



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
Escola Politécnica Superior



# DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN TRASERA DE UNA BICICLETA DE MONTAÑA

Autor: Carlos Ruiz Seijo

Tutor: Javier Cuadrado Aranda

Marzo 2003

# LA SUSPENSIÓN EN LAS BICICLETAS

- NO ES UNA IDEA RECIENTE (1896)
- NEUMÁTICO → DISEÑOS OBSOLETOS
- DÉCADA '90
  - Auge MTB
  - Retoma idea bici suspensión
  - Todos fabricantes



# VENTAJAS E INCONVENIENTES

## VENTAJAS:

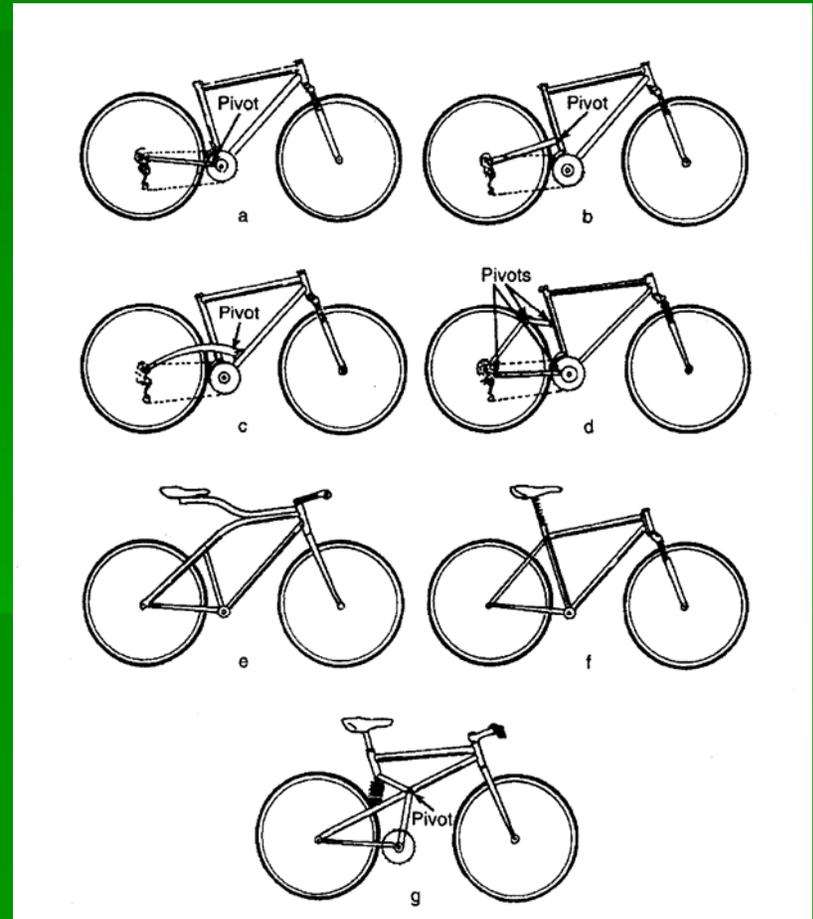
- AISLAR DE LAS VIBRACIONES:
  - Mejora del confort
  - Disminución fatiga
- MEJORA PRESTACIONES:
  - Frenada
  - Tracción
  - Comportamiento y control

## DESVENTAJAS :

- AUMENTO DE PESO
- MENOR RIGIDEZ CUADRO
- MAYOR MANTENIMIENTO
- INTERACCIÓN SUSPENSIÓN-PEDALEO
  - Pérdida de energía
- RETROCESO DEL PEDAL (“KICK-BACK”)

# PARÁMETROS DE DISEÑO

- Optimizar confort
  - ✓ Rigidez
  - ✓ Precarga
  - ✓ Amortiguamiento
- Minimizar interacción suspensión - pedaleo
  - ✓ Rediseñar mecanismo suspensión

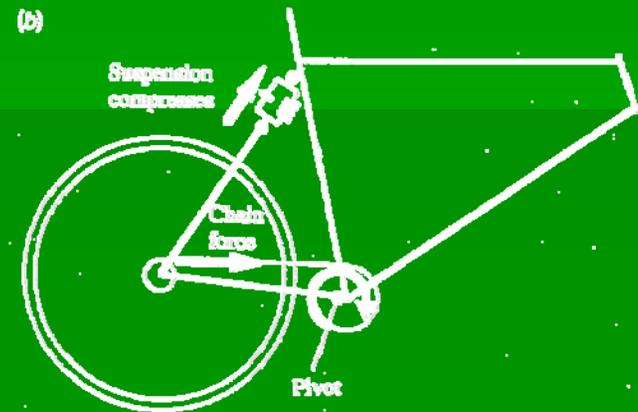
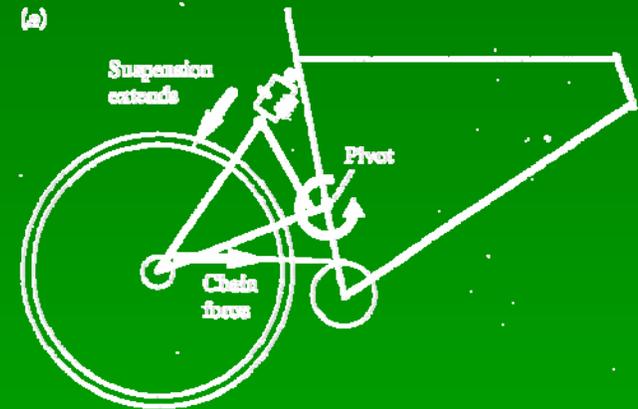


# CAUSAS INTERACCIÓN PEDALEO

## ➤ TENSIÓN CADENA

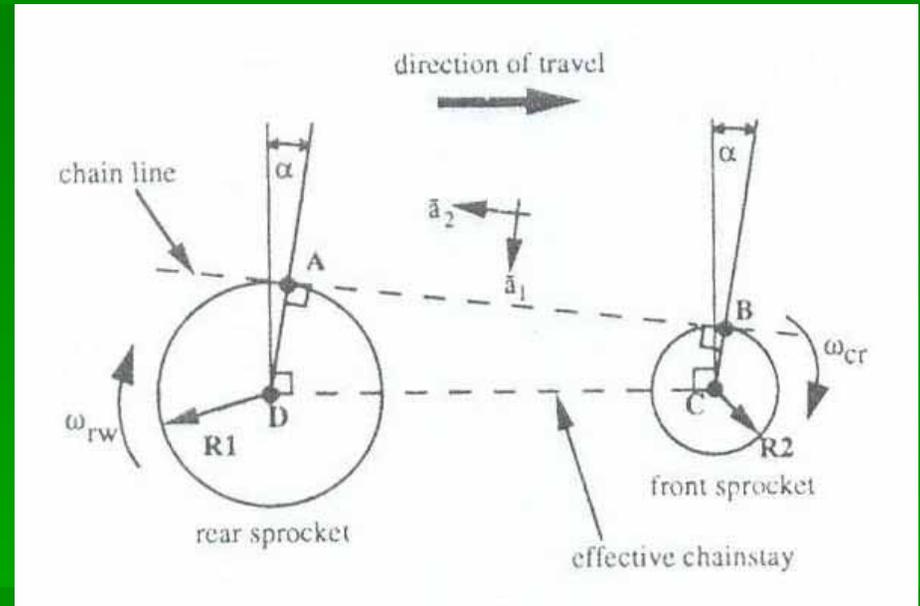
- Momento respecto al eje de giro
- Cabeceo. Transferencia de carga

## ➤ INERCIA MOVIMIENTO PIERNAS:



# RETROCESO DEL PEDAL O “KICK-BACK”

- Oscilación suspensión
- Variación distancia
- Cadena inextensible:
  - ❖ Pérdida tracción
  - ❖ Variación  $\omega$  biela (cadencia pedaleo)



# ESTUDIOS PREVIOS

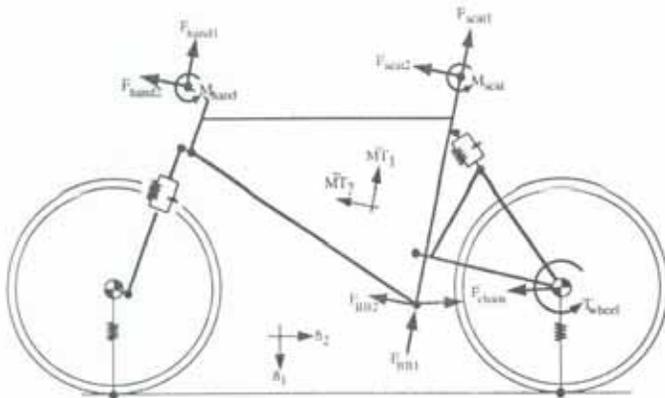
## SISTEMA MONOPIVOTE

### ➤ Wang y Hull (1996)

- F ciclista
- Considera:
  - ✓ Rozamiento
  - ✓ Resistencia viento
  - ✓ Rigidez neumático
- Amortiguamiento cuadrático

