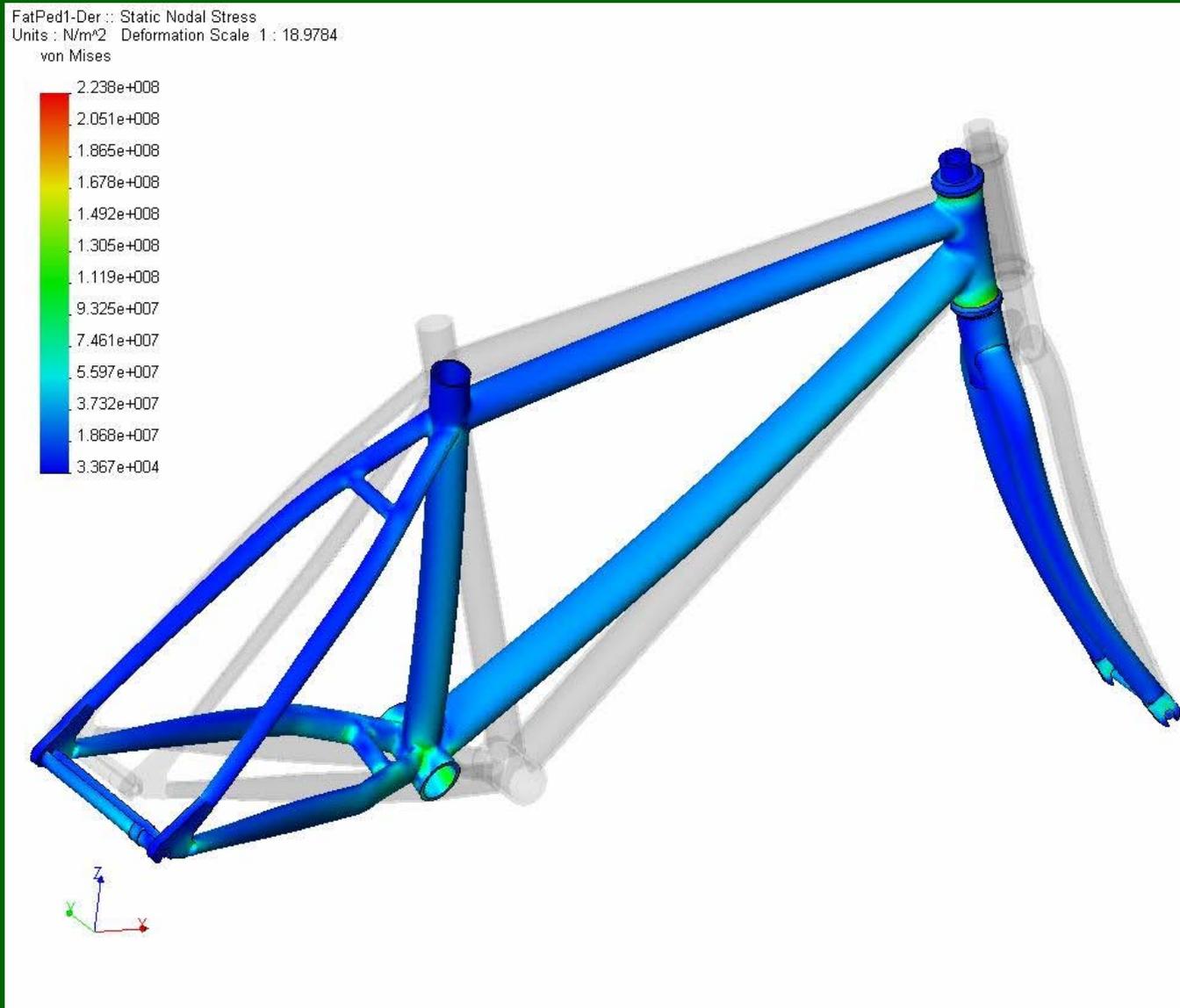
**ANÁLISIS
ESTÁTICO**

SIN PLASTIFICACIÓN

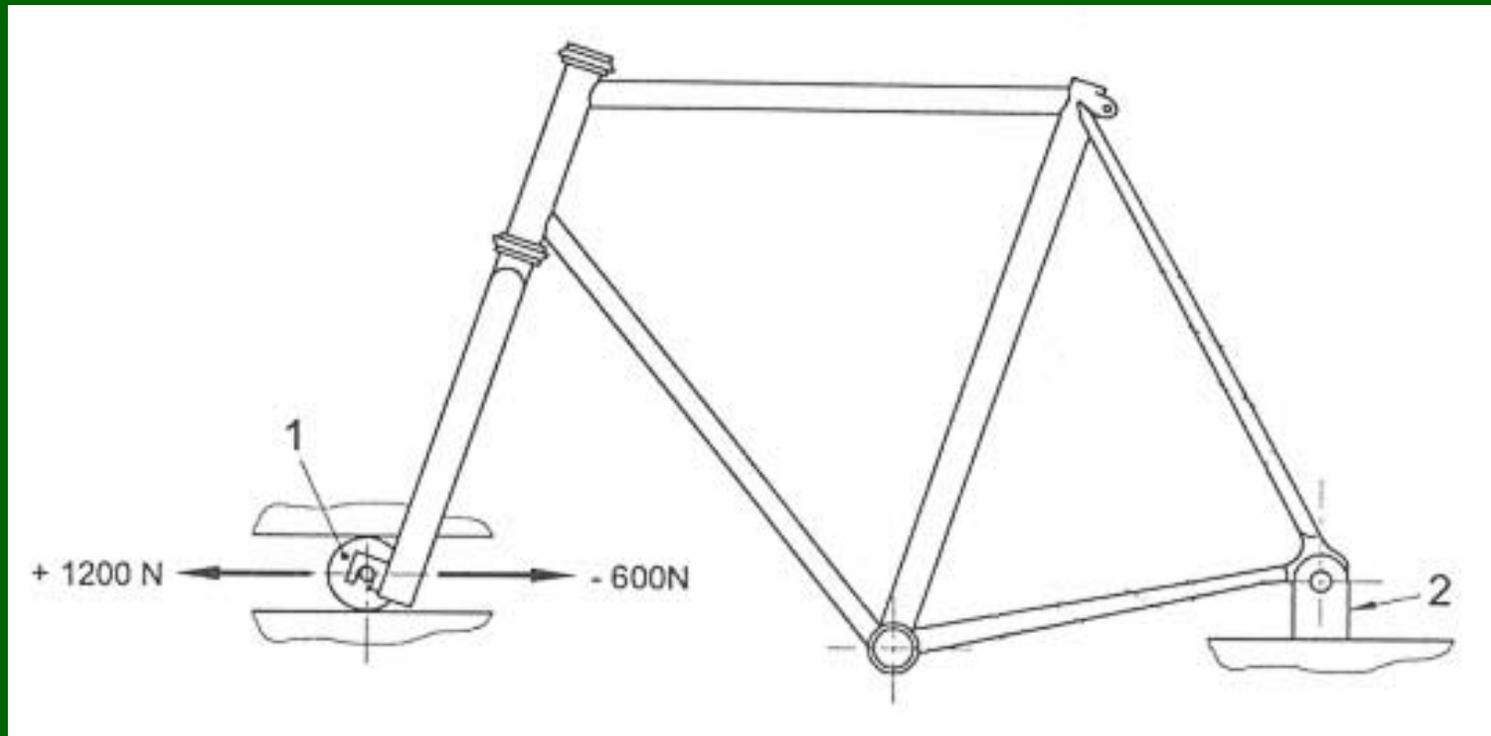


LINEAL

PEDAL DERECHO: TENSIONES DE VON MISES



ENSAYO DE FATIGA: FUERZAS HORIZONTALES



- Fuerzas de $1\ 200\text{ N}$ y 600 N ; $50\ 000$ ciclos
- No debe haber fracturas o grietas visibles

