

Robótica Modular y Locomoción



Juan González Gómez
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid



índice

1. **Introducción**
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

El Problema de la locomoción (I)

- *Diseñar y contruir un robot capaz de desplazarse desde un punto a otro con independencia del terreno*



Arquitectura

Nivel Superior

Nivel Inferior

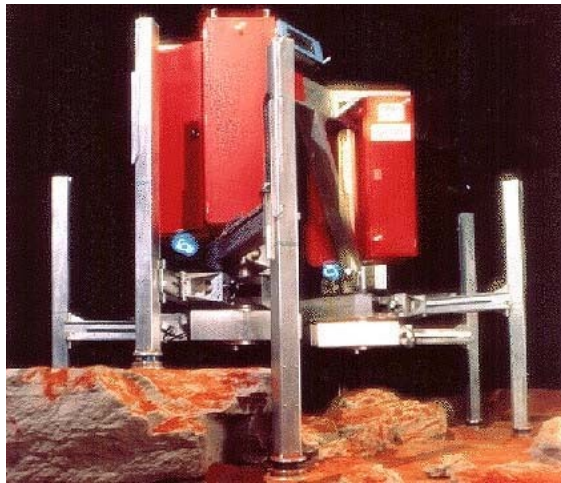


Ámbito de estudio

El Problema de la locomoción (II)

Enfoque clásico:

- Estudiar entorno
- Diseñar la morfología del robot
- Realizar los modos de caminar



(**Ambler**, Krotkov et al, 1989)

- NASA interesada en este problema
- Exploración de planetas
- Ej. Robots Ambler y Dante II



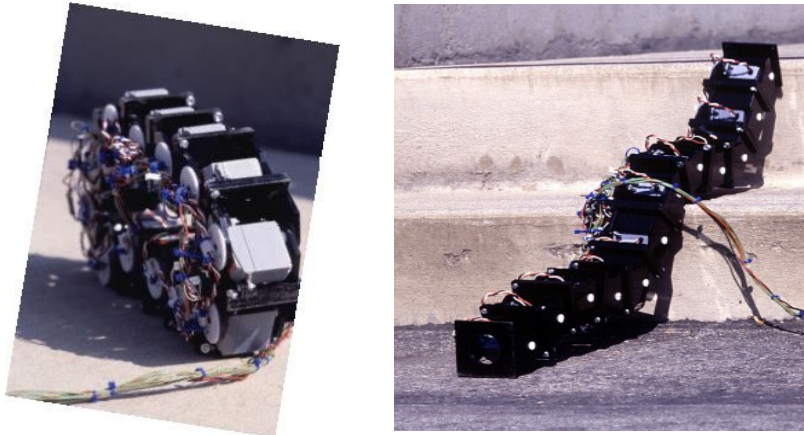
(**Dante II**, Bares et al, 1994)

El Problema de la locomoción (III)

Enfoque Modular: (Yim, 1995)
Robótica modular Auto-configurable

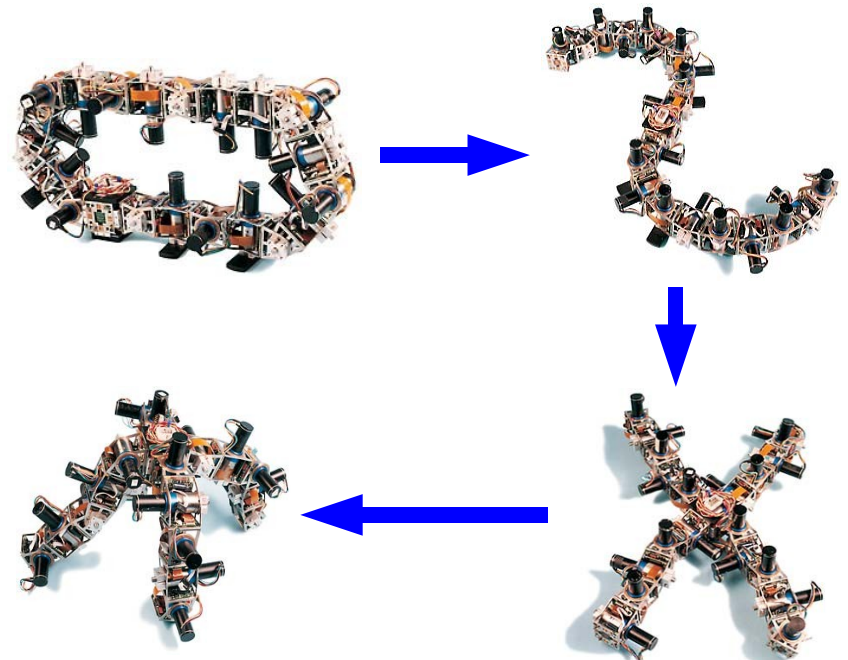
- Robots creados a partir de módulos
- Adaptan su morfología al terreno

Autoconfiguración simple
Rueda -> gusano



(Polybot G1, Yim et al. 1997)

- Primer experimento de auto-configuración dinámica
- Rueda -> gusano -> cuadrúpedo



(Polybot G2, Yim et al. 2000)

El Problema de la locomoción (IV)

Vídeos: 1,2

Enfoque Bio-inspirado:

- Imitar a la naturaleza
- Se quiere un “robot cabra” :-)

Boston Dynamics

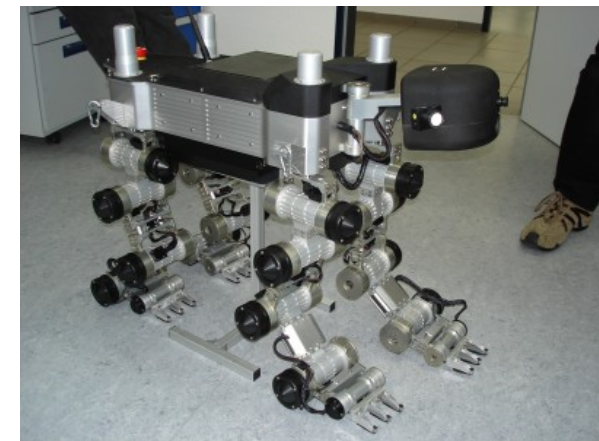


(BigDog, Raibert et al. 2008)

Universidad de Bremen (Alemania)



(Scorpio, Dirk et al. 2007)



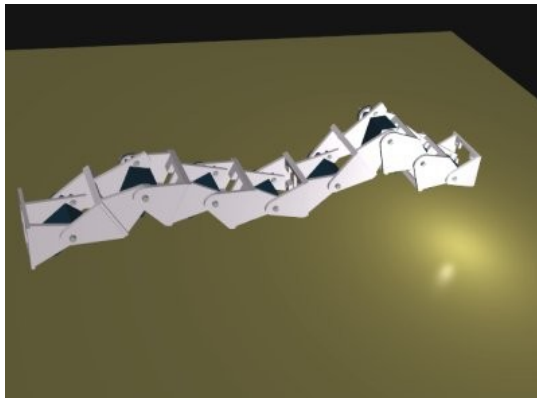
(Aramies, Sastra. 2008)

Locomoción de robots modulares

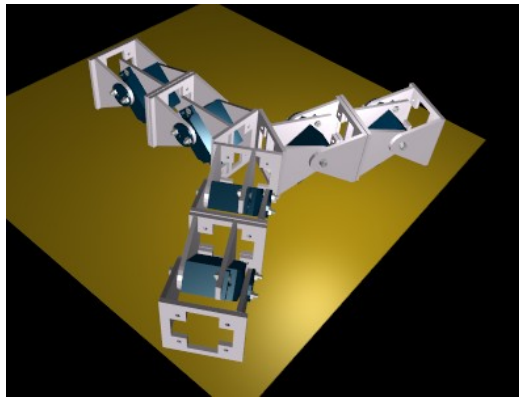
- **Nueva área de investigación:** La locomoción de robots modulares
- Aspectos importantes:
 - **Morfología del robot.** ¿Qué forma tiene el robot?
 - **Controlador.** ¿Cómo lograr el desplazamiento?

Clasificación según morfología:

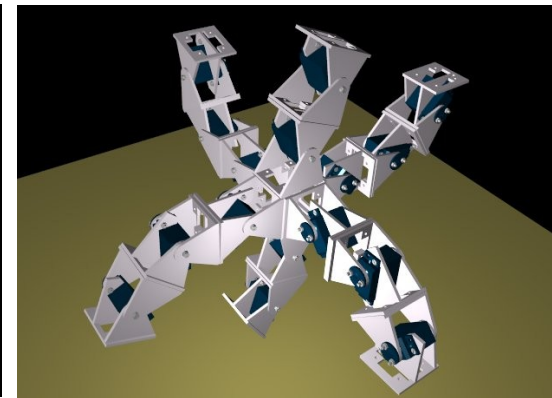
Topología 1D



Topología 2D



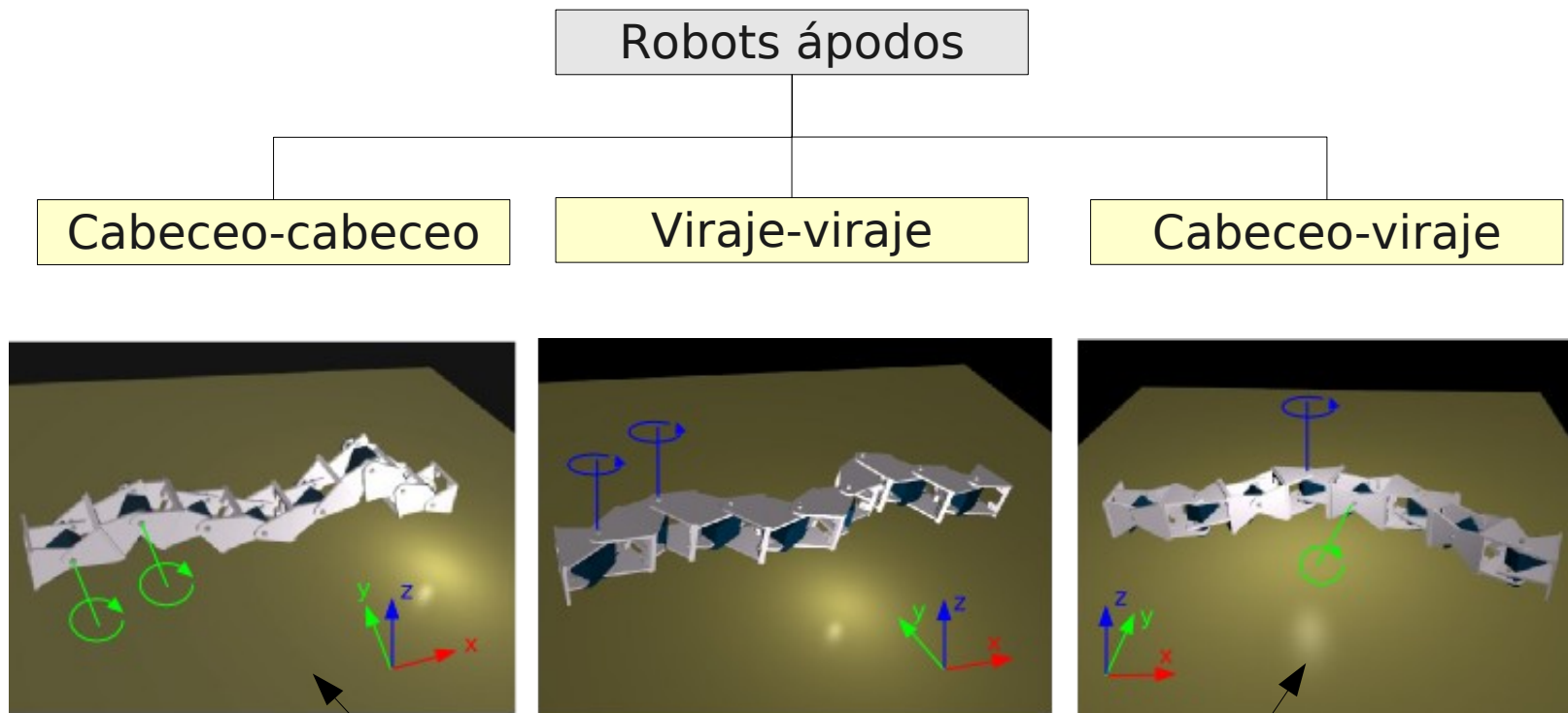
Topología 3D



Robots ápodos

Clasificación robots ápodos

Clasificación según el conexionado entre módulos:

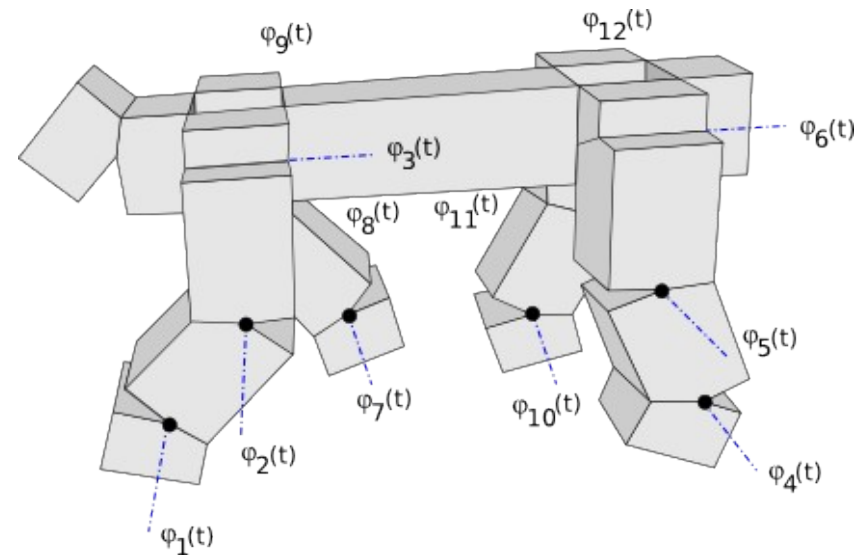


Grupos que estamos investigando

Controladores

- **Problema de la coordinación:**

Mover las articulaciones adecuadamente para lograr que el robot se desplace

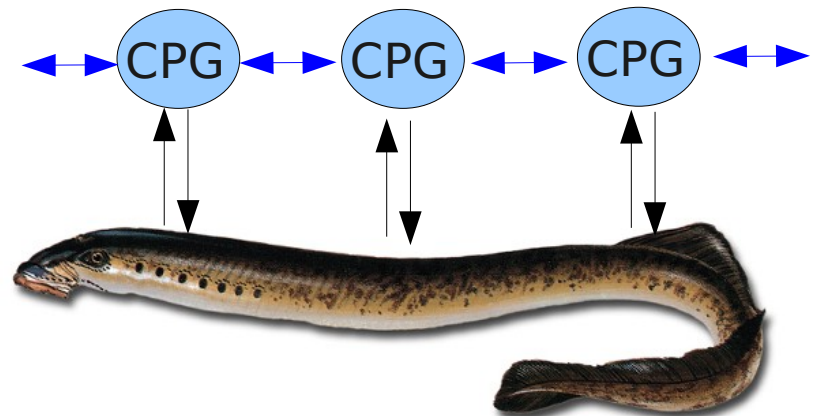


- **Enfoque Clásico:** Modelado matemático

- Cálculo de la cinemática inversa
- Problema: ecuaciones sólo válidas para una morfología concreta

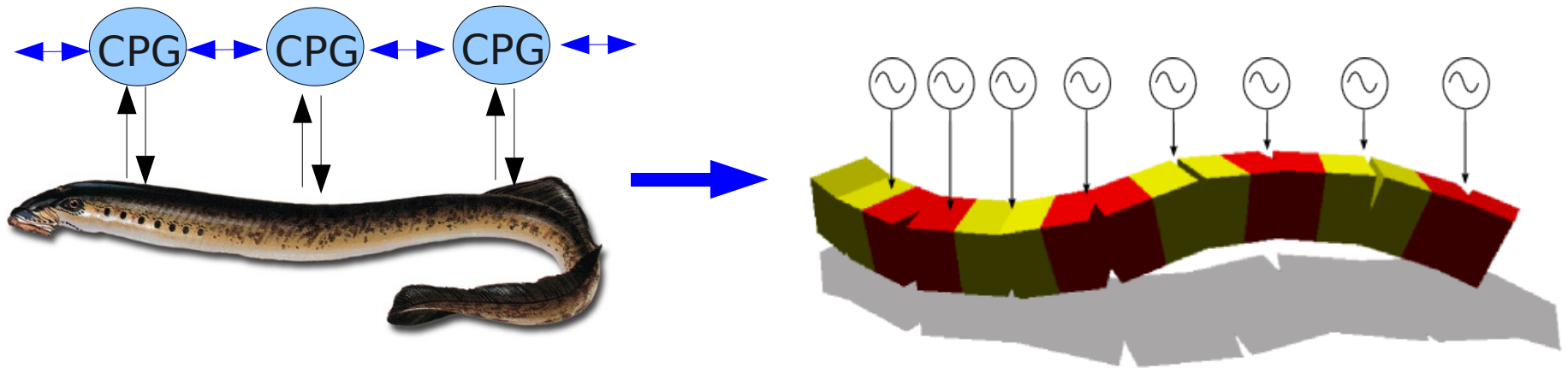
- **Enfoque Bio-inspirado:** CPGs

- Actúan directamente sobre los músculos
- Sincronización entre ellos

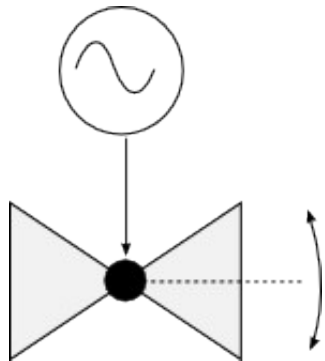


Hipótesis: Osciladores sinusoidales

- Reemplazar los CPGs por un **modelo simplificado**



- Osciladores sinusoidales:

