

Robots ápodos modulares

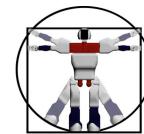


Juan González Gómez

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Robotics Lab



Universidad Carlos III de Madrid



jggomez@ing.uc3m.es
juan@earobotics.com



1ª Semana de la
Automática y Robótica



E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática

ISA

29/Octubre/2010

ÍNDICE

1. Introducción

2. Módulos

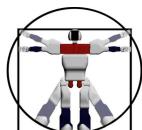
3. Osciladores

4. Locomoción en 1D

5. Locomoción en 2D

6. Simulación

7. Conclusiones



Robotics Lab. UC3M



Juan González-Gómez

jggomez@ing.uc3m.es

juan@iearobotics.com

29/Octubre/2010

1ª Semana de la Automática y Robótica



E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática



Robótica y mecánica (I)

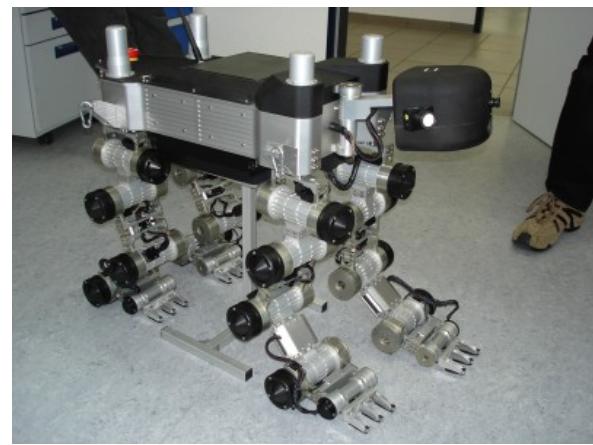
Estructuras específicas



(BigDog, Raibert et al. 2008)



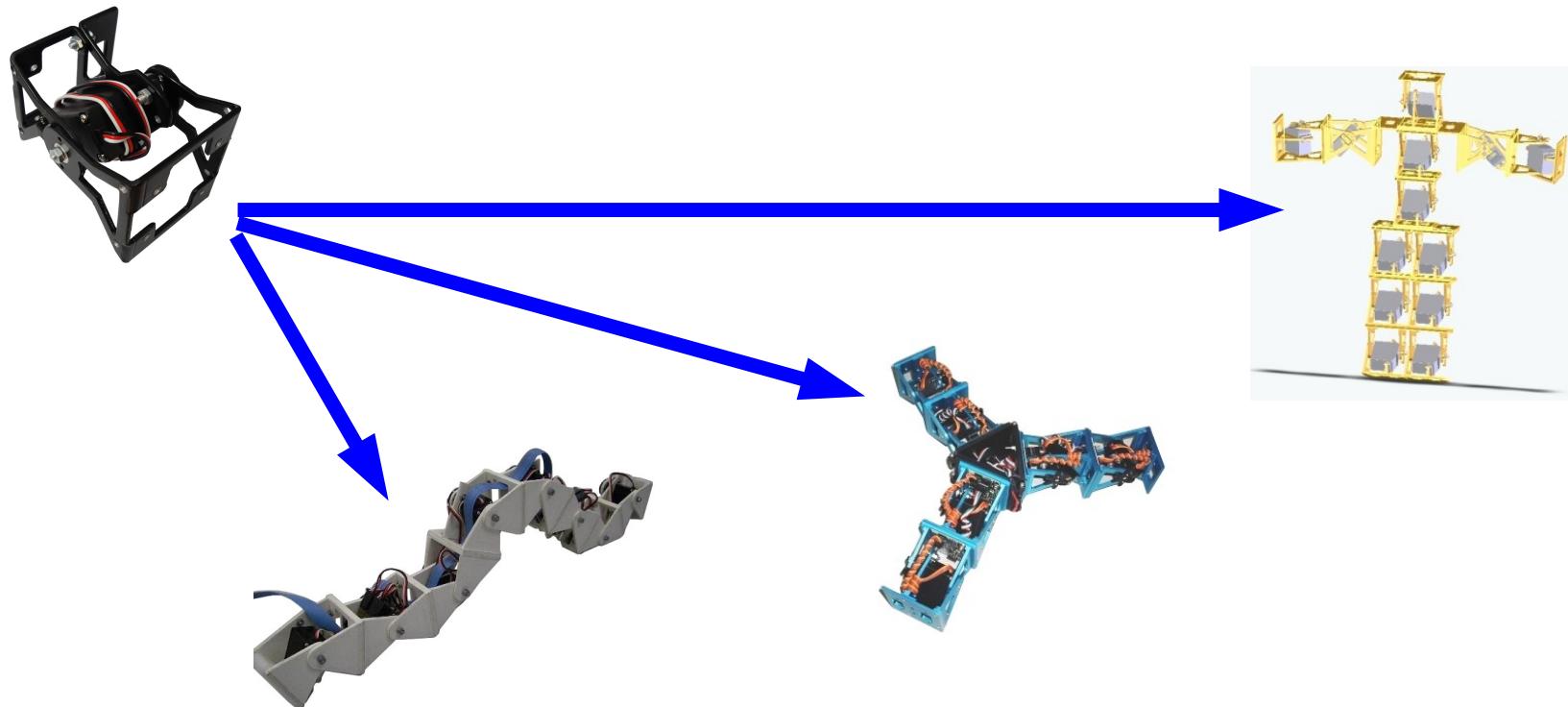
(Scorpio, Dirk et al. 2007)



(Aramis, Sastra. 2008)

Robótica y mecánica (II)

Otro enfoque: Robots modulares



Robots modulares: Ventajas

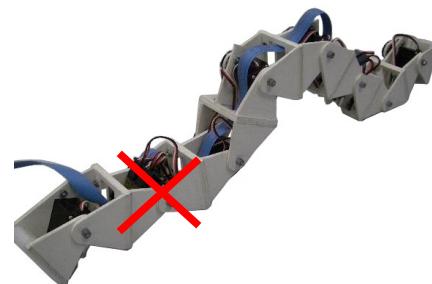
Versatilidad



Reducción de costes



Tolerancia a fallos



Prototipado rápido

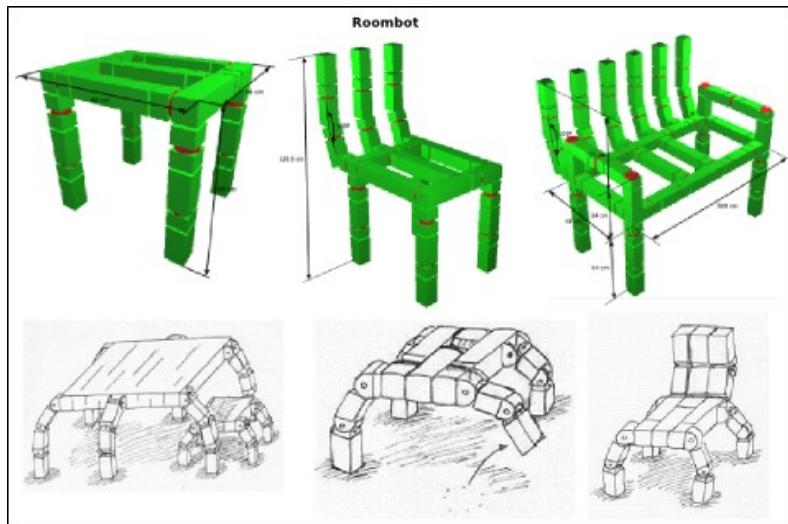


Nuevas capacidades

- Auto-transformación
- Auto-reparación
- Auto-duplicación

Nuevas capacidades

Construcción de objetos sólidos



(RoomBot, Arredondo et al.)

Bioinspired Robotics Lab at EPFL

- Muebles capaces de moverse :-)

Robots modulares voladores



(*Distributed flight array*, Oung et al.)

ETH Zurich

Robots modulares: Orígenes

- Robots modulares auto-configurables (Mark Yim, **1995**)

- Primer experimento de auto-configuración simple

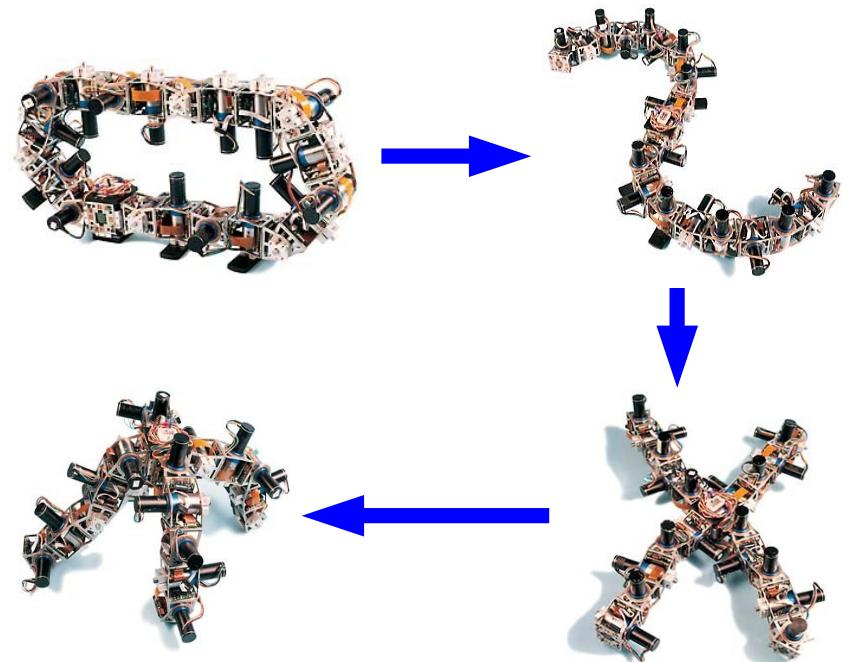
Rueda → gusano



(Polybot G1, Yim et al. 1997)