### ➤ Good y McPhee (1999)

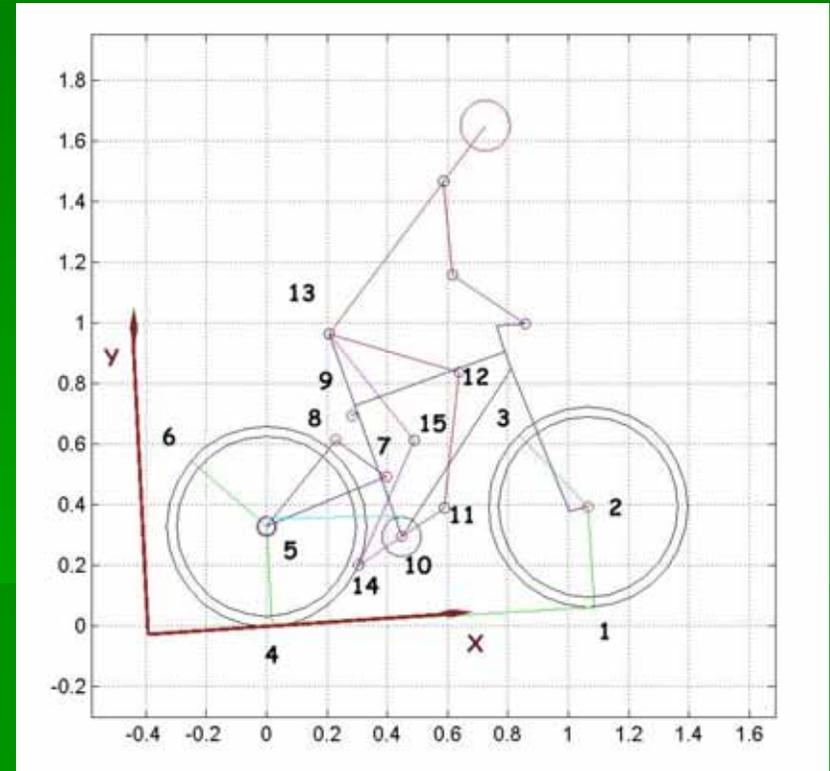
- Ciclista parte cuadro
- F ciclista = F internas
- F aplicadas
  - ✓ Tensión
  - ✓ F gravitatorias
- No se consideran:
  - ✓ Rozamiento
  - ✓ Resistencia viento
  - ✓ Rigidez neumático
- Amortiguamiento lineal
- Más sencillo
- Mismos resultados



# CONDICIONES EXPERIMENTO

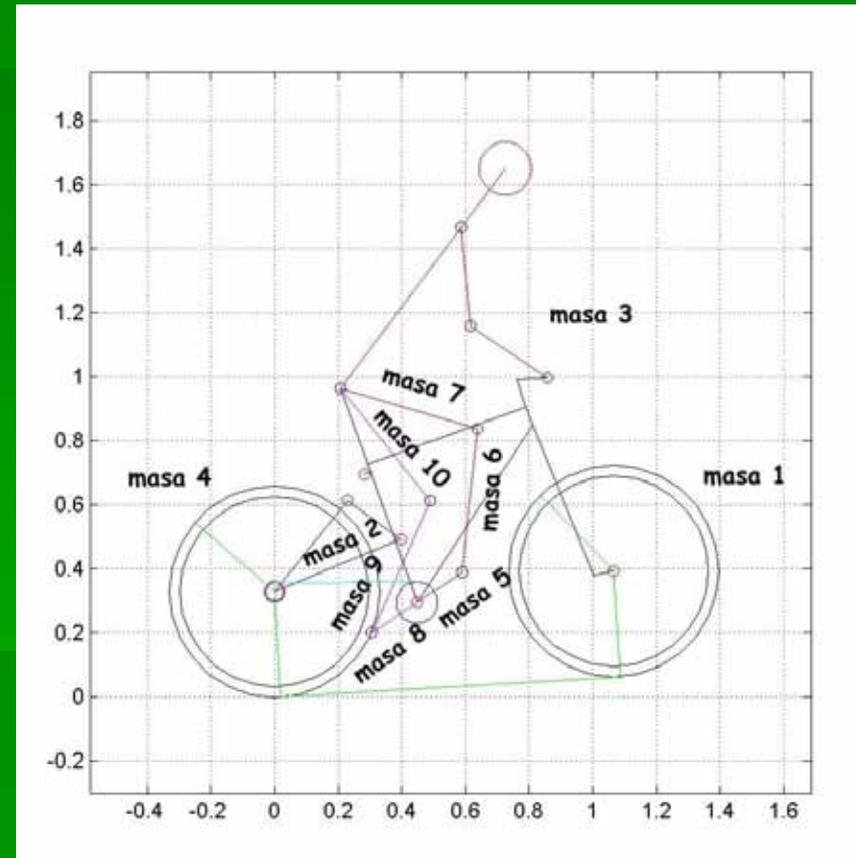
## ➤ Mismas resto estudios

- Ciclista 80 kg
- Sentado
- Pendiente 6%
- Superficie lisa
- Desarrollo 32 x 14
- Cadencia 84 r.p.m.
- Velocidad 6,5 m/s
- Suspensión delantera bloqueada
- Misma geometría
- Mismo amortiguamiento



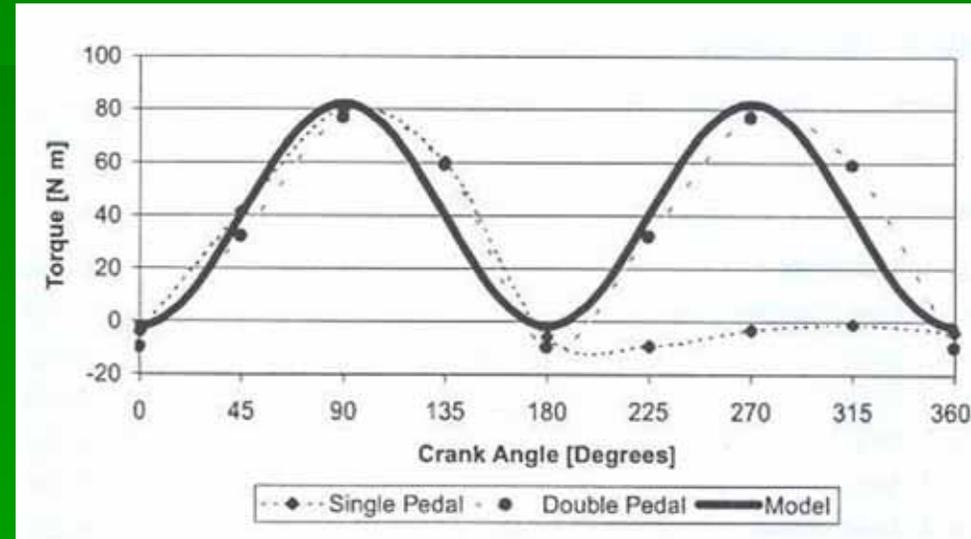
# MODELO DINÁMICO

- Good y McPhee mejorado:
  - ✓ Guiado cinemático piernas
  - ✓ Se recalcula dirección tensión cadena
- Diez sólidos
- Cabeza, cuerpo y brazos son parte cuadro
- 2 grados de libertad



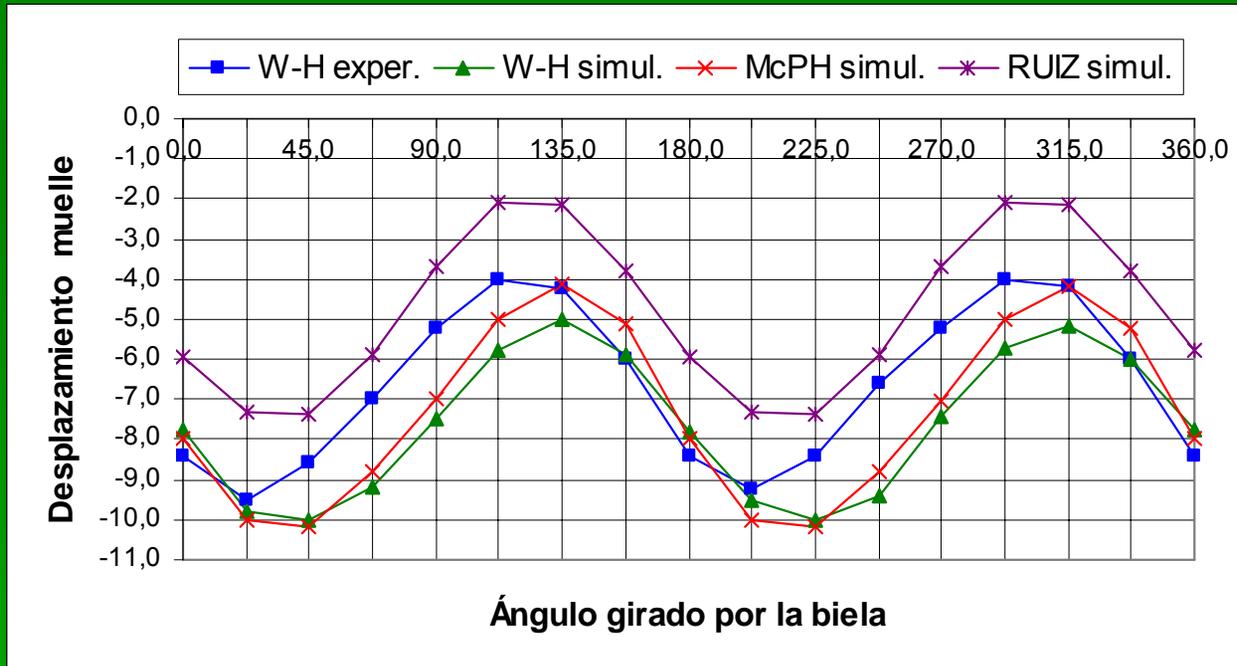
# MODELO DINÁMICO

- F aplicadas:
  - Tensión cadena
  - F gravitatorias
- Se desprecia:
  - Rozamiento
  - Resistencia viento
  - Rigidez neumático
- Suspensión delantera bloqueada



$$tensión = \frac{\text{par aplicado al pedalier}}{\text{radio del plato}}$$

# RESULTADOS SIMULACIÓN DINÁMICA



- Dos ciclos / vuelta biela
- En fase
- Amplitud similar
- Valor medio superior
- Energía disipada superior