TIPO DE ANÁLISIS

FRECUENCIA DEL 1^{er} MODO = 48.59 Hz > 15 Hz



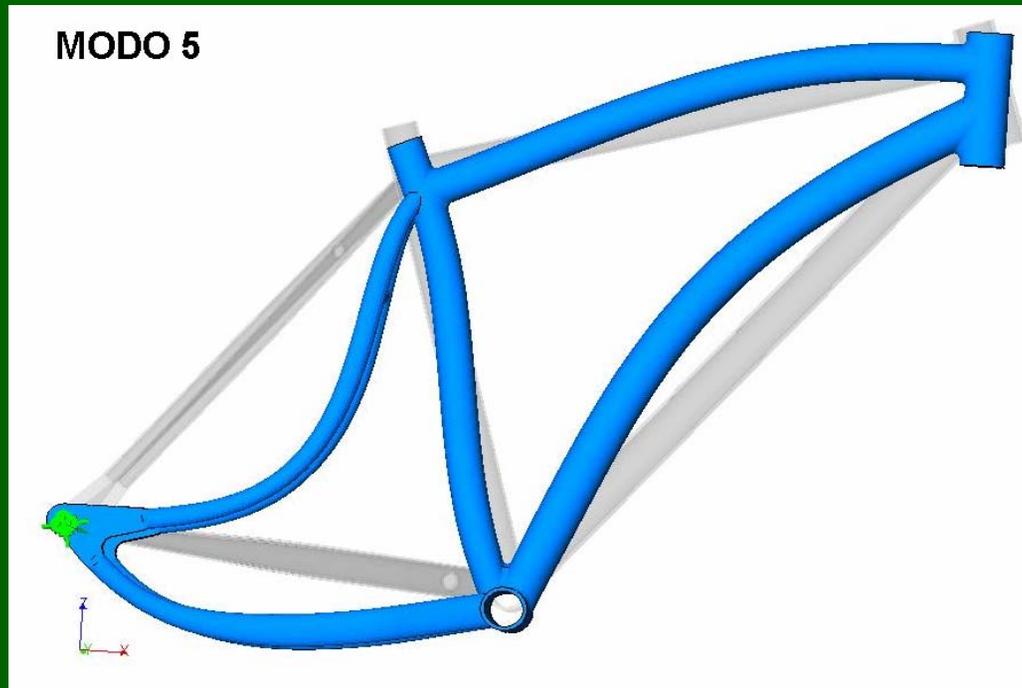
**ANÁLISIS
ESTÁTICO**

SIN PLASTIFICACIÓN

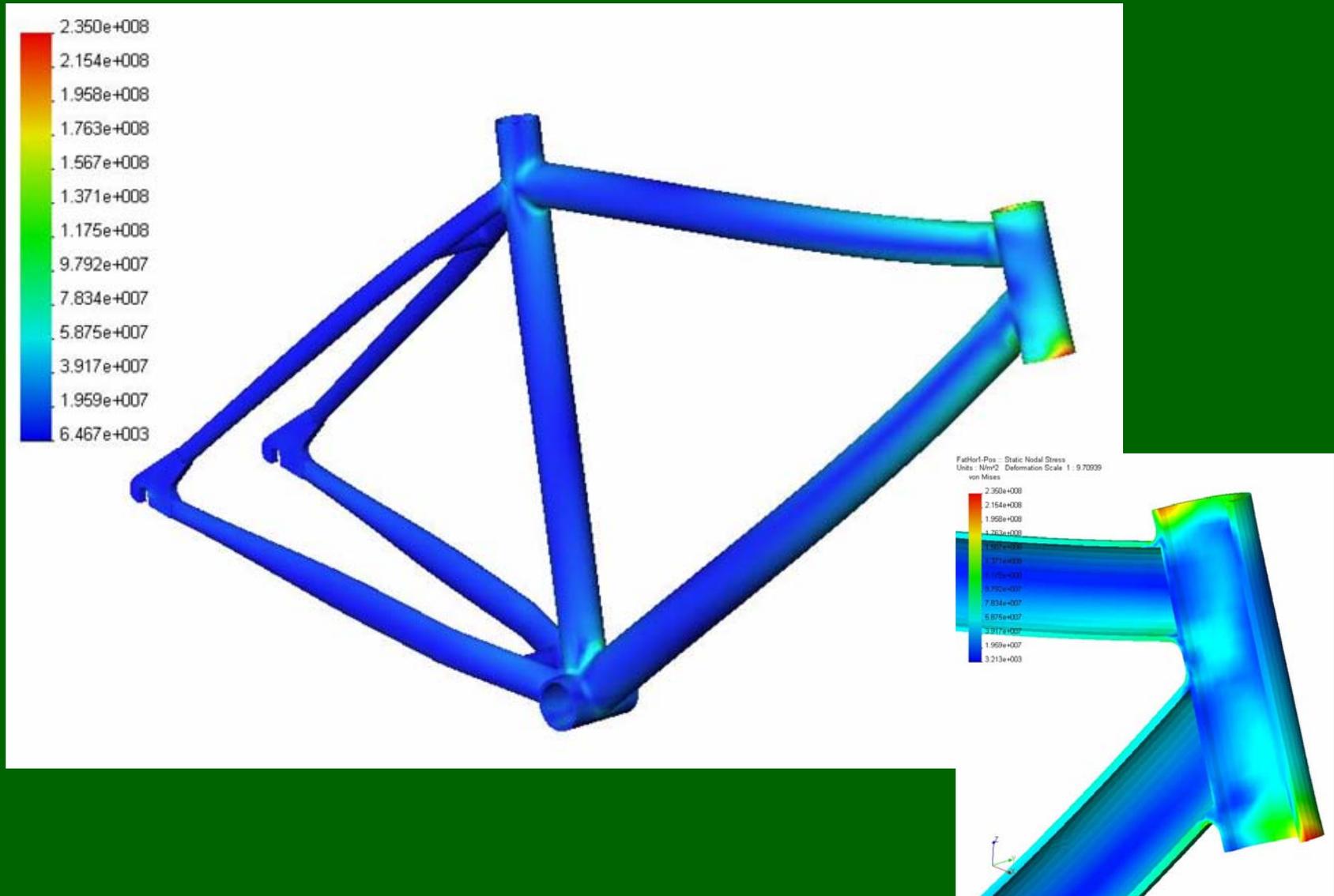


LINEAL

Frecuencia del 5^o 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