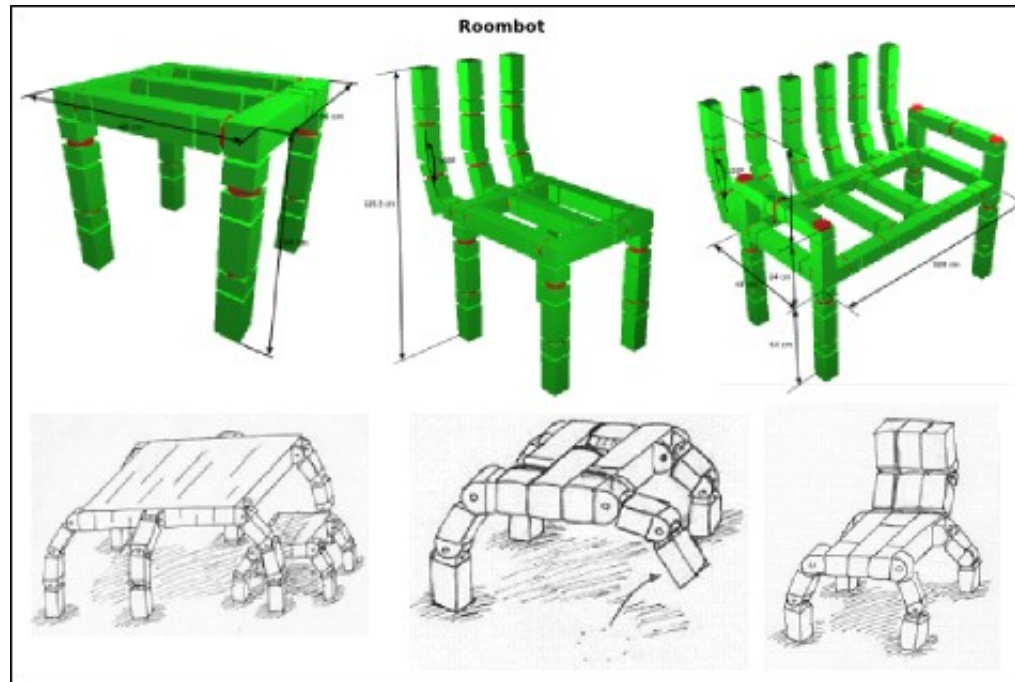


$$\varphi_i(t) = A_i \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_i\right) + O_i$$

- **Ventajas:**

- Se necesitan pocos recursos para su implementación

Robots modulares y estructuras



- Construcción de estructuras 3D usando módulos
- Ej. **RoomBot**, (Arredondo et al.). Laboratorio de Robótica Bioinspirada. EPFL
- Muebles re-configurables que se pueden mover :-)

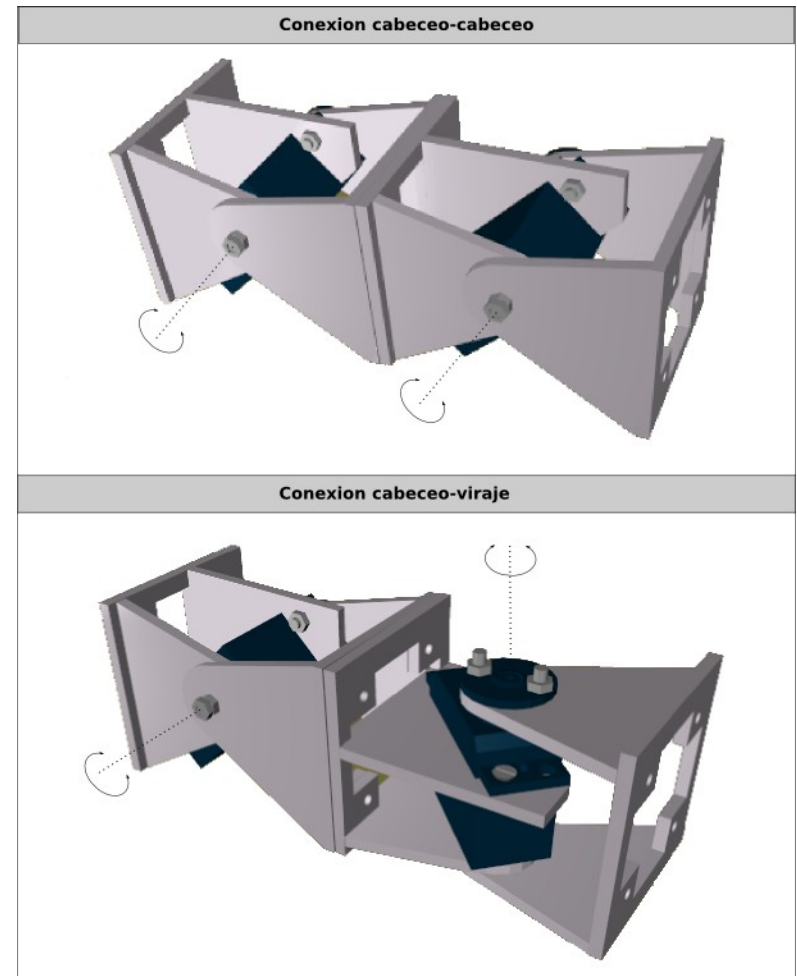
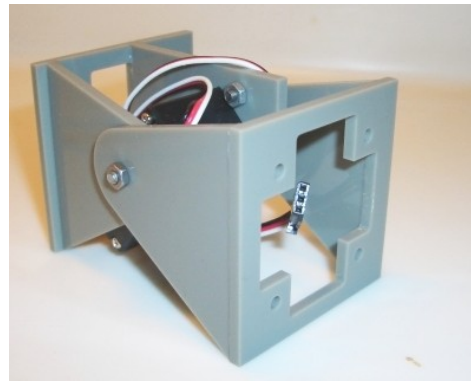
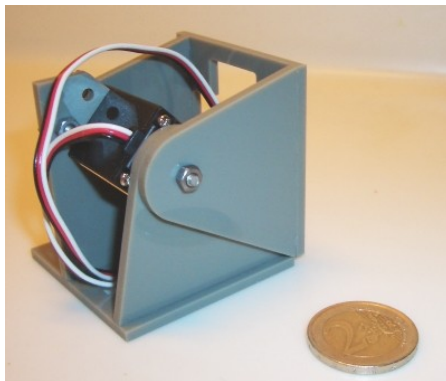
índice

1. Introducción
2. **Módulos Y1**
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

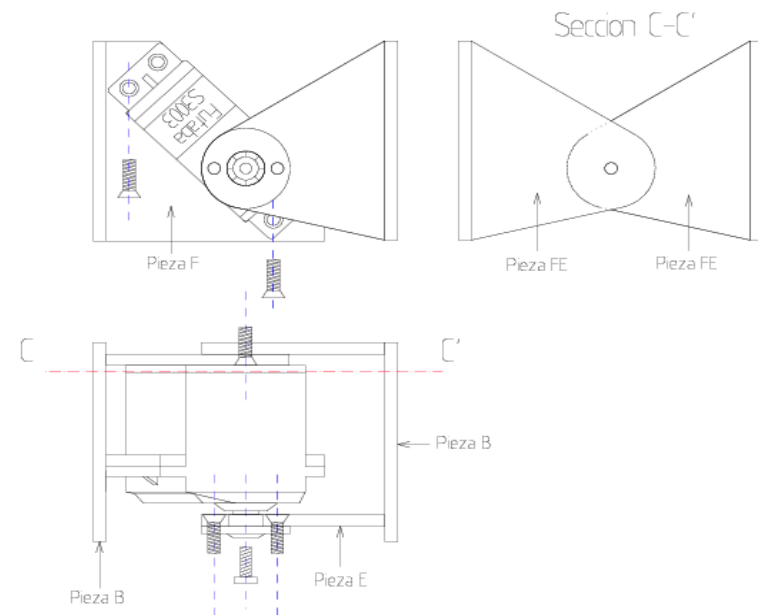
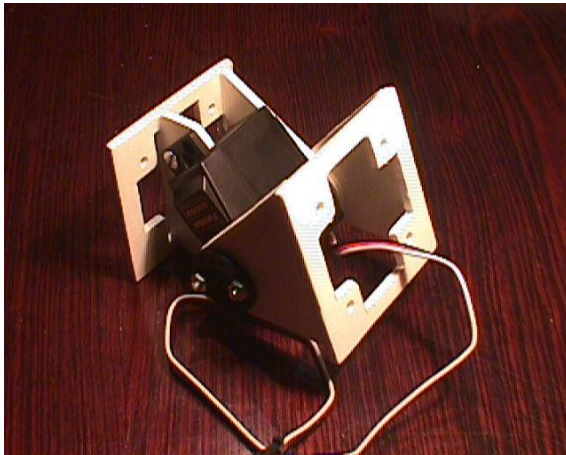
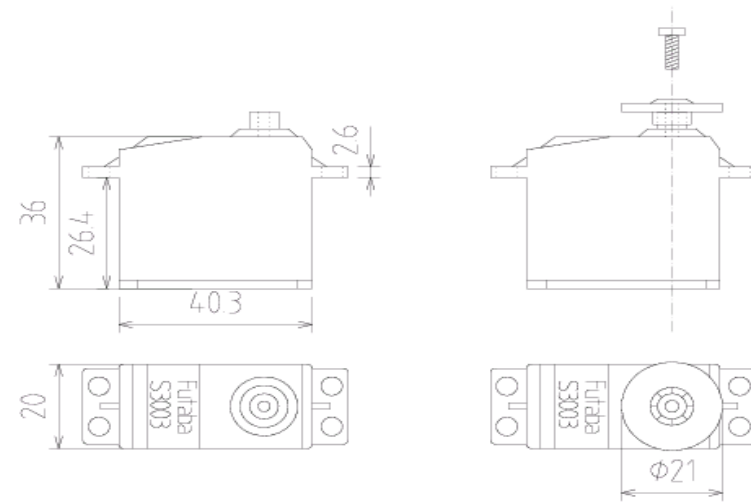
Módulos Y1

Vídeos,3-5

- Un grado de libertad
- Fácil construcción
- **Servo:** Futaba 3003
- **Material:** Plástico de 3mm
- **Dimensiones:** 52x52x72mm
- Dos tipos de conexiones

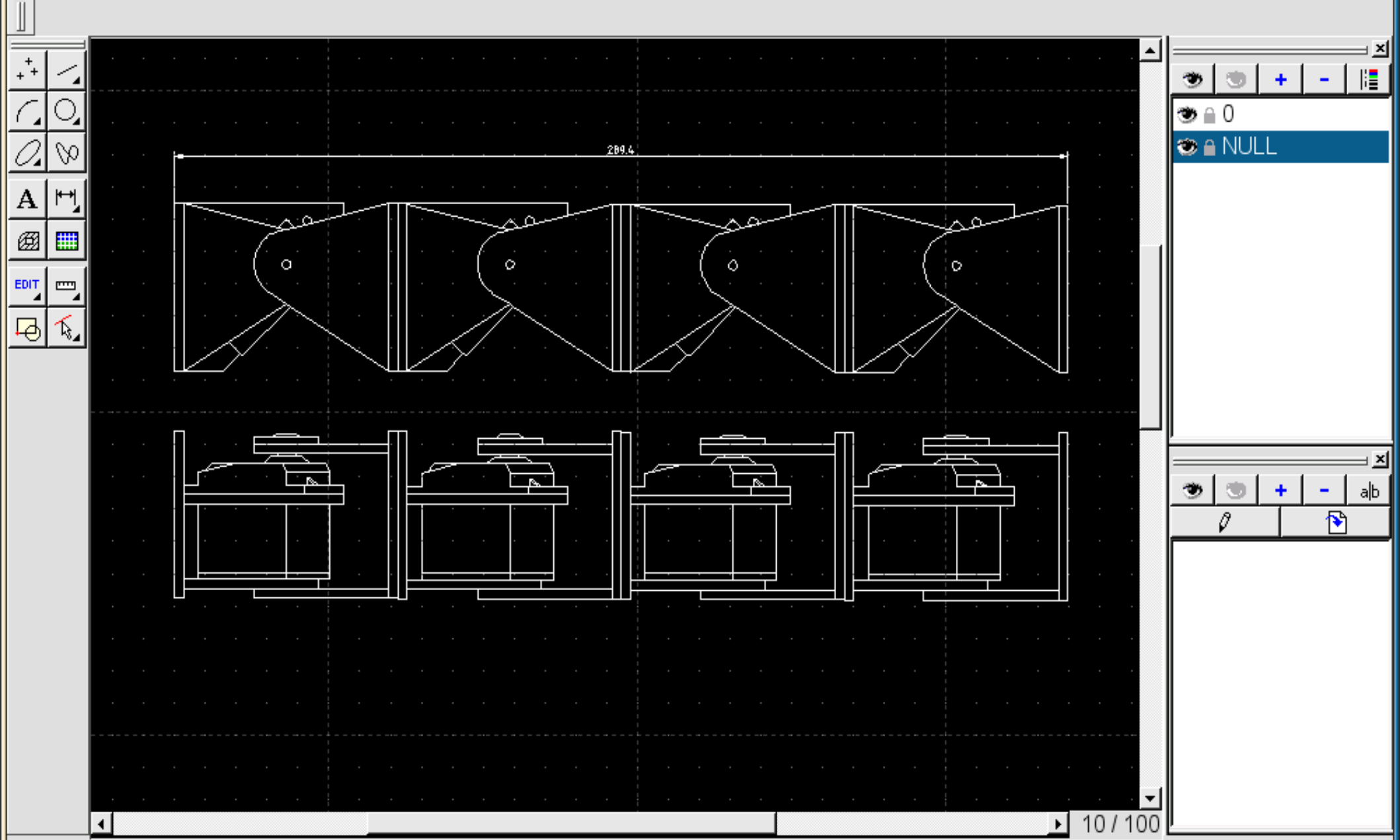


Herramientas de diseño (I): QCAD

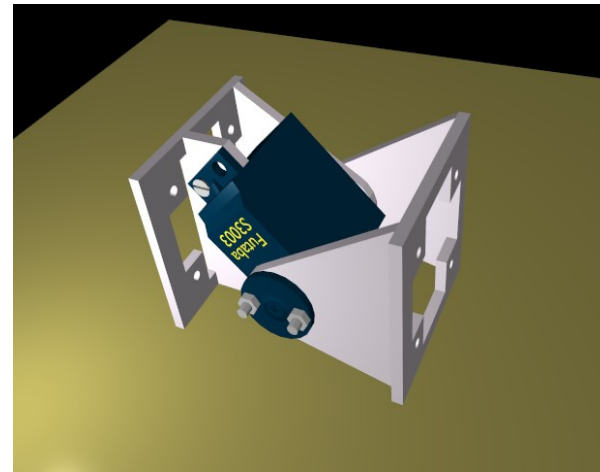
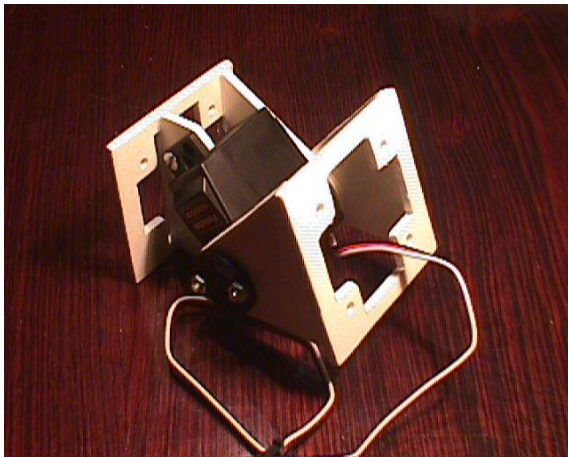
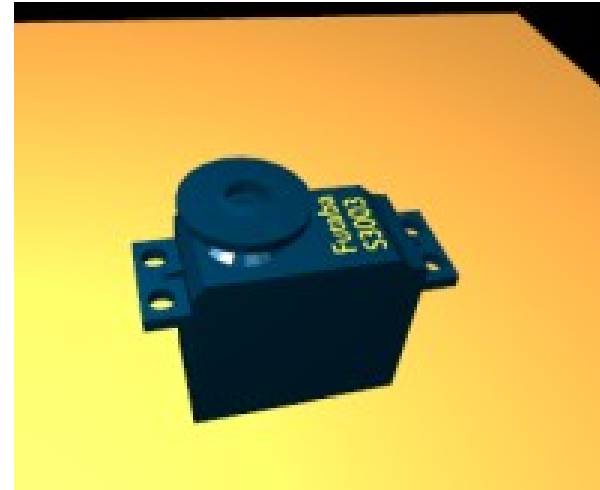