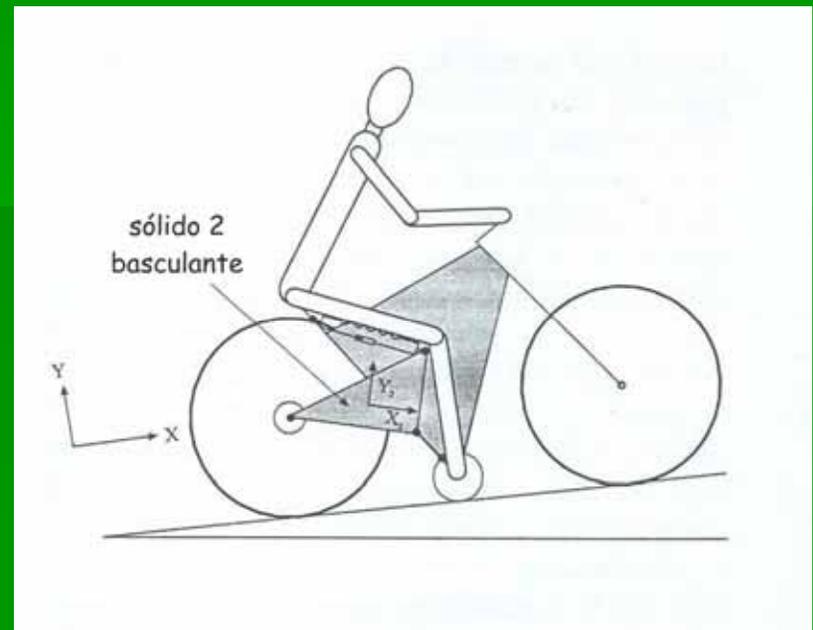
# OPTIMIZACIÓN

## ➤ Función objetivo

- Minimizar energía disipada
- Minimizar variación longitud cadena (“kick-back”)

## ➤ Restricciones

- Mantener geometría invariable
- Evitar diseños no factibles



# VARIABLES DISEÑO

- Posición eje basculante

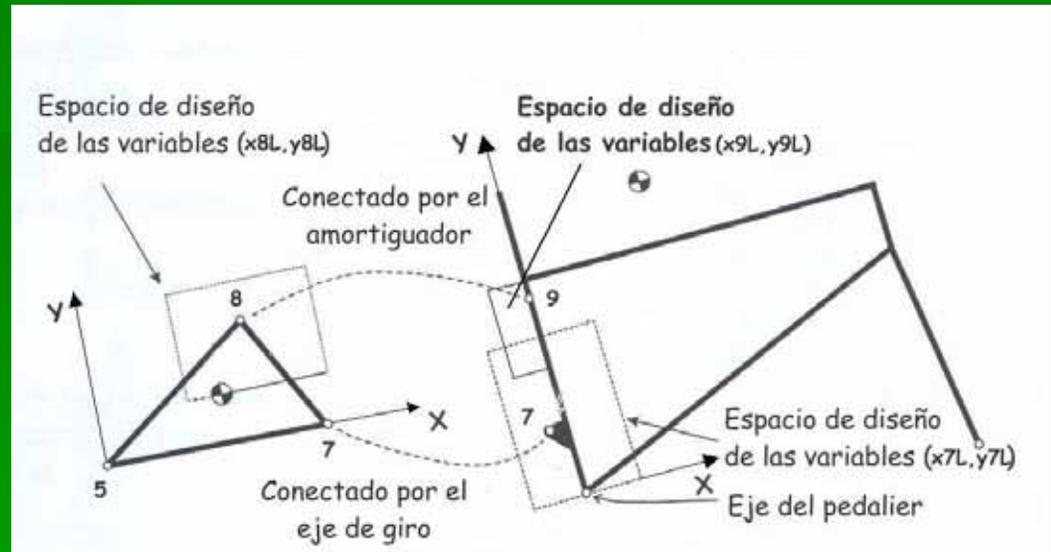
$(x_{7L}, y_{7L})$

- Anclaje amortiguador al basculante

$(x_{8L}, y_{8L})$

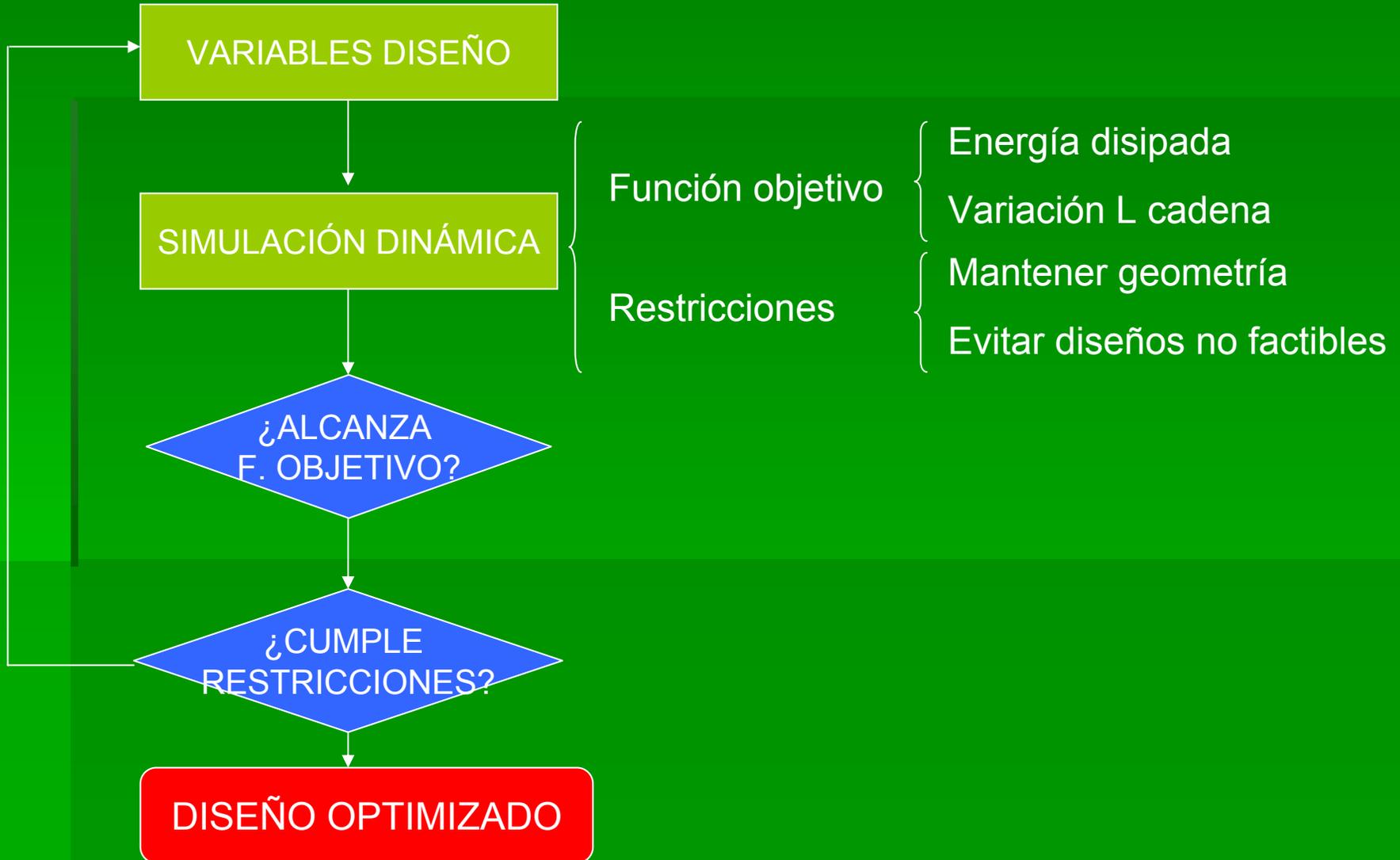
- Anclaje amortiguador al cuadro

$(x_{9L}, y_{9L})$



Variable	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
$x_{7L}$	-0,120	0,120
$y_{7L}$	0	0,250
$x_{9L}$	-0,050	0
$y_{9L}$	0	0,450
$x_{8L}$	0,140	0,360

