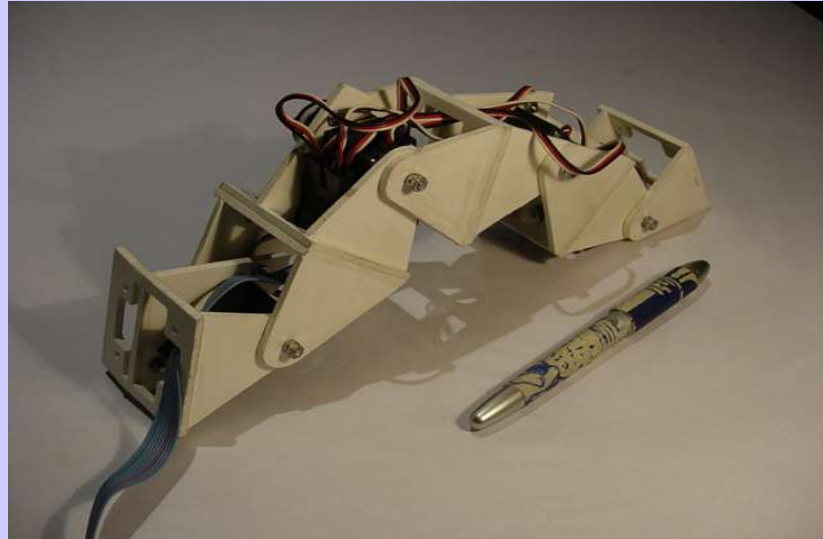


Diseño de robots ápodos: *Cube Reloaded*



Juan González Gómez

Tutor: Eduardo Boemo

Trabajo de iniciación a la investigación, 2003

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

ÍNDICE

- 1. Introducción**
- 2. Polypod y Polybot**
- 3. *Cube Reloaded***
- 4. Experimentos**
- 5. Conclusiones**
- 6. Demostraciones**

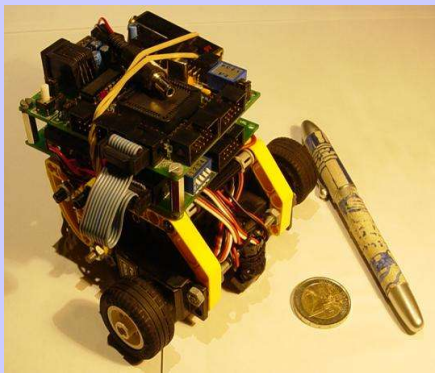
Introducción

- Locomoción
- El problema de la locomoción
- Robótica Modular Reconfigurable
- Objetivos

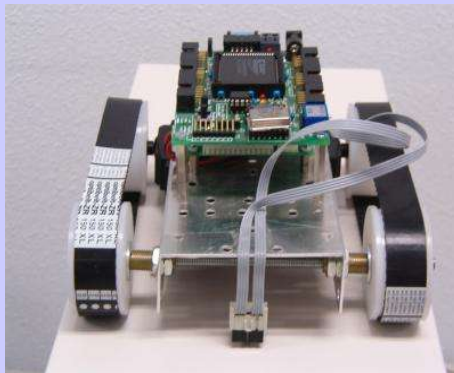
Locomoción (I)

- **Locomoción:** Facultad de un robot para desplazarse de un lugar a otro
 - Incremento en línea recta
 - Giros y traslaciones en un plano
 - Planificación y navegación
- **Clasificación:** Según los efectores

Ruedas



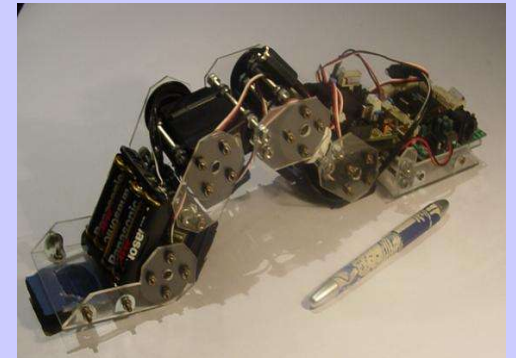
Orugas



Patas



Otros



Locomoción (II)

- **Estáticamente estable:**

El centro de gravedad (GC) debe caer siempre dentro del polígono de apoyo

- **Dinámicamente estable:**

El robot es estable en movimiento, aunque puede no serlo en reposo.
Mayor complejidad. Mayor velocidad.

(Ej. Un robot unípodo)

Este trabajo se centra en la **locomoción estáticamente estable**, aplicada a un **robot ápedo**, que no tiene ni ruedas, ni orugas, ni patas. El movimiento se realiza en **línea recta**.

El problema de la locomoción (I)

- **Enunciado:**

Robot móvil capaz de moverse por cualquier tipo de entorno, por muy escarpado que sea.

- **Nasa interesada en este problema.**

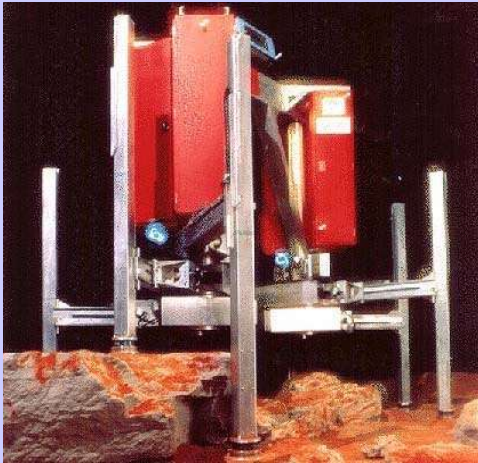
- Financiación de proyectos relacionados
- Exploración superficie otros planetas

- **Ejemplos:**

- CMU AMBLER (89)
- DANTE II (94)

El problema de la locomoción (II)

AMBLER



- Exploración Marte
- Especificaciones
 - Bajo consumo
 - Saltos de 1m
 - Pendientes 60%
- Locomoción con patas (6)
- 3.5m altura, 3m anchura

DANTE II



- Exploración volcan Mt. Spurr (Alaska)
- 8 patas (framewalker)
- Atado a una cuerda
- Telecontrolado
- 5 días en el cráter. Al subir volcó

El problema de la locomoción (III)

- Robots muy específicos para el tipo de función a realizar
- Un robot para cada tipo de terreno
- Un nuevo enfoque: **Robótica Modular Reconfigurable**
 - Mark Yim, 1994: Polypod

¿Por qué no trabajar en una nueva línea de investigación en la que se diseñen robots que se adaptan al terreno, modificando su forma y la manera de desplazarse?

Robótica Modular Reconfigurable (I)

- Nuevo enfoque en la construcción de robots
- Diseño de robots a partir de **módulos** simples, que se unen y además se pueden **reconfigurar**

El diseño de robots ápodos se puede abordar desde esta perspectiva. En vez de diseñar un robot ápodo específico, es mejor diseñar un módulo sencillo que se pueda unir formando cadenas. Este mismo módulo también servirá para construir otros robots diferentes

Robótica Modular Reconfigurable (II)

- Escenario:

Configuración como rueda



Configuración como gusano



Configuración como araña



- Movimiento eficiente

- Superación obstáculos

- Más estable

- ¿Es viable?
- ¿Cuánto de versátil?

Objetivos

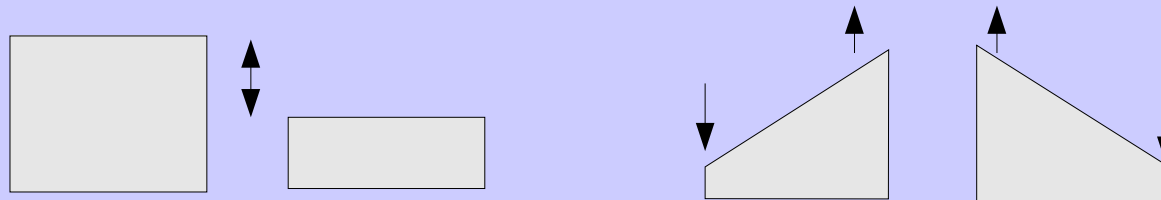
- Estudiar **origen y evolución** de los robots modulares reconfigurables
- Diseñar y construir un **módulo** que sirva de base para la construcción de robots modulares
- Construcción de ***Cube Reloaded***. Plataforma para investigación en Robótica Modular Reconfigurable
- Estudiar nuevas posibilidades **hardware** para su control

Casos de estudio

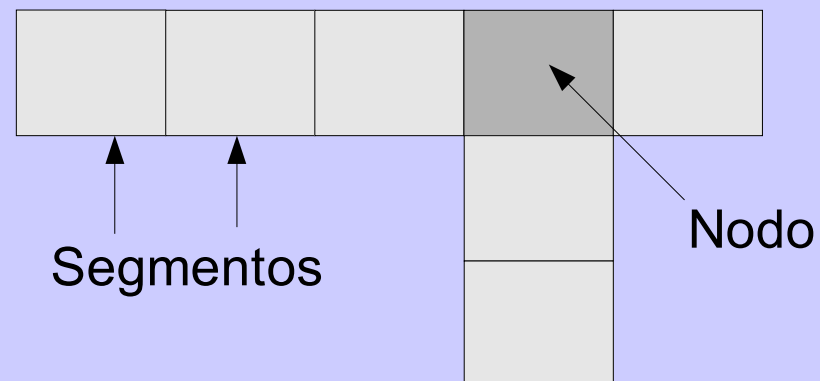
- Polypod
- Polybot

Polypod (I)