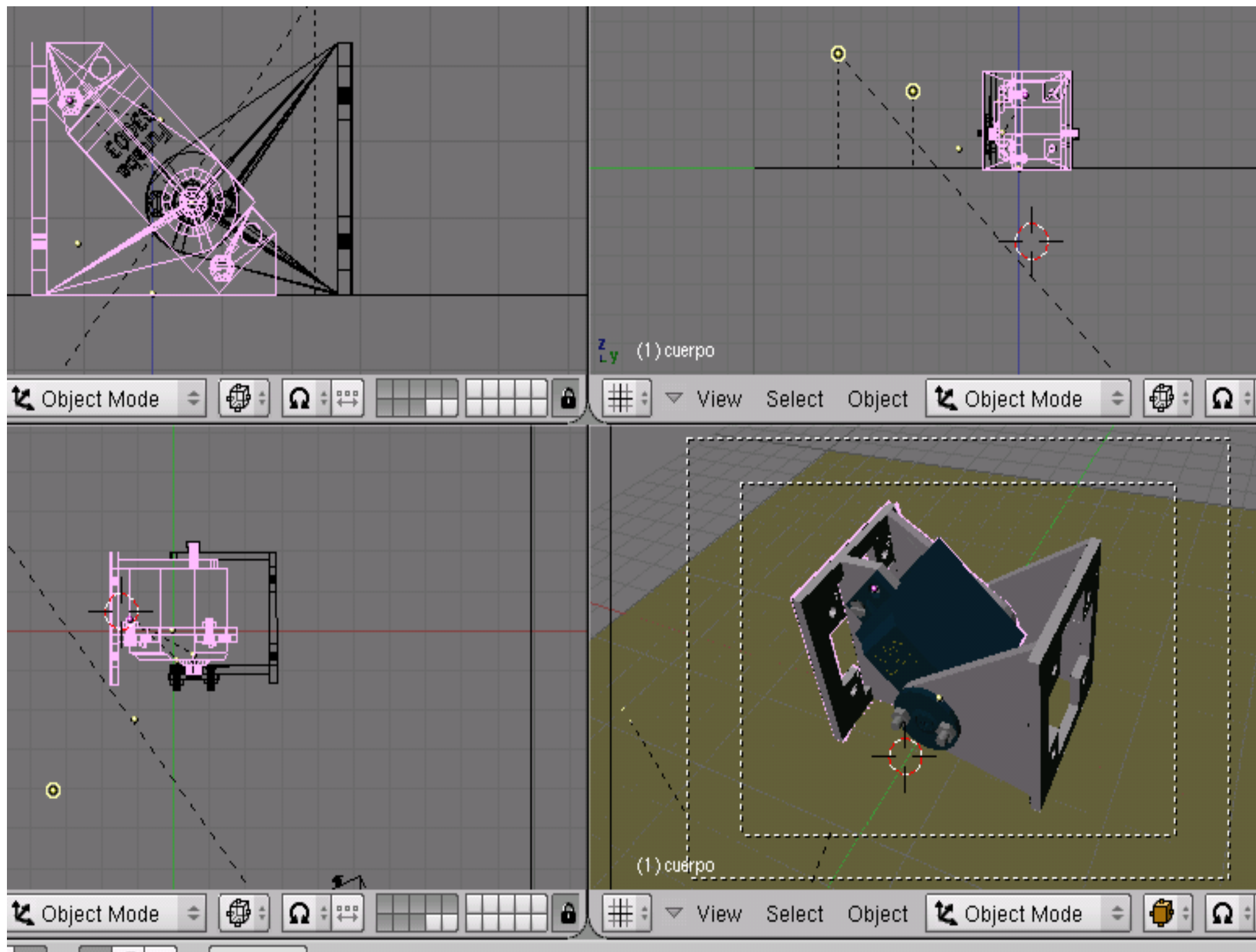


Por Capa Por Capa Por Capa

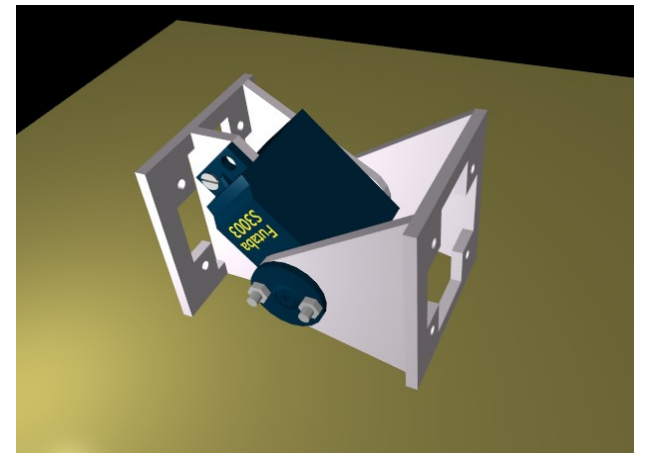
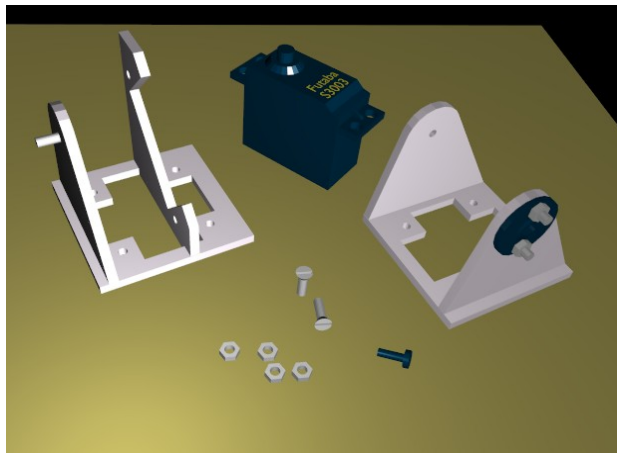
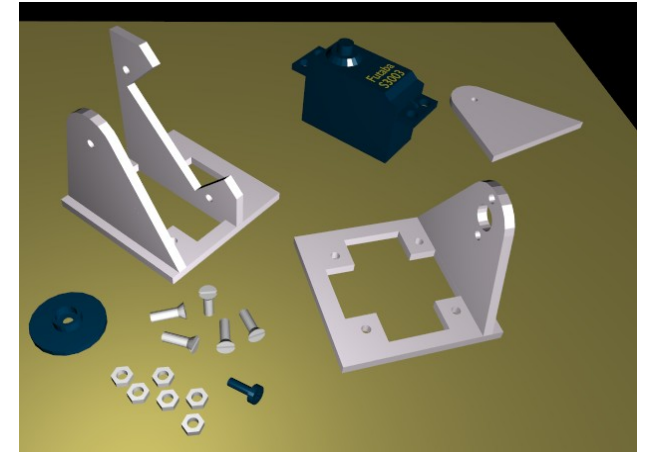
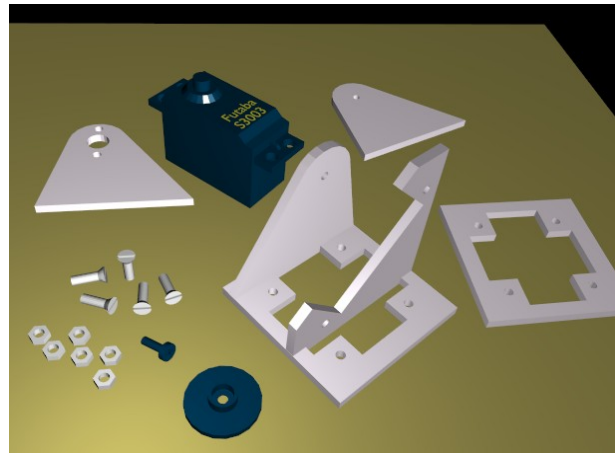
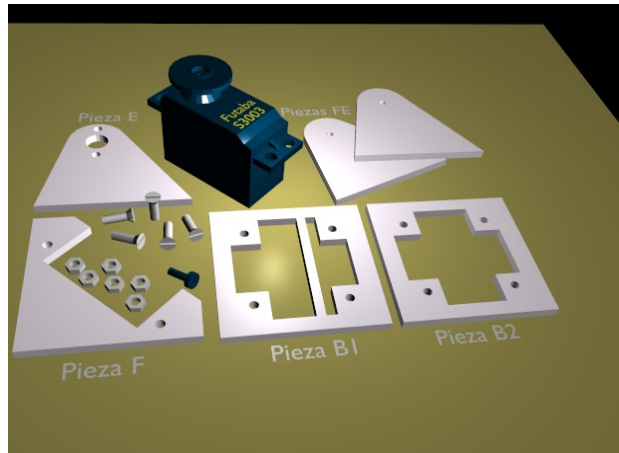


Herramientas de diseño (II): Blender



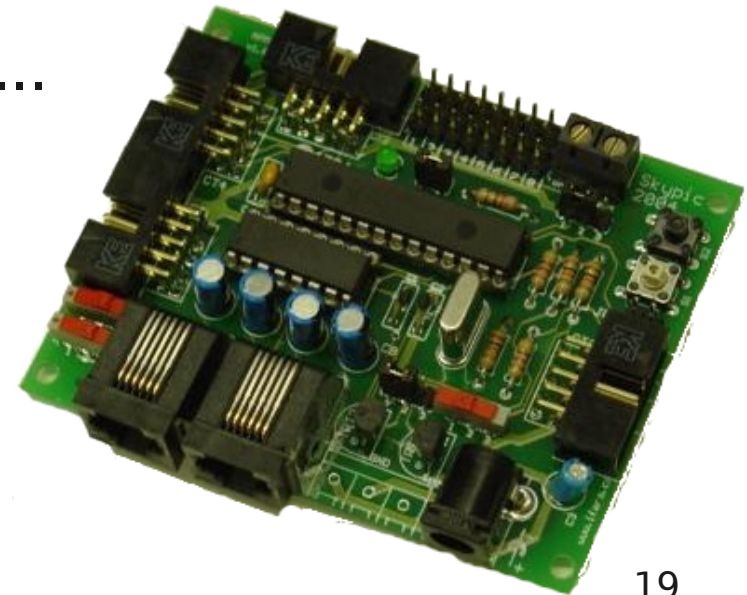


Montaje de los módulos

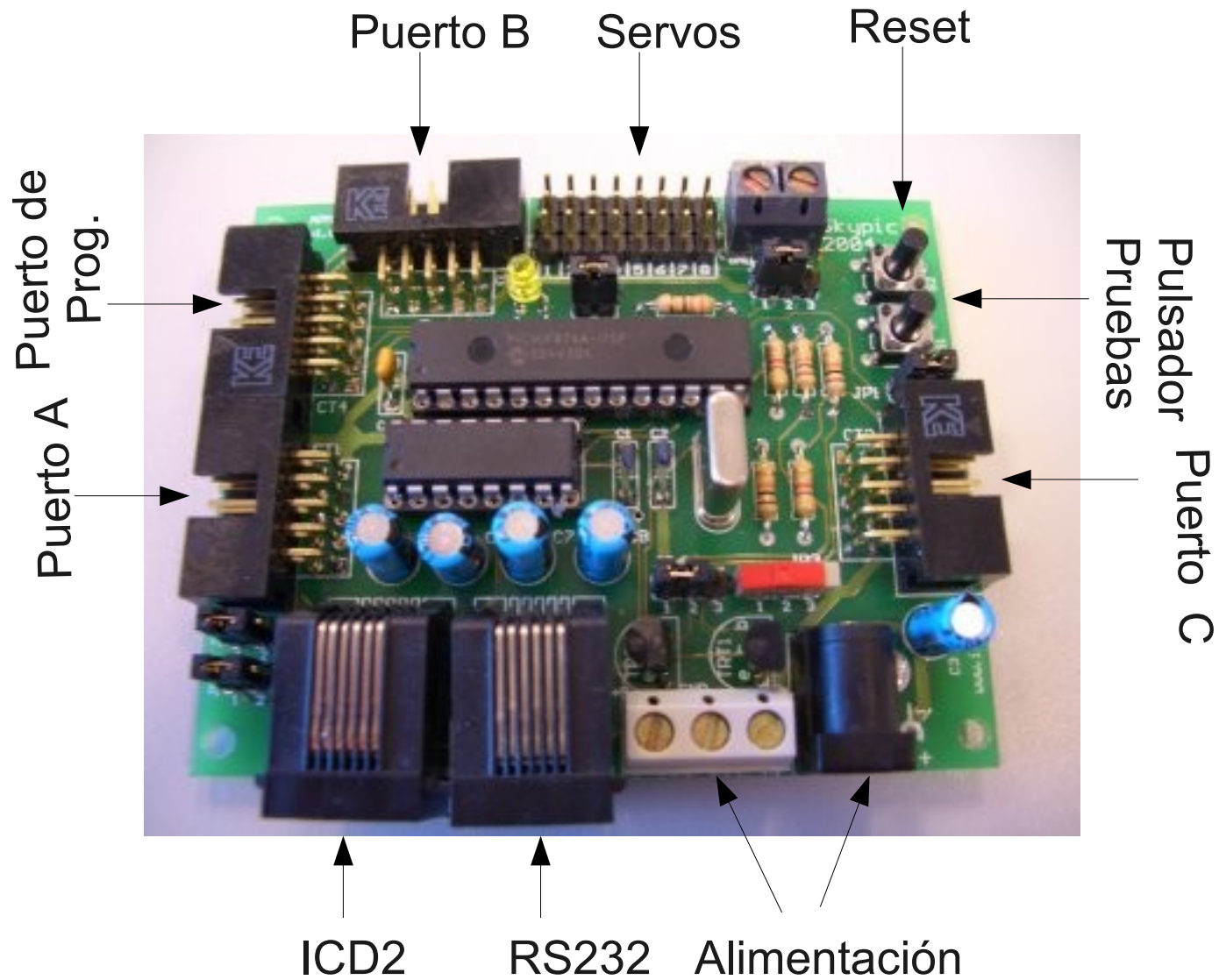


Tarjeta Skypic (I)

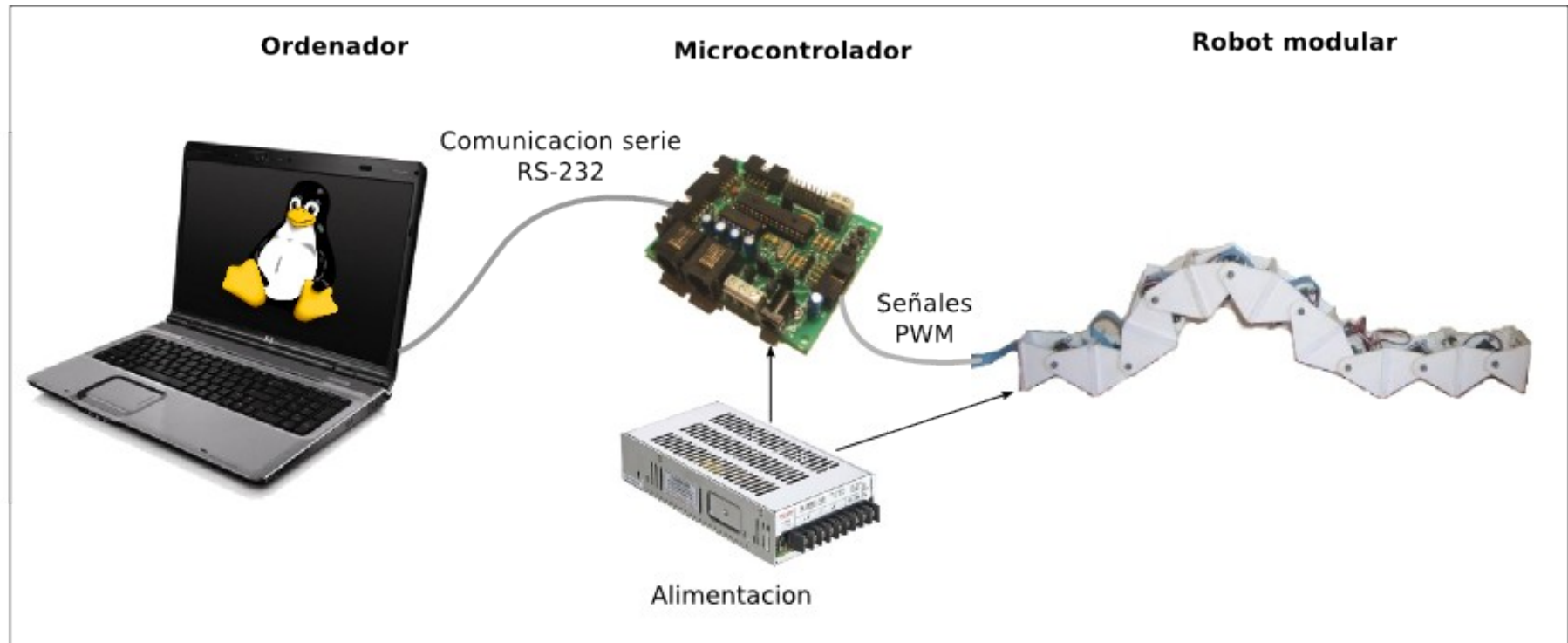
- Es **hardware libre**
- Herramienta de diseño: Eagle
- Cualquiera la puede fabricar...
- Cualquiera la puede modificar...
- Cualquier empresa la puede comercializar...
- Cualquier universidad la puede adaptar...