# PROCESO DE OPTIMIZACIÓN



# RESULTADOS OPTIMIZACIÓN

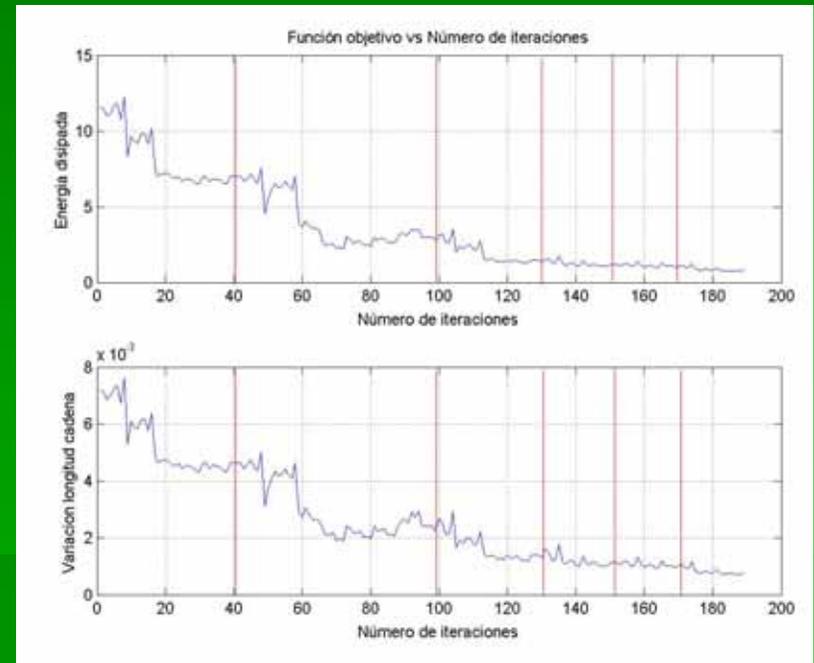
## ➤ Energía disipada

- Disminuye 11,57 W a 0,80 W
- Masa equivalente: de 3,02 kg a 0,21 kg

## ➤ Variación longitud cadena

- De 7 mm a 0,8 mm
- Absorbido por holgura eslabones cadena

## ➤ Evolución paralela



$$m = \frac{P \cdot 100}{g \cdot v \cdot z}$$

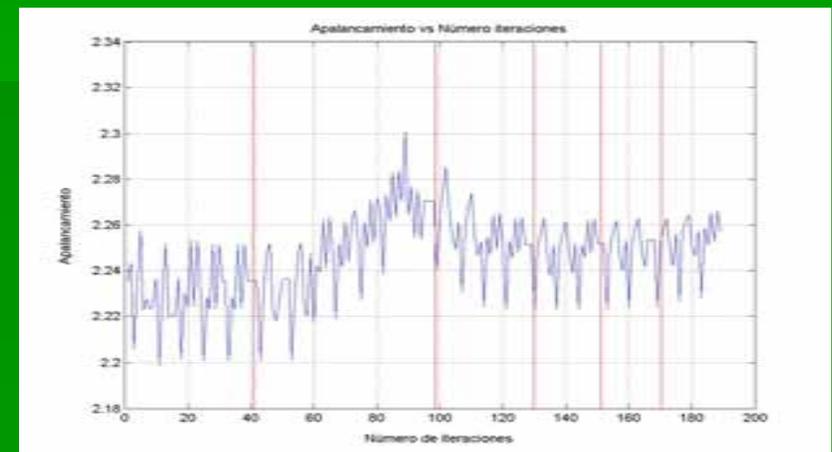
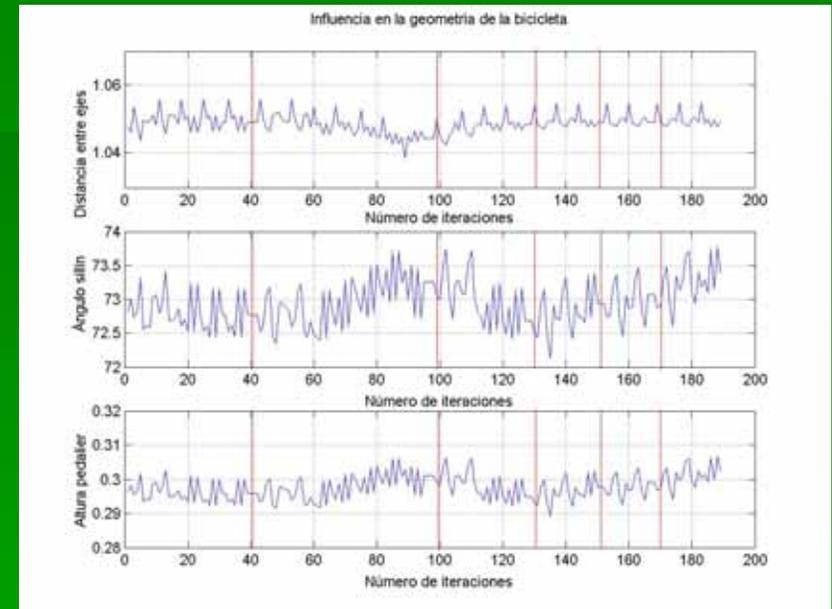
# RESULTADOS OPTIMIZACIÓN