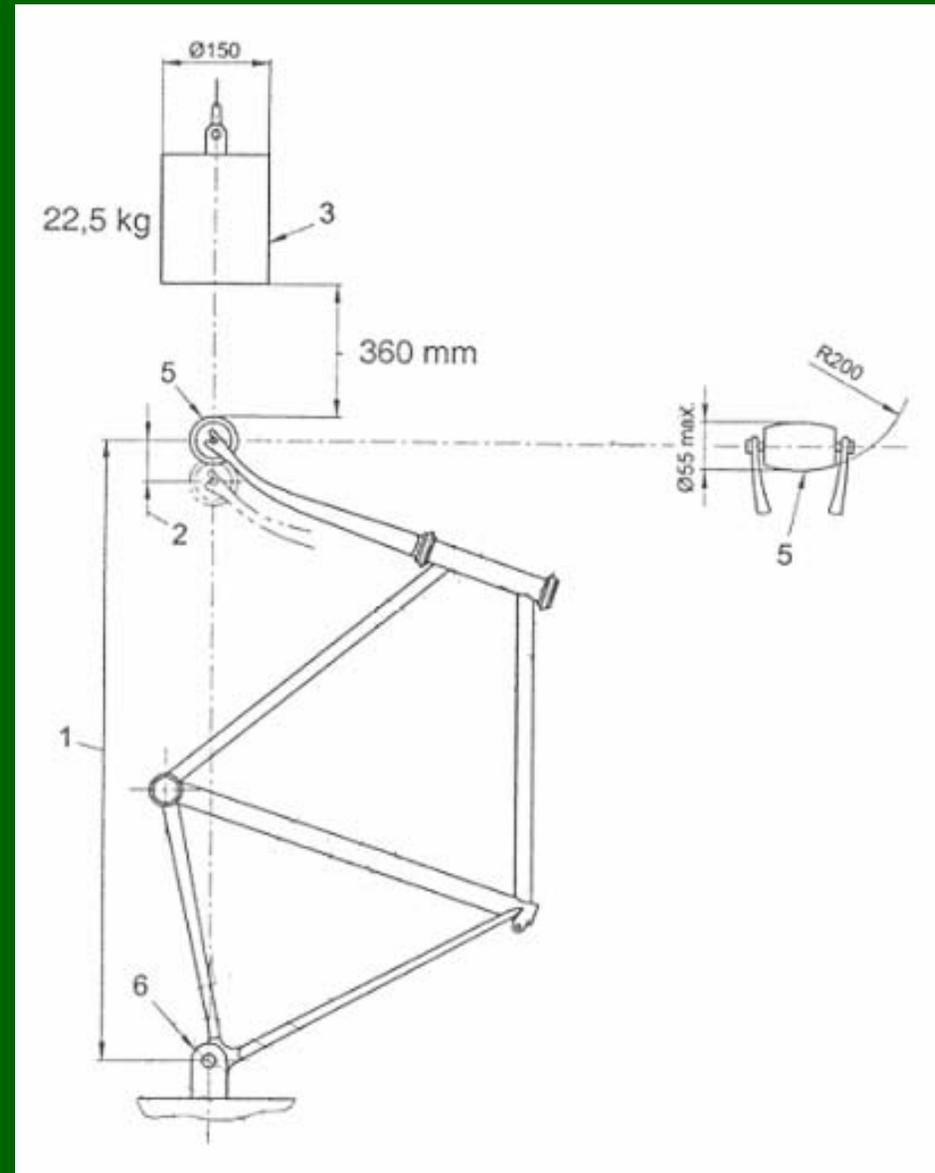
- Comportamiento no lineal del material

- ▶ Modelo de plastificación

ANÁLISIS NO LINEAL

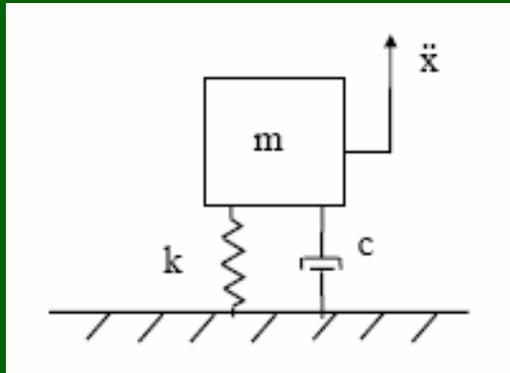
ENSAYO DE IMPACTO: CAÍDA DE UNA MASA

- 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

SISTEMA SIN
AMORTIGUAMIENTO