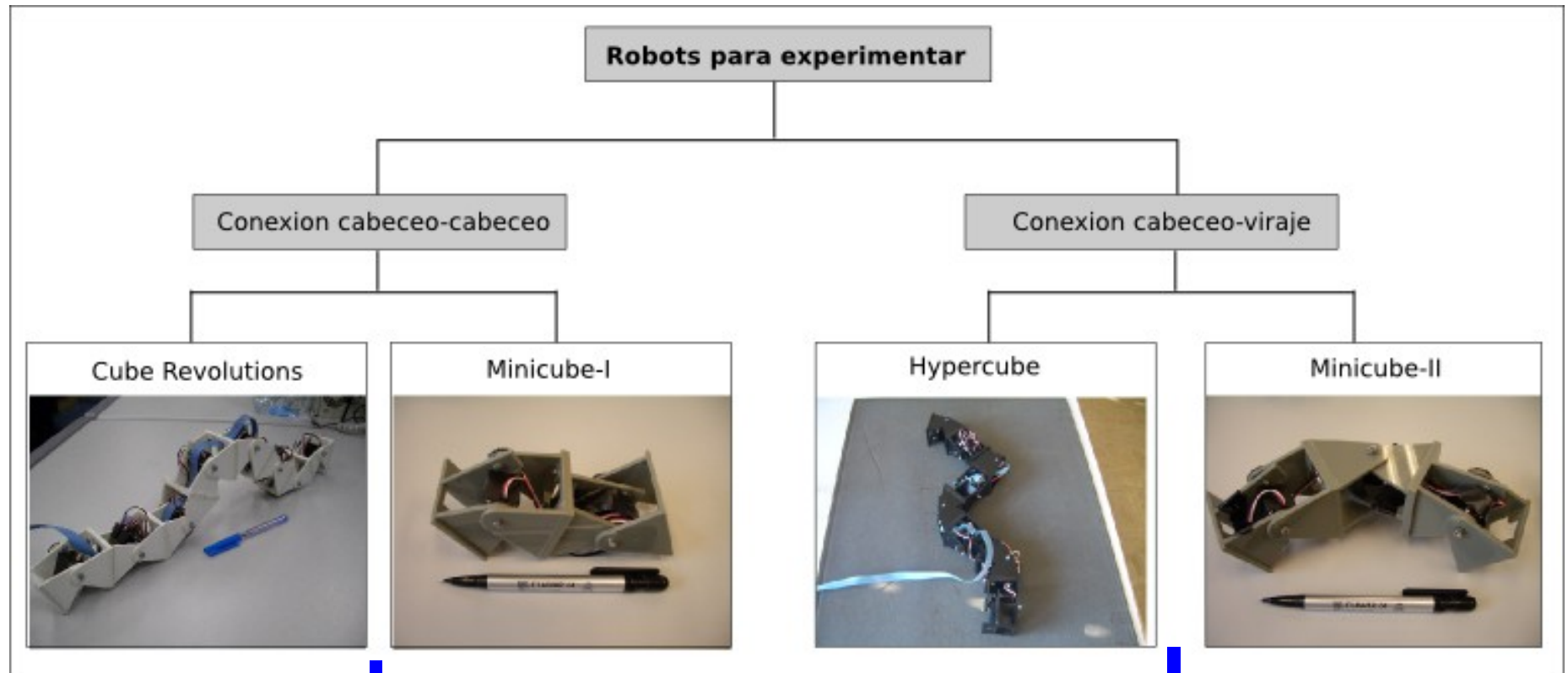
Tarjeta Skypic (II)



Esquema de control



Experimentos con Robots modulares



Locomoción en 1D

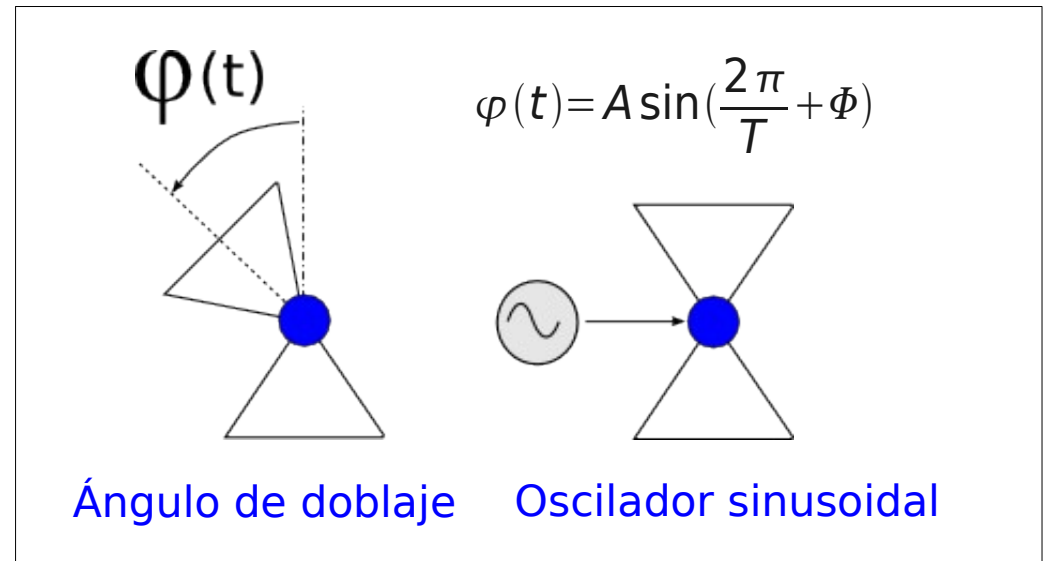
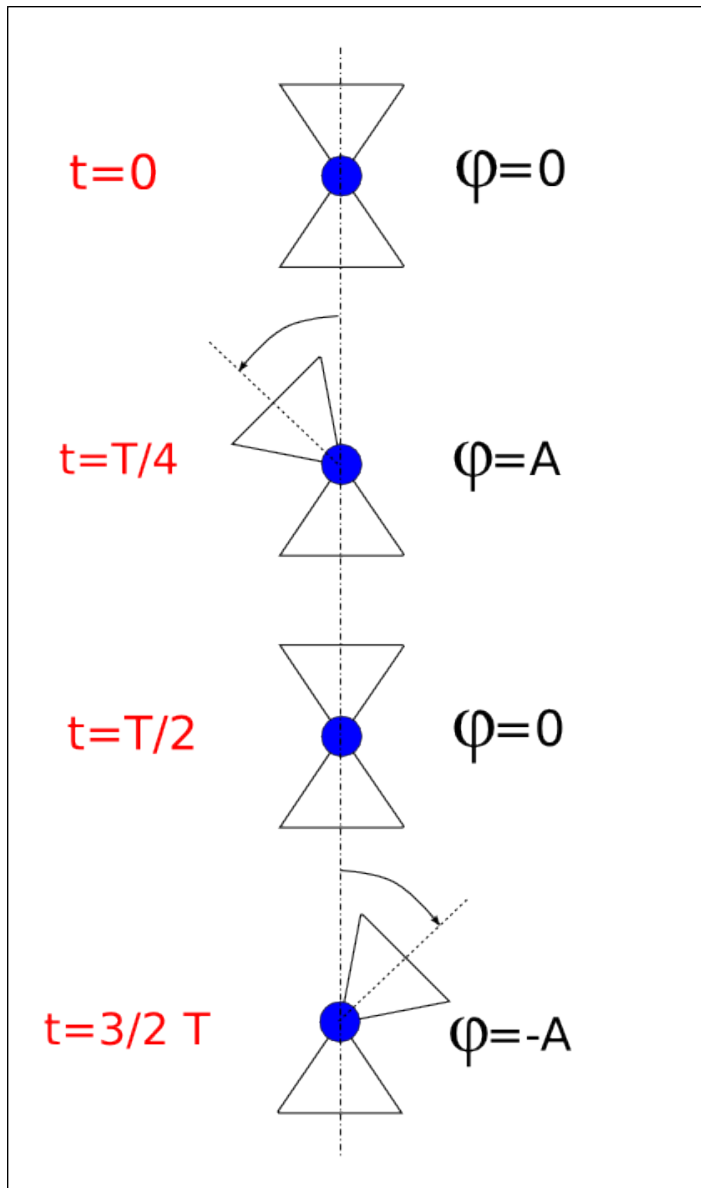
Locomoción en 2D

índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. **Osciladores**
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

Oscilación de un módulo

Demo

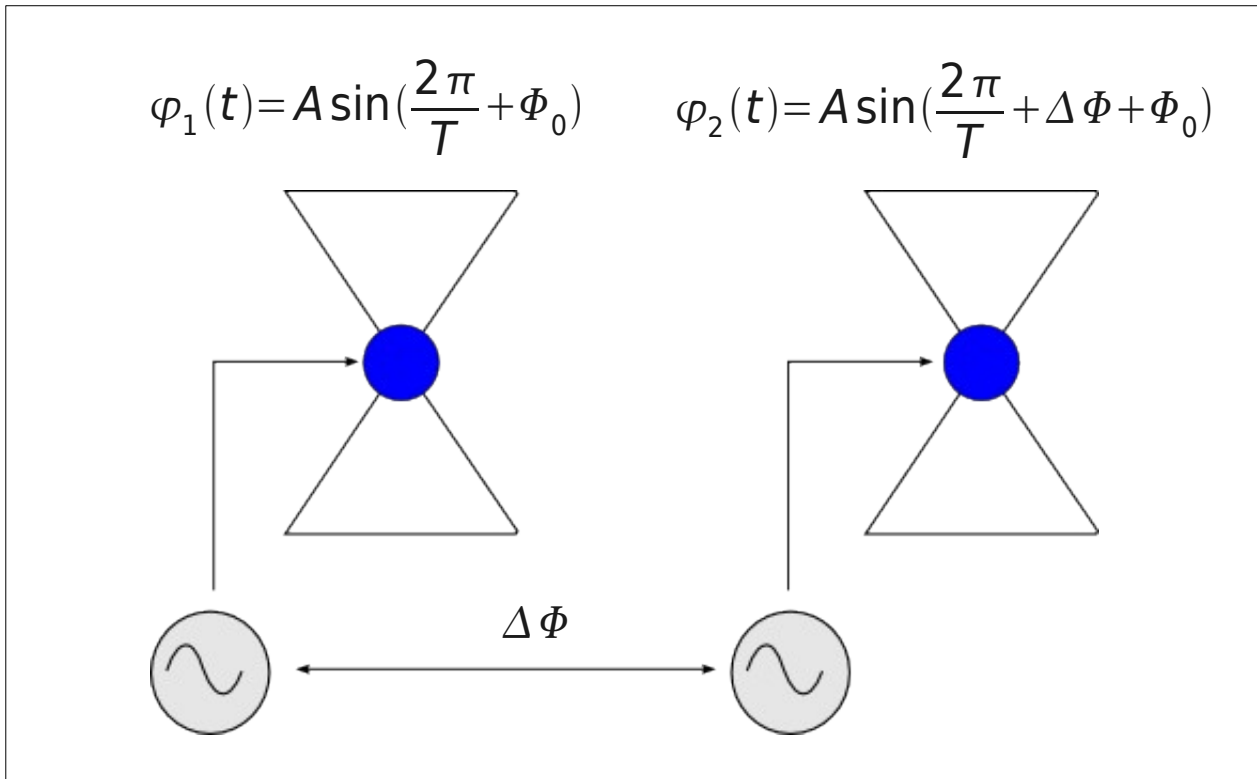


Parámetros:

- Amplitud: A Ángulo de doblaje máximo
- Periodo: T Frecuencia de oscilación
- Fase inicial: Φ Ángulo de doblaje inicial

En régimen permanente la fase inicial no tiene importancia

Oscilación de varios módulos (I)



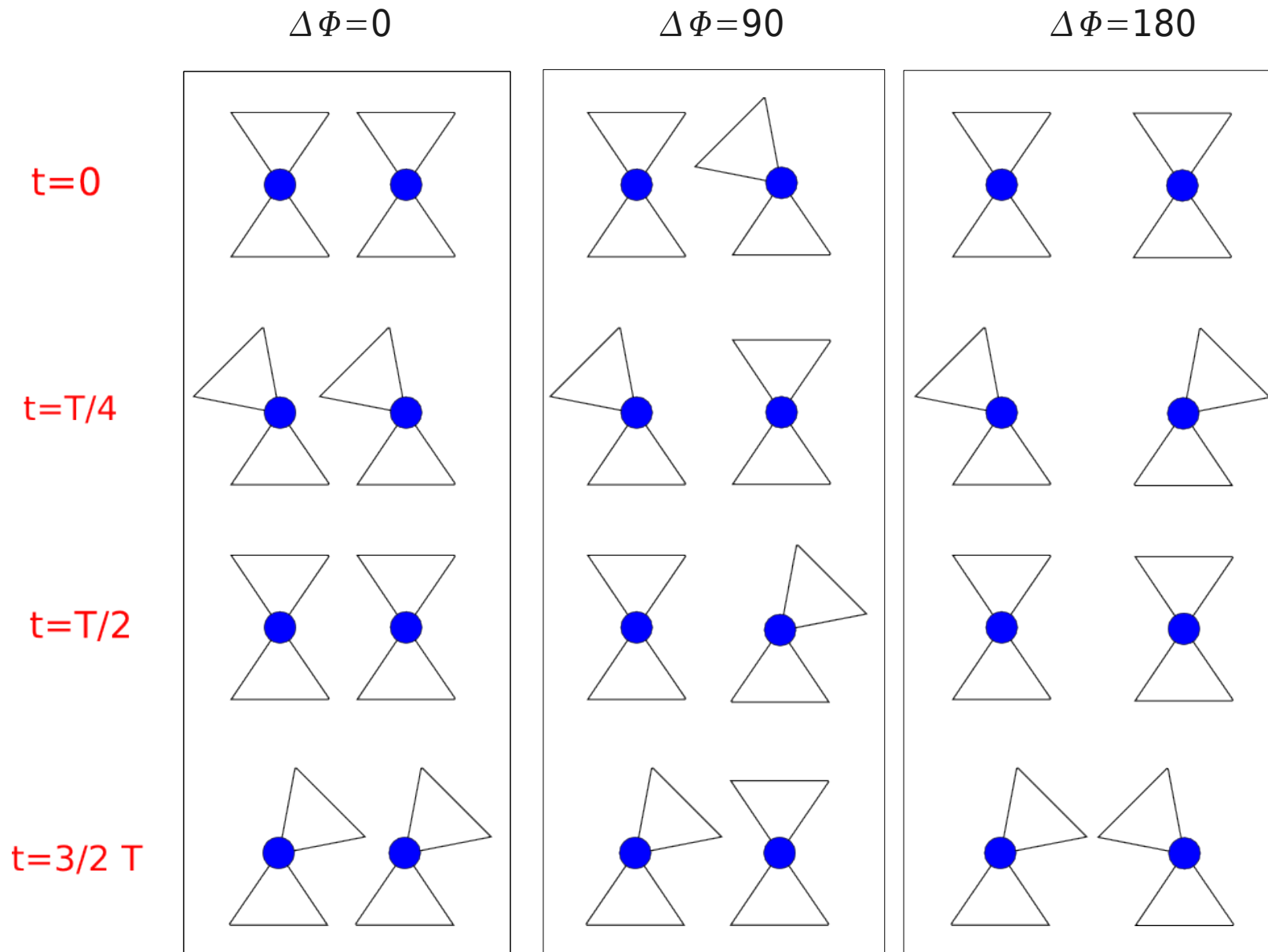
Nuevo parámetro:

- Diferencia de fase: $\Delta\Phi$

Establece el movimiento de un módulo relativo al otro

Oscilación de dos módulos (II)

Demo

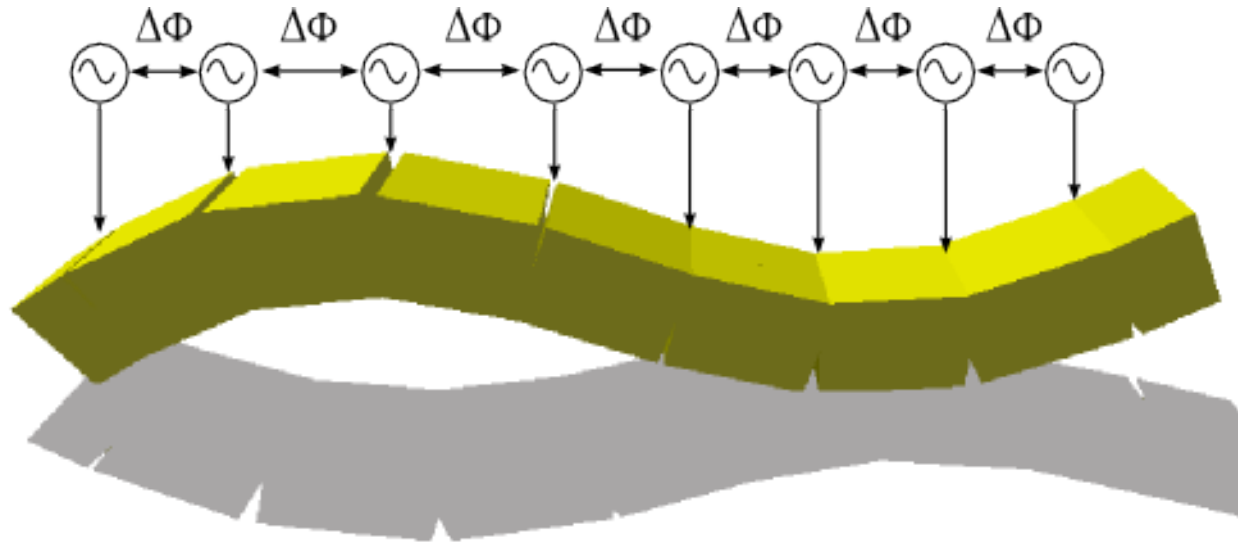


índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. **Locomoción en 1D**
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

Locomoción en 1D

Modelo de control:



Preguntas:

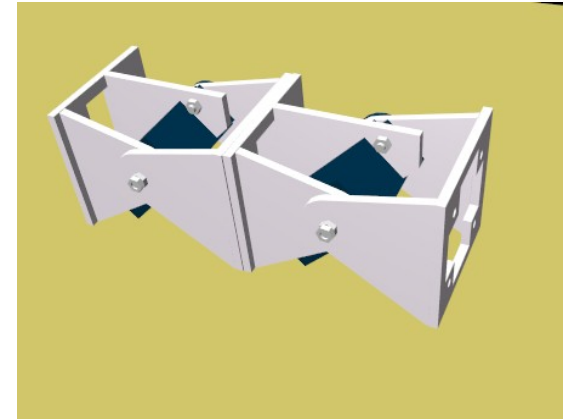
- ¿Modelo viable?
- ¿Cómo afectan los parámetros de los osciladores a la locomoción?
- ¿Cuál es el robot con el menor número de módulos que se desplaza?