## ➤ Geometría

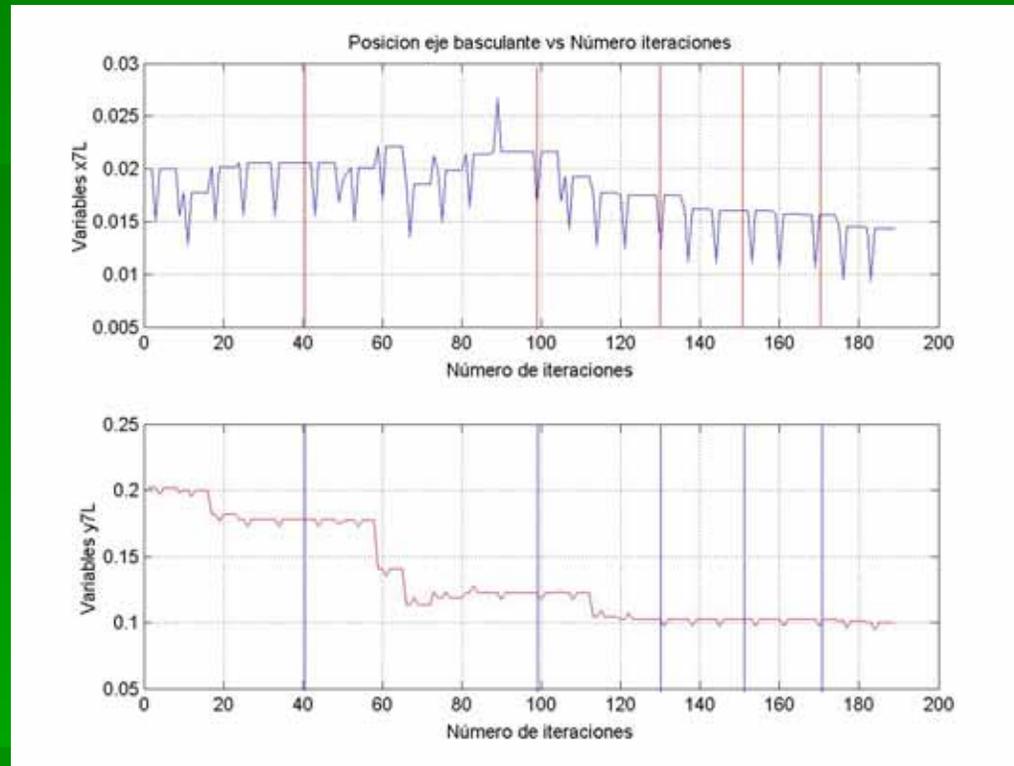
- Controlada
- Mismo comportamiento

## ➤ Apalancamiento (LR)

- Controlado
- Suspensión equivalente



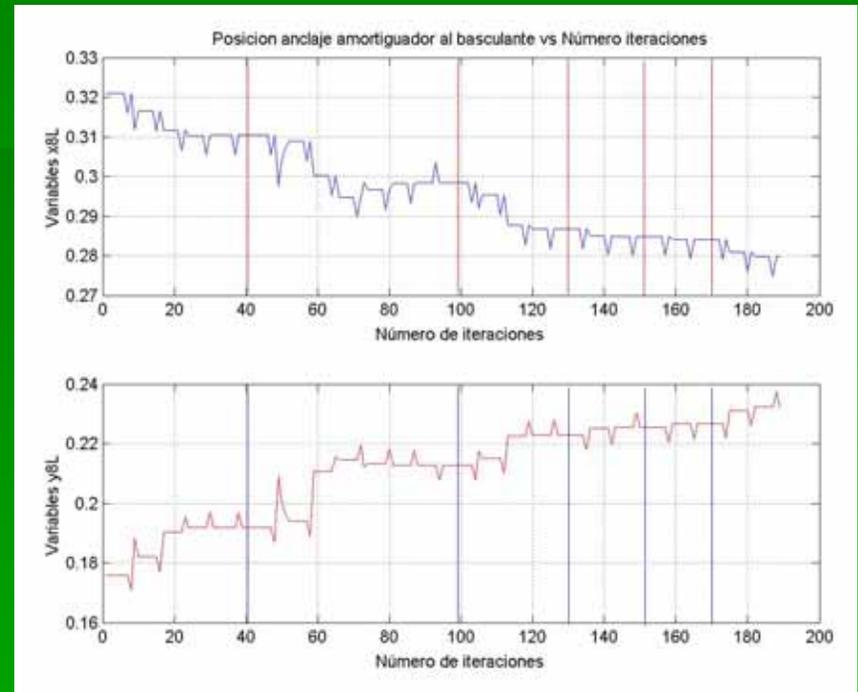
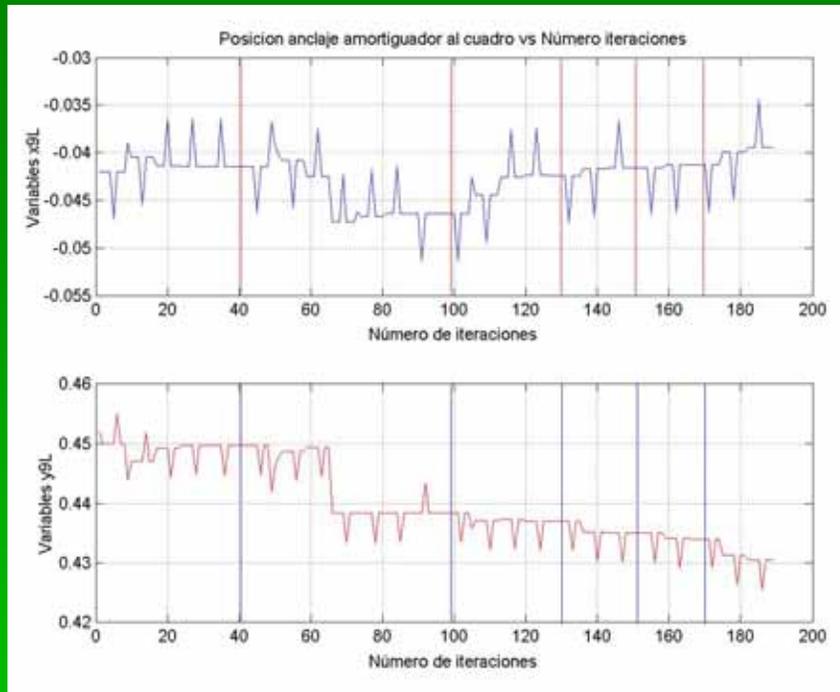
# RESULTADOS – VARIABLES DE DISEÑO



## ➤ Eje basculante

- Disminuye altura de 20 a 10 cm
- Posición respecto tubo sillín apenas varía

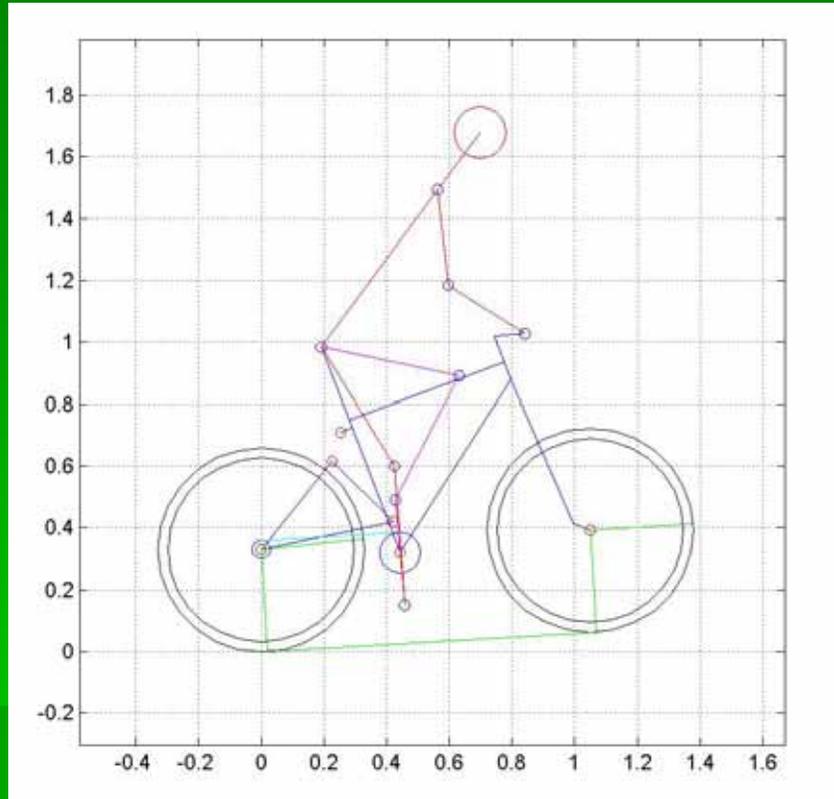
# RESULTADOS – VARIABLES DISEÑO



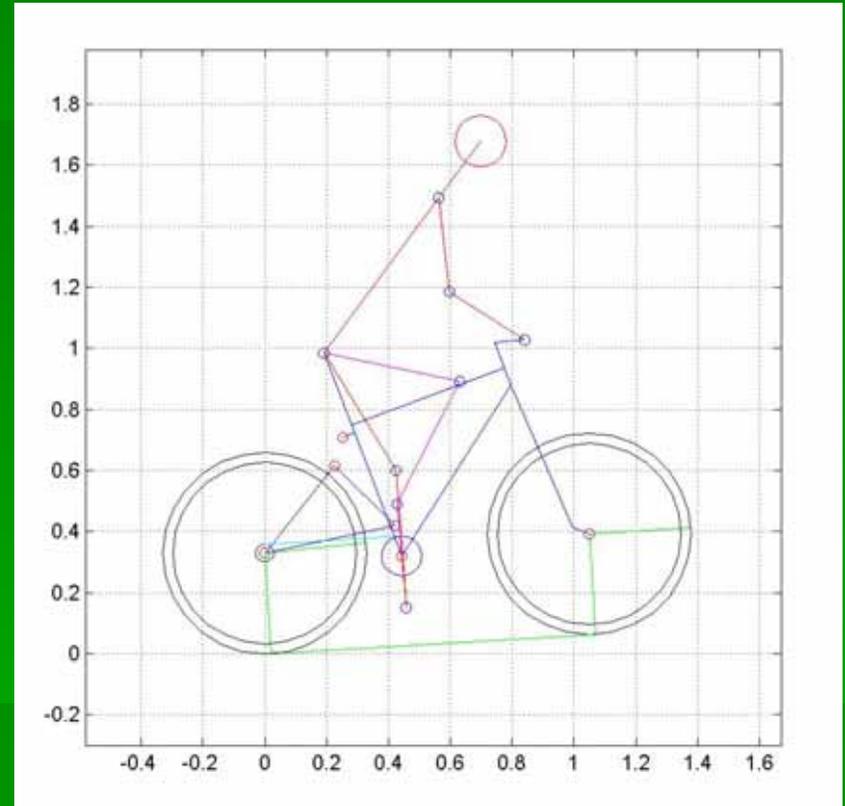
- Anclaje amortiguador cuadro:
  - Baja ligeramente