- Tesis doctoral de Mark Yim. Stanford. 1994
- **Robot 2-modular.** Dos módulos: nodos y segmentos
 - Segmentos. Dos grados de libertad. Se unen formando **cadena**



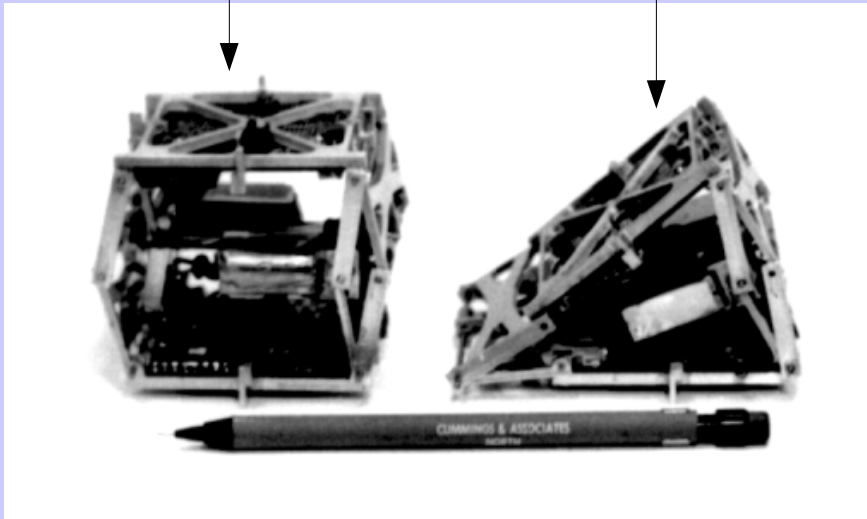
- Nodos. Cubos rígidos. Bifurcaciones. Alimentación



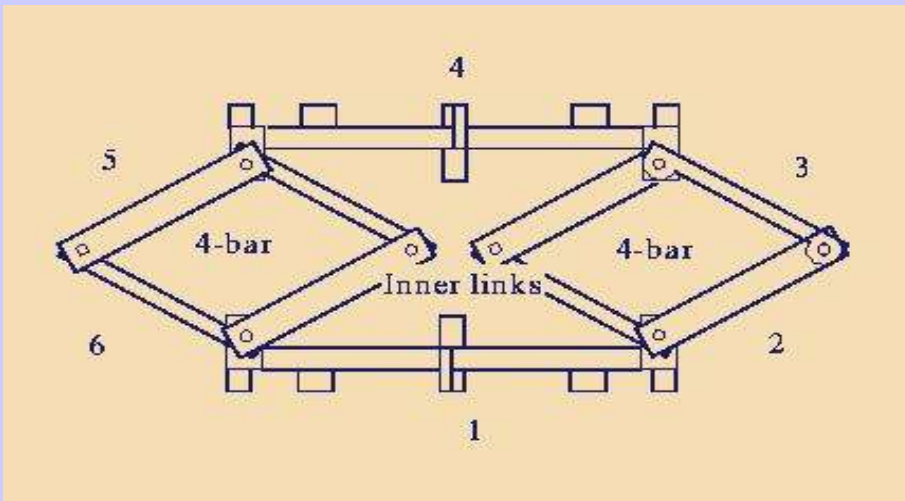
Polypod (II)

Nodo

Segmento



Esquema mecánico segmento

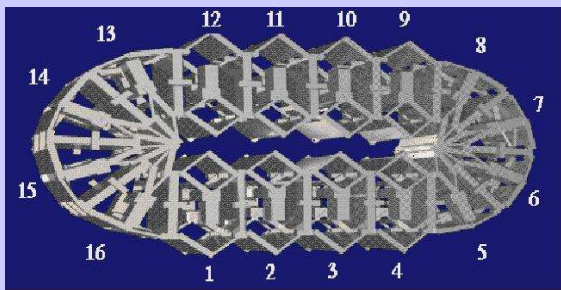


- Placas conexión
 - Conexión mecánica
 - Conexiones eléctricas
 - Segmentos: 2
 - Nodos: 6
- Sensores
 - Infrarrojos
 - Posición
 - Fuerza
- Electrónica: 68HC11E2

Polypod (III)

- Implementados diferentes **patrones de locomoción simples**

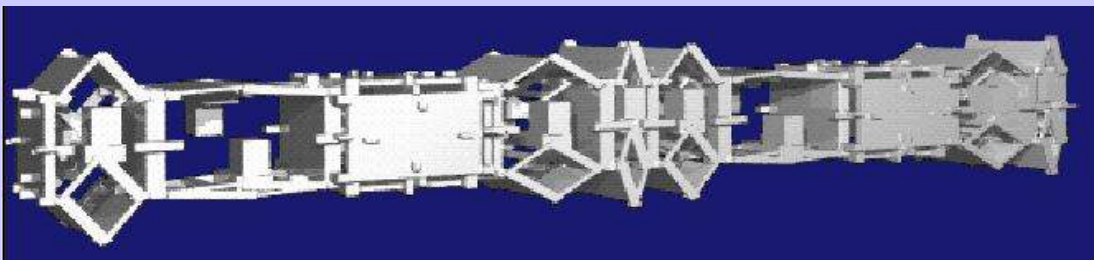
Rueda



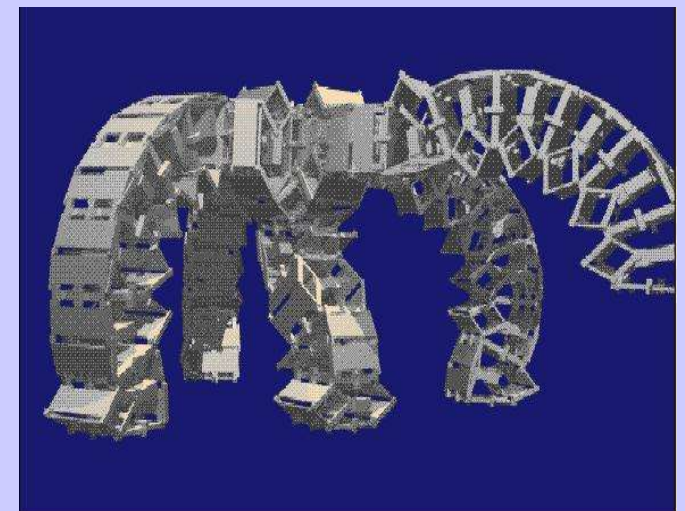
Slinky



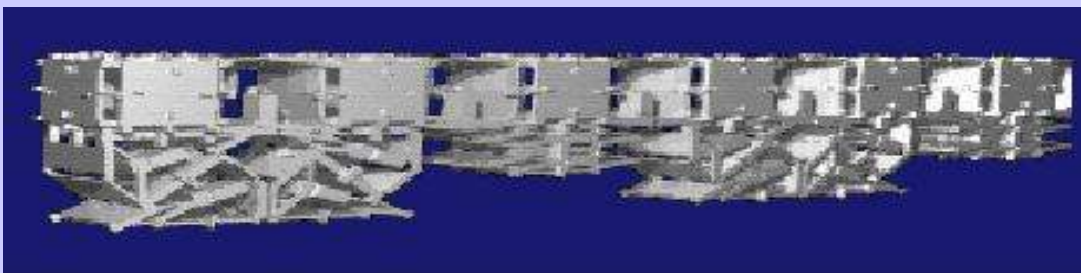
Lombriz



Araña

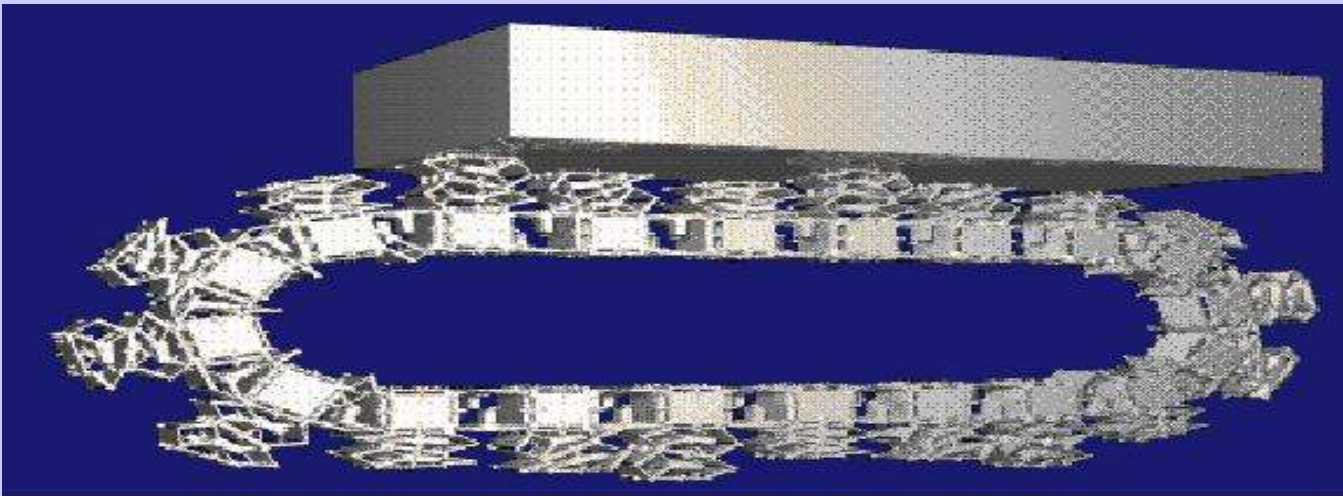


Oruga



Polypod (IV)