Minicube-I

Demostración

- **Morfología:**

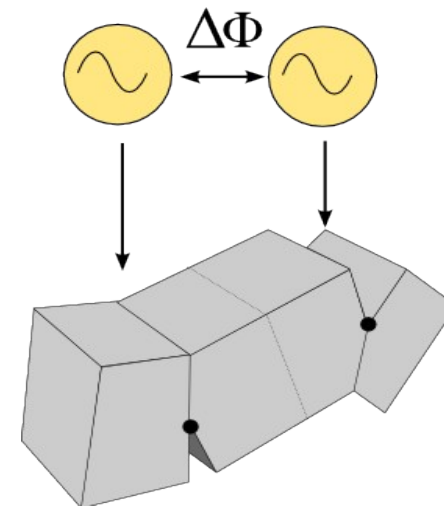
Dos módulos con
conexión cabeceo-
cabeceo



- **Control:**

- Dos generadores sinusoidales
- Parámetros:

$A, \Delta\Phi, T$



Minicube-I (I)

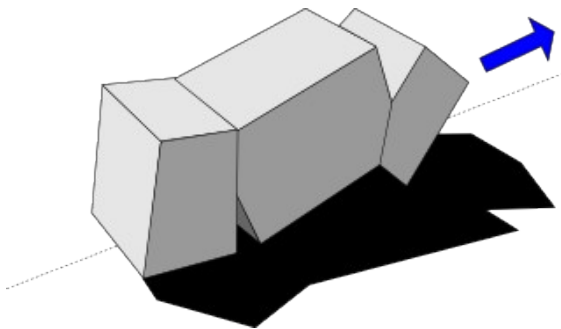
Osciladores y locomoción:

- **Periodo** --> Velocidad
- **Amplitud** --> Paso
- **Diferencia de fase** --> Coordinación

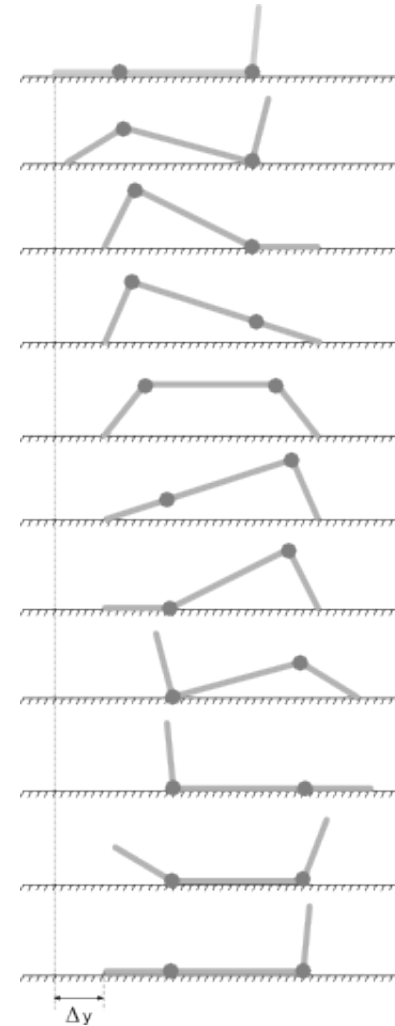
Espacio de control

- Dos dimensiones: $A, \Delta\Phi$
- Periodo lo tomamos constante

Valores típicos: $A=40, \Delta\Phi=120$

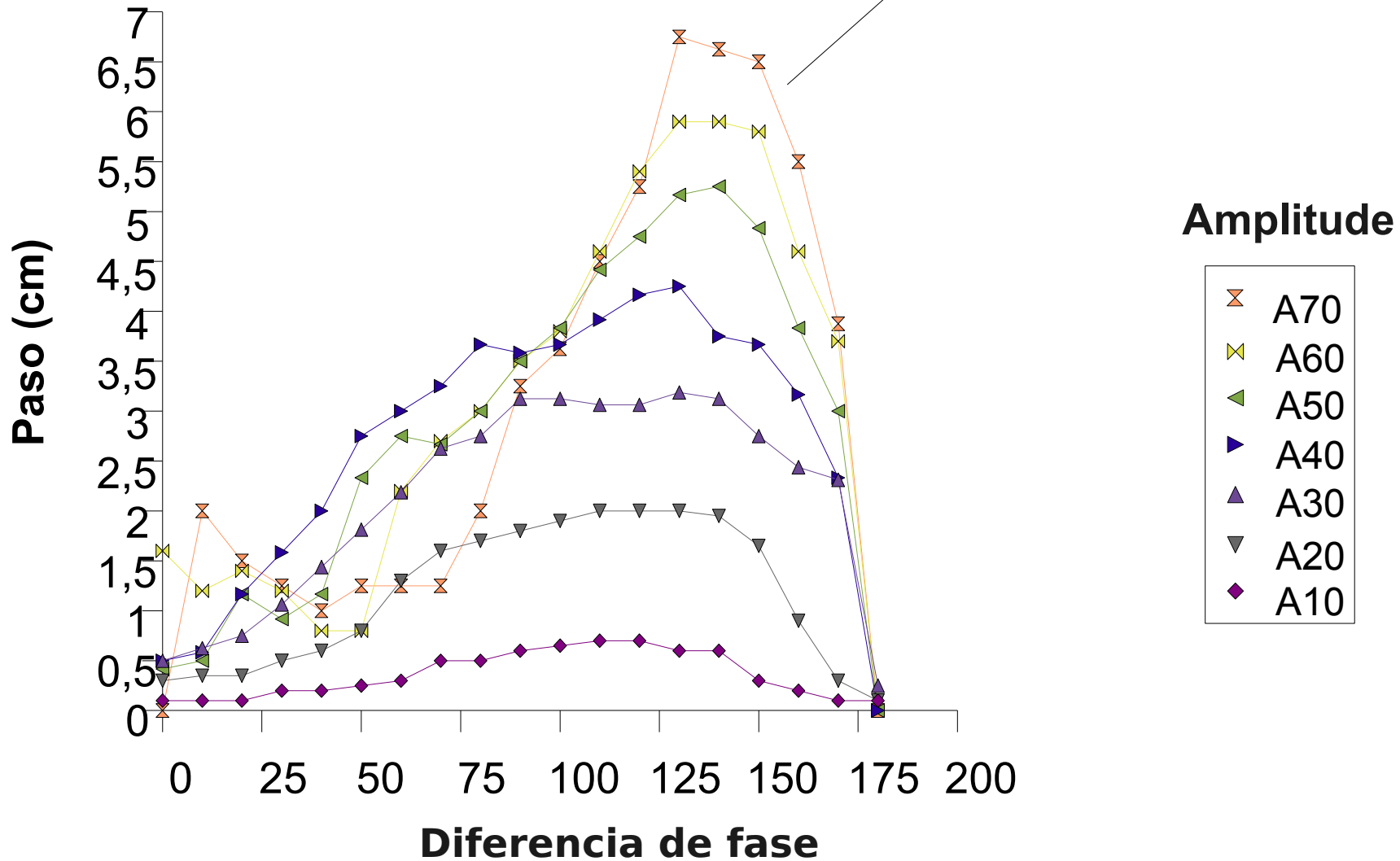


Modelo alámbrico



Minicube-I: Osciladores y locomoción

Ventana donde la coordinación es mejor

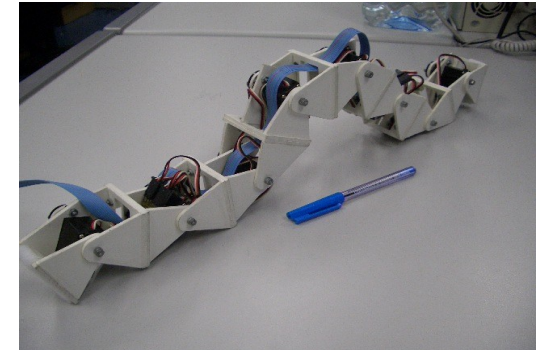
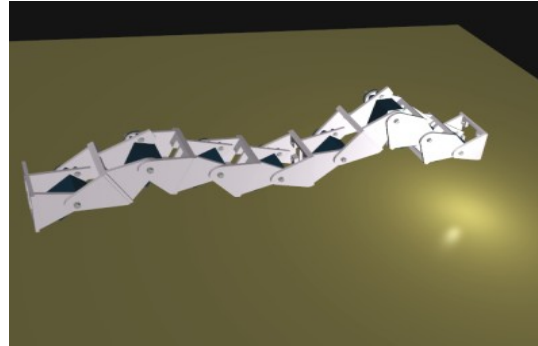


Cube Revolutions (I)

Vídeo

- **Morfología:**

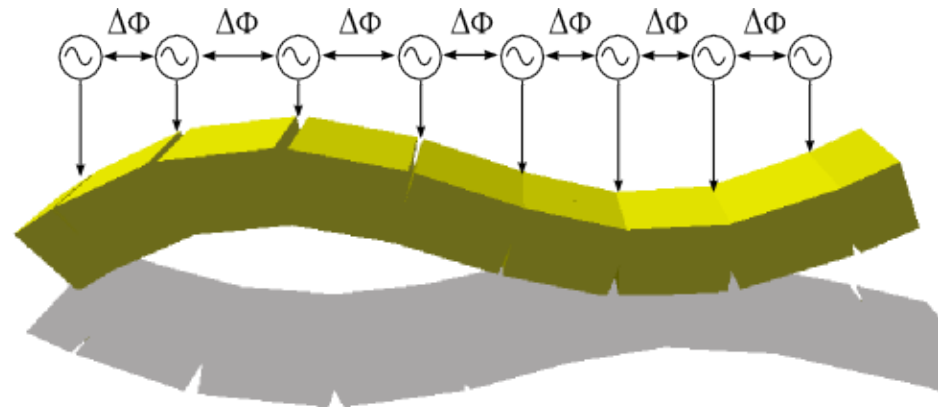
8 módulos con conexión
cabeceo-cabeceo



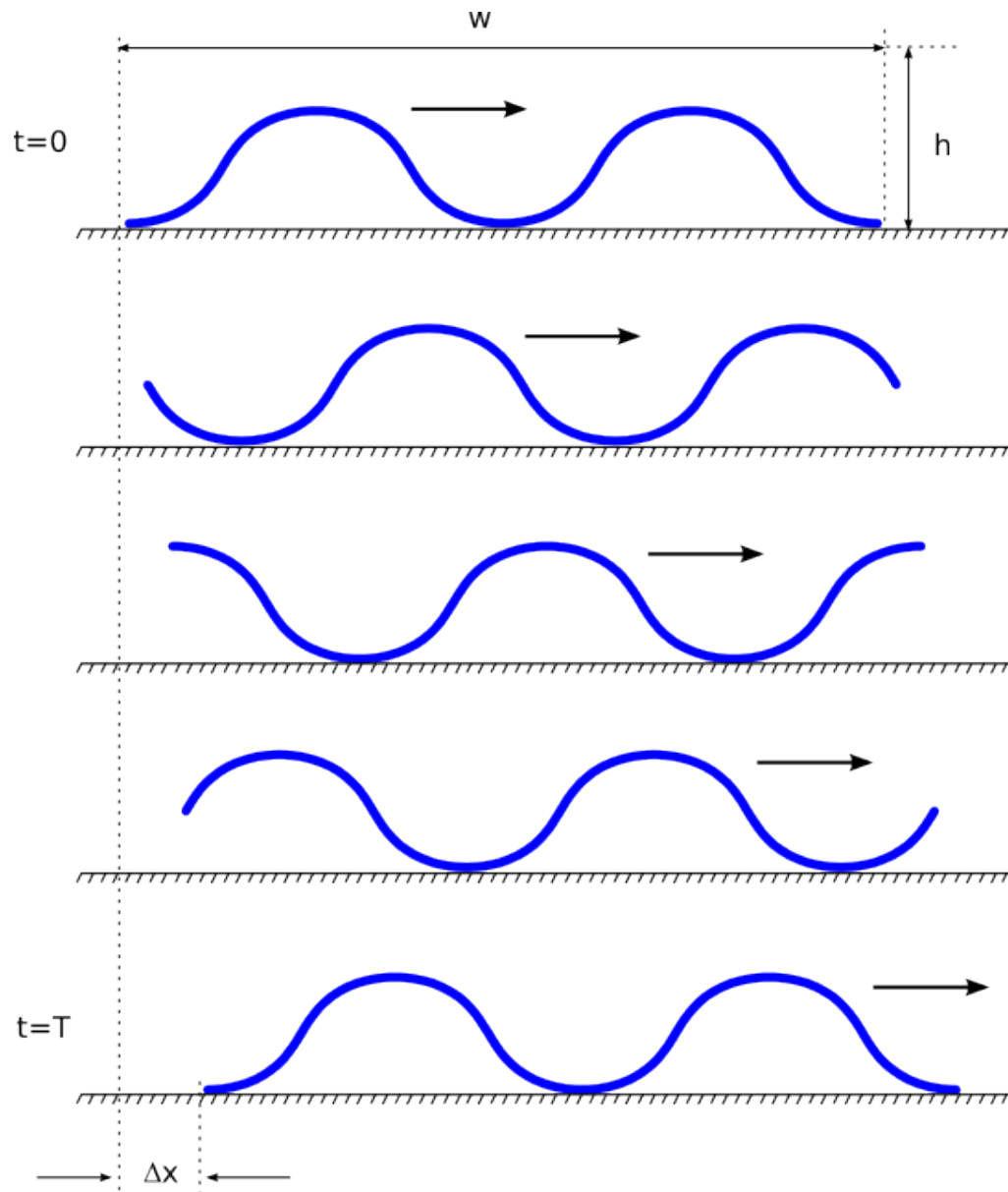
- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

$$A, \Delta\Phi, T$$



Cube Revolutions (II)



Mecanismo de locomoción:

- Propagación de ondas

**Movimiento determinado
por la onda**

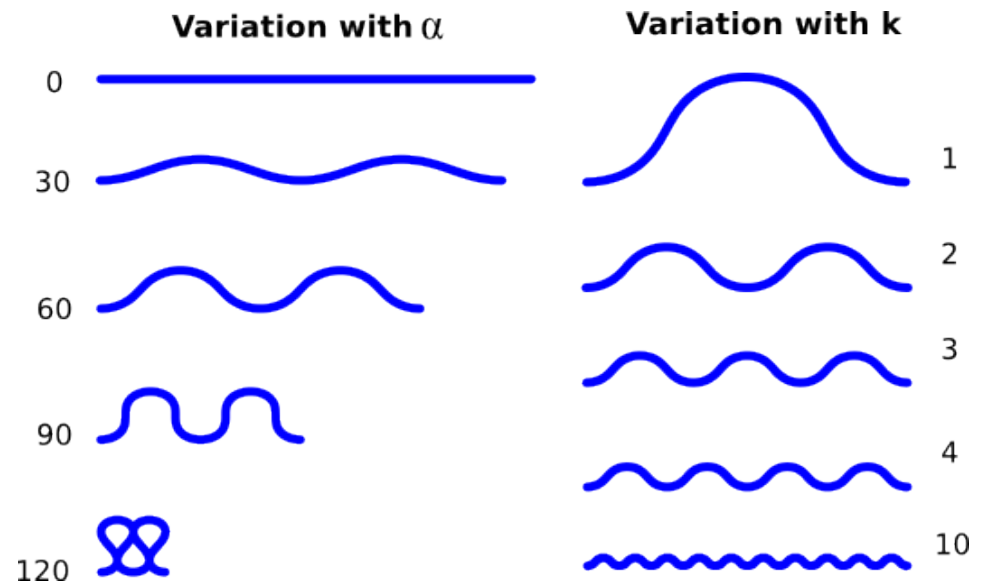
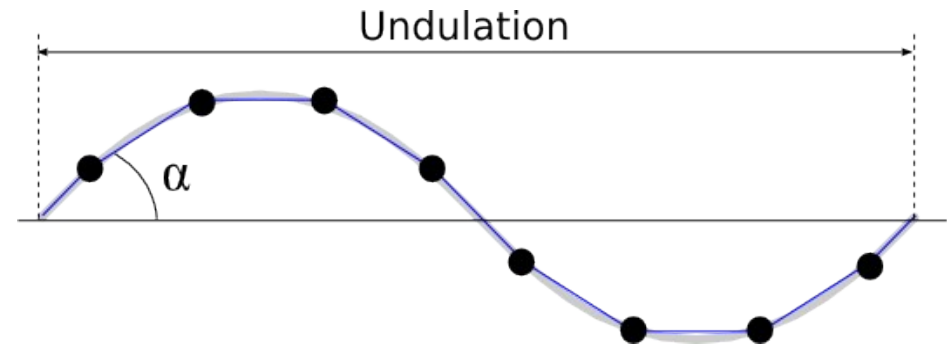
Cube Revolutions (III): forma de la onda