- Anclaje amortiguador basculante:
  - Hacia arriba
  - Hacia izquierda

# EVOLUCIÓN DISEÑO



➤ Diseño inicial



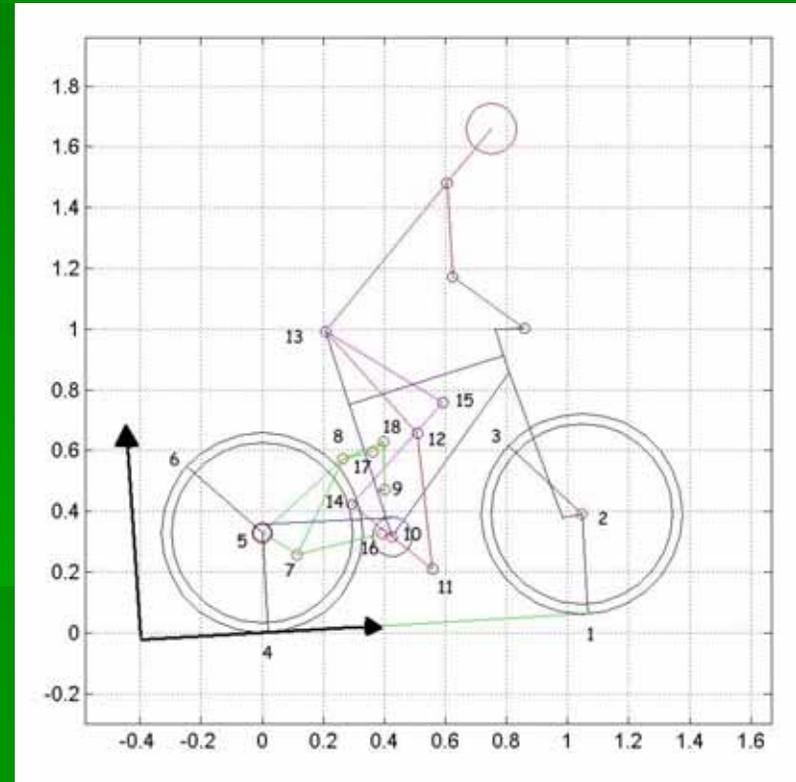
➤ Diseño optimizado

# COMPARACIÓN RESULTADOS

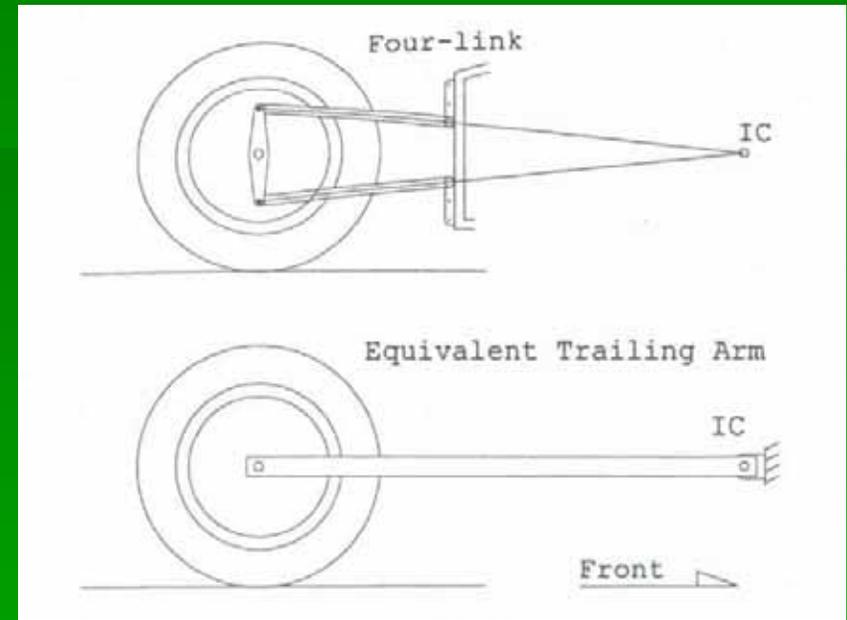
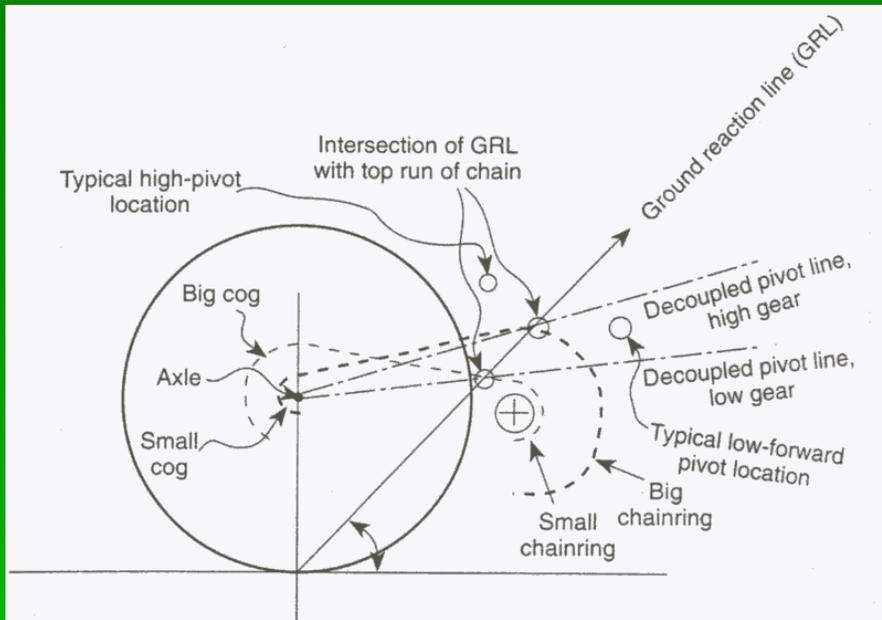
Autor	Proced.	F. Objetivo	$x_{7L}$ (cm)	$y_{7L}$ (cm)	$x_{8L}$ (cm)	$y_{8L}$ (cm)
Wang y Hull (1997)	Simul.	Energía	0	10 - 12,5	--	--
Needle y Hull (1997)	Exper.	Energía	0	8,4	--	--
Good y McPhee (2000)	Simul.	Oscilación	-2,7	11,6	6,6 - 22,6	17,1-33,1
Karchin y Hull (2002)	Exper.	Energía	0	8,0 - 12,3	--	--
Ruiz (2003)	Simul.	Energía	1,4	10,0	28	23,2

# OPTIMIZACIÓN CUADRILÁTERO ARTICULADO

- Más complejo
- Más eficaz
- Evita el “kick-back”
  - Pivote adicional en las vainas (“horst-link”)
- Modelo dinámico similar al monopivote
- Condiciones experimento similares monopivote
- Geometría bicicleta similar



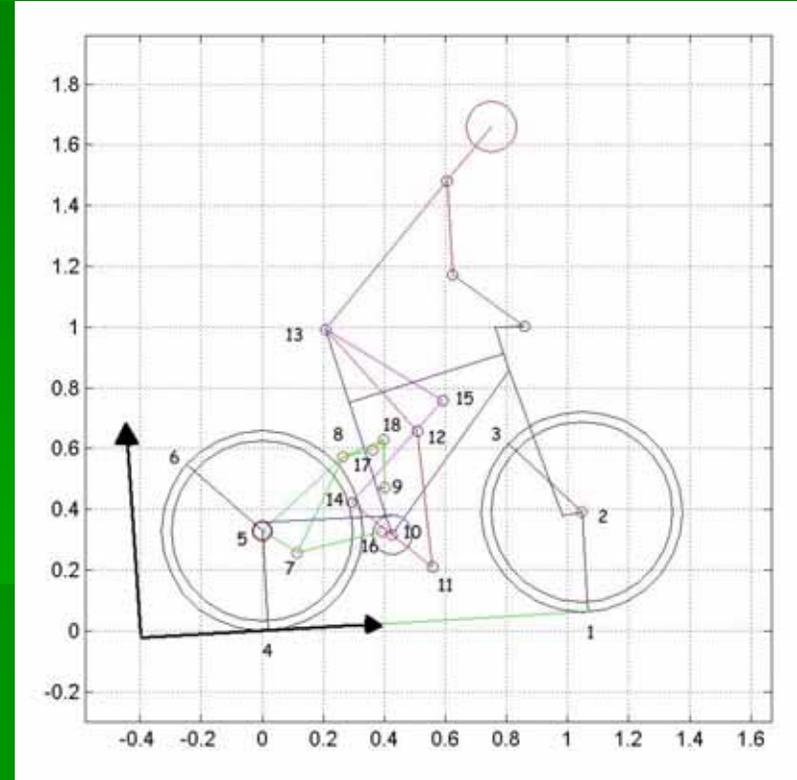
# DISEÑO DE PARTIDA



- “Línea desacople pivote” (Papadopoulos, 1993)
- Varios pivotes
- Brazo equivalente basculante
- Medidas diseños comerciales

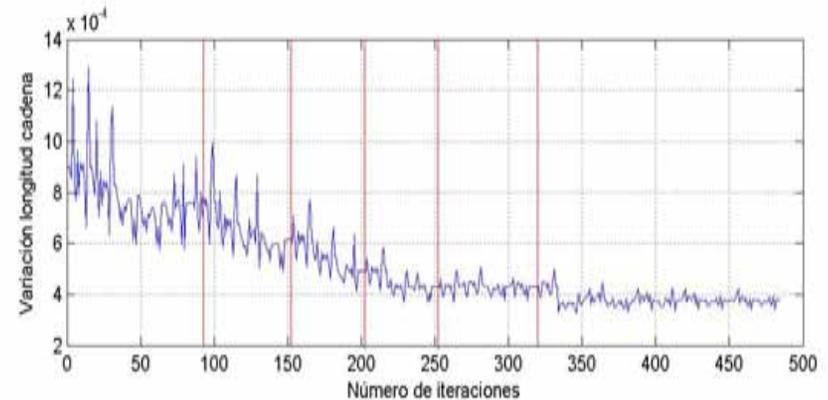
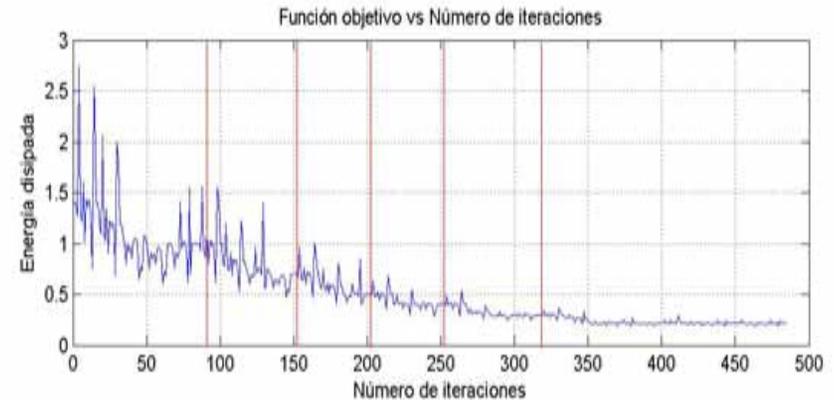
# OPTIMIZACIÓN CUADRILÁTERO ARTICULADO

- Misma función objetivo
- Mismo algoritmo optimización
- Restricciones
- Variables diseño
  - Posición pivotes
  - Longitud vainas
  - Resto medidas ctes.