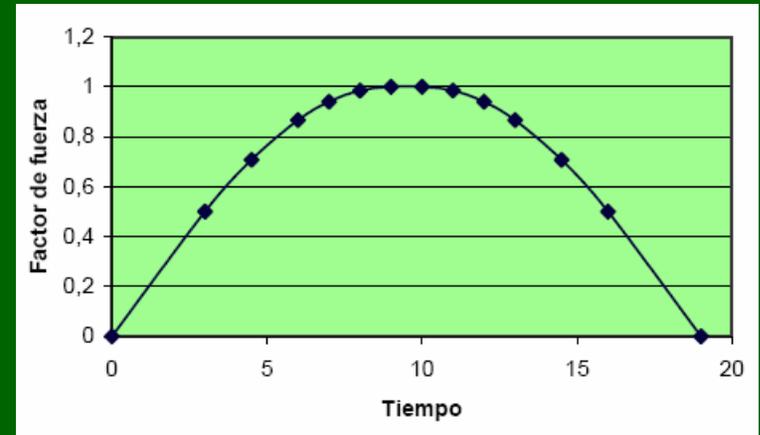
↓
CURVA FUERZA-TIEMPO

ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

▶ **CONDICIONES DE CONTORNO**

▶ **CURVA FUERZA-TIEMPO**

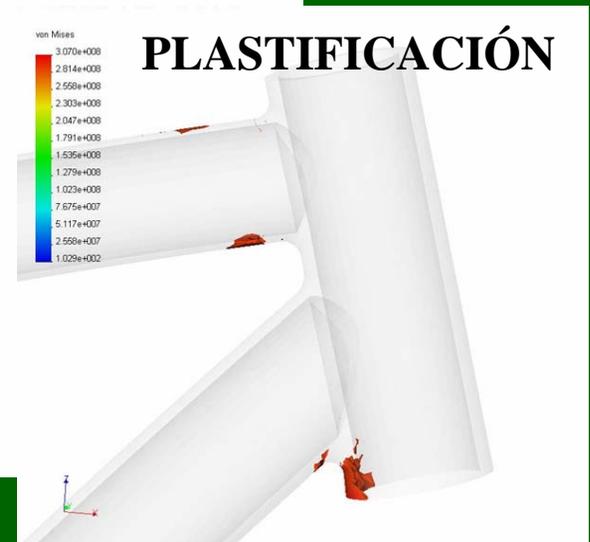
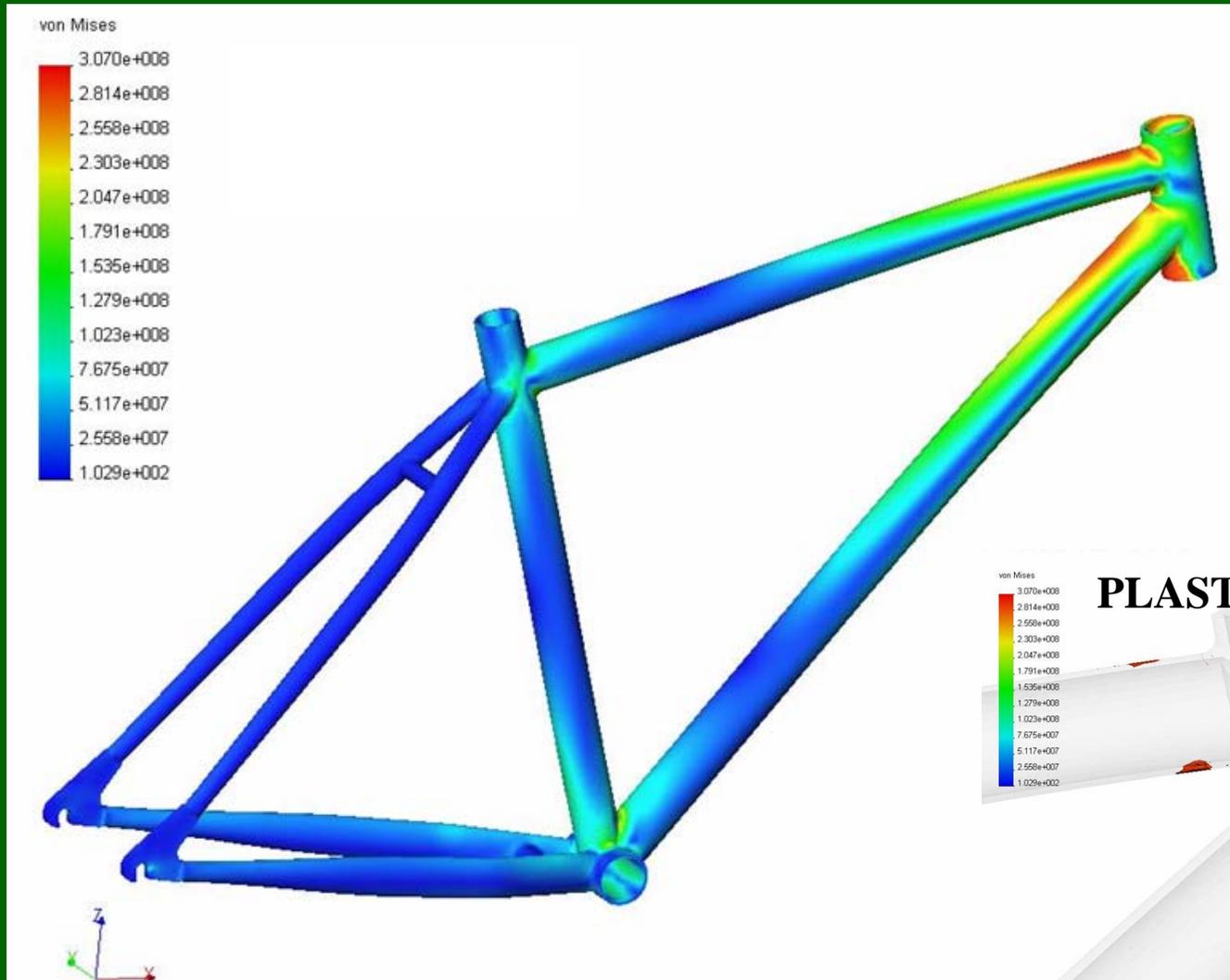
▶ **MALLADO**