- Primer experimento de auto-configuración dinámica

Rueda → gusano → cuadrúpedo



(Polybot G2, Yim et al. 2000)

Morfología

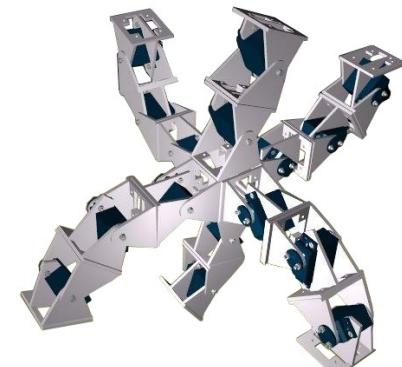
Topología 1D



Topología 2D

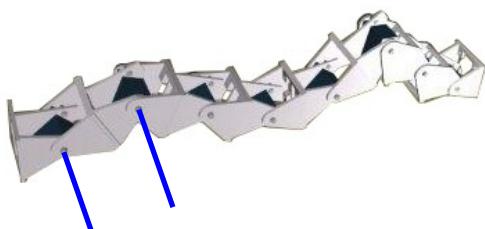


Topología 3D



Robots ápodos

Cabeceo-cabeceo



Viraje-viraje



Cabeceo-viraje

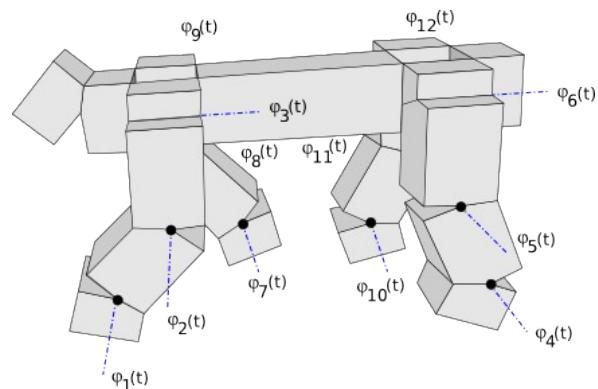


Controlador

Unidad encargada de **mover las articulaciones** para lograr el desplazamiento del robot

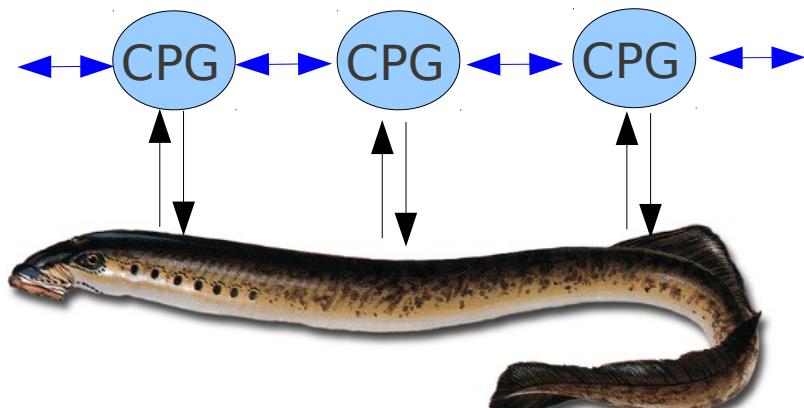
Clásicos

- Modelos matemáticos
- Cinemática inversa
- Dependen de la morfología del robot



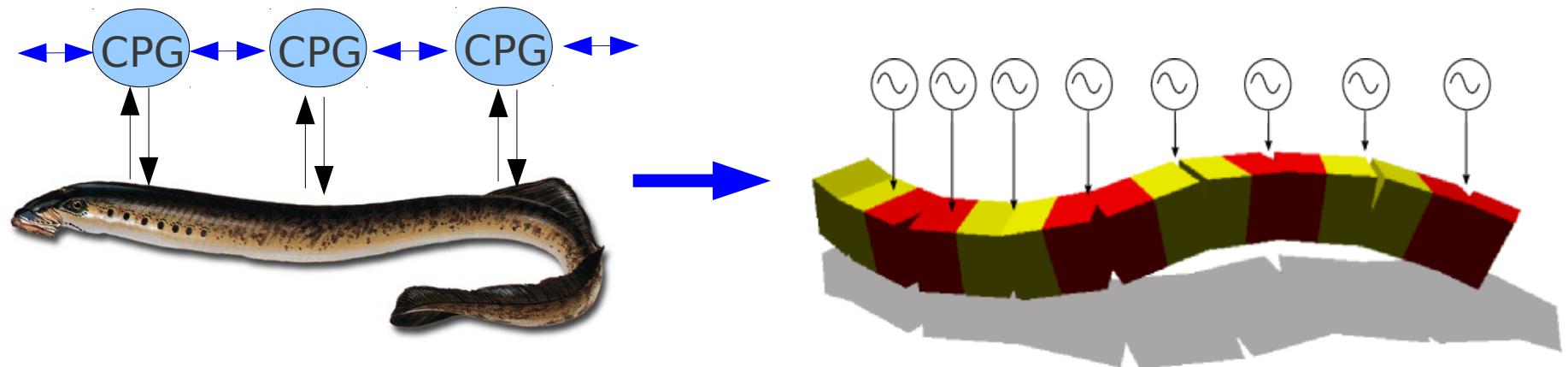
Bio-inspirados

- Imitar la naturaleza
- Generadores Centrales de patrones: CPG

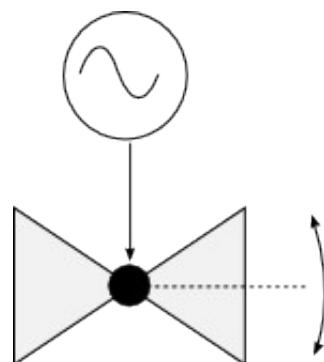


Controlador para robots ápodos

- Reemplazar los CPGs por un **OSCILADOR SINUSOIDAL**



- Osciladores sinusoidales:



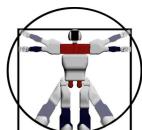
$$\varphi_i(t) = A_i \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_i\right) + O_i$$

Ventajas:

- Se necesitan pocos recursos para su implementación

ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones



Robotics Lab. UC3M

Juan González-Gómez

jggomez@ing.uc3m.es

juan@iearobotics.com

29/Octubre/2010

1ª Semana de la Automática y Robótica



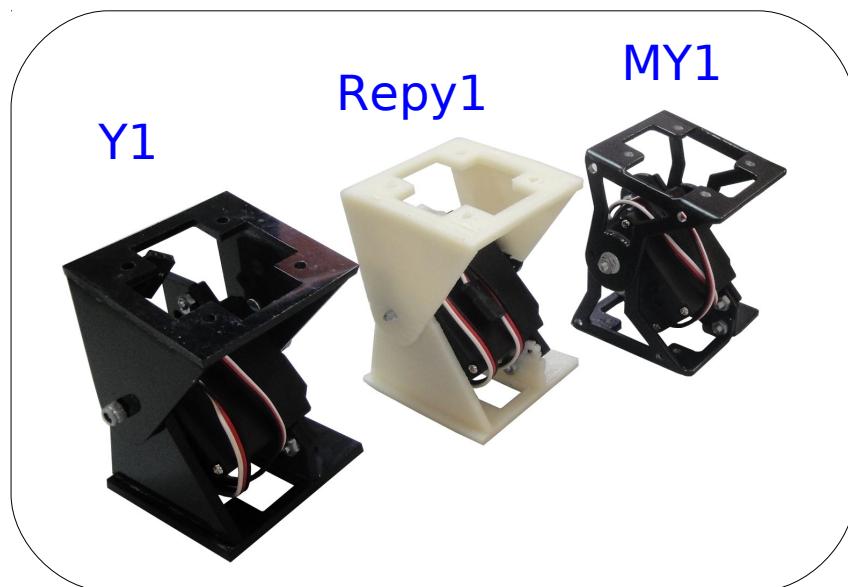
E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática

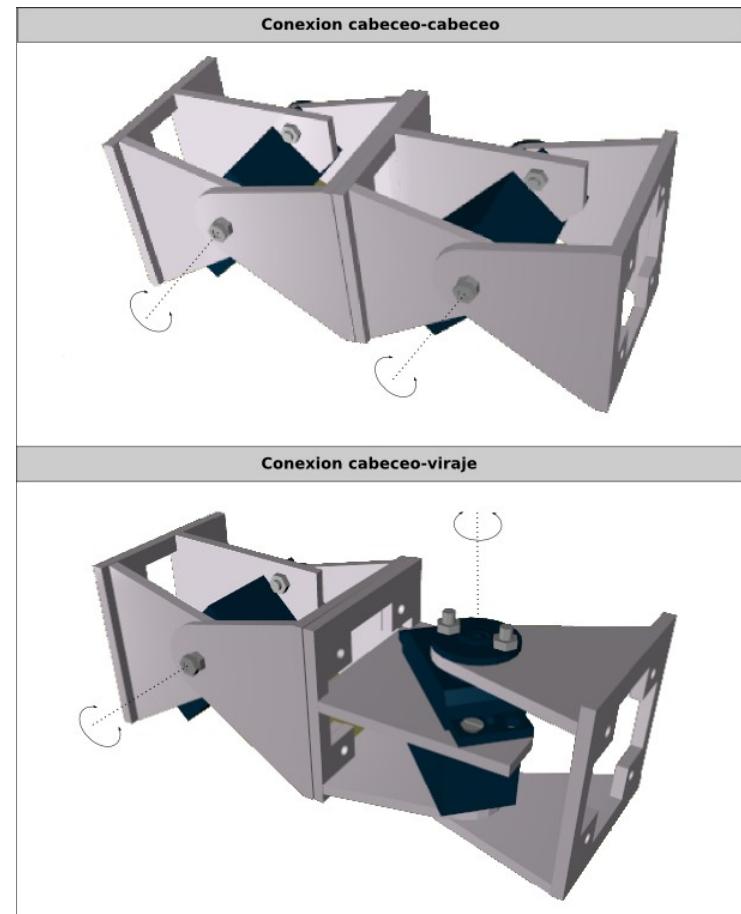


Familia de módulos Y1

- Un grado de libertad
- Fáciles de construir
- Servo: Futaba 3003
- Tamaño: 52x52x72mm
- **Libres**