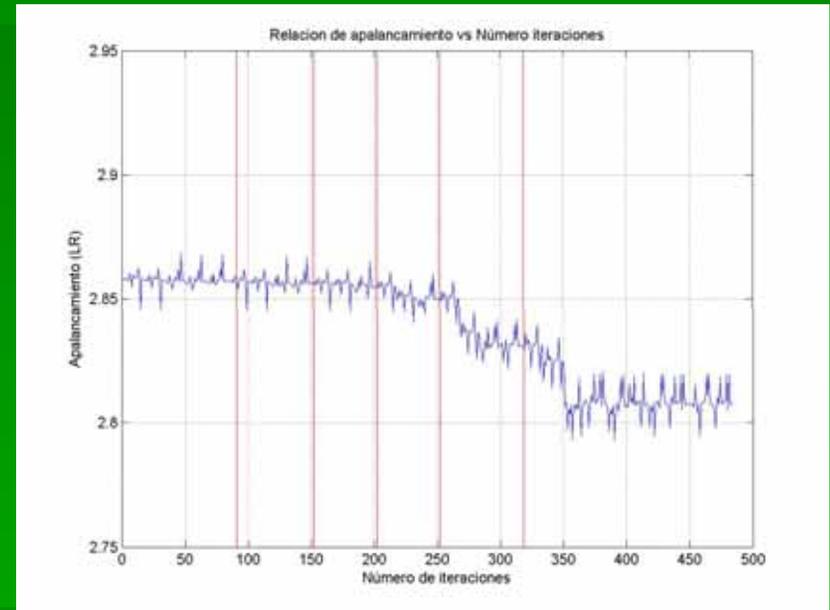
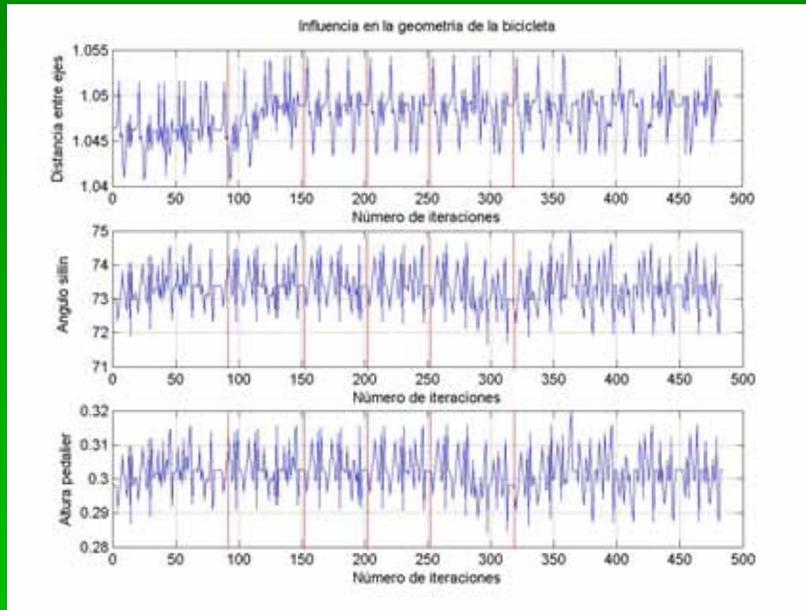


# RESULTADOS OPTIMIZACIÓN CUADRILÁTERO ARTICULADO

- Energía disipada
  - Disminuye 1,4 W a 0,21 W
  - Masa equivalente: de 365 g a 55 g
- Variación longitud cadena
  - De 0,9 mm a 0,4 mm
  - Absorbido por holgura eslabones cadena
- Evolución paralela



# RESULTADOS OPTIMIZACIÓN CUADRILÁTERO ARTICULADO



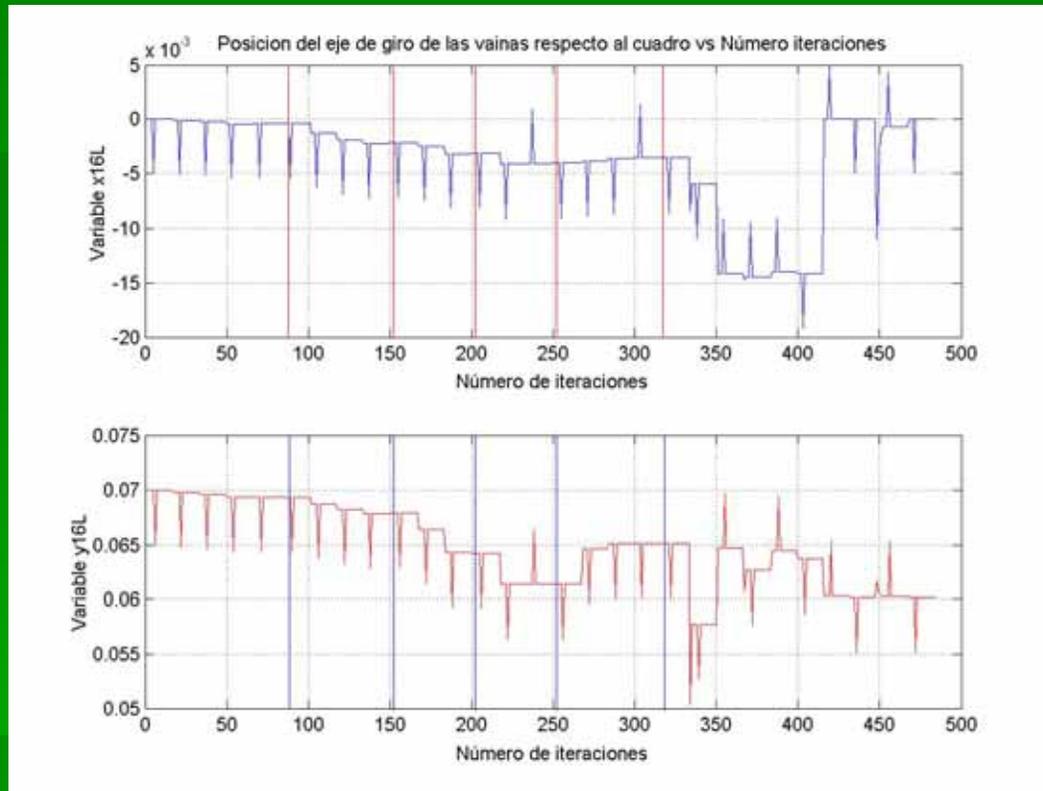
## ➤ Geometría

- Controlada
- Mismo comportamiento

## ➤ Apalancamiento (LR)

- Controlado
- Suspensión equivalente

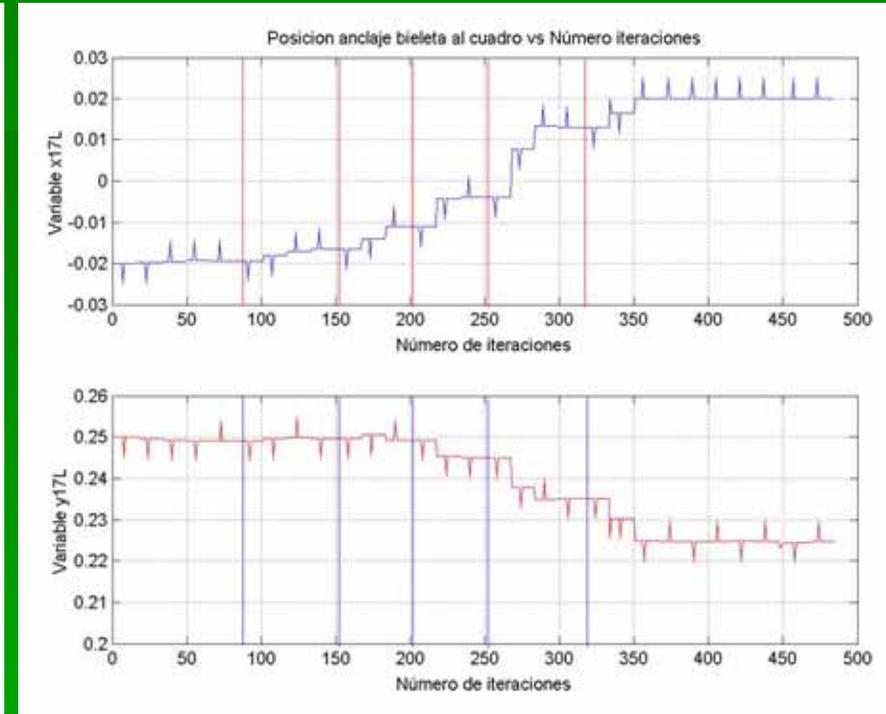
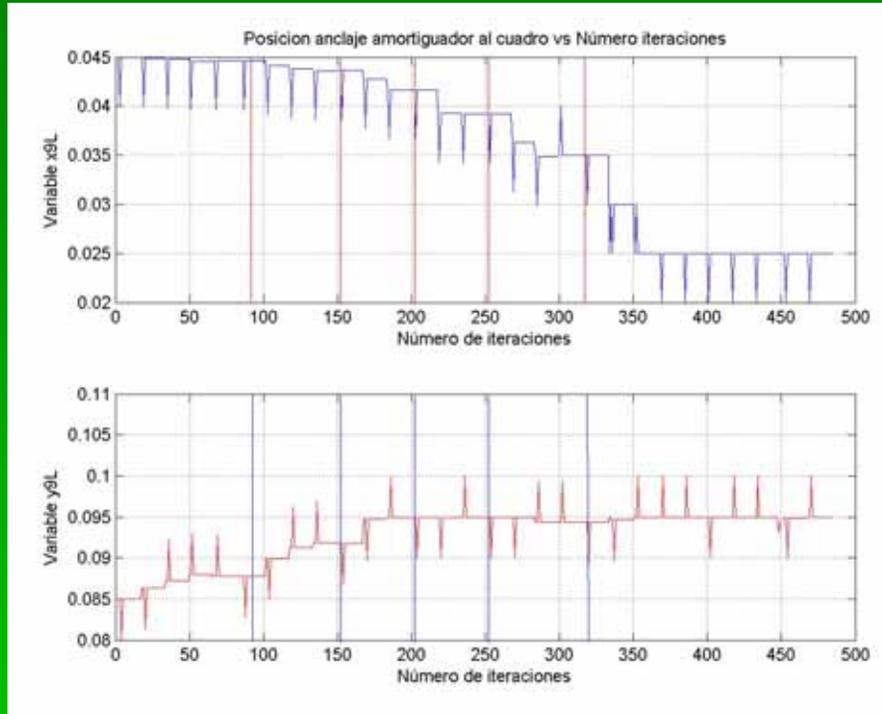
# RESULTADOS – VARIABLES DISEÑO