- Implementados diferentes **patrones de locomoción compuestos**



Polypod (V)

- Robots modulares reconfigurables pertenecen a la categoría de **robots hiper-redundantes**: DOF controlables >> DOF
- En el control se busca la **simplicidad** y **escalabilidad**
- Empleo de **Tablas de control**



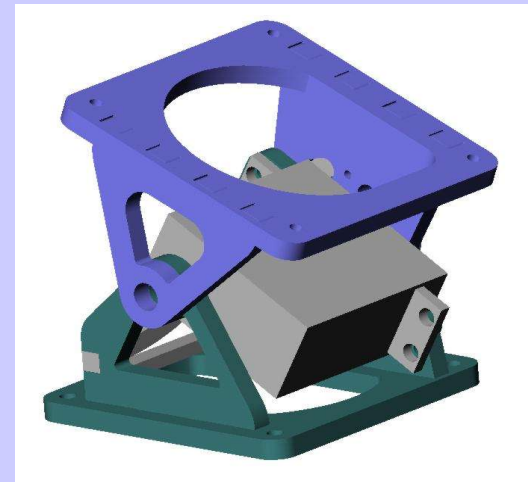
Paso	Segmentos				Condición disparo
	1	2	3	...	
0	Estado	Estado	Estado	...	1,3,...
1	Estado	Estado	Estado	...	2,4,...
2	Estado	Estado	Estado
...

Polypod (VI)

- Primer robot **modular reconfigurable**, aunque no lo es dinamicamente
- Capaz de implementar muchos **patrones de movimiento**
- Viabilidad de este tipo de robots, aplicados al problema de la locomoción
- Módulos con **2 grados de libertad**
- Mecánicamente complejos
- Control sencillo usando **tablas de control**

Polybot (I)

- Desarrollado en el PARC. Continuación de los trabajos de Mark Yim
- Tres generaciones: G1, G2, G3
- Generación G1 (1997)
 - **Un único grado de libertad** por módulo
 - Piezas de plástico
 - **Servomecanismos** de RC
 - Bases cuadradas, de 5x5cm
 - CPU: 68HC11E2
 - Control en **bucle abierto**
 - **Tablas de control**
 - Alimentación y electronica *off-board*



Conexión de los módulos en fase o desfasados

Caso de estudio

Polybot (II)

- Experimentos:

1997, primer ejemplo de reconfiguración simple para locomoción

Rueda



Gusano



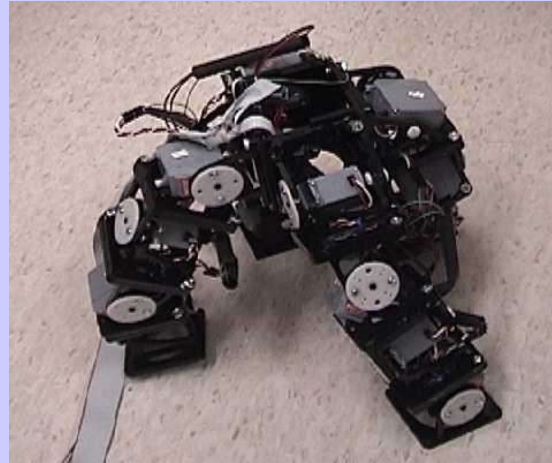
Gusano



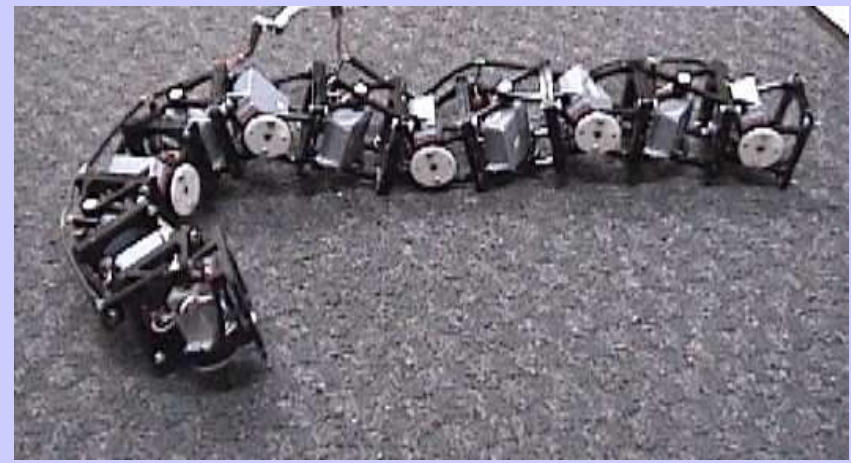
Caso de estudio

Polybot (III)

Locomoción en tubos Araña de 4 patas



Giros



Manipulación distribuida

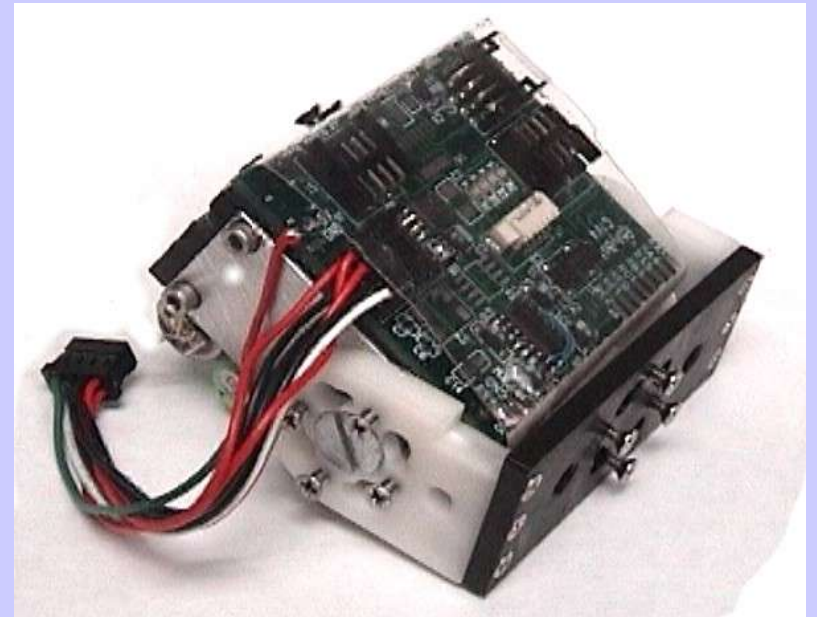


4x4 1-DOF

2x2 3-DOF

Polybot (IV)

- Generación G1v4
 - Todavía no autorreconfigurables
 - Alimentación + electrónica dentro de cada módulos
 - 4 placas conexión por módulo
 - **PIC16F877**
 - Bus de comunicación: RS-232, 485
 - Orientado hacia estudio locomoción
 - Servos RC
 - Sensores de fuerza
 - Control **Bucle cerrado**
 - Tablas de control



Caso de estudio

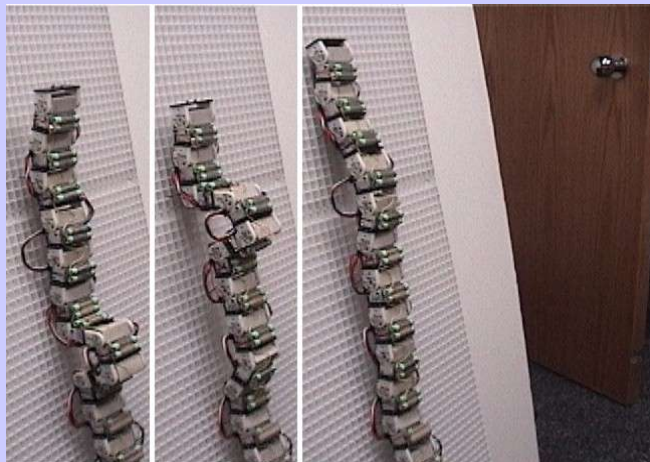
Polybot (V)

- Experimentos:

Montar en triciclo



Superación de escalones



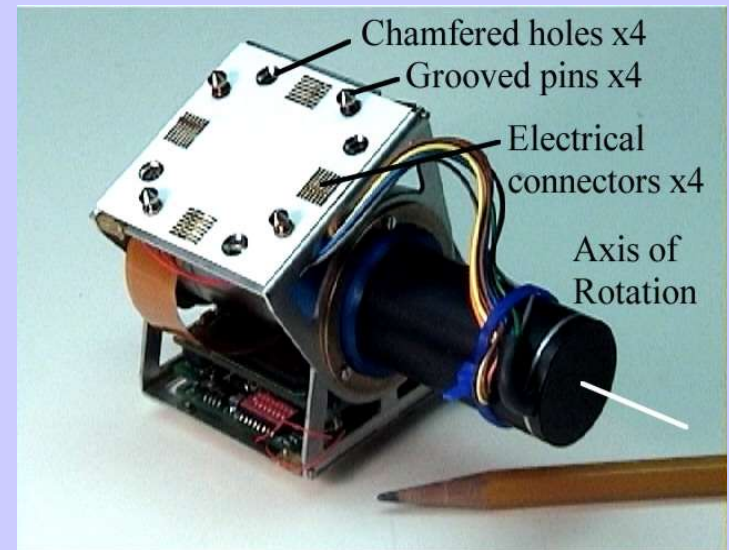
← Trepar →



Caso de estudio

Polybot (VI)