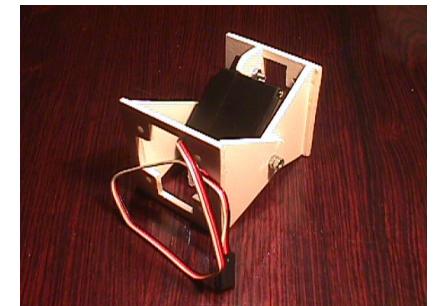
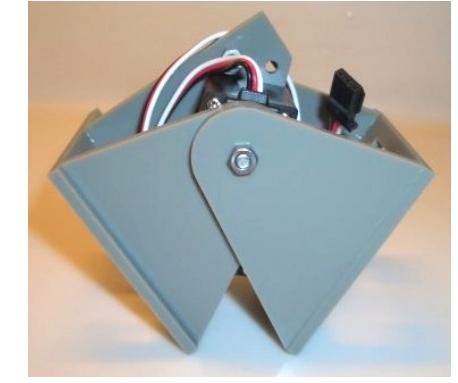
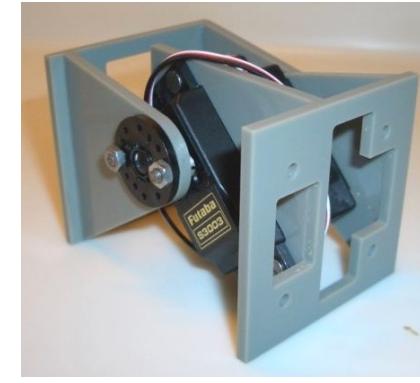
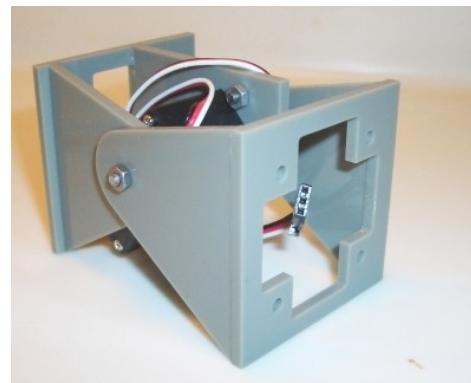
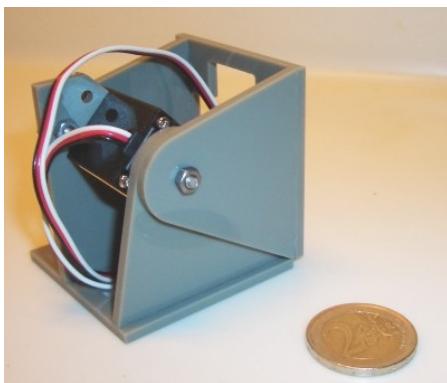
Tipos de conexión:



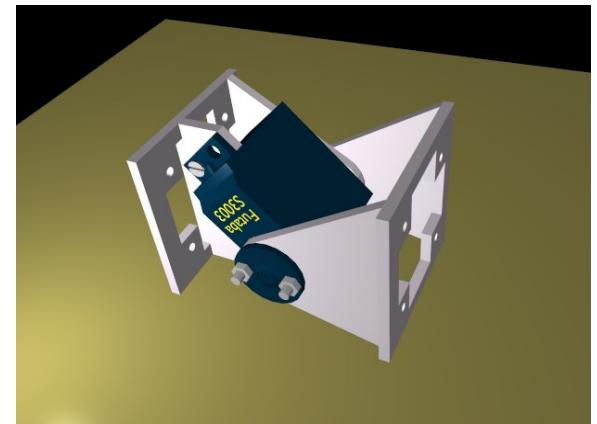
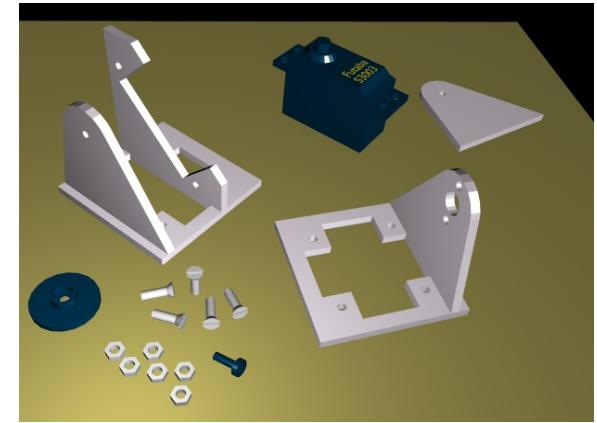
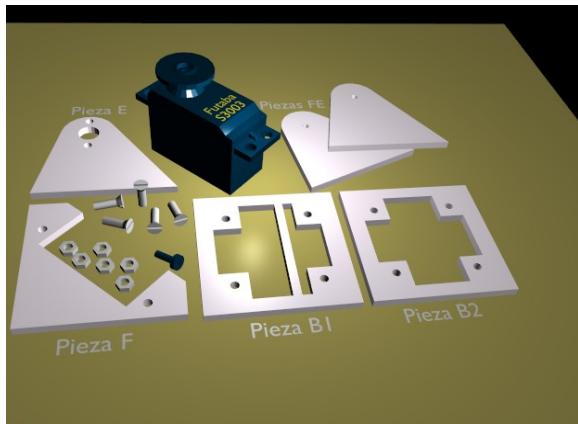
Módulos Y1

- Primera generación (**2003**)
- **Material:** plástico de 3mm
- Formados por 6 piezas que se pegan
- Primeras versiones: Corte manual
- Siguientes versiones: Corte por láser
- Más información:

<http://bit.ly/cx39rB>



Módulos Y1: Montaje

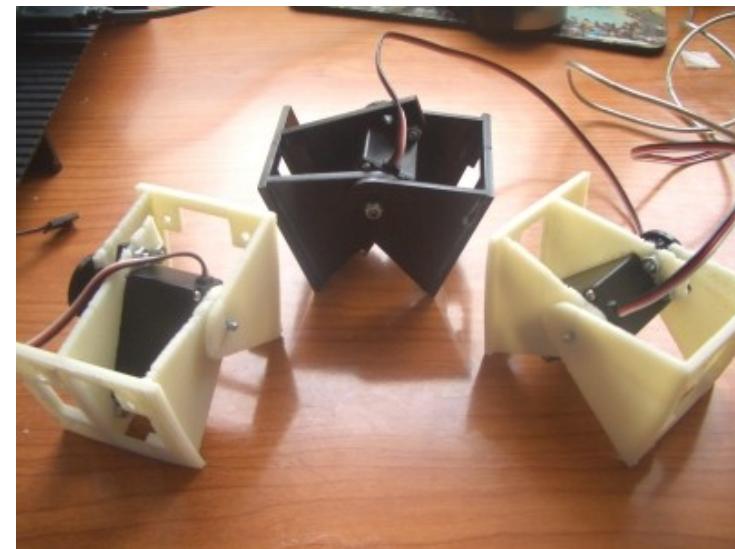


- Cortar las piezas: Corte por láser, corte “a mano”
- Pegarlas
- Montar el servo

Módulos REPY-1: Versión “imprimible”

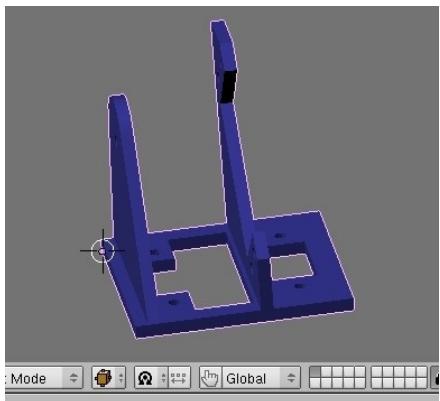
- Abril-2009
- Fabricación mediante una **impresora 3D** casera: Reprap
- Material: Plástico ABS (el mismo que usa Lego)
- Acabado “tosco”
- Tiempo de impresión: 1h y media (45 minutos cada pieza)
- Más información:

<http://bit.ly/bAODg7>

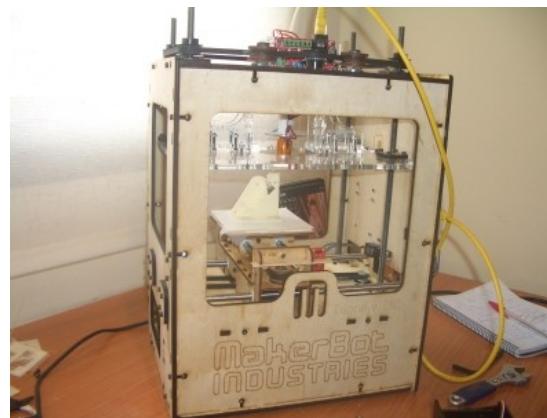


Módulos REPY-1: Fabricación

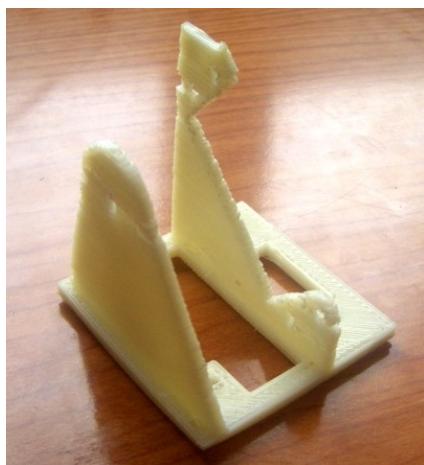
Pieza virtual
(Blender)