## ➤ Eje vainas

- Baja de 7 a 6 cm
- Posición respecto tubo sillín apenas varía

# RESULTADOS – VARIABLES DISEÑO



➤ Anclaje amortiguador ( $x_{9L}$ ,  $y_{9L}$ ):

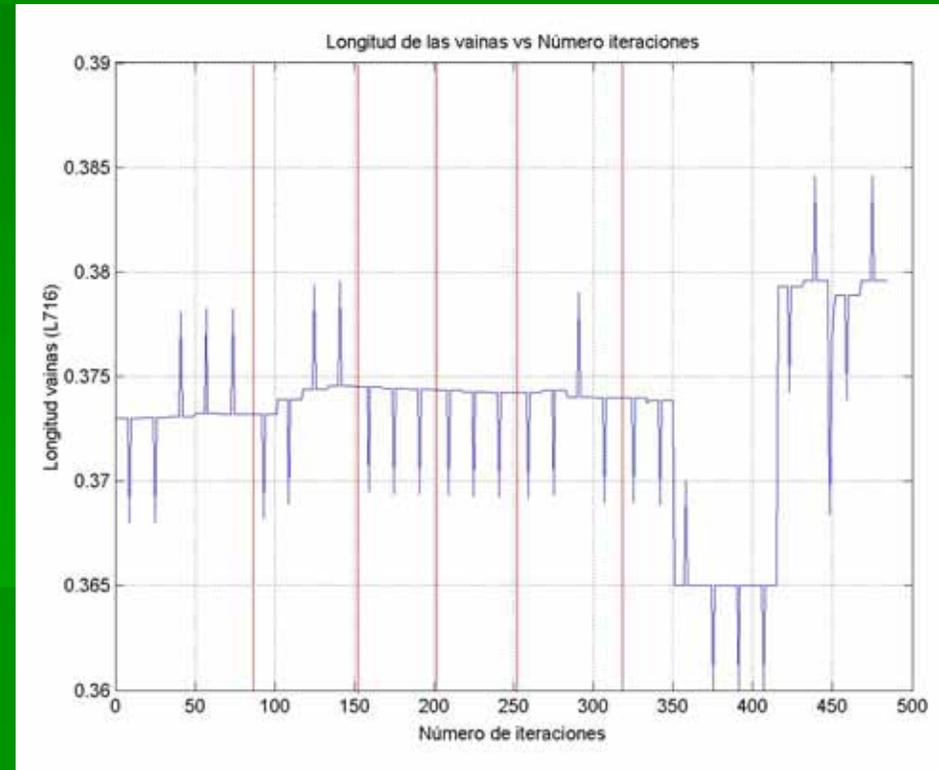
- Hacia arriba y atrás
- Llega límite superior izquierdo

➤ Eje bieleta ( $x_{17L}$ ,  $y_{17L}$ ):

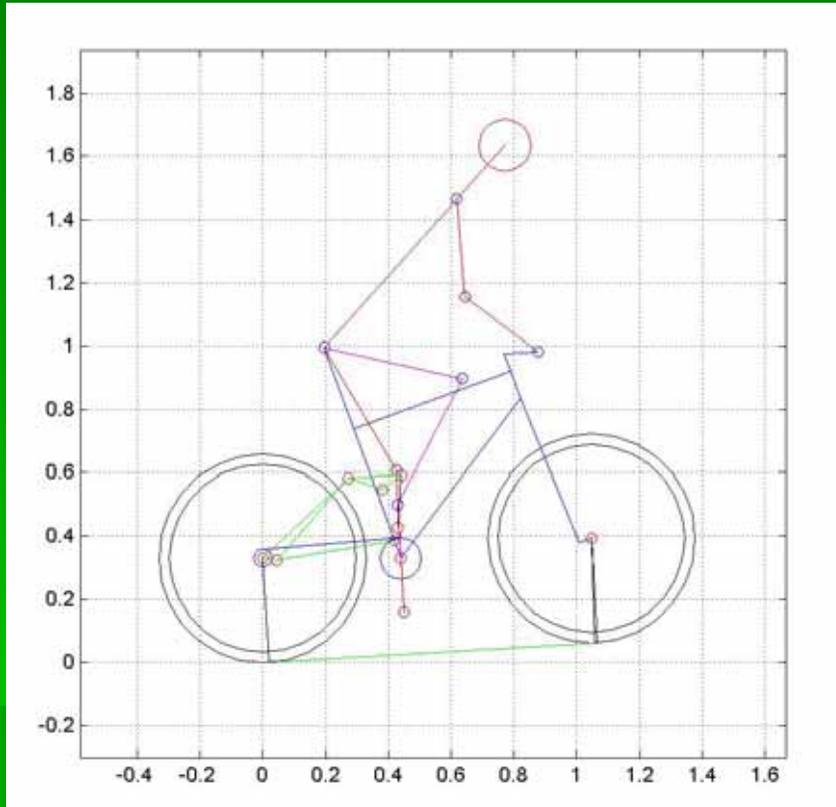
- Hacia abajo y adelante
- Alcanza límite inferior derecho

# RESULTADOS – VARIABLES DISEÑO

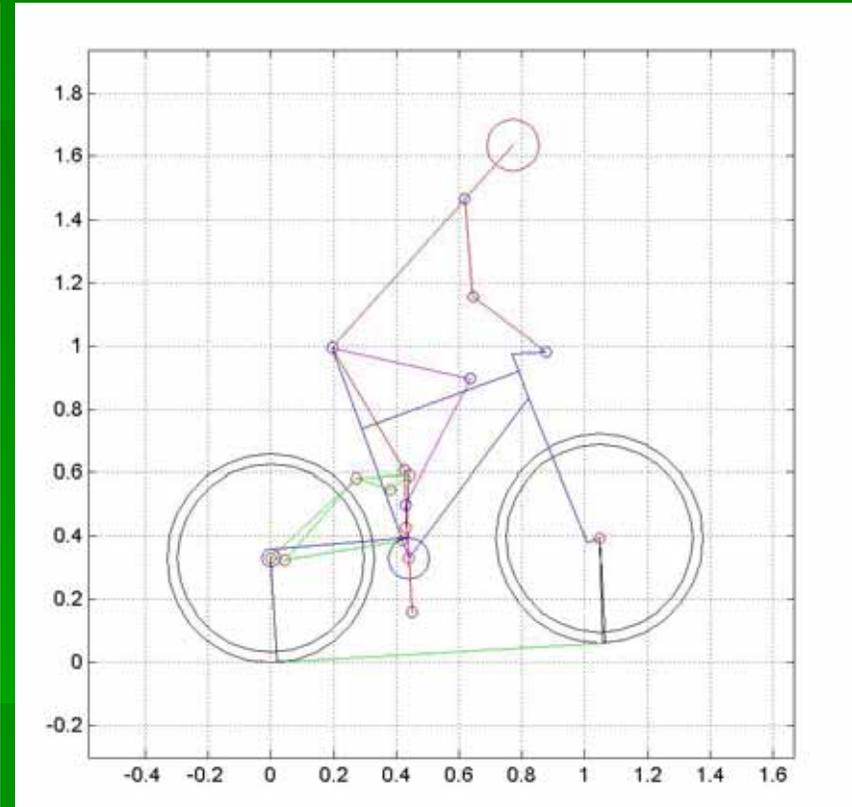
- Longitud vainas:
  - Constante al principio
  - Resto variables alcanzan su límite
  - Saltos al final



# EVOLUCIÓN DISEÑO



➤ Diseño inicial



➤ Diseño optimizado

# COMPARACIÓN RESULTADOS

Modelo	Energía disipada (W)	Variación L cadena (mm)	Apalancamiento (LR)
Giant NRS	2,39	2,0	2,83
Trek Fuel	0,33	0,3	2,88
Rocky M. ETS	0,27	0,4	2,80
Ruiz	0,21	0,4	2,81

➤ Mismo apalancamiento, suspensión equivalente

➤ Resultados al mismo nivel

# CONCLUSIONES

- Desarrollo método análisis/optimización bici suspensión
- Validación método análisis y optimización (sistema monopivote)
- Modelo suspensión cuadrilátero articulado engloba cualquier diseño actual
- Se aplica método análisis/optimización cuadrilátero articulado
- Resultados cuadrilátero optimizado mismo nivel modelos comerciales