- **Curva serpentinoide**

- *Generadores sinusoidales*
- *(Hirose, 1975)*
- *Aparece en las serpientes*

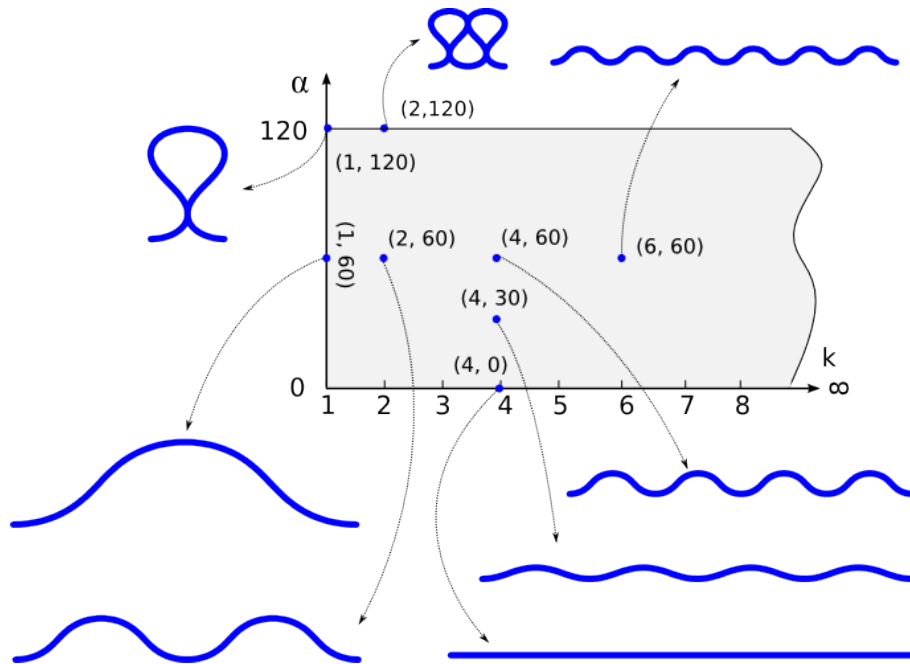
- **Parámetros:**

- Angulo de serpenteo: α
- Numero de ondulaciones: k

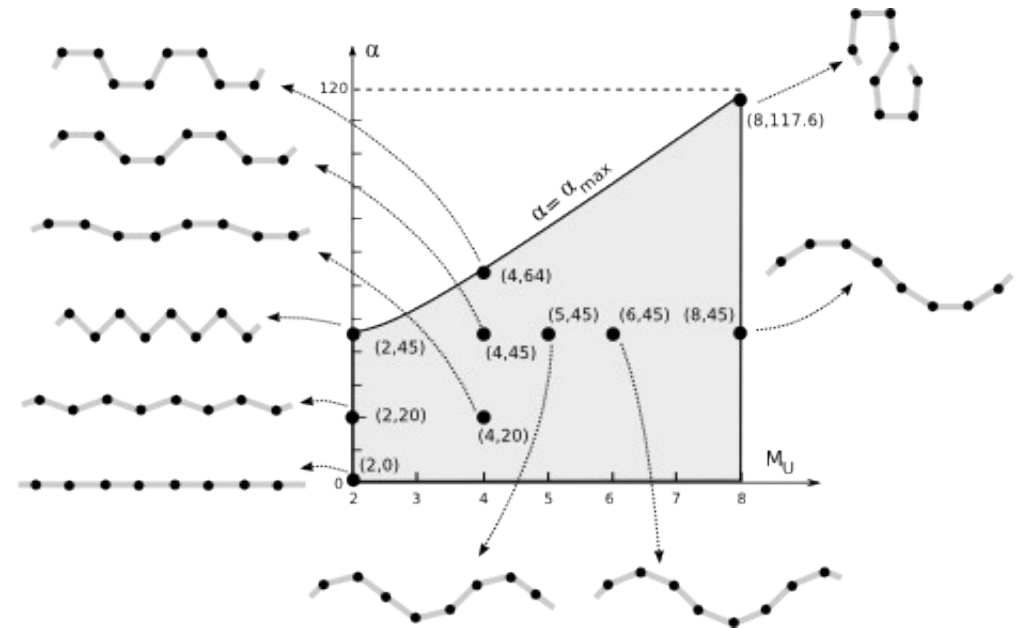


Cube Revolutions (IV): Espacio de formas

Continuo



Discreto

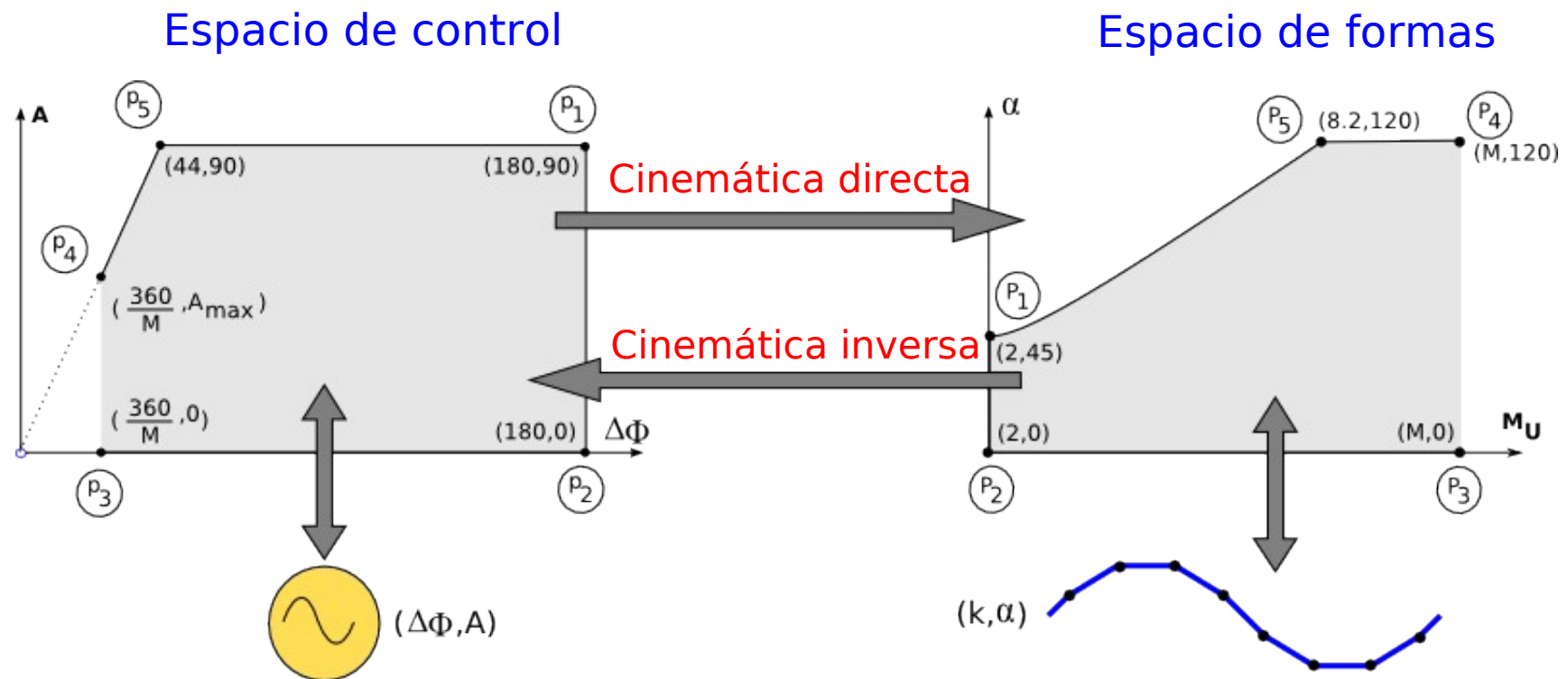


Ej. $M=8$

$$M_u = \frac{M}{k}$$

Cube Revolutions (V): Cinemática

- Transformaciones entre los espacios de control y de formas



Cube Revolutions (V): Fórmulas

- **Transformaciones:**

$$A = 2\alpha \sin\left(\frac{\pi k}{M}\right) \quad \Delta \Phi = \frac{360 k}{M}$$

- **Dimensiones del robot:**

$$w = k \int_0^{\frac{l}{k}} \cos\left(\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{l} s\right)\right) ds$$

$$h = \int_0^{\frac{l}{4k}} \sin\left(\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{l} s\right)\right) ds$$

- **Paso:**

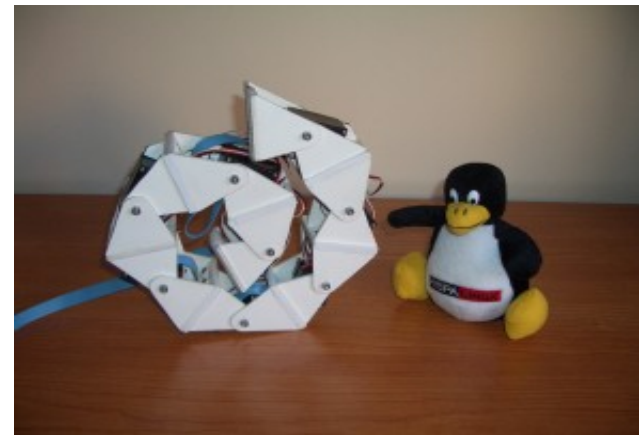
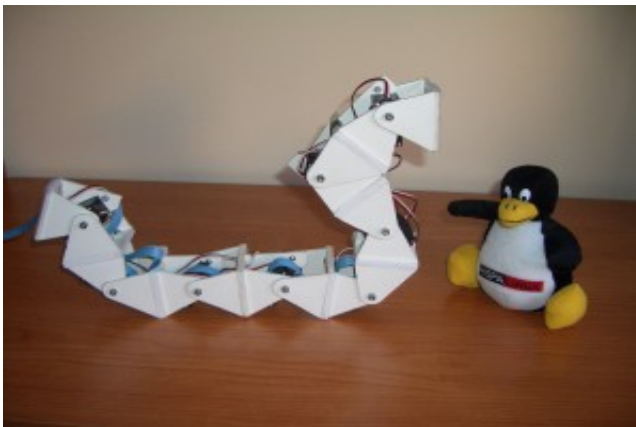
$$\Delta x = \frac{l}{k} - \int_0^{\frac{l}{k}} \cos\left(\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{l} s\right)\right) ds$$

No hay soluciones analíticas

Cube Revolutions (II)

Vídeo

- Al tener más módulos el robot puede cambiar su forma
- Aparecen nuevas formas de desplazarse

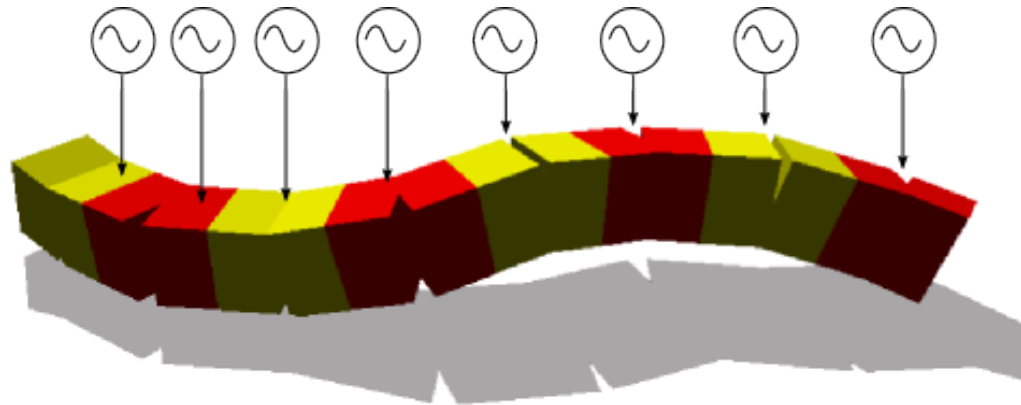


índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. **Locomoción en 2D**
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

Locomoción en 2D

Modelo de control:

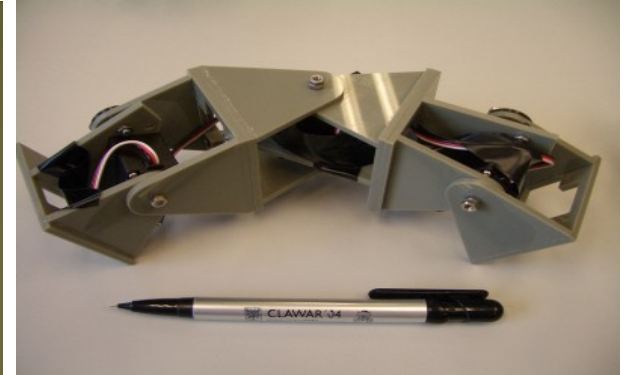
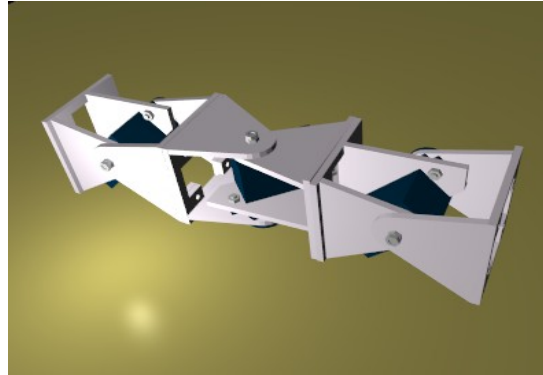


Preguntas:

- ¿Modelo viable?
- ¿Cuántos modos de caminar aparecen?
- ¿Qué relación hay entre los osciladores y la locomoción?
- ¿Cuál es el robot con el menor número de módulos que se desplaza?

- **Morfología:**

Tres módulos con
conexión cabeceo-viraje

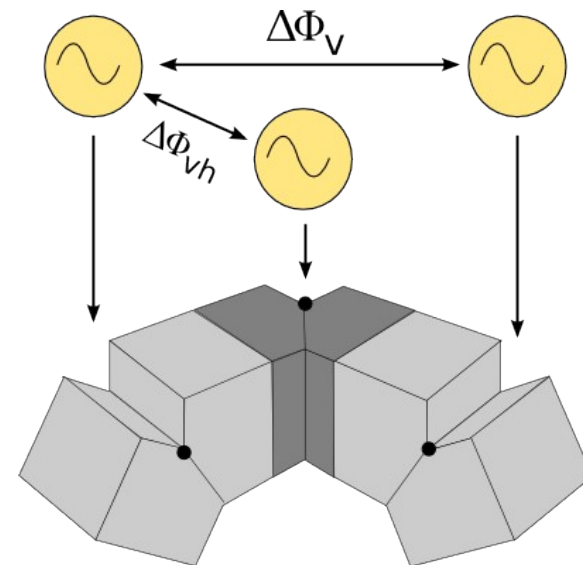


- **Control:**

- Tres generadores sinusoidales

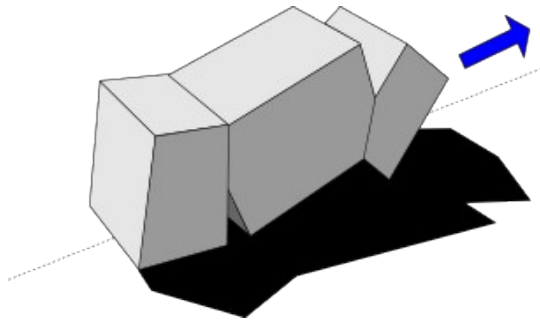
- Parámetros:

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



Minicube-II (II)