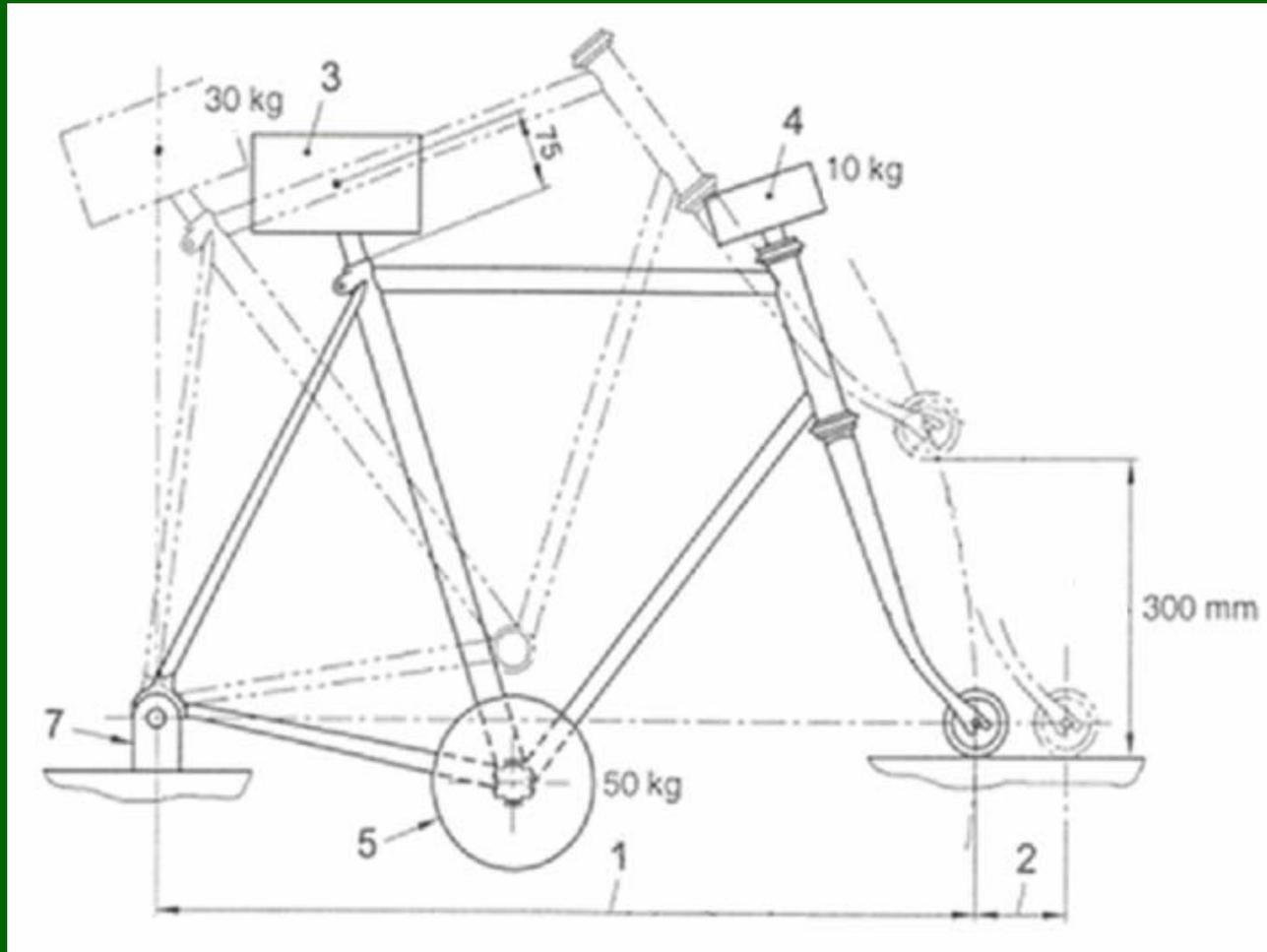
▶ **MATERIAL** → Modelo de plastificación Huber-Von Mises