- Generación G2
 - Motor DC sin escobillas
 - 11x7x6 cm
 - Estructura metálica
 - CPU: **Power PC 555**
 - 1 MB RAM
 - Bus CAN

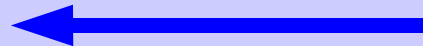
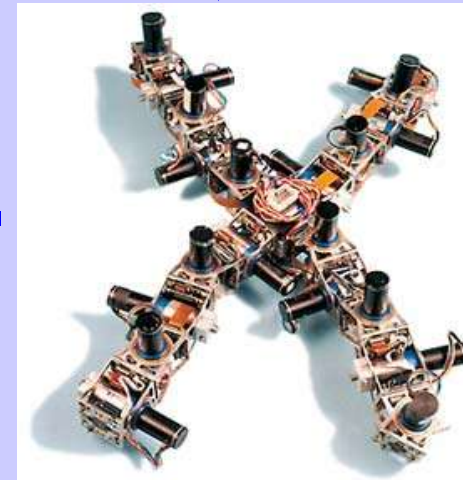
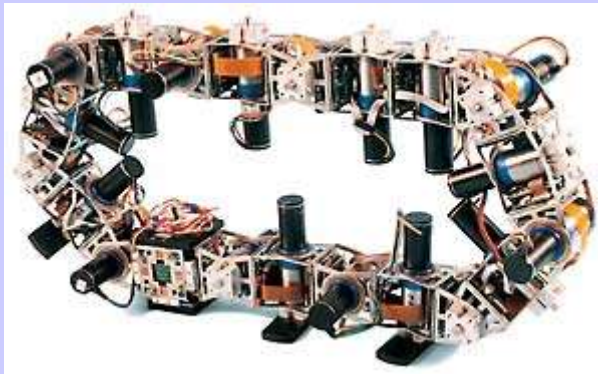


Configuración dinámica

Caso de estudio

Polybot (VII)

- Experimentos: Reconfiguración dinámica



Polybot (VIII)

- Generación G3

- 5x5x4.5mm
- Más sensores
- Motores máxon



- Resumen

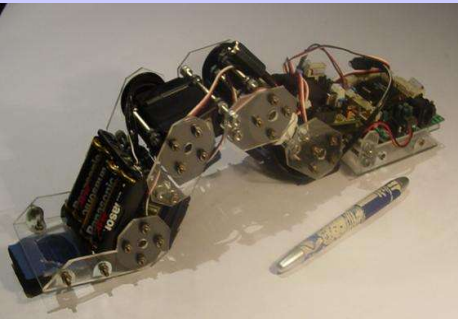
- Módulos con 1 DOF
- Mecánicamente más simples
- Conexión fase-desfase
- Reconfiguración Dinámica
- Consolidación Robótica Modular Reconfigurable

Cube Reloaded

- Introducción
- Trabajo previo: Cube 2.0
- Módulos Y1
- Descripción
- Control

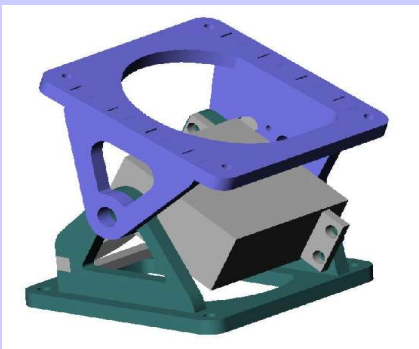
Introducción

Cube 2.0

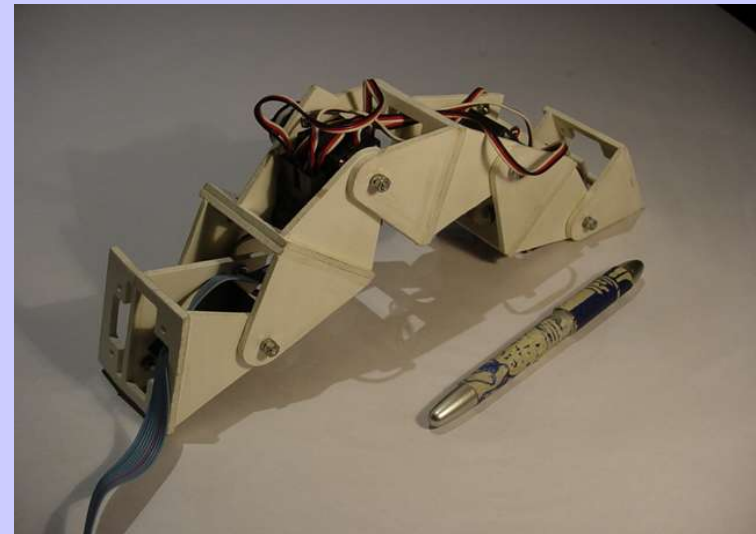


**Robótica Modular
Reconfigurable**

Polybot G1



Cube Reloaded

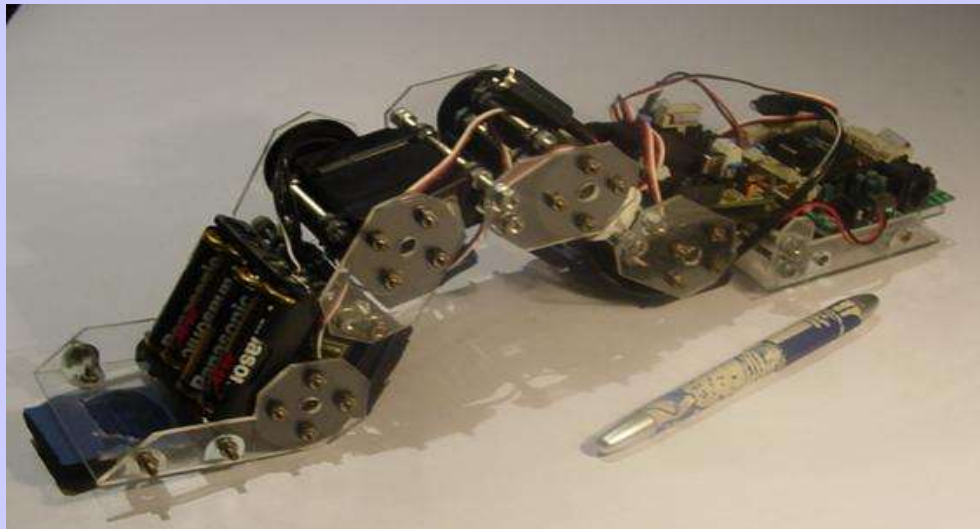


- Robot ápodo modular reconfigurable
- 4 segmentos
- Patrón de movimiento sinusoidal: ondas que se transmiten de la cola a la cabeza

Cube 2.0 (I)

- Desarrollado como PFC
- Responder a la pregunta:

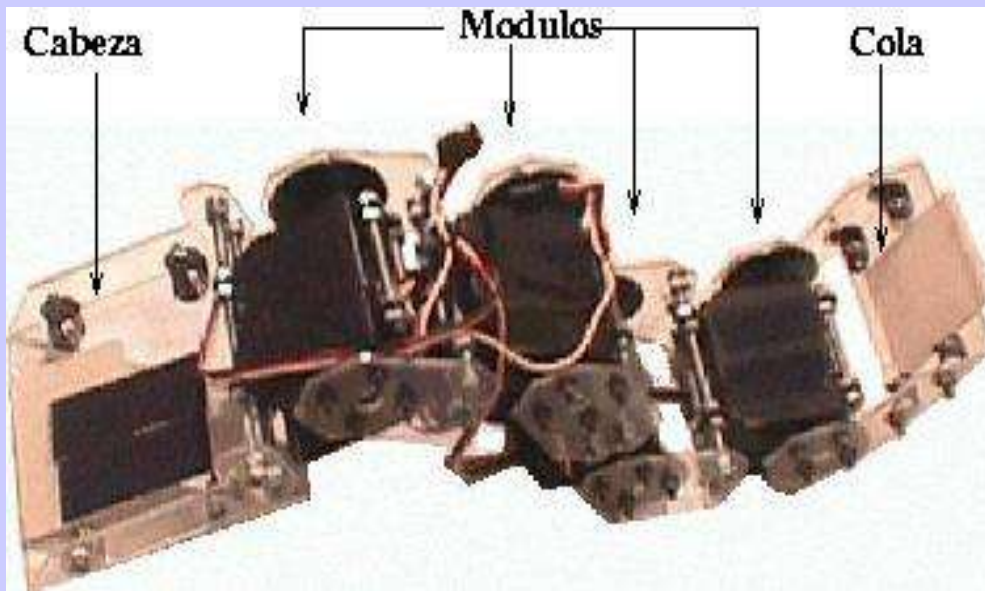
¿Es posible construir un robot que no tenga patas y se pueda mover?