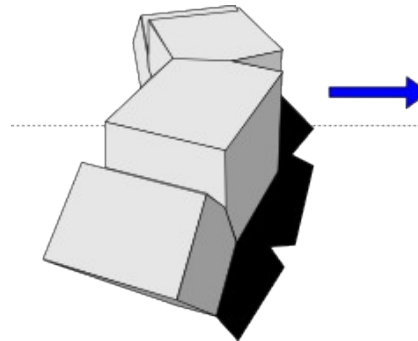
Línea recta



$$A_v = 40, A_h = 0$$

$$\Delta \Phi_v = 120$$

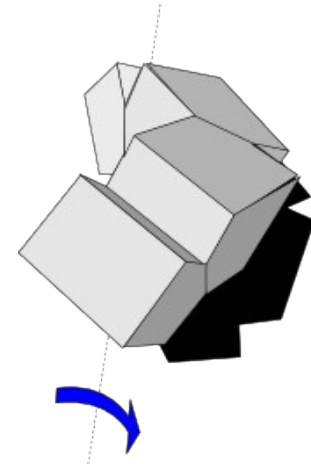
Desplazamiento lateral



$$A_v = A_h < 40$$

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

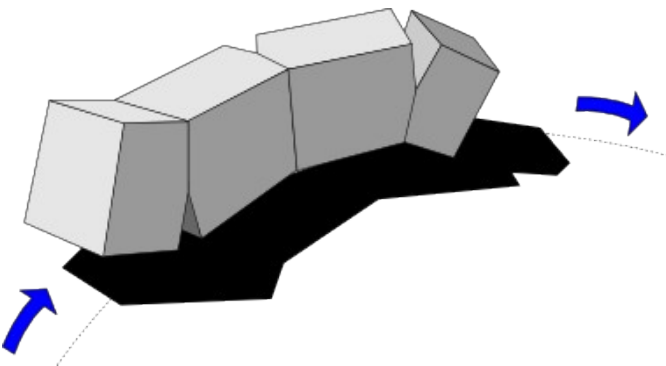
Rodar



$$A_v = A_h > 60$$

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

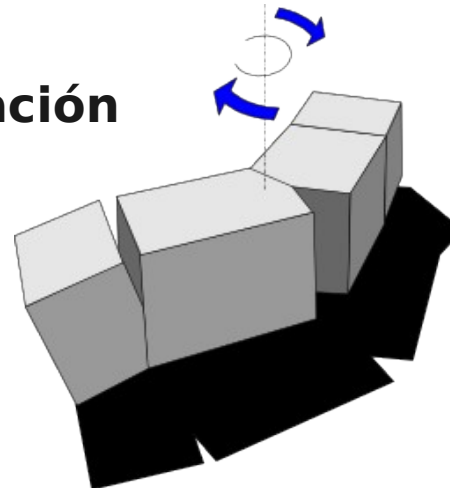
Arco



$$A_v = 40, A_h = 0$$

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

Rotación



$$A_v = 10, A_h = 40$$

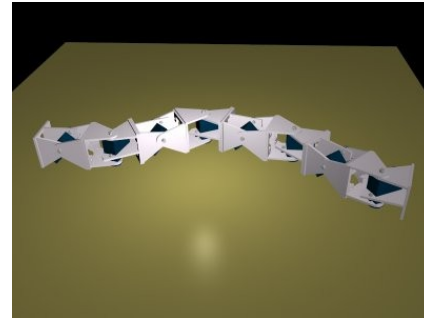
$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 180$$

Hypercube (I)

Demostración

- **Morfología:**

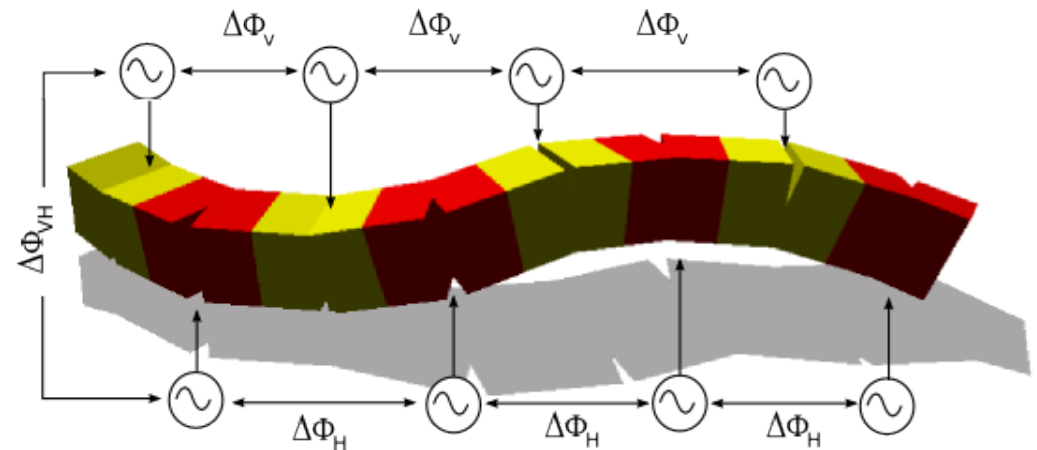
8 módulos con conexión
cabeceo-viraje



- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

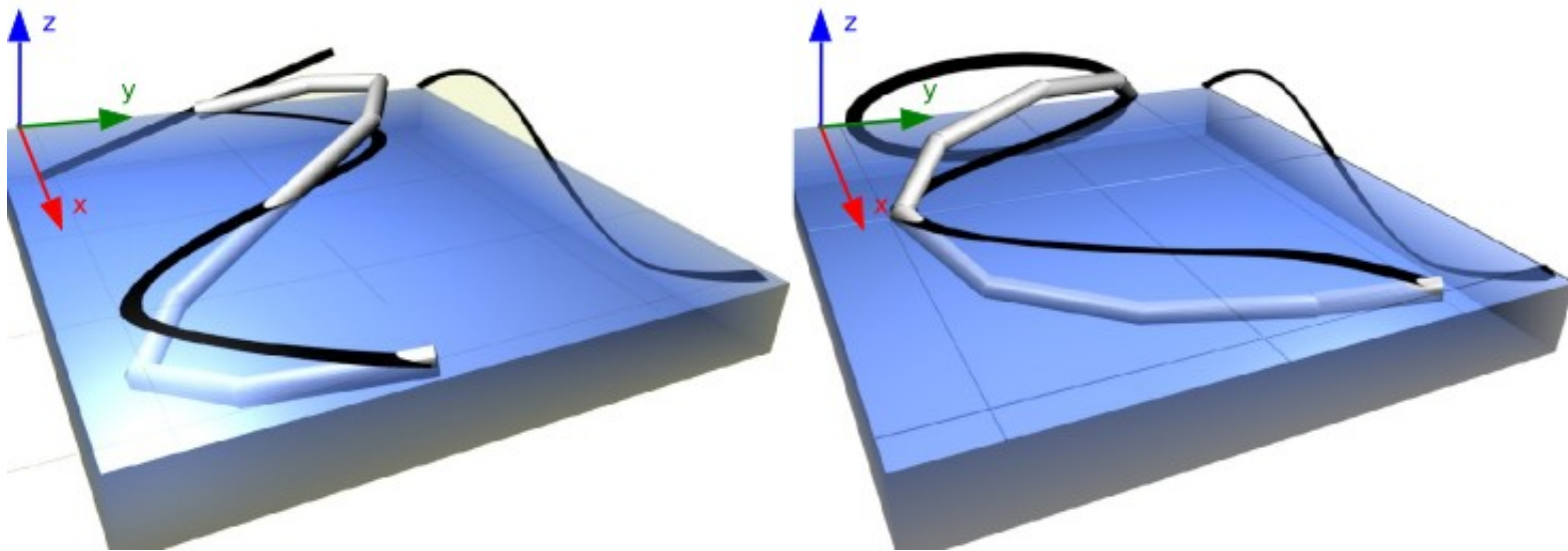
$$A_h, A_v, \Delta\Phi_h, \Delta\Phi_v, \Delta\Phi_{vh}, T$$



Hypercube (II)

Mecanismo de locomoción

- Onda corporal tridimensional



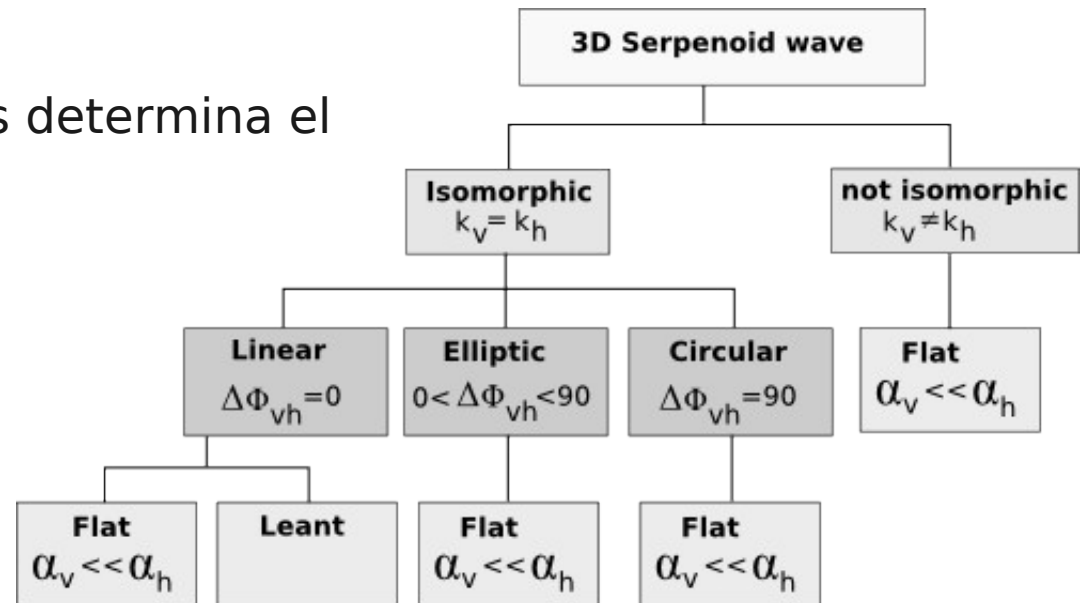
Hypercube (III)

- Superposición de dos ondas serpentinoideas
 - Onda vertical: α_v, k_v
 - Onda horizontal: α_h, k_h
 - Diferencia de fase: $\Delta\Phi_{vh}$
- La relación entre los parámetros determina el tipo de onda

Espacio de formas
de **5 dimensions**

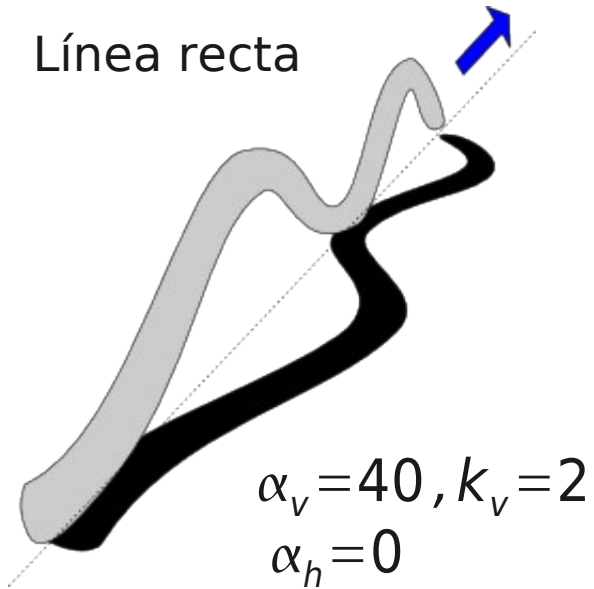
$$\alpha_v, \alpha_h, k_v, k_h, \Delta\Phi_{vh}$$

TYPE OF WAVES



Hypercube (III)

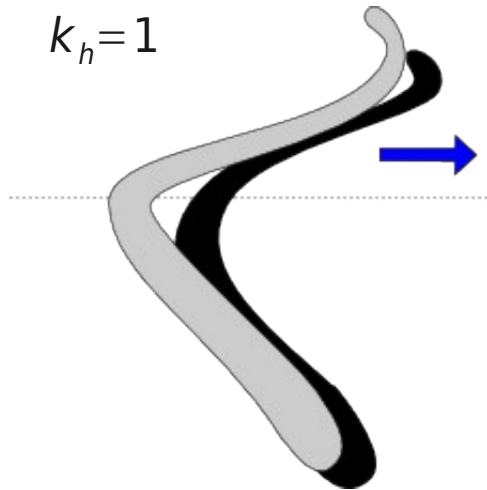
Línea recta



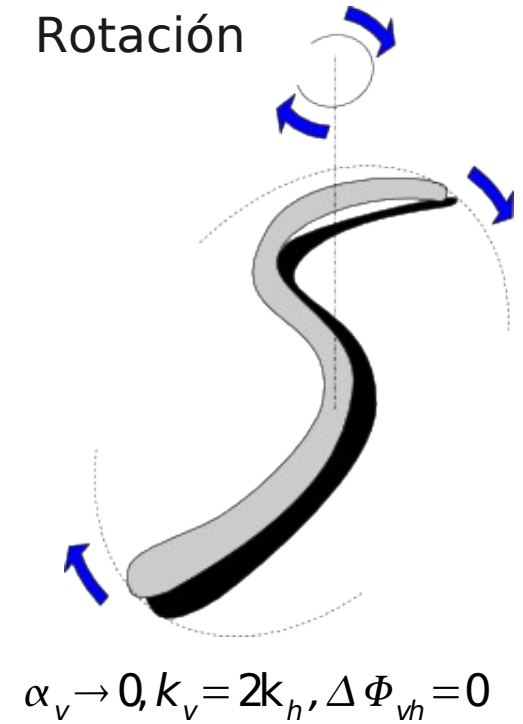
Desplazamiento lateral

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

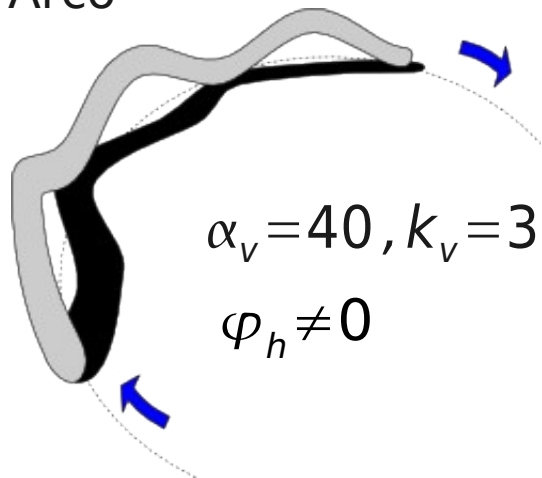
$$k_h = 1$$



Rotación

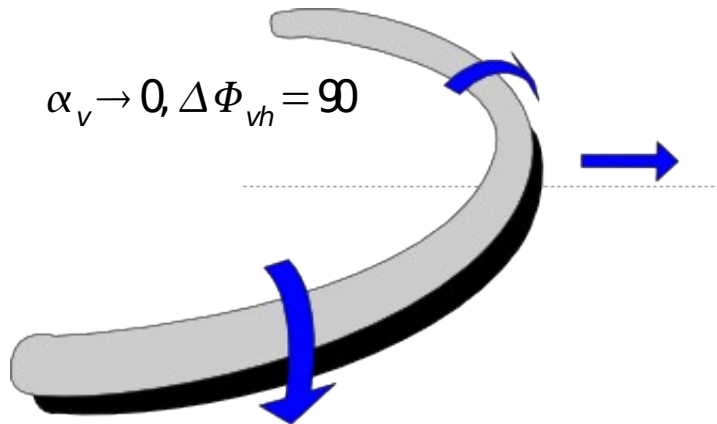


Arco



Rodar

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



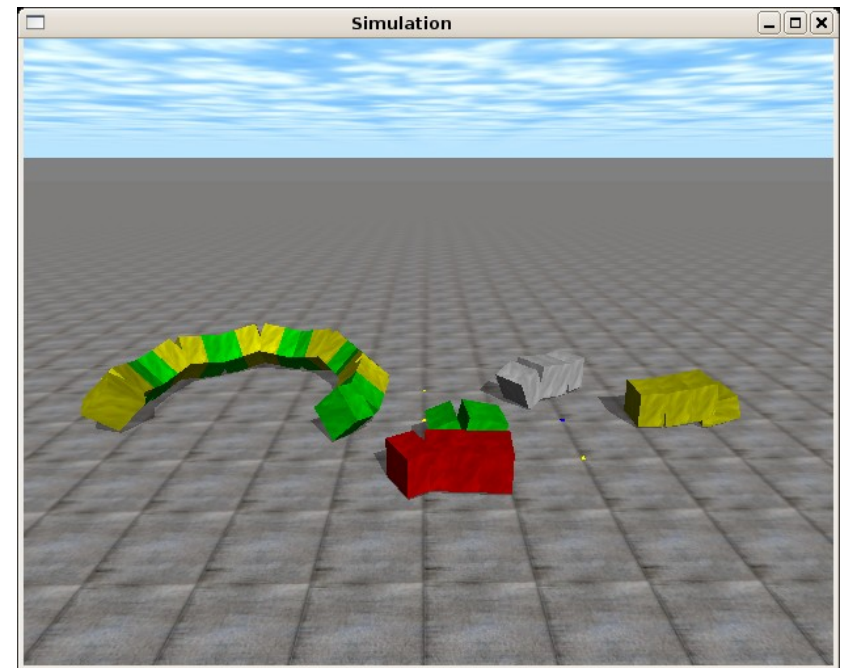
índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. **Simulación**
7. Conclusiones y trabajos futuros

Simulación (I)

¿Cómo hemos encontrado las soluciones?