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

TENSIONES DE VON MISES

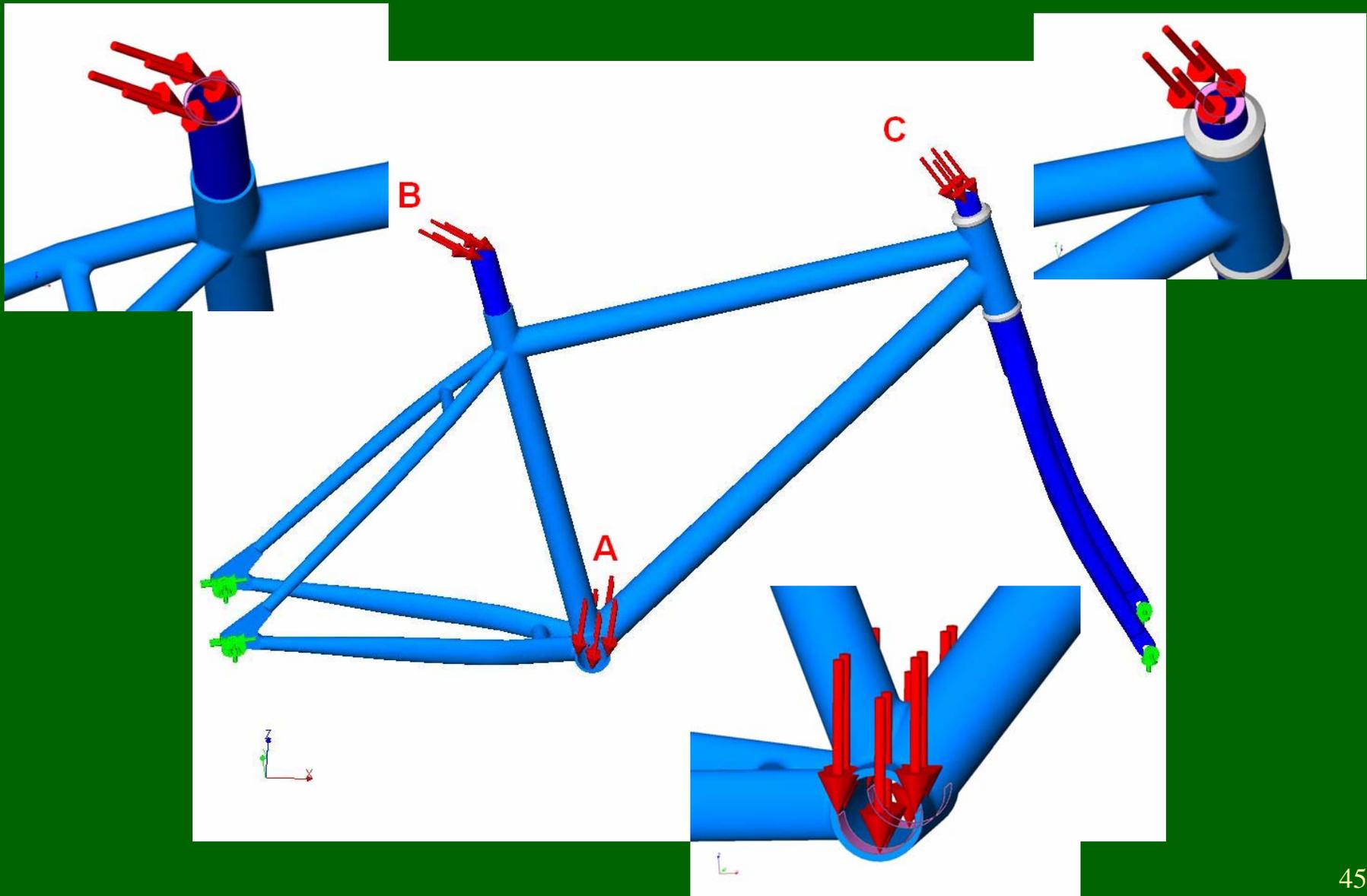


ENSAYO DE IMPACTO: CAÍDA DEL CUADRO



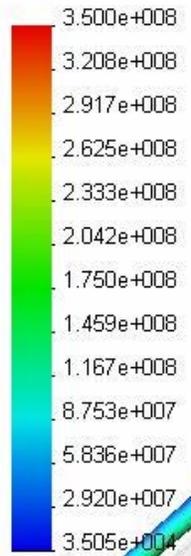
- No debe haber fracturas o grietas visibles
- Deformación permanente entre ejes < 60 mm

CONDICIONES DE CONTORNO

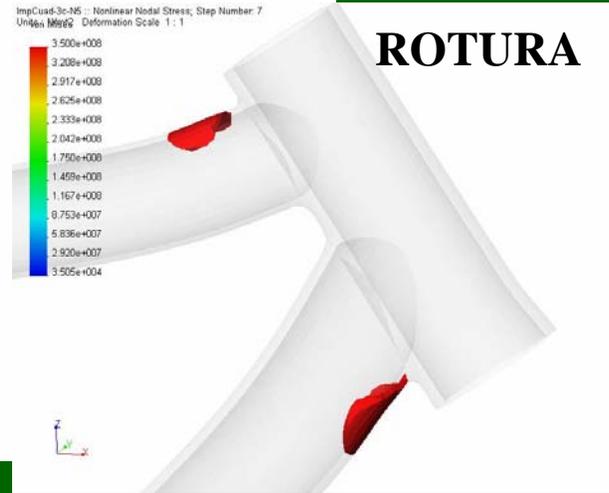
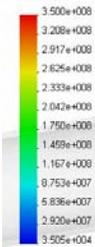