Cube 2.0 (II)

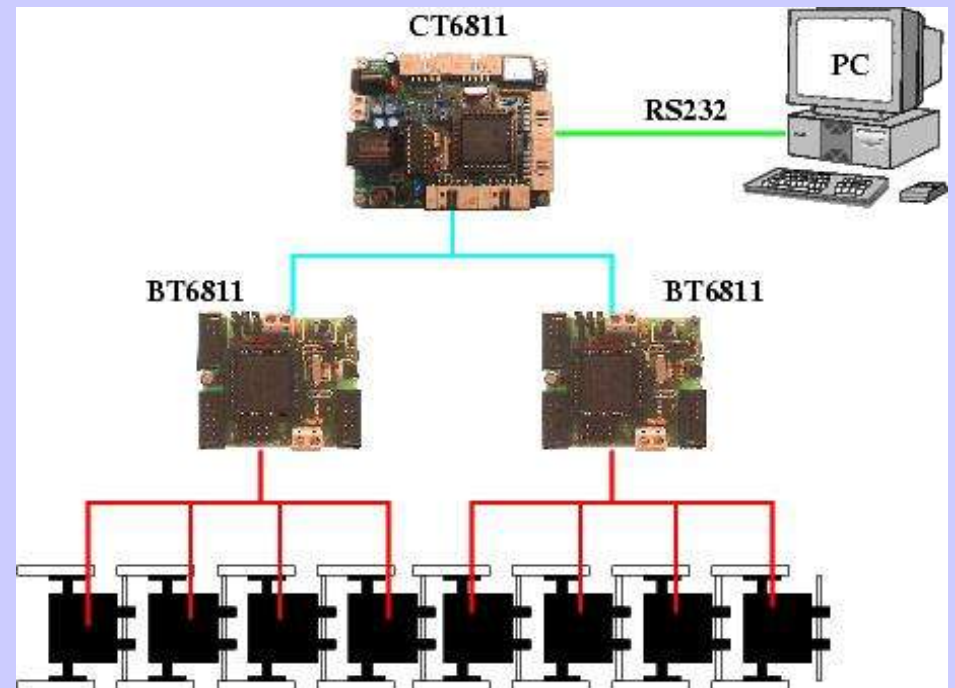
- Mecánica:

- 4 servos Futaba 3003
- Estructura específica (sólo gusano)



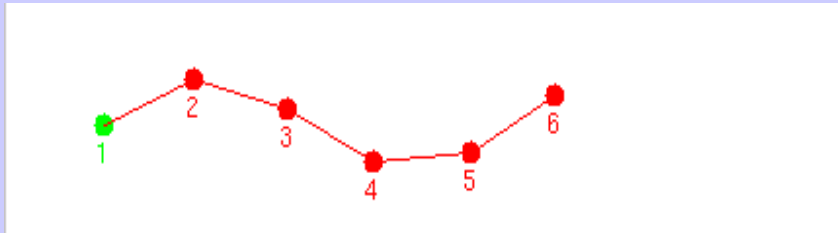
- Electrónica:

- Red de microcontroladores SPI
- Maestro: CT6811
- Esclavos: BT6811



Cube 2.0 (III)

- Software



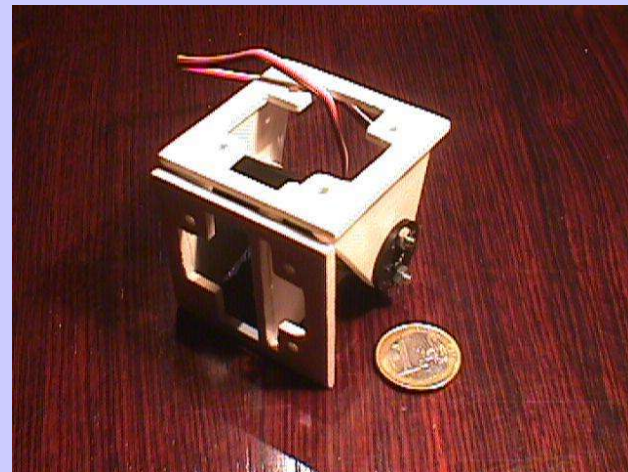
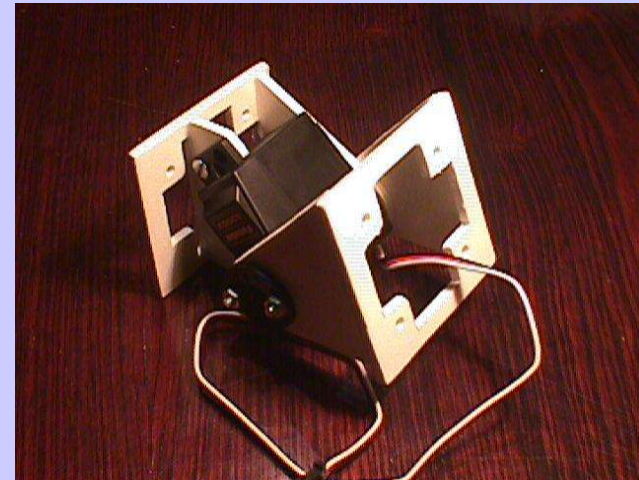
- Tablas de control
- **Generación automática de las tablas** en función de los parámetros de la onda que recorre al gusano

- Limitaciones Cube 2.0

- Sólo gusanos
- Avance en línea recta
- No válido como plataforma para nuevos desarrollos

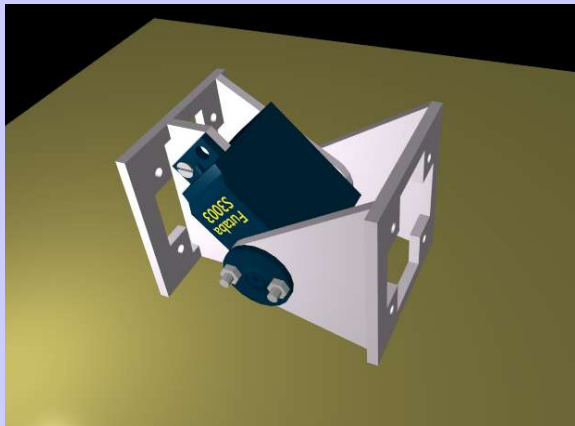
Módulos Y1 (I)

- Criterios de diseño
 - **Sencillez de construcción**
 - **Fabricable** (no artesanal)
 - Planos
 - Montaje
 - **Conexión en fase-desfase**
 - Gusanos línea recta
 - Gusanos por plano

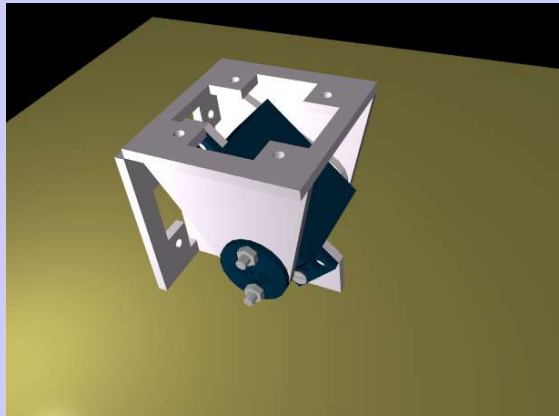


Módulos Y1 (II)

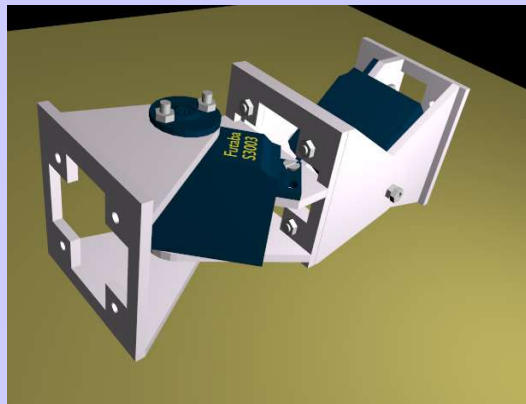
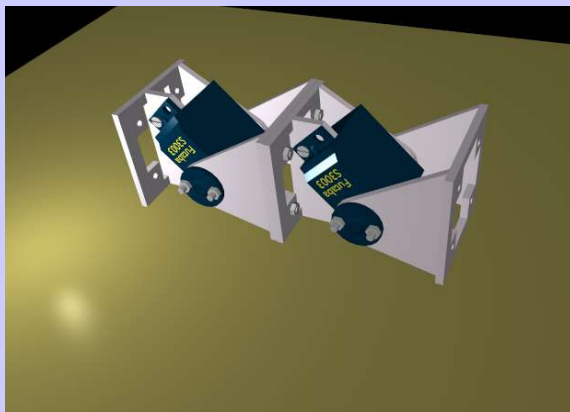
- Modelo 3D de los módulos (Blender)



