

## ROBOT ÁPODO TIPO SERPIENTE DE 6 ARTICULACIONES ASPRILLA 5000

UNIVERSITARIA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO - UDI  
FACULTAD DE INGENIERÍAS, INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

Stevenson Ribon Amaris  
Harold Yadir Sánchez  
Angel Ricardo De los Ríos

remix.250@hotmail.com  
haroldysg@hotmail.com  
anrideni.92@gmail.com

**RESUMEN:** En este trabajo se diseñó una serie de módulos con un servomecanismo, que otorgará 1 grado de libertad a las articulaciones que tendrá un robot tipo serpiente, lo que hará que se pueda desplazar de forma lineal.

El robot ápodó fue construido con seis de estos módulos que serán controlados por un software basado en MATLAB y Arduino. El electrónico usado para controlar la serpiente es un micro controlador ATmega2560, mediante lógica secuencial, generando señales sinusoidales que el robot representará en su mecánica.

**PALABRAS CLAVE:** Robótica, mecatrónica, matlab, ápodó, serpiente, microcontroladores, electrónica, hardware, Arduino, guide, servomotor, sinusoidal.

## 1 INTRODUCCIÓN

Existen dos grandes áreas: Locomoción y Manipulación. La locomoción es la facultad que posee un robot para poder desplazarse de un lugar a otro, los robots con capacidad locomotora, se llaman robots móviles, por otro lado, la manipulación es la capacidad de actuar sobre los objetos, trasladándolos o modificándolos. Esta área se centra en la construcción de manipuladores y brazos robóticos, los cuales poder ser utilizados en búsqueda y rescate, ensambladoras de vehículos, medicina, entre otros.

Dentro de la locomoción hay tres puntos clave:

- Desplazamiento, un incremento en línea recta.
- Giros y traslaciones en múltiples direcciones.
- Planificación de trayectorias y navegación.

De estos puntos nos enfocaremos a los giros y traslaciones en múltiples direcciones: que depende del tipo robot apodo que pueda desplazarse por un plano es más complejo que en un robot con ruedas.

## 2 OBJETIVOS

Implementar un prototipo de un robot apodo tipo serpiente, manipulado por arduino mediante una interfaz desarrollada en Matlab.

## 3 ELEMENTOS DEL ROBOT

- 6 Servomecanismos Futaba 3003
- 6 Módulos Y1
- Tornillos empleados
- Cables para conexiones
- Fuente de 5 voltios
- 1 Arduino mega

## 4 MARCO TEORICO

### 4.1 El robot ápodó, Módulos Y1.

Estos módulos están inspirados en los de primera generación de Polybot (G1). En particular se ha adoptado la idea de la conexión en fase o en desfase, una idea brillante. Los módulos se han diseñado desde cero, adaptados a los servos Futaba 3003. La información proporcionada por el PARC es descriptiva (fotos, videos) y en los papers se comentan los experimentos realizados y los resultados obtenidos, sin embargo no están disponibles los planos ni información necesaria para poder reproducirlos.

Puesto que los módulos G1 fueron desarrollados por Yim Mark, se utiliza la primera letra de su nombre para bautizar estos módulos.

## 4.1.1 Criterios de diseño

Los criterios para el diseño de los módulos Y1 han sido los siguientes:

- **Sencillez.** Debe tener un diseño simple, con un número de piezas pequeño para que se puedan construir prototipos a mano.
- **Fabricables.** Para que se pueda producir a nivel industrial, se debe realizar los planos detallados de los módulos.
- **Conexión en fase y en desfase.** Esto permite que se puedan conectar los módulos de manera que todos pertenezcan al mismo plano o no.
- **Facilitar cableado.** Que los cables puedan pasar de un módulo a otro.
- **Abiertos.** Ninguna restricción impuesta en su fabricación/utilización, para que cualquiera los pueda usar. Para ello es necesario que sus planos estén disponibles y que se puedan ver/modificar desde cualquier plataforma (Linux, Windows...). Por ello se ha optado por diseñarlos con el programa Qcad [36], que es multiplataforma y además es software libre (por lo que el formato fuente en el que se guardan los planos está perfectamente documentado). Asimismo, los modelos en 3D se han realizado con el programa Blender [37], que también es libre y multiplataforma.

## 4.1.2 Descripción

En la figura 1 se muestra una foto del módulo en la que el servo está en diferentes posiciones. El módulo se divide en dos partes, que pueden rotar una con respecto a la otra, denominadas cuerpo y cabeza. El servo se encuentra atornillado al cuerpo mediante dos tornillos de  $\Phi 3\text{mm}$  y 10 mm de largo. Es un servo del tipo futaba 3003, con una corona de  $\Phi 21\text{mm}$ .

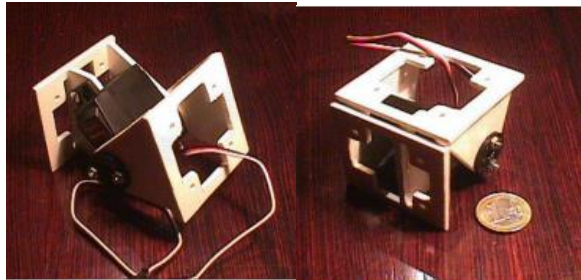


Figura 1: Fotos del módulo Y1. Izquierda: el servo está en su posición central. Derecha: El módulo convertido en un cubo  
[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

La cabeza por un lado está atornillada a la corona del servo, con dos tornillos iguales a los anteriores y por otro lado directamente al cuerpo, formando un “falso eje” que permite que el peso se reparta. No obstante, la fuerza que genera el servo sólo se transmite por la corona, el falso eje sólo es de apoyo.