Impresión 3D



Pieza real



Montaje

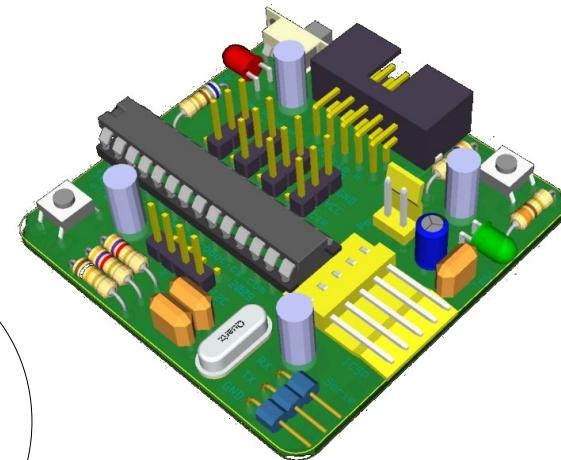
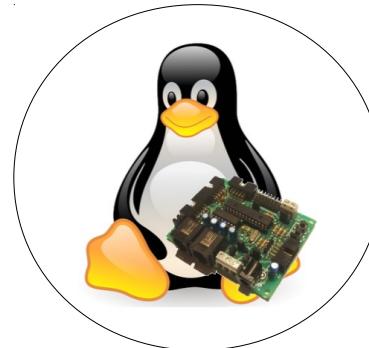
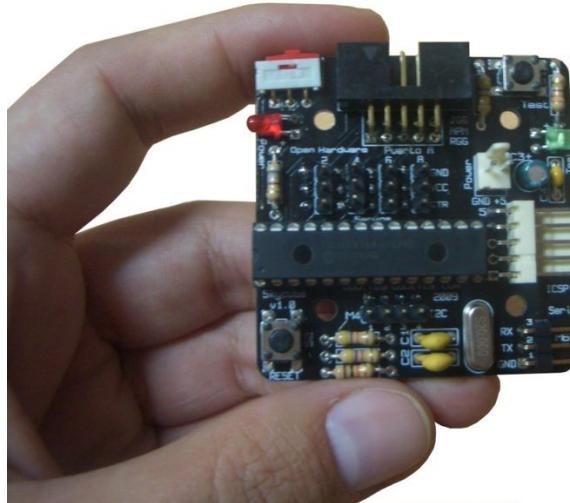


Módulos MY1



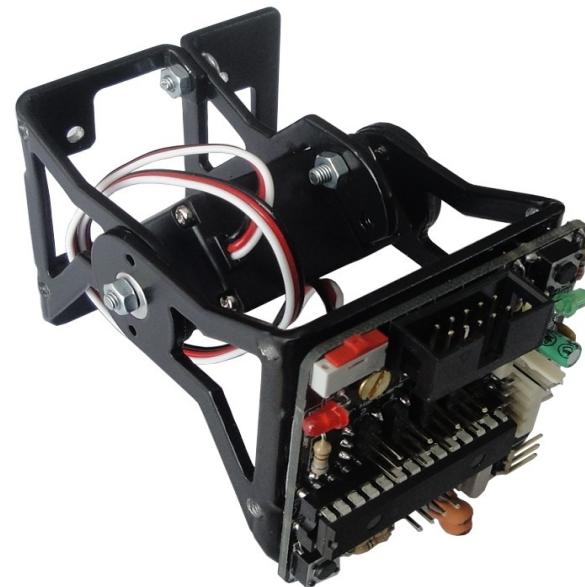
- Última versión: **2010**
- Material: Aluminio de 2mm
- Formados por 3 piezas que se atornillan
- Más resistentes
- Pensados para dar talleres de robots modulares
- Más información: <http://bit.ly/cOCfjB>

Tarjeta Skycube



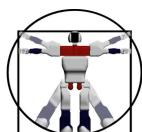
- **Hardware libre**
- Diseñada con KICAD
- Robots modulares autónomos
- PIC16F876A
- Se integra en los módulos MY1
- Más información:

<http://bit.ly/FhPLI>



ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
- 3. Osciladores**
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones



Robotics Lab. UC3M

Juan González-Gómez

jggomez@ing.uc3m.es

juan@iearobotics.com

29/Octubre/2010

1ª Semana de la Automática y Robótica

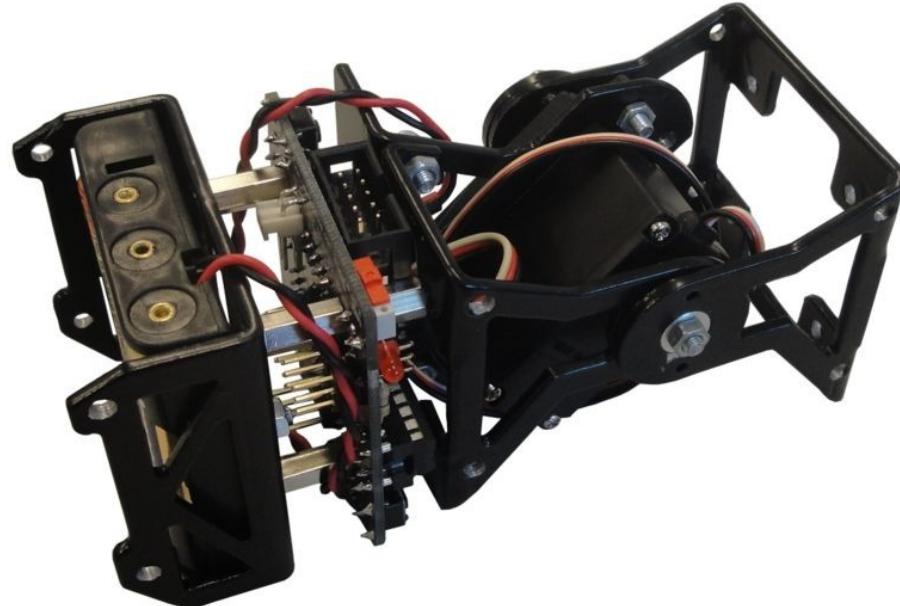
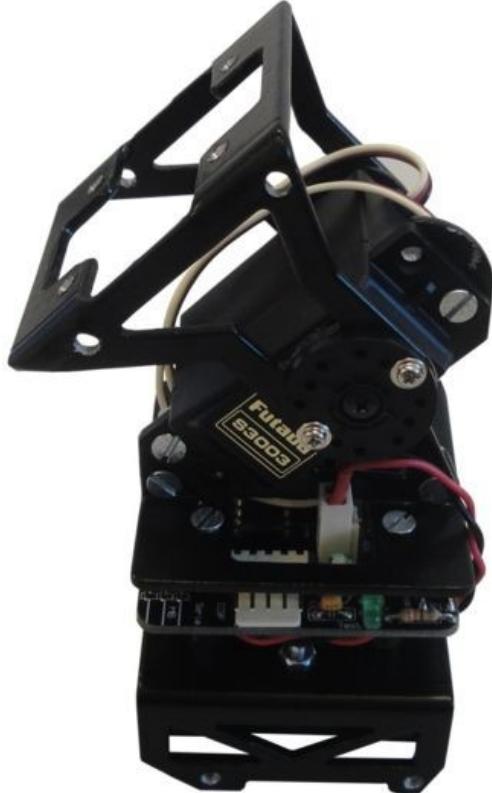