2 módulos en fase

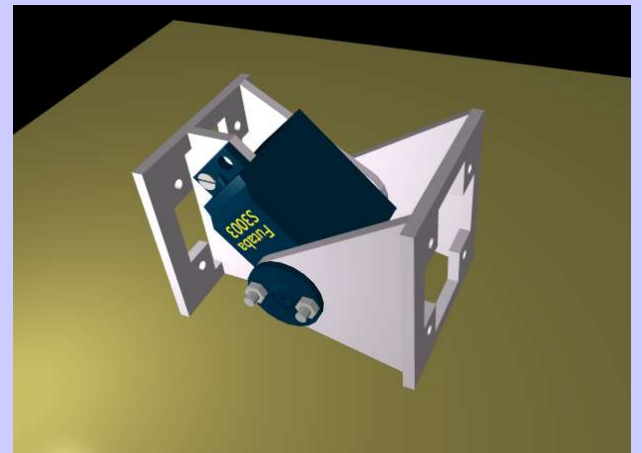
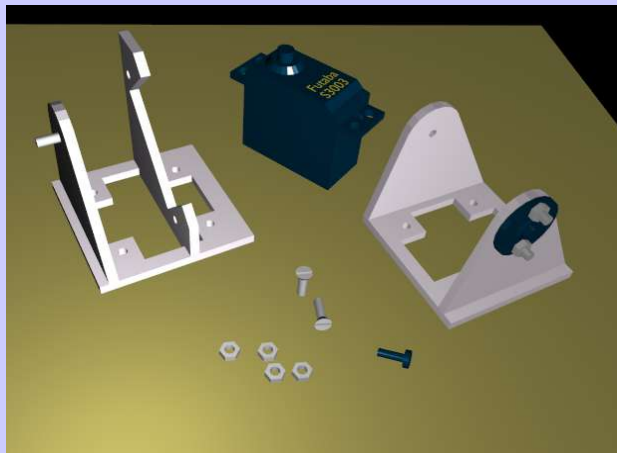
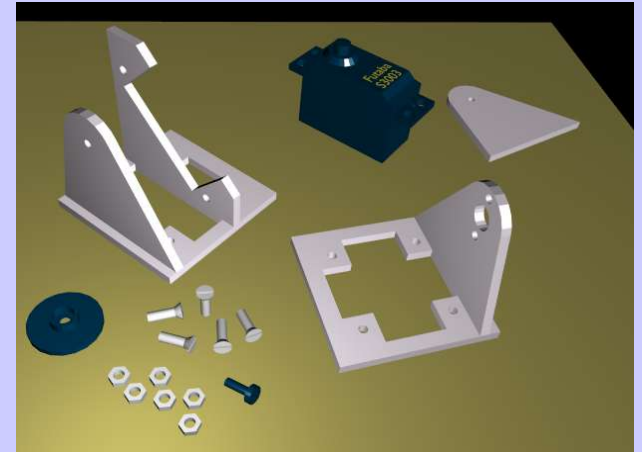
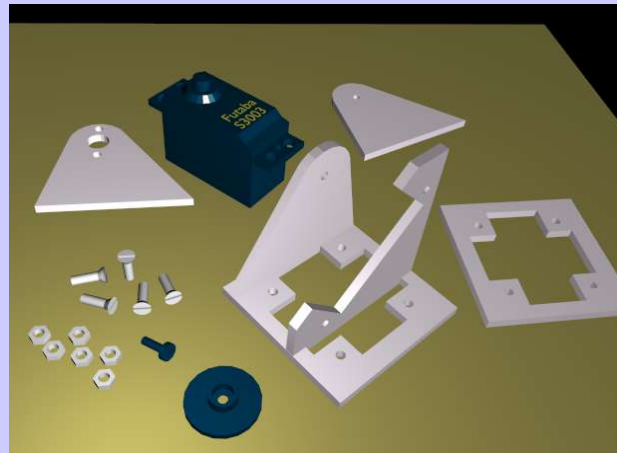
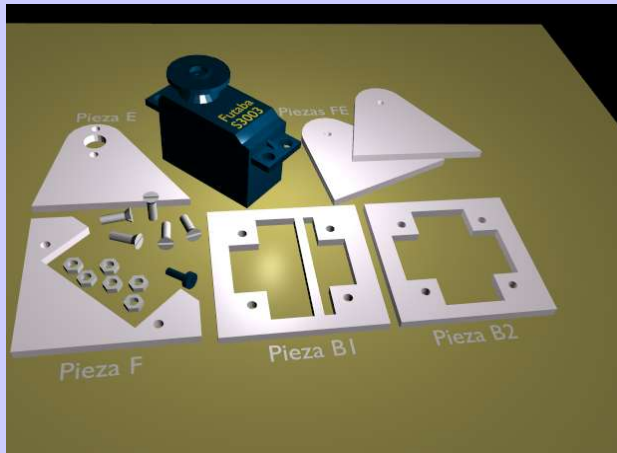


2 módulos desfasados



- Animaciones
- Ver aspecto prototipos sin tener que construir
- Parte de la plataforma de investigación

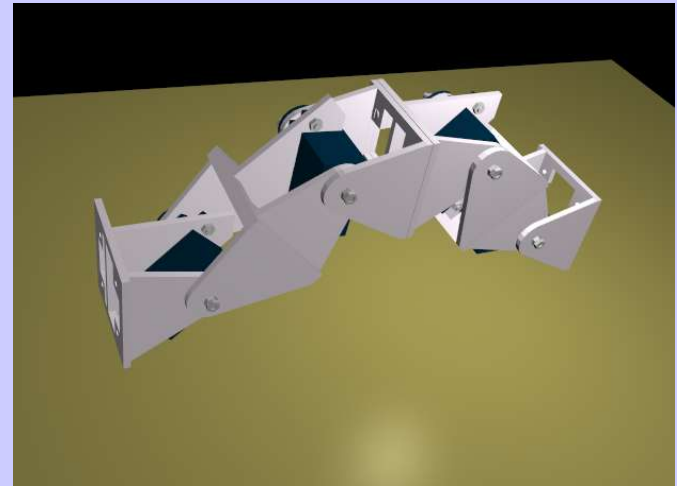
Módulos Y1 (III)



Descripción (I)

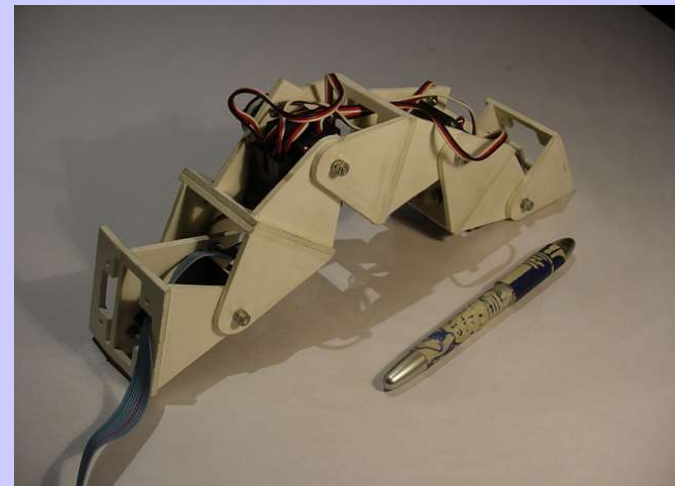
- Mecánica

- 4 Módulos Y1 unidos en fase
- Longitud: 29cm
- Altura: 51mm
- Anchura: 51mm



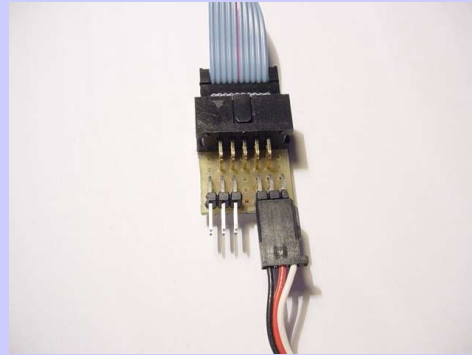
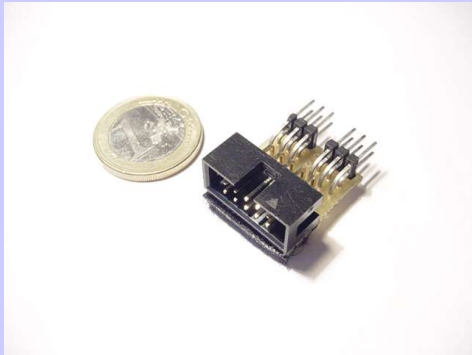
- Electrónica

- Off board
- Placa pasiva para conexión servos
- Cable de bus plano con alimentación y señales servos
- Tarjeta CT6811 (68hc11E2)
- Tarjeta JPS (FPGA)

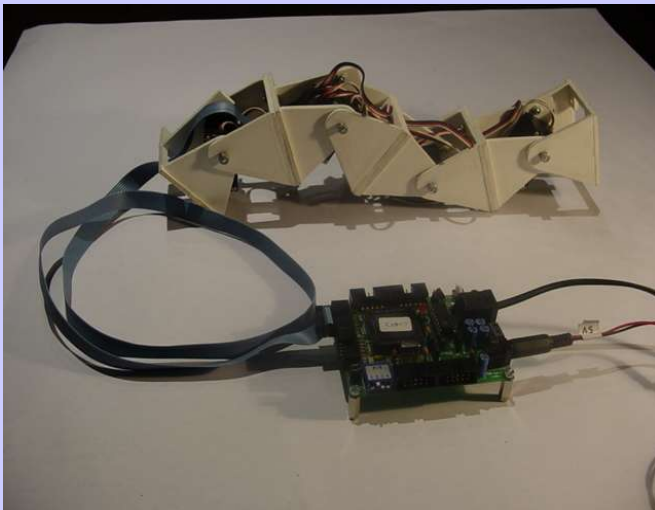


Descripción (II)