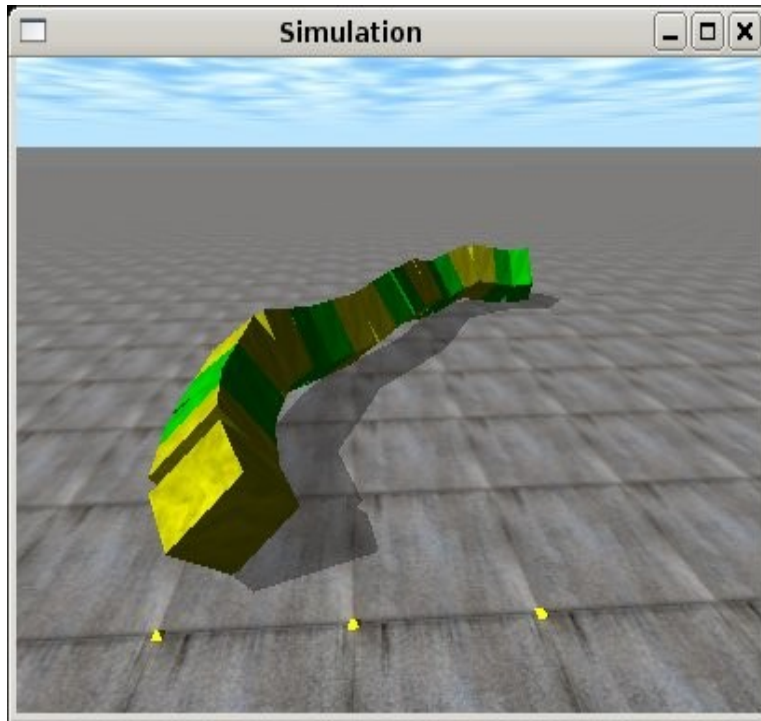
- Búsquedas en los espacios de control
- Utilización de algoritmos genéticos (PGAPack)
- Función de evaluación: Paso del robot
- Motor físico: Open Dynamics Engine (ODE)
- Descarte de soluciones
- **Comprobación en robots reales**



Simulación (II)

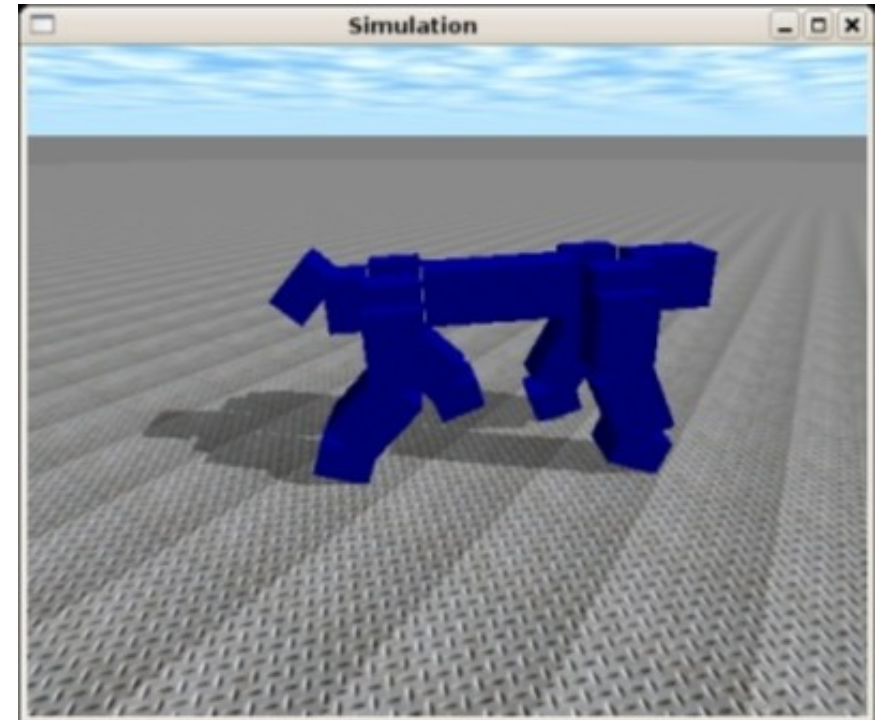
Demostración

RTK



- Lenguaje: C
- Sólo topologías 1D
- Juan González

MRSuite



- Lenguaje: Python
- Topologías 1D y 2D
- Rafael Treviño

índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. **Conclusiones y trabajos futuros**

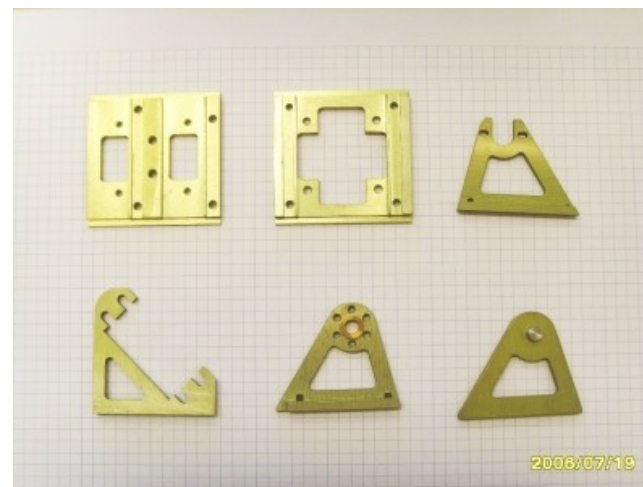
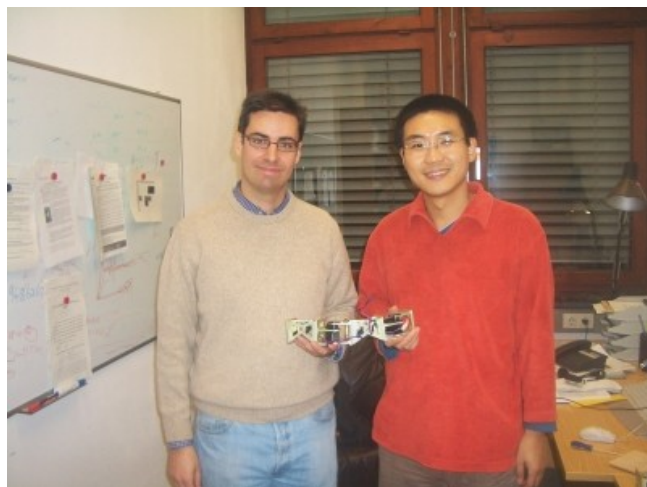
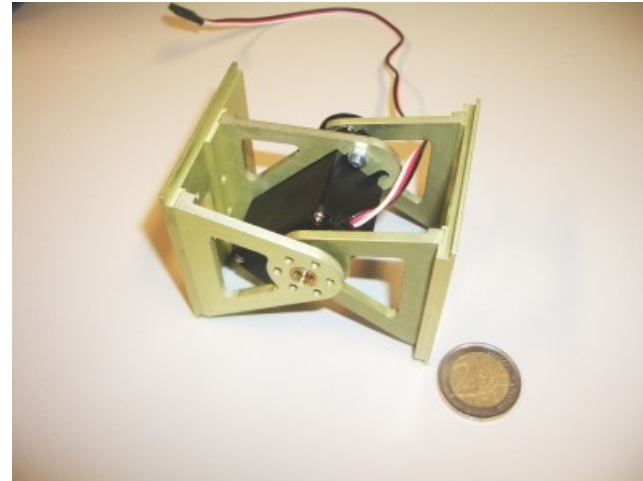
Conclusiones

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

Módulos GZ-I

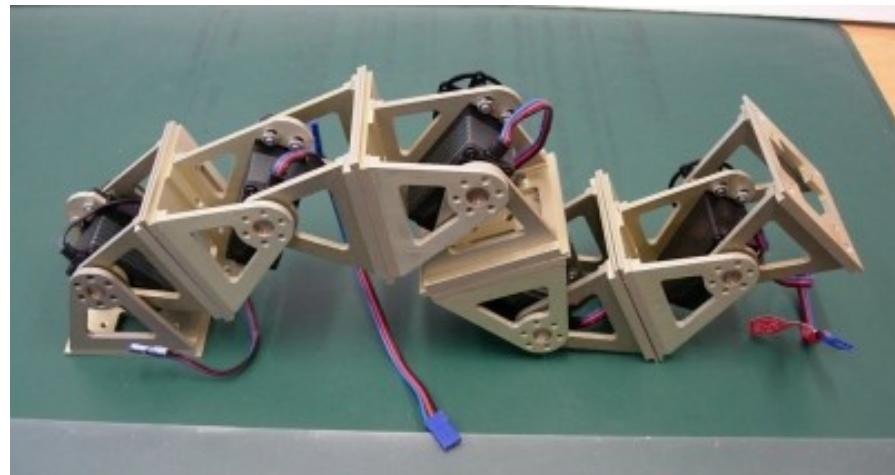
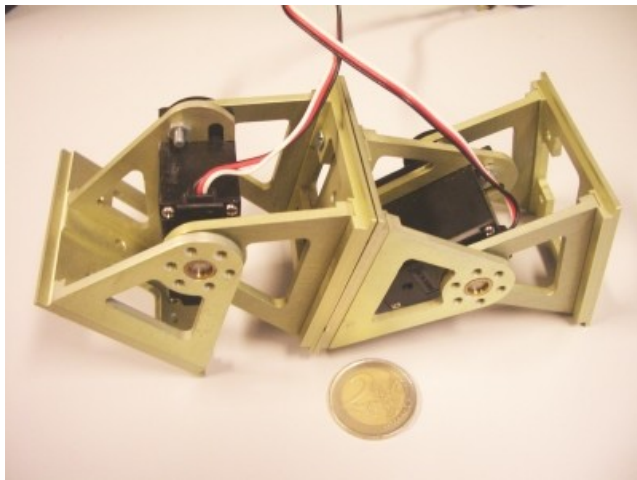
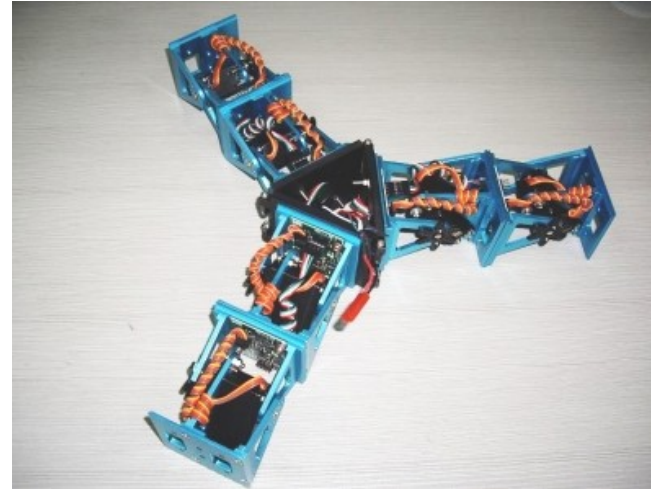
- **Módulos GZ-I:** en desarrollo
- Colaboración con el grupo TAMS de la Universidad de Hamburgo (Alemania)
- Jefe del proyecto: Dr. Houxiang Zhang



Módulos GZ-I

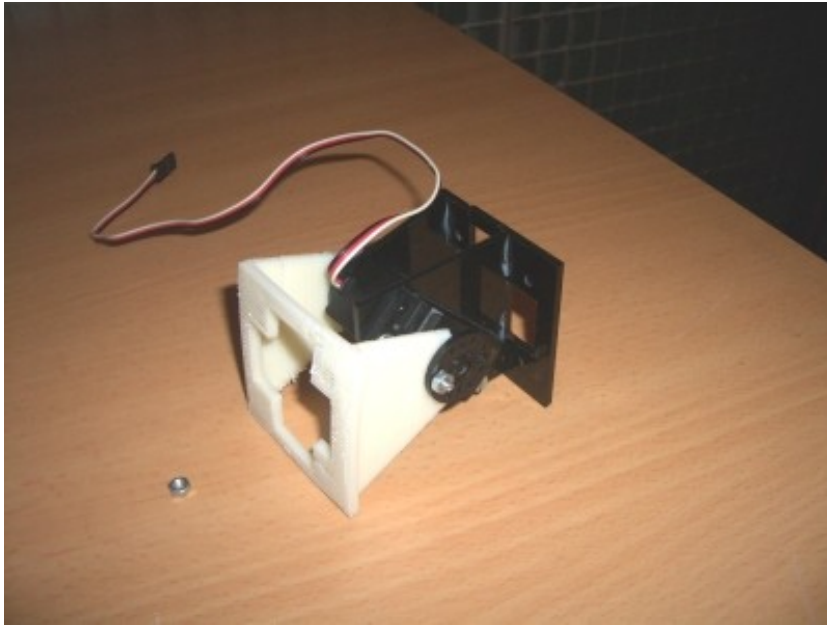
Vídeo

- Electrónica integrada en los módulos
- Hechos de aluminio
- Construcción de diferentes topologías de robots modulares

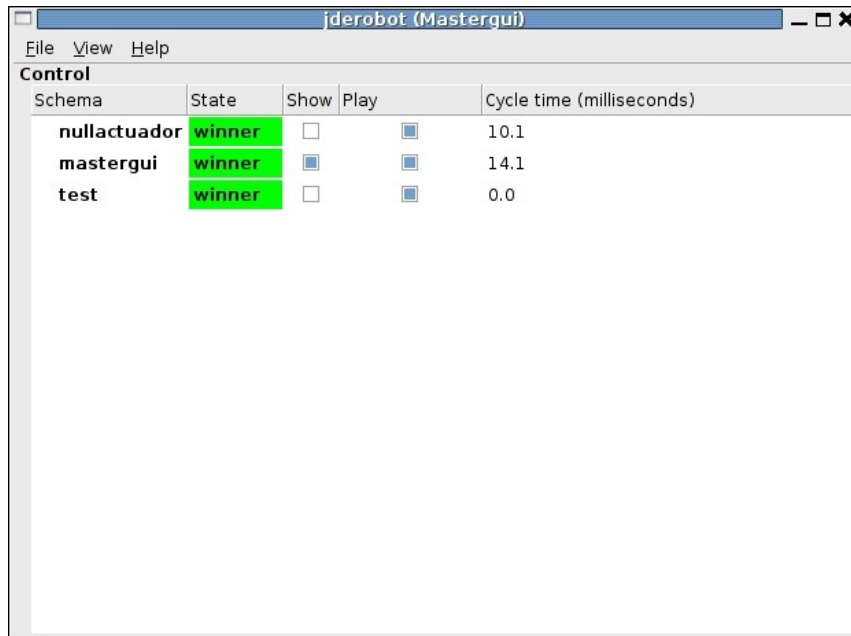


Módulos REPY-1

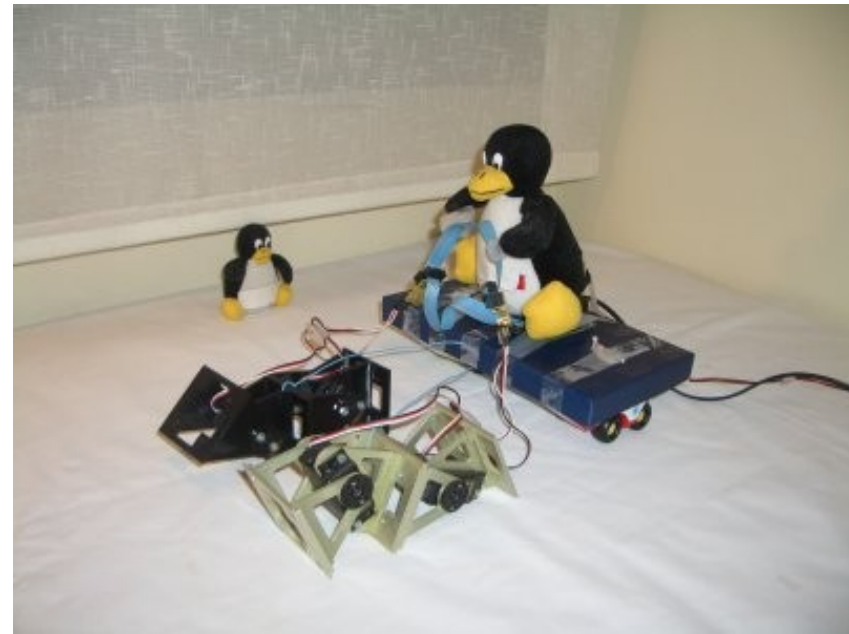
- En construcción
- Módulos “imprimibles” usando una impresora 3D
- Pruebas realizadas con **REPRAP**.



- Integrar soporte para robots modulares en JDERobot
 - Drivers para **robots reales** (Skypic)
 - Drivers para **robots simulados**
- Esto permitirá abordar el nivel superior de la locomoción



Schema	State	Show	Play	Cycle time (milliseconds)
nullactuador	winner	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.1
mastergui	winner	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.1
test	winner	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0



Nuevos interfaces con los robots

Y un poco de **robótica friki** para terminar
:-)

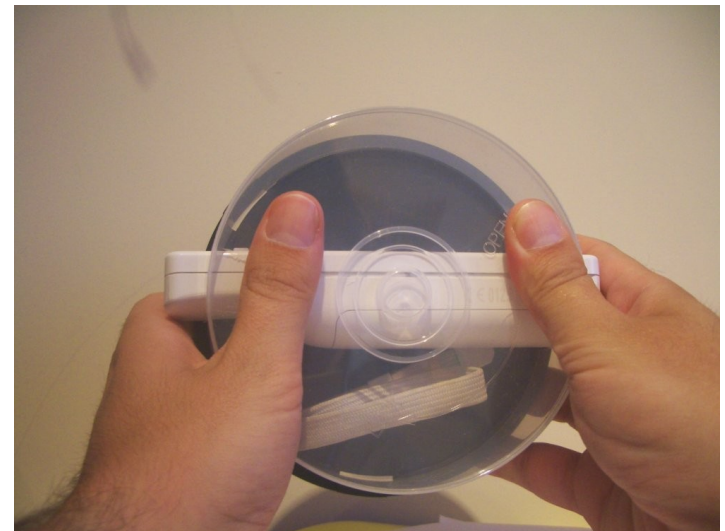
Wiimote



Wiiboard



Tarri-wheel



Que el frikismo os acompañe...



Muchas gracias por vuestra atención

:-)

Robótica Modular y Locomoción



Juan González Gómez
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