E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática



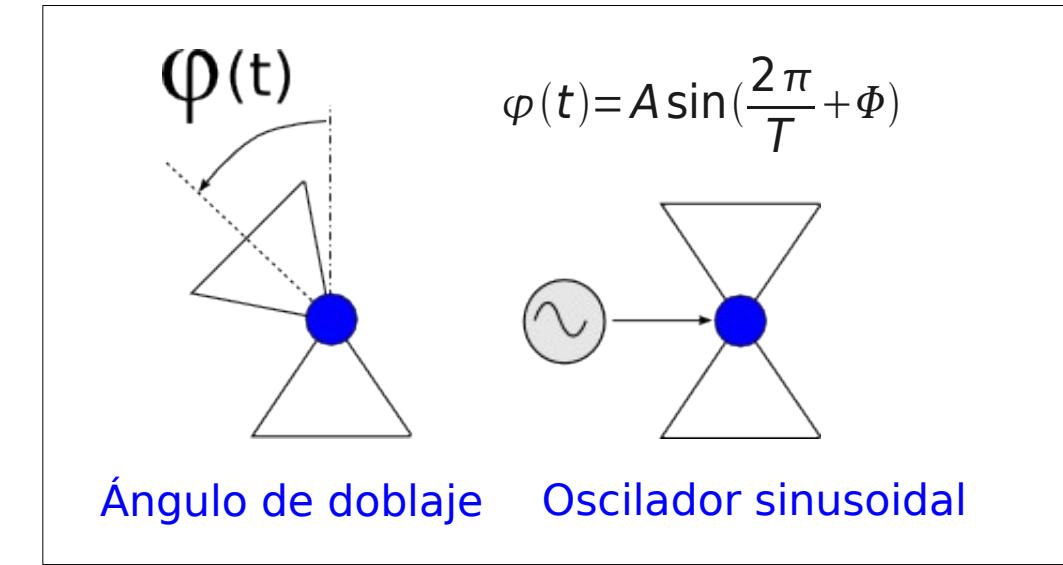
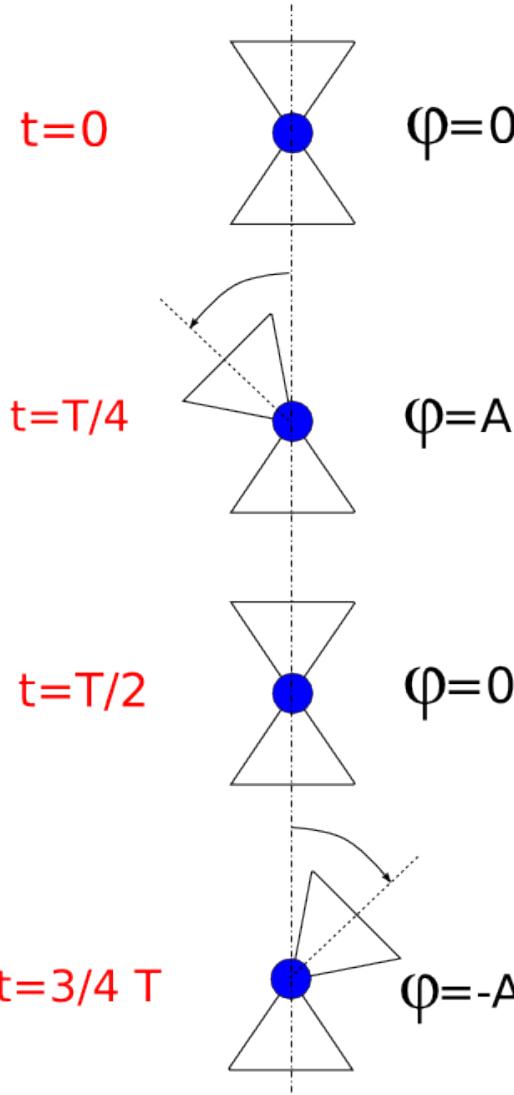
Unimod



- Módulo capaz de oscilar autónomamente
- A partir de él se construyen robots modulares con topología de 1D
- Más información: <http://bit.ly/czsdmw>

Oscilación de un módulo

Demo



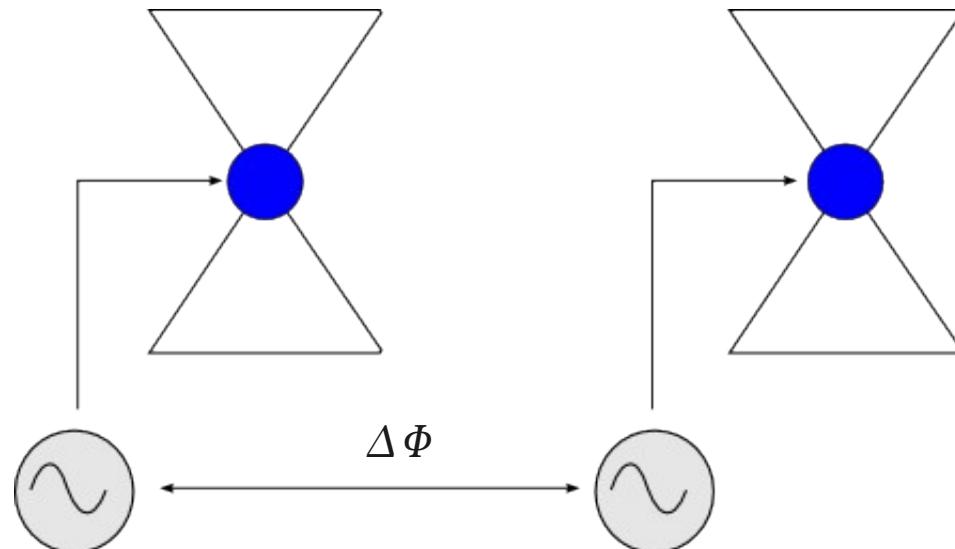
Parámetros:

- **Amplitud:** A Ángulo de doblaje máximo
- **Periodo:** T Frecuencia de oscilación

Oscilación de dos módulos (I)

Demo

$$\varphi_1(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \Phi_0\right) \quad \varphi_2(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \Delta\Phi + \Phi_0\right)$$



Nuevo parámetro:

- **Diferencia de fase:** $\Delta\Phi$

Establece el movimiento relativo de un módulo respecto a otro

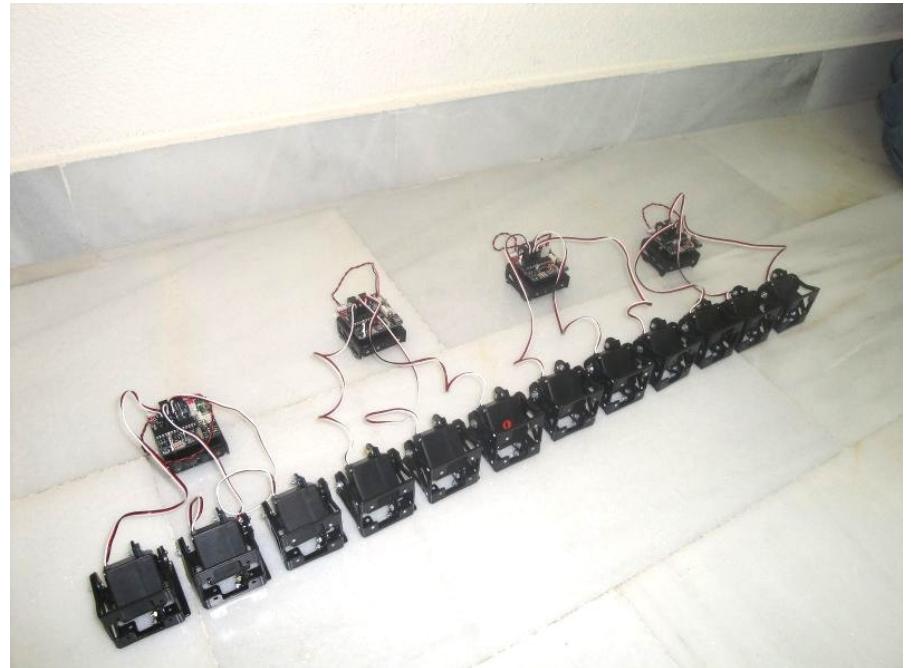
Oscilación de varios módulos: “olas”

Vídeo 1

- Oscilación de varios módulos con:
- Misma amplitud A
- Misma frecuencia
- $\Delta\Phi$ constante

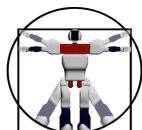


Aparecen “olas” que se propagan
 $\Delta\Phi$ Determina la longitud de onda



ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
- 4. Locomoción en 1D**
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones



Robotics Lab. UC3M

Juan González-Gómez

jggomez@ing.uc3m.es

juan@iearobotics.com

29/Octubre/2010

1^a Semana de la
Automática y Robótica

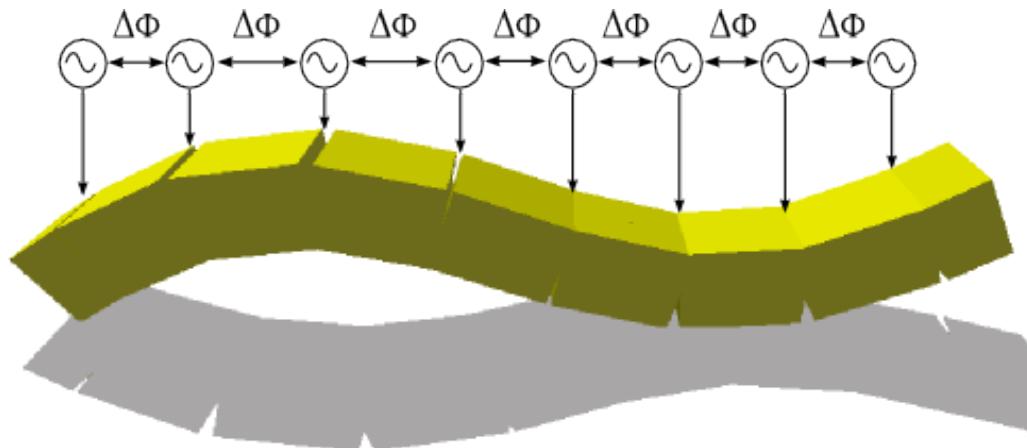


E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática



Modelo de control



¿Modelo viable?

¿Cómo afectan los parámetros de los osciladores a la locomoción?

¿Cuantos módulos como mínimo tiene que tener el robot para poderse mover?