TENSIONES DE VON MISES

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



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



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

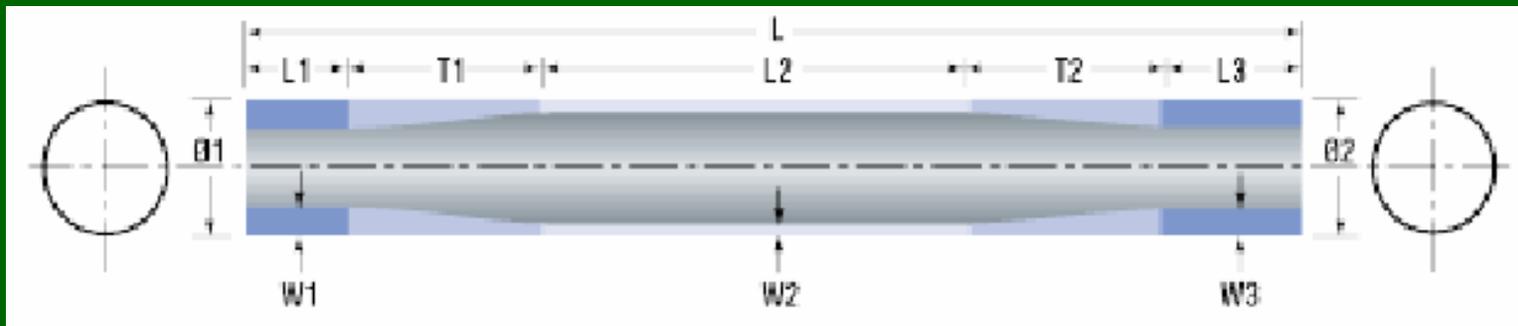


▶ prEN 14766:2003

▶ Comprobación a PANDEO

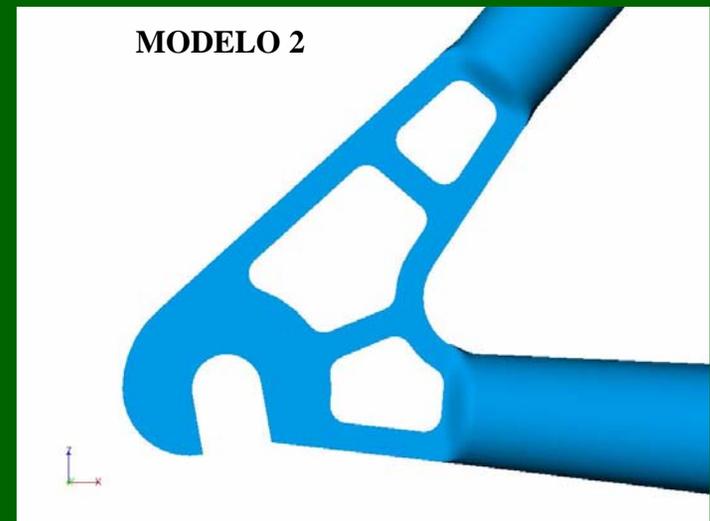
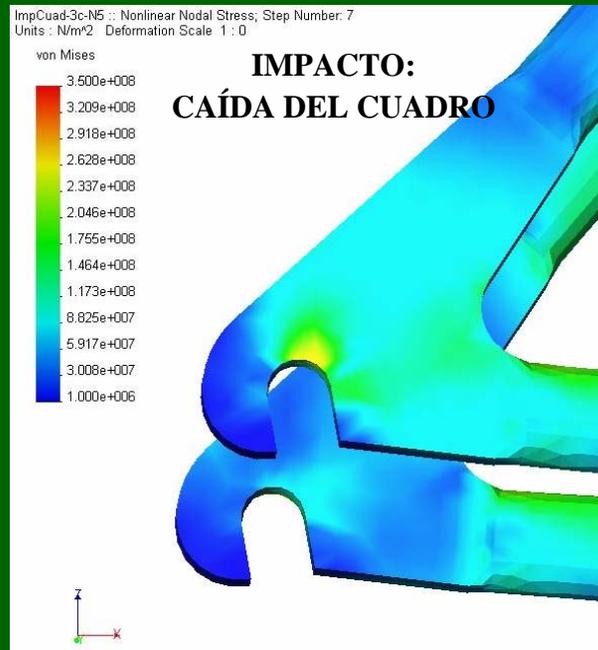
VARIABLES DEL DISEÑO