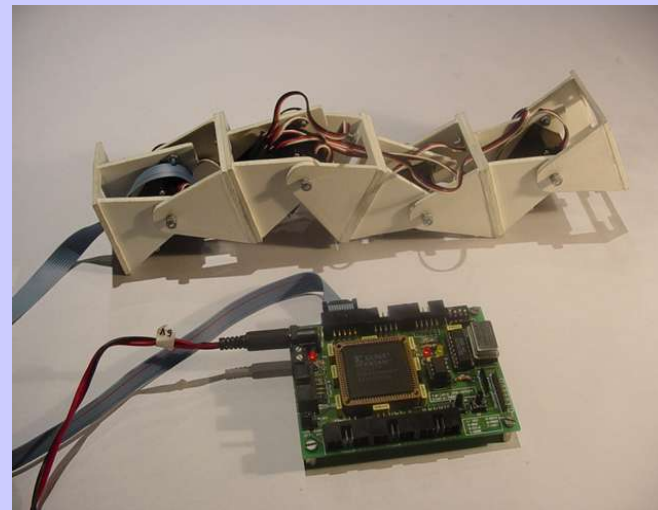
- Conexión de los servos



- Control con CT6811

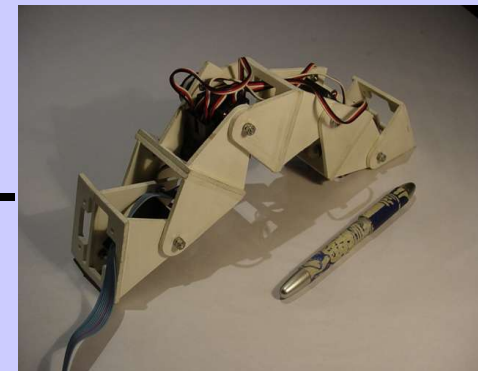
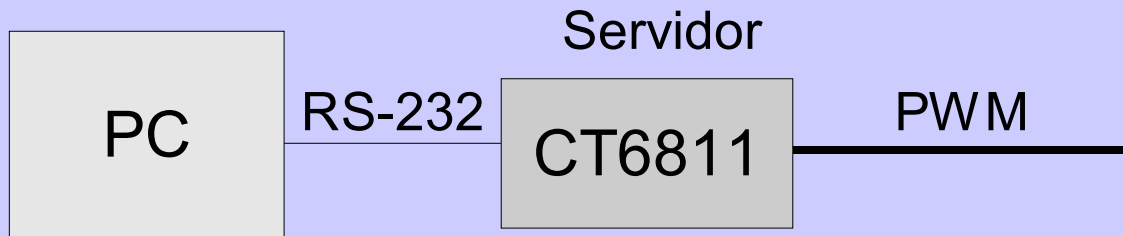


- Control con JPS

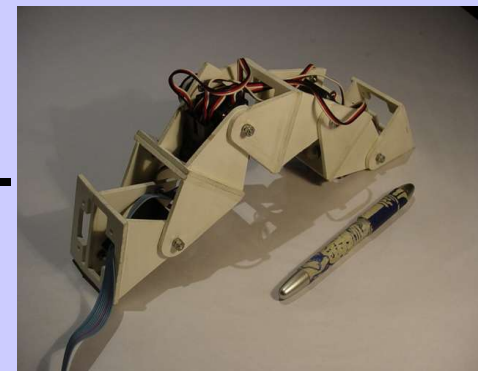
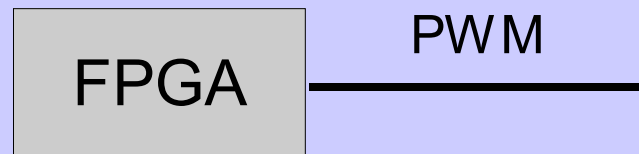


Control (I)

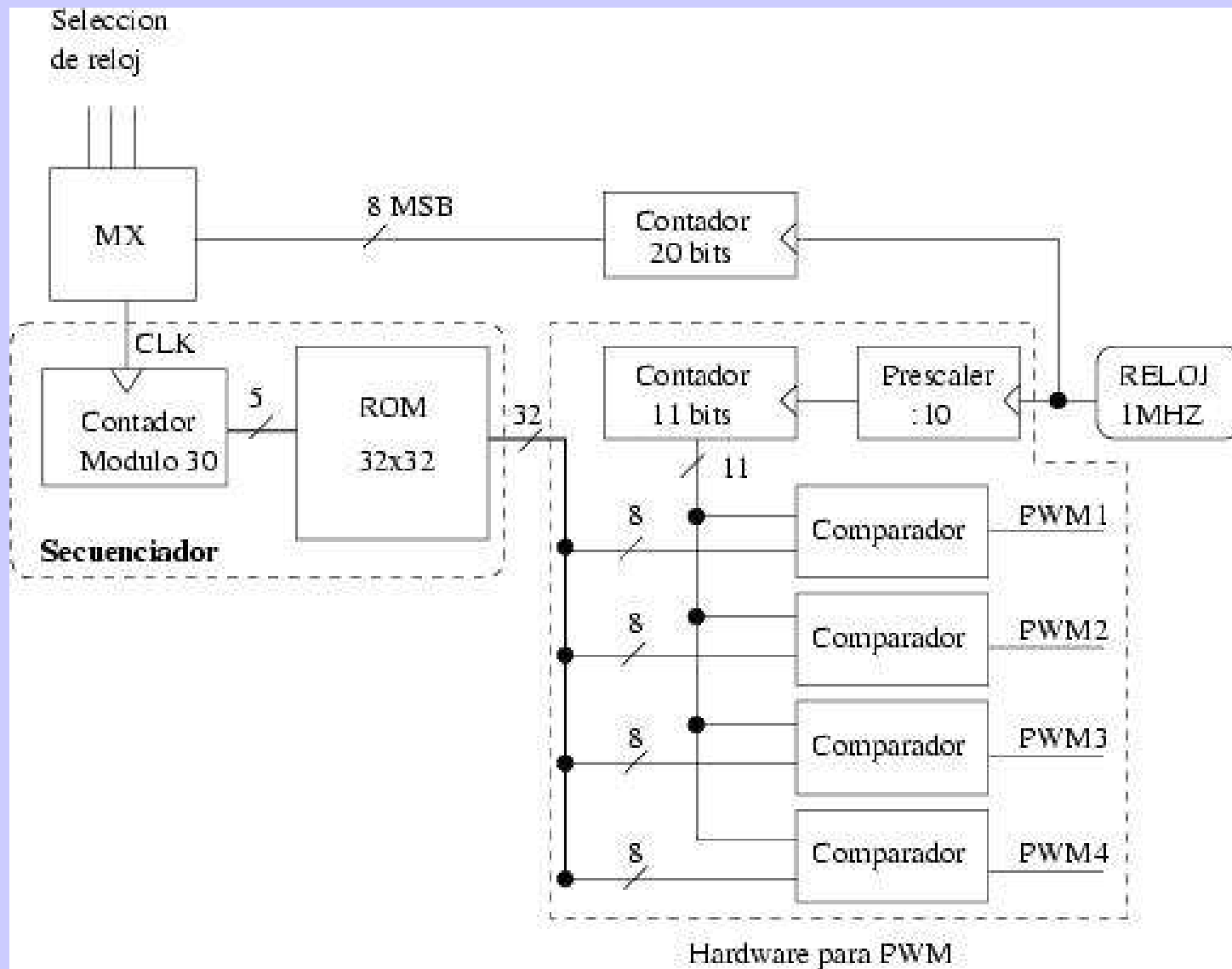
- **Tablas de control** generadas por el software
- **Alternativa I:** Microprocesador específico



- **Alternativa II:** Lógica combinatorial y secuencial en una FPGA



Control (II)



Control (III)

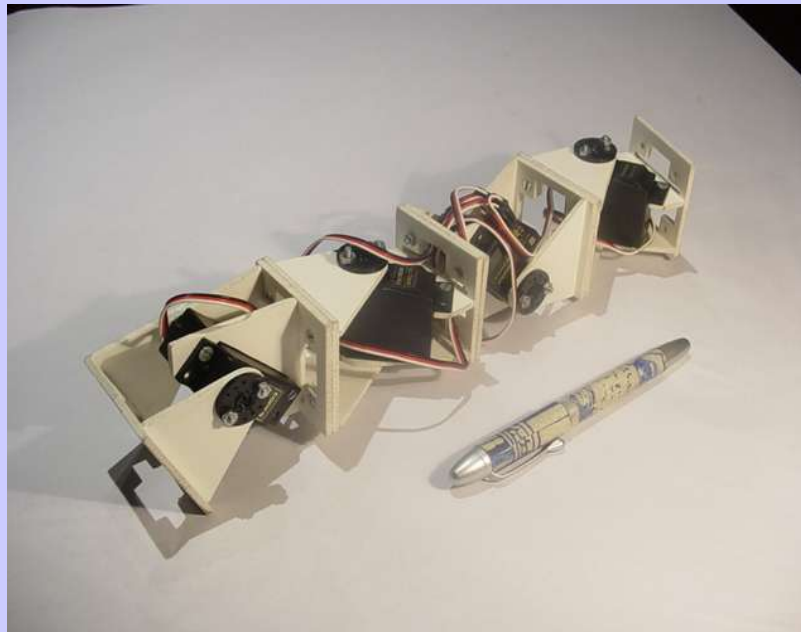
- Alternativa III: CPU empotrada en una FPGA
 - CPU PandaBear (RISC-16 bits)
 - "Sistema Custom"
 - Sintetizada pero todavía no implementada

Esta alternativa permite obtener una plataforma mucho más versátil

Parece lógico pensar que si los robots modulares reconfigurables son capaces de cambiar su forma y su manera de andar, que también pueda cambiar su *hardware*, adaptándolo a las necesidades

Larva

- 4 módulos desfasados
 - Probar los módulos Y en posición desfasada
 - Secuencia movimiento misma que Cube Reloaded
 - Resultado: movimiento como una larva!