Minicube-I



Configuración mínima

Robot modular con el **menor número de módulos** que es capaz de desplazarse en línea recta

Minicube-I (II)

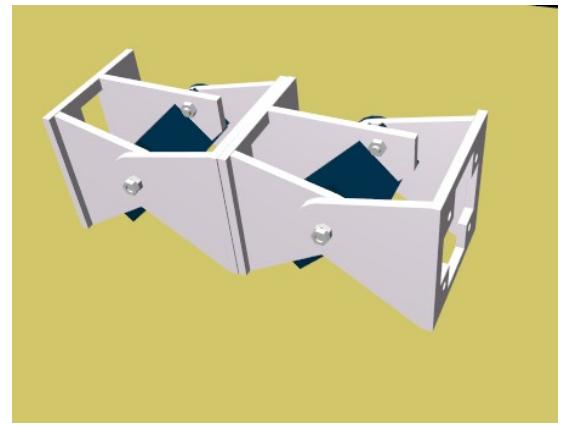
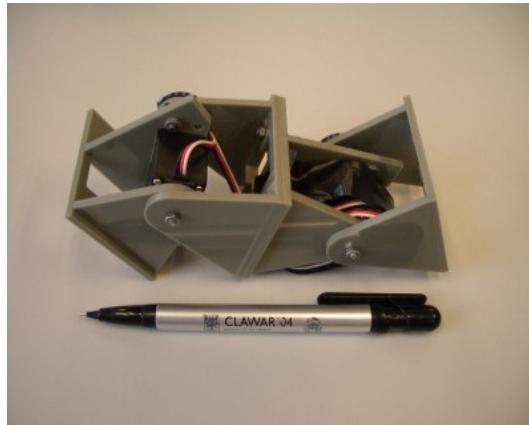
Demo

Vídeo

- **Morfología**

2 modules con conexión
cabeceo-cabeceo

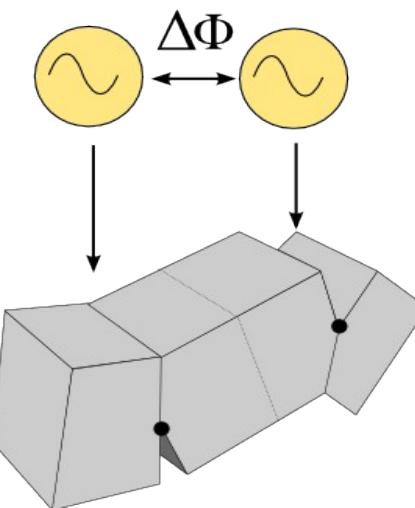
Locomoción en 1D



- **Controlador:**

- Dos generadores iguales
- Parámetros $A, \Delta\Phi, T$
- Más información:

<http://bit.ly/9SNFXb>



Cube3 (I)

Demo



- **Morfología:** 3 Módulos con conexión cabeza-cabeza
- **Controlador:** 3 osciladores iguales

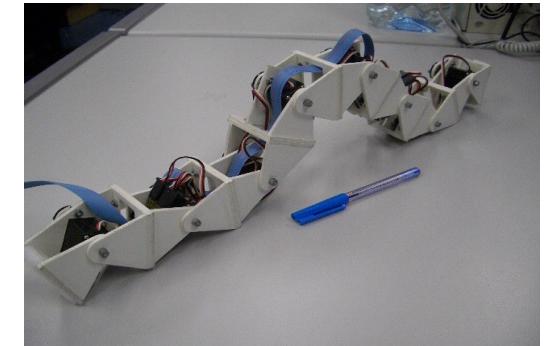
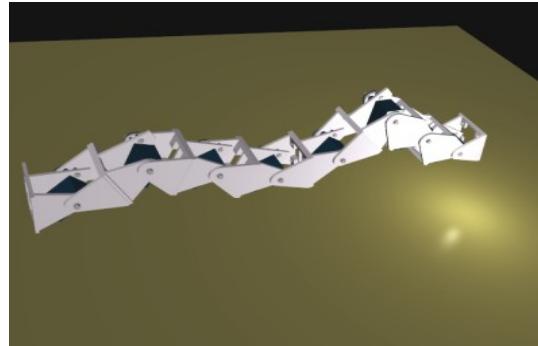
Cube Revolutions (I)

Vídeos

- **Morfología:**

8 módulos con conexión
cabeceo-cabeceo

Locomoción en 1D



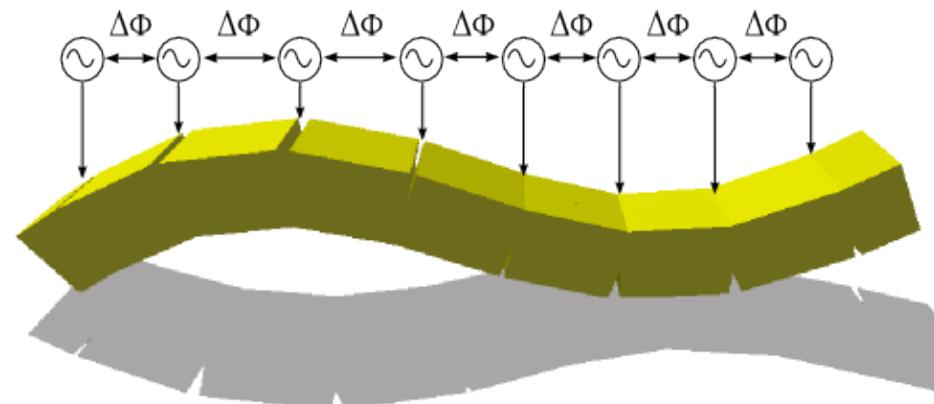
- **Control:**

- 8 generadores iguales

- Parámetros: $A, \Delta\Phi, T$

- Más información:

<http://bit.ly/aOdkzb>



CUBE 12

Demo



- Construido por estudiantes de la Asignatura de Robótica en la UC3M
- Formado por 4 Cube3 independientes
- No hay comunicación entre los segmentos
- Más información:

<http://goo.gl/huKp>

CUBE 18



RECORD DE ESPAÑA

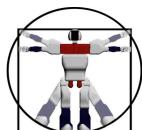
- 18 módulos
- Longitud: 1.5 m
- Participantes: 28
- Procesadores: 6 PIC16F876A
- Fecha: 22/Julio/2010
- Campus Científico. UC3M

- Más información:

<http://goo.gl/gGk0>

ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
- 5. Locomoción en 2D**
6. Simulación
7. Conclusiones



Robotics Lab. UC3M



Juan González-Gómez

jggomez@ing.uc3m.es

juan@iearobotics.com

29/Octubre/2010

1^a Semana de la Automática y Robótica

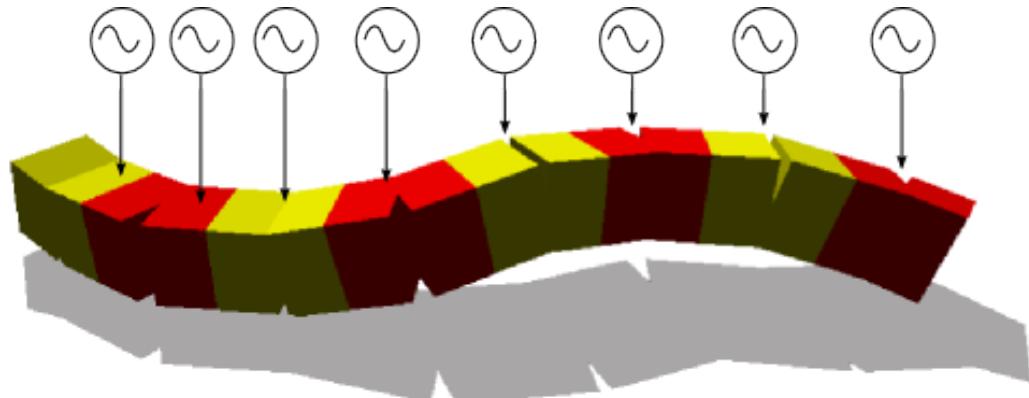


E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática



Modelo de control



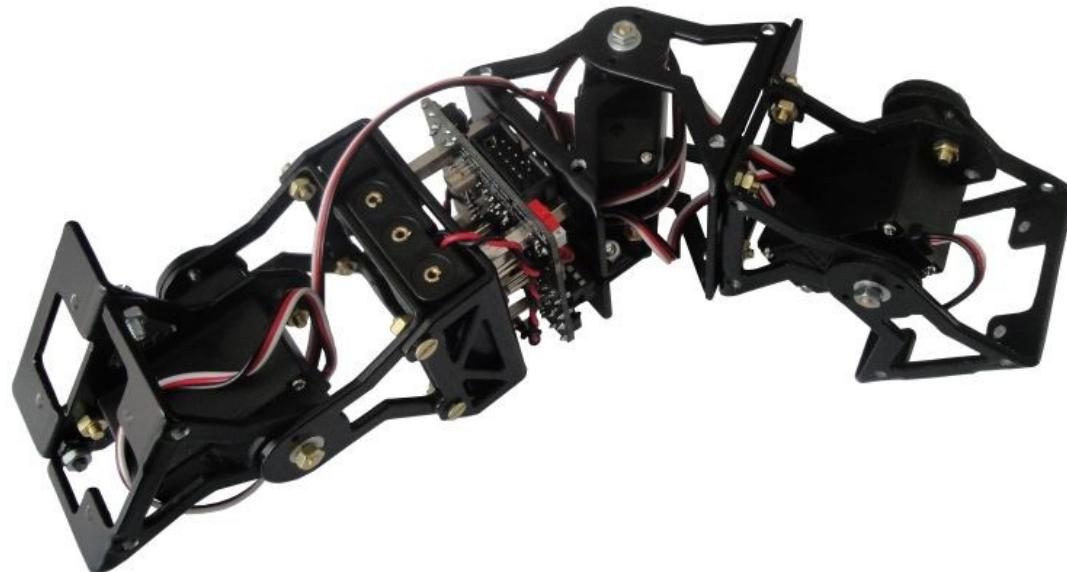
¿Modelo viable?

¿Cuántos modos de caminar aparecen?

¿Cuántos módulos como mínimo tiene que tener el robot para poderse mover?