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

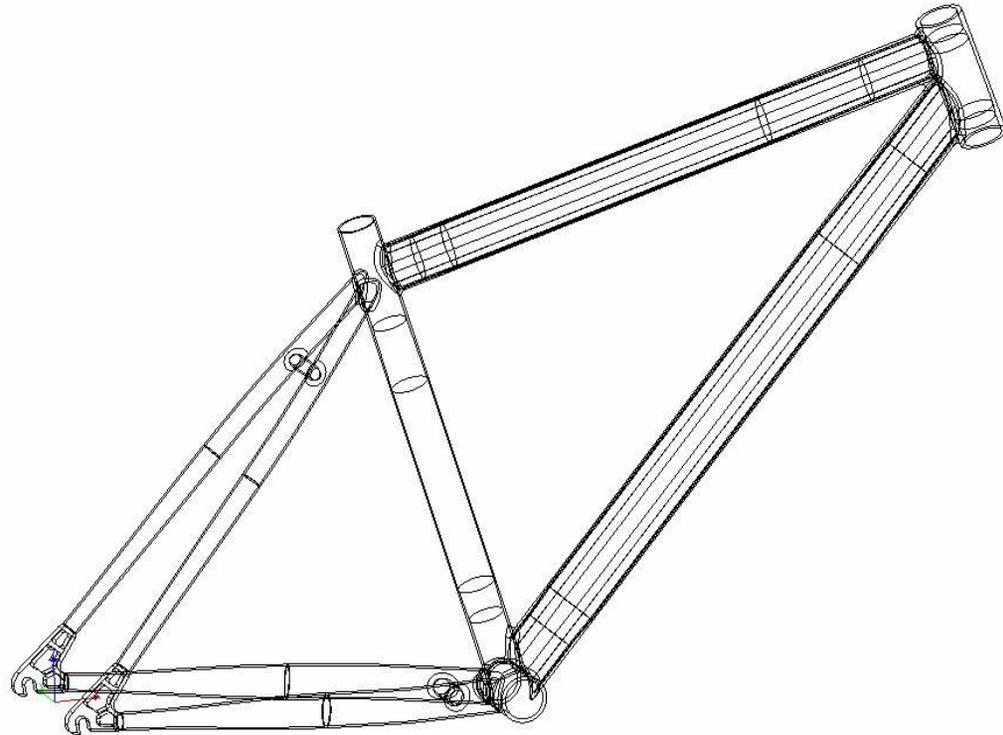


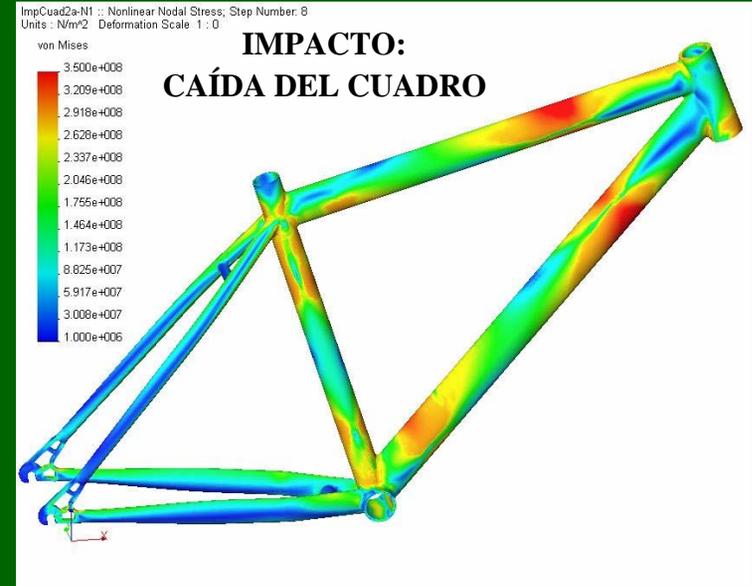
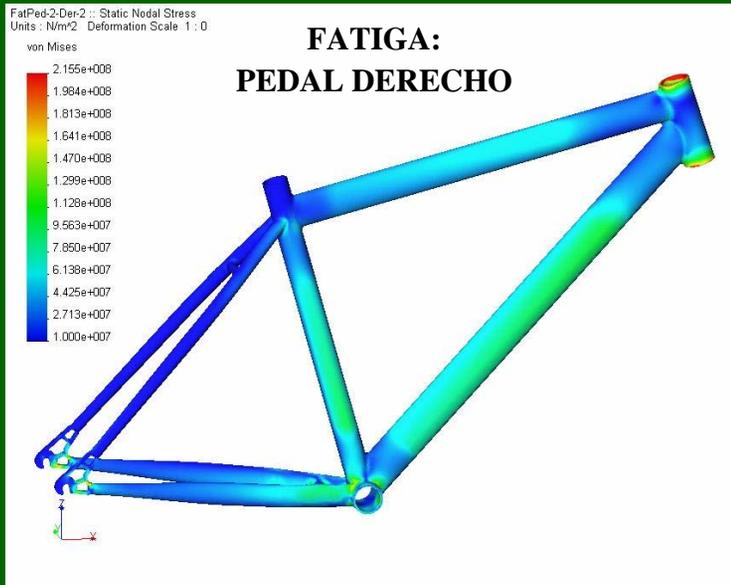
DISEÑO DEL SEGUNDO MODELO

TUBO	OVALADO	EMBUTIDO	FORMA VARIABLE
HORIZONTAL	SI	SI	NO
OBLICUO	SI	SI	NO
VERTICAL	NO	SI	NO
TIRANTES	NO	NO	SI
VAINAS	SI	NO	SI
DIRECCIÓN	NO	SI	NO
PEDALIER	NO	NO	NO
RIGIDIZADORES	NO	NO	NO



SEGUNDO MODELO

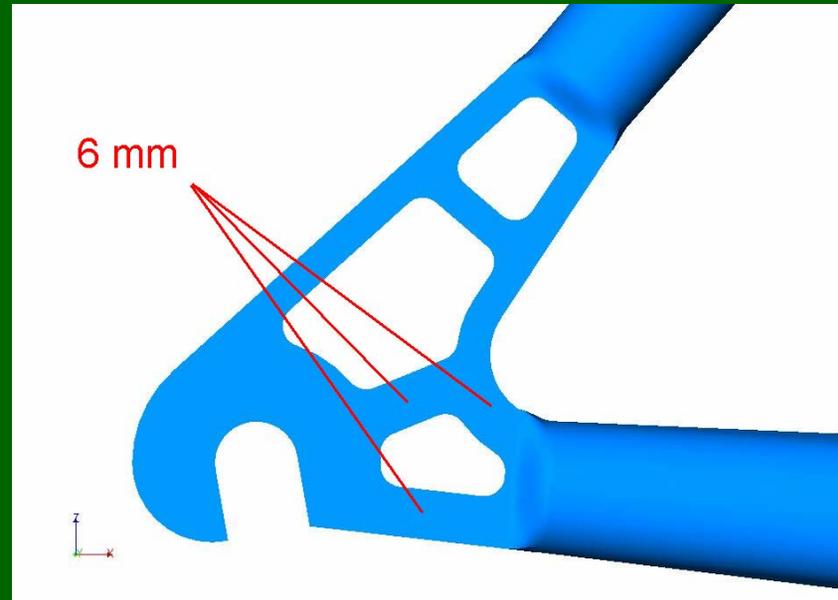




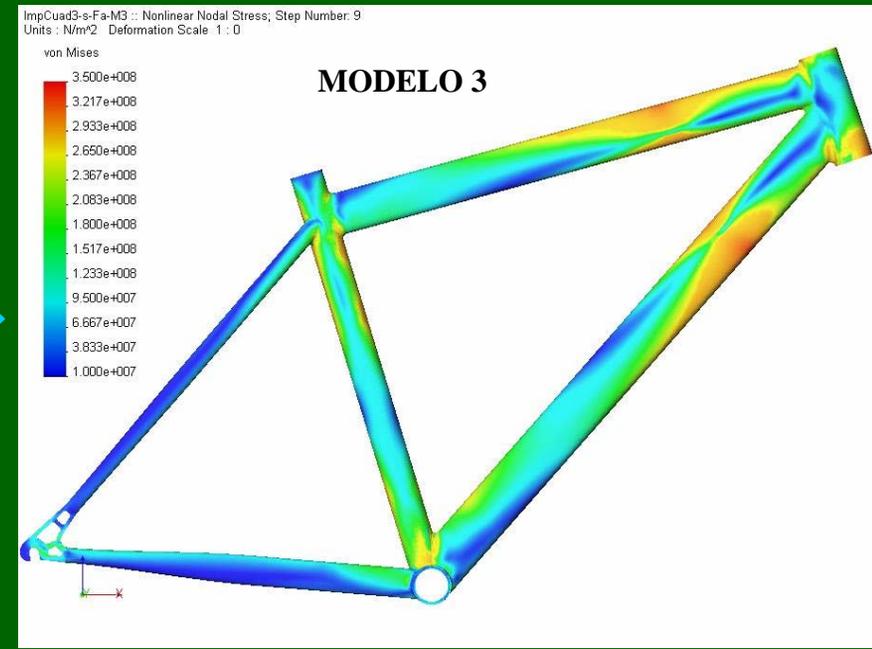
DISEÑO DEL TERCER MODELO

SE HAN HECHO VARIACIONES EN:

- **ESPEORES 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

Impacto: caída del cuadro

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



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