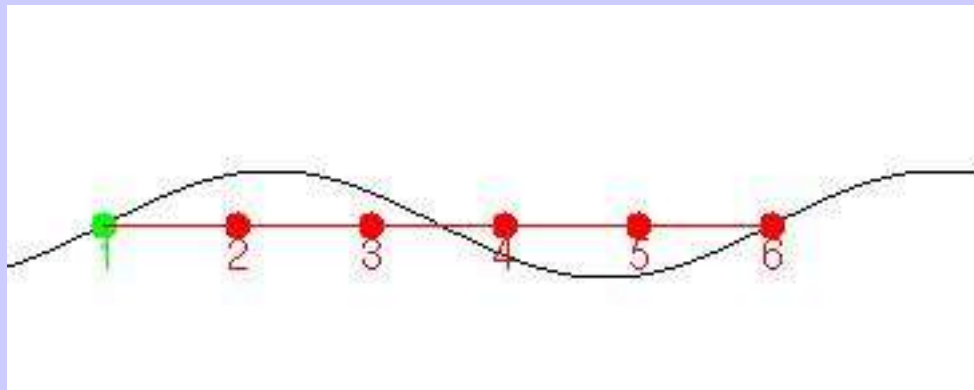
Experimentos

- Pruebas de locomoción
- Circuito de pruebas

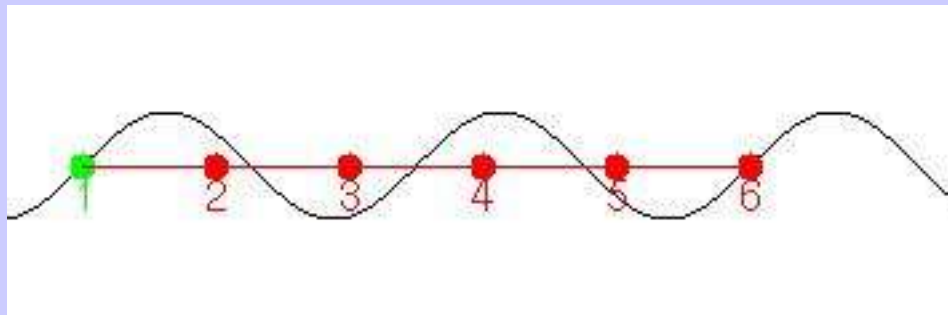
Pruebas de locomoción

- **Locomoción:** Basada en ondas sinusoidales que recorren el gusano. El movimiento conseguido por el gusano depende de la amplitud y la longitud de onda (λ)
- **Ondas sinusoidales periódicas:** Generadas secuencias de movimiento para diferentes amplitudes y para dos valores del parámetro K ($K=L/\lambda$)

$K=1$

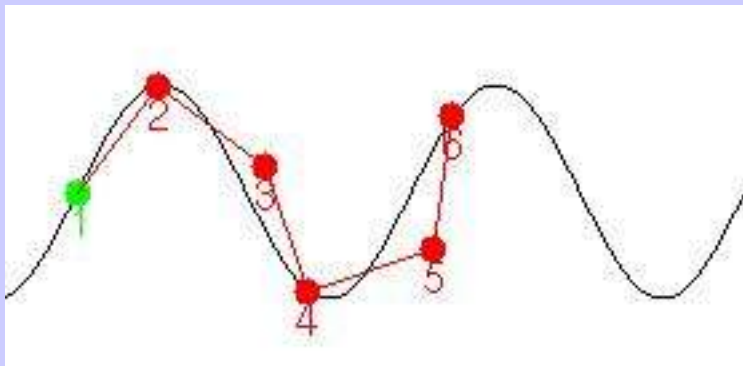


$K=2$



Pruebas de locomoción

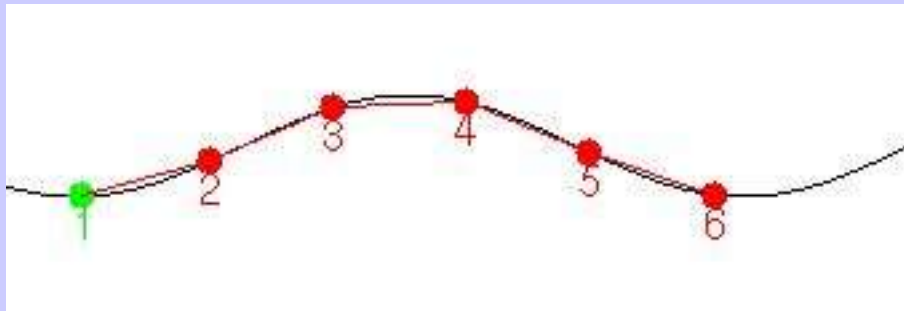
- Cuando mayor sea la amplitud, mayores saltos puede sobrepasar
- $K=2$
 - El número de puntos de apoyo es mayor (más estable)
 - Amplitud máxima es de 30 unidades
 - Amplitudes mayores \rightarrow No toma la forma de la onda
 - A mayor amplitud, mayor velocidad



- Articulaciones 2 y 4 están en uno de los extremos

Pruebas de locomoción

- $K=1$
 - Sólo dos puntos de apoyo (menos estable)
 - Mayor consumo (Mayor cantidad de articulaciones haciendo fuerza)
 - Se alcanzan amplitudes mayores (Obstáculos mayores)
 - Movimiento más lento

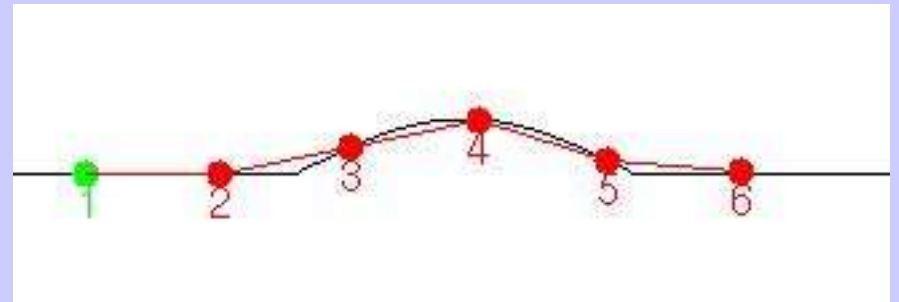


Instante en el que sólo la cabeza y la cola están apoyados

Pruebas de locomoción

- Semiondas

- Movimiento más lento
- Más puntos de apoyo (más estable)
- A mayor amplitud mayor velocidad
- Mayor amplitud obstáculos mayores
- Movimiento parecido al de los gusanos de seda



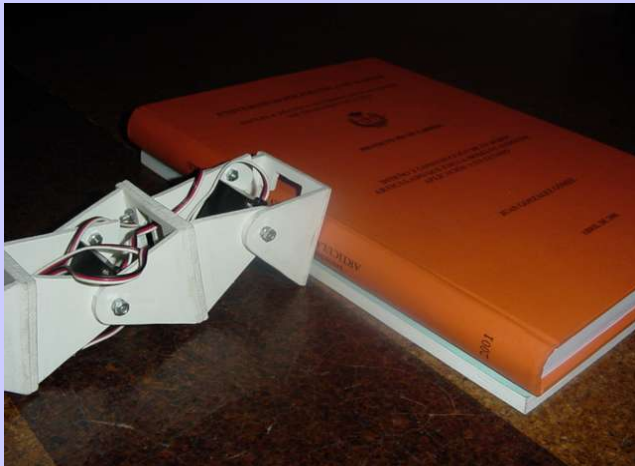
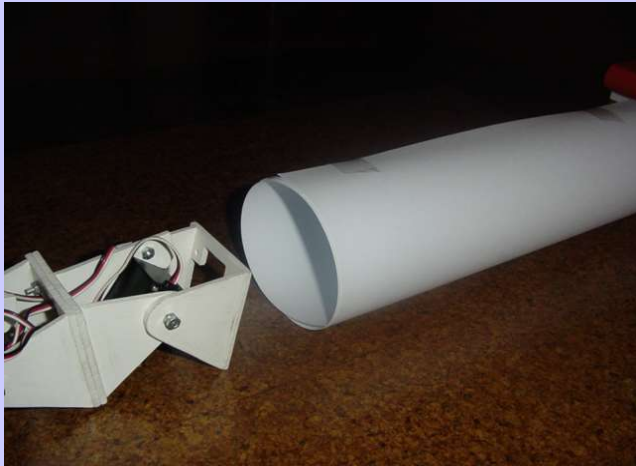
Cube Reloaded es capaz de moverse de muchas formas diferentes

Circuito de pruebas

- Explorando la viabilidad: Circuito de pruebas
 - Control desde el PC
 - Atraviesa un cilindro de 8cm de diámetro y 30cm de largo. Para ello se usa una semionda de poca amplitud (movimiento lento)
 - Salto de 3.5cm. Semionda con amplitud mayor



Circuito de pruebas



Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

- Análisis de los robots modulares más importantes
- Plataforma para comenzar a trabajar en robótica modular reconfigurable. Aplicación a un robot ápodo.
- Comprobación de la versatilidad en la locomoción
- **FPGAs son un elemento nuevo que amplía la versatilidad de estos robots**

Trabajos futuros

- Ampliación longitud e implementación más patrones movimiento
- Estudio teórico sobre la locomoción: condiciones de estabilidad, ecuaciones...
- Programar un modelo físico del gusano para generar patrones de movimiento usando algoritmos genéticos
- Segunda generación de módulos, usando exclusivamente FPGAs

Demostraciones

- Movimiento con ondas sinusoidales periódicas
 - $K=2$, con amplitud=5 y 20
 - $K=1$, con amplitud=10,30, y 50
- Movimiento con semiondas
 - Amplitud=10
 - Amplitud=50, (paso de obstáculos)
- Movimiento de la Larva

FIN