Minicube-II (1)



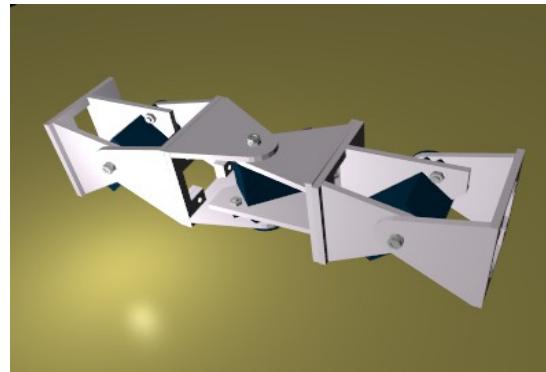
Configuración mínima

Robot modular con el **menor número de módulos** que es capaz de alcanzar cualquier punto del plano con cualquier orientación

- **Morfología:**

Tres módulos con conexión cabeceo-viraje

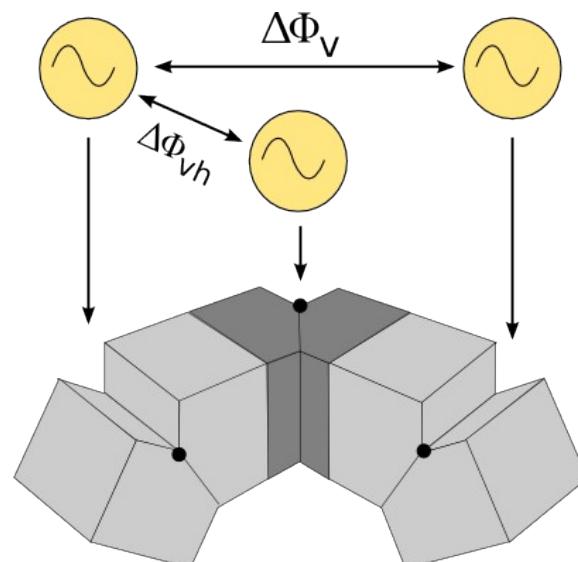
Locomoción en 2D



- **Control:**

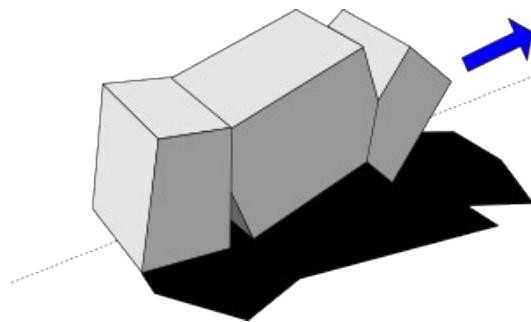
- Tres generadores sinusoidales
- Parámetros:

$$A_v, A_h, \Delta\Phi_v, \Delta\Phi_{vh}, T$$



Minicube-II (II)

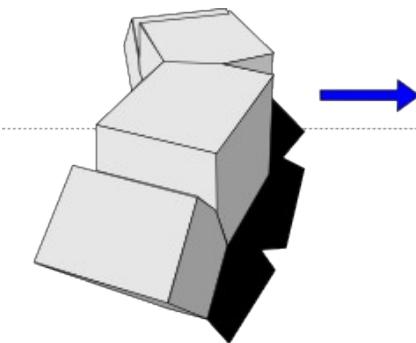
Línea recta



$$A_v = 40, A_h = 0$$

$$\Delta \Phi_v = 120$$

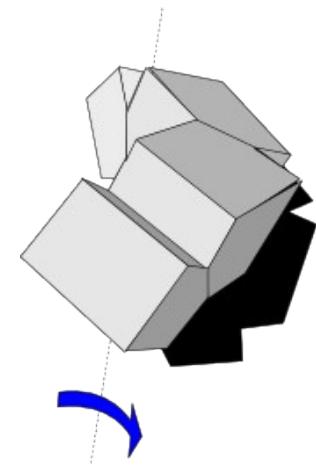
Desplazamiento lateral



$$A_v = A_h < 40$$

$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 0$$

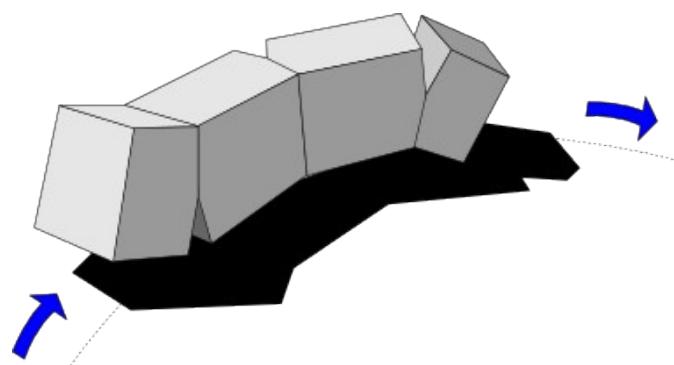
Radar



$$A_v = A_h > 60$$

$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 0$$

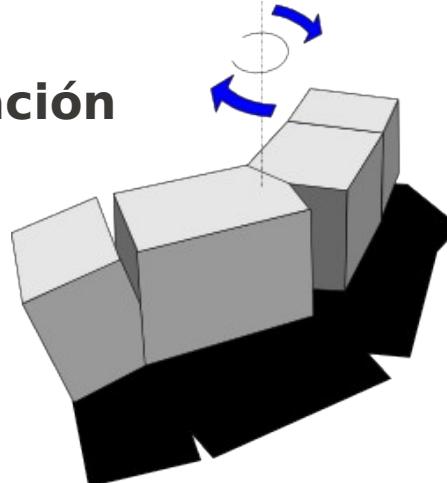
Arco



$$A_v = 40, A_h = 0$$

$$O_h = 30, \Delta \Phi_v = 120$$

Rotación



$$A_v = 10, A_h = 40$$

$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 180$$

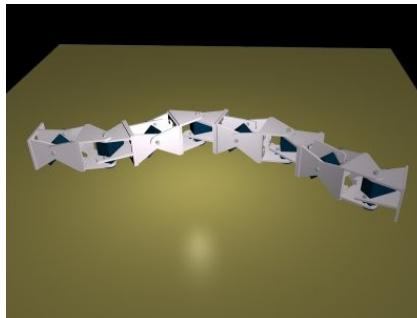
Hypercube

Vídeos

- **Morfología:**

8 módulos con conexión
cabeceo-viraje

Locomoción en 2D



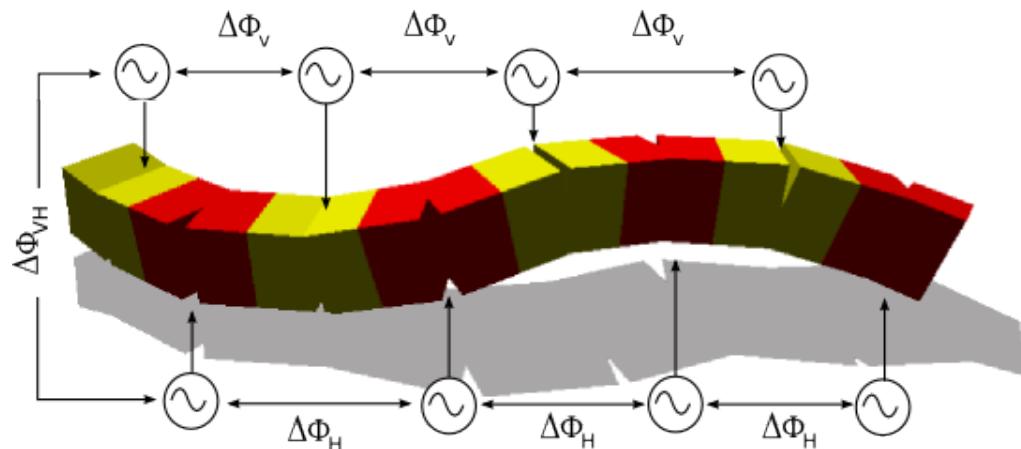
- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

$$A_h, A_v, \Delta\Phi_h, \Delta\Phi_v, \Delta\Phi_{vh}, T$$

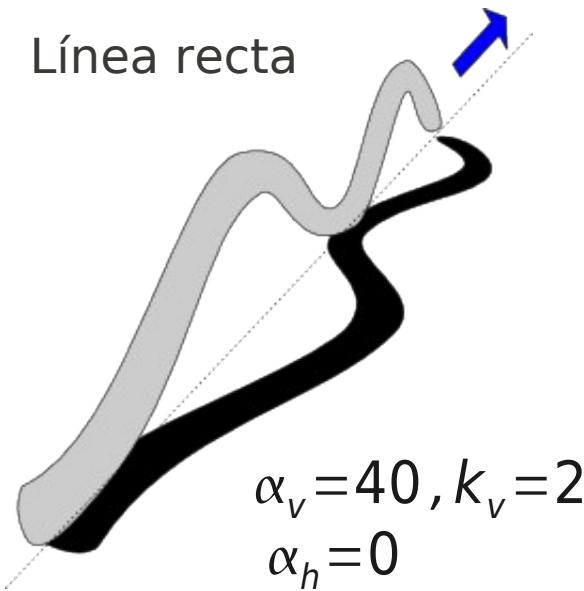
- Más información:

<http://bit.ly/9WMVUf>



Hypercube (II)

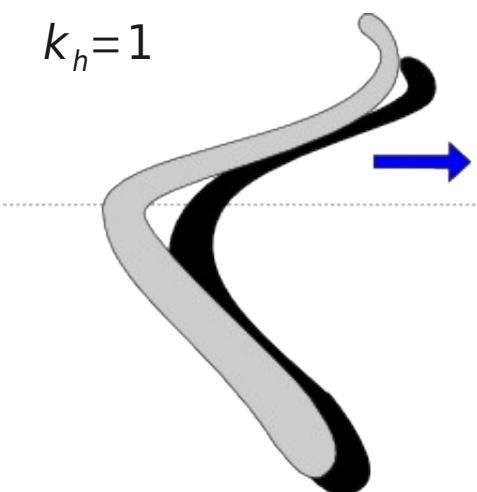
Línea recta



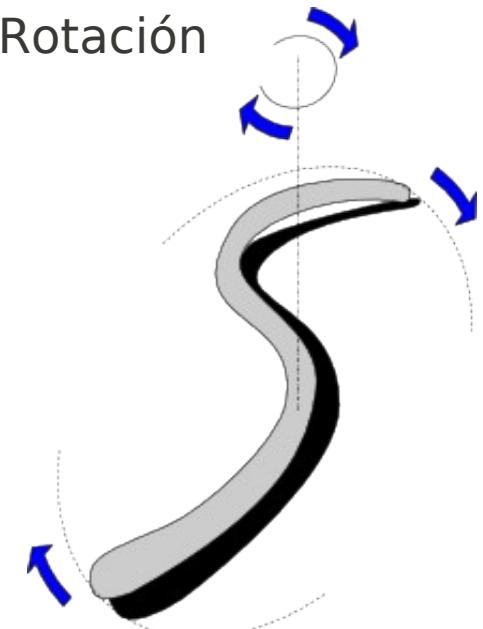
Desplazamiento lateral

$\alpha_v \rightarrow 0, k_v = k_h, \Delta \Phi_{vh} = 90$

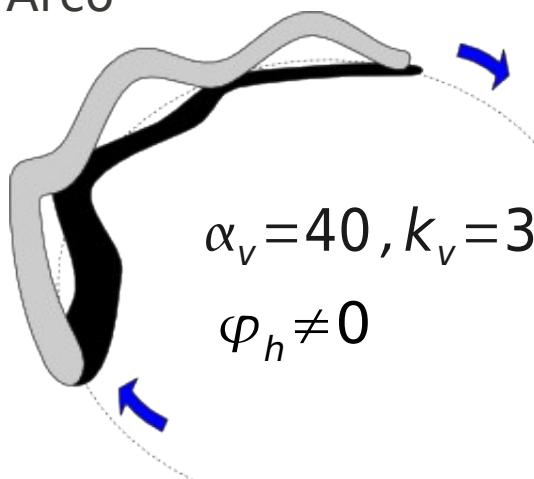
$k_h = 1$



Rotación

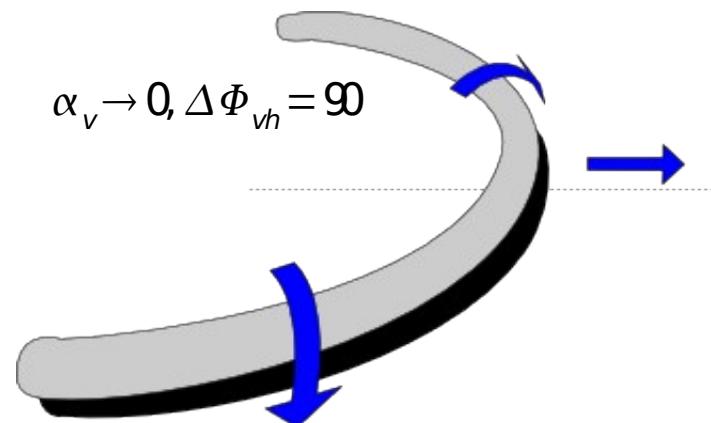


Arco



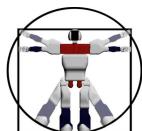
Rodar

$\alpha_v \rightarrow 0, \Delta \Phi_{vh} = 90$



ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
- 6. Simulación**
7. Conclusiones



Robotics Lab. UC3M

Juan González-Gómez

jggomez@ing.uc3m.es

juan@iearobotics.com

29/Octubre/2010

1^a Semana de la Automática y Robótica



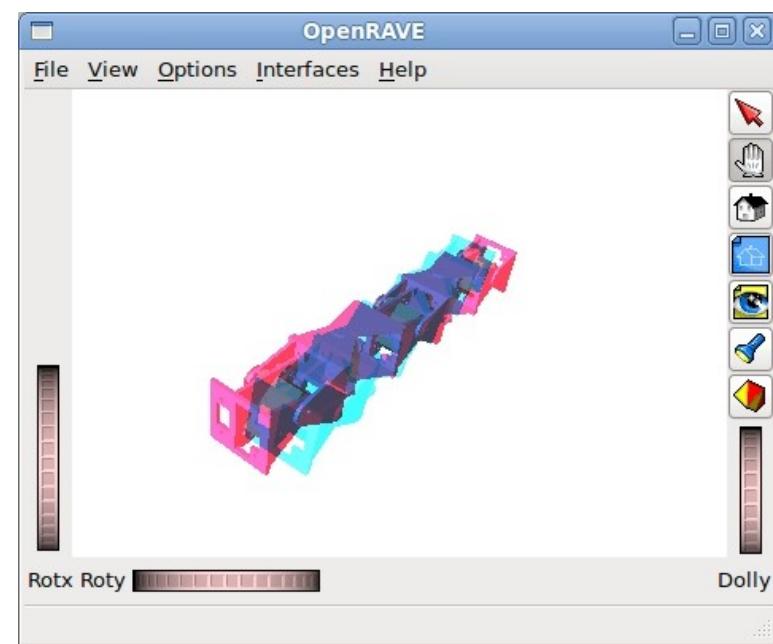
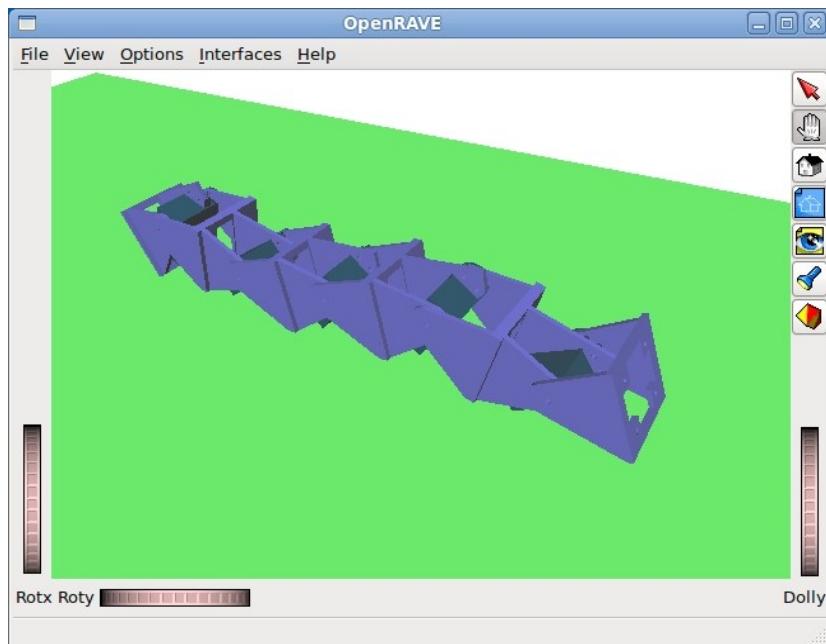
E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática



Simulación (II)

Demo



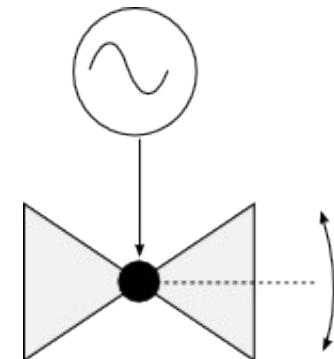
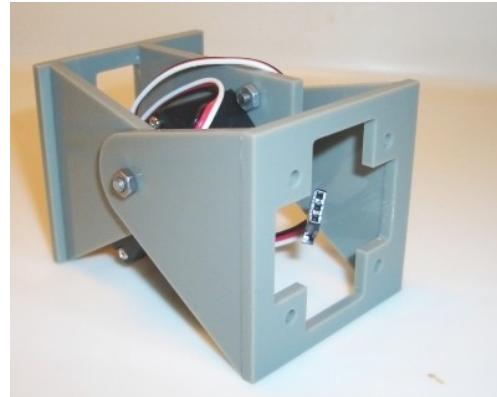
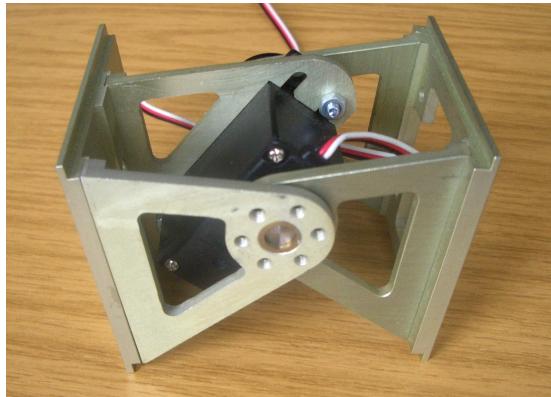
- Simulador: **OpenRave** + **OpenMR** plugin
- **OpenMR** = OpenRave Modular Robot plugin
- Vista en 3D con gafas con cristales rojo y azul
- Más información: <http://bit.ly/9a3fXk>



Conclusiones

El modelo basado en **generadores sinusoidales es válido** para la locomoción de robots modulares con topología de 1D

- Requiere muy pocos recursos para su implementación
- Se consiguen movimientos muy suaves y naturales
- Se pueden realizar diferentes tipos de movimientos
- Configuraciones mínimas de 2 y 3 módulos



$$\varphi_i(t) = A_i \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_i\right) + O_i$$



¡Que la robótica modular os acompañe!

Muchas gracias por vuestra atención

:-)

Robots ápodos modulares

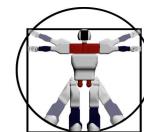


Juan González Gómez

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Robotics Lab



Universidad Carlos III de Madrid



jggomez@ing.uc3m.es
juan@earobotics.com



1^a Semana de la
Automática y Robótica



E.T.S. Ingenieros
Industriales
Ciudad Real

Área de ingeniería de Sistemas y Automática

ISA

29/Octubre/2010

43