En la figura 2 se muestra el módulo en el que la cabeza está situada en diferentes ángulos con respecto al cuerpo. Y en la figura 3 se muestra el módulo por el lado del falso eje.

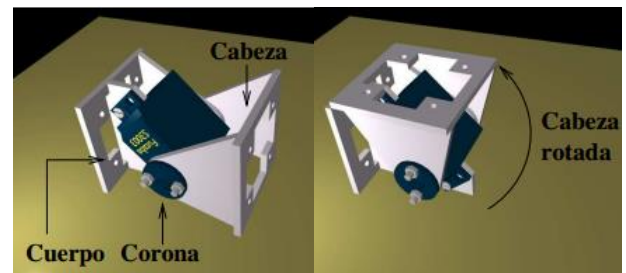


Figura 2: Cabeza y cuerpo del módulo. Una puede rotar con respecto a otra.

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

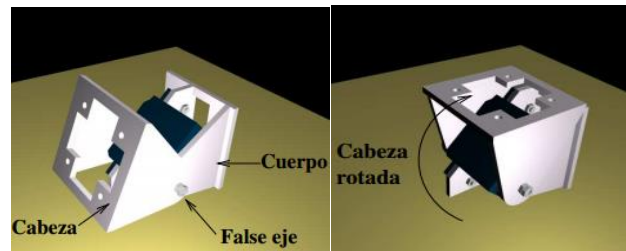


Figura 3: Módulo Y1 visto desde el lado del falso eje

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

El recorrido de la cabeza es de 180 grados, que puede estar situada en una posición de  $-90$  a  $90$  grados con respecto al cuerpo. El tamaño del módulo es el mínimo posible usando el servo futaba 3003. Las bases son cuadradas, de  $52 \times 52\text{mm}$ . Si el módulo está situado como en la figura 1, la altura y la anchura son fijas, determinadas por la base. La longitud depende de la posición entre el cuerpo y la cabeza. Cuando el módulo está en posición natural (la cabeza forma  $0$  grados con respecto al cuerpo), es de  $74\text{mm}$  (máxima) y cuando está en un extremo es de  $55\text{mm}$ .

El módulo está constituido por 5 piezas diferentes, construidas con PVC expandido de  $3\text{mm}$  de grosor. También se ha realizado un prototipo en metacrilato, que es más rígido, pero tiene la ventaja de que es

transparente y permite ver el interior. Los planos se encuentran en el apéndice A.

La nomenclatura para nombrar las piezas es la siguiente:

## Cuerpo:

- Pieza F: donde está atornillado el servo.
- Pieza B1: Base del cuerpo. Punto de unión con otro módulo.
- Pieza FE: Pieza del Falso eje. Se une a la otra pieza FE de la cabeza

## Cabeza:

- Pieza B2: Base de la cabeza. Punto de unión con otro módulo.
- Pieza E: Pieza atornillada al eje del servo (a su corona).
- Pieza FE.

Una vez construidas las piezas, bien manualmente o bien llevándolas a una tienda especializada, la construcción de los módulos es sencilla. Se pueden encontrar más detalles en el apéndice B. En el diseño de los módulos no se ha previsto que la electrónica se encuentre en su interior ni tampoco la alimentación. Con esta primera generación se ha querido evaluar la viabilidad mecánica y las posibilidades de conexión en fase o desfasados.

### 4.1.3. Características

Una característica fundamental es la de poder colocar dos módulos en fase o desfasado, como se muestra en la figura 4. Cuando están conectados en fase, todas las articulaciones se mueven permaneciendo en el mismo plano (en la figura 4 los dos módulos permanecen siempre en un plano perpendicular al suelo). Cuando están desfasados, pueden estar en planos distintos.

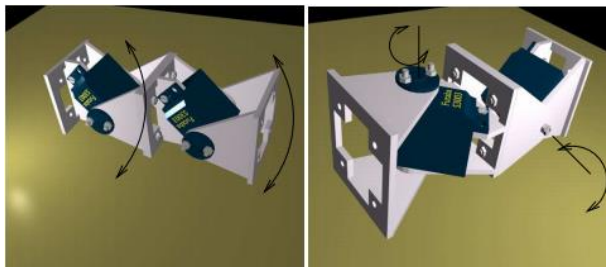


Figura 4: Dos módulos Y1 conectados. A la izquierda están en fase. A la derecha está desfasado

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

Esta característica permite que se puedan construir gusanos que se puedan mover por un plano (conexiones desfasadas), o bien gusano que sólo avancen en línea recta (todos los módulos en fase). Para la unión de los módulos se utiliza 4 tornillos situados en las cuatro esquinas de las bases de los módulos. En este sentido, el robot no es auto reconfigurable. Los módulos hay que cambiarlos “a mano”.

Las bases del módulo (B1 y B2) tienen un hueco en interior, lo que resulta tremendamente útil para pasar los cables de un módulo a otro.

Además de disponer de los planos para su fabricación, en el proceso de diseño se han realizado modelos virtuales en 3D de todas las piezas, tornillos y el propio servo, por lo que se ha podido construir un modelo virtual del módulo antes de disponer de la pieza fabricada.

La ventaja de disponer de un modelo virtual, es que nos podemos hacer una idea del aspecto que va a tener un determinado robot, antes de construirlo. Además es muy útil para realizar manuales y animaciones.

### 4.1.4. Pruebas

Antes de tenerse los módulos tal cual están ahora, se han desarrollado versiones previas, con las que se han ido detectando fallos y sobre las que se han añadido nuevas características. Se han realizado pruebas de funcionamiento, conectando dos módulos en fase y desfasados, 3 módulos, 4, etc.

Una vez obtenida una versión “estable”, se ha procedido a juntar 6 módulos y construir la serpiente apodo.

## 5 DESCRIPCION DE LA PRÁCTICA

### 5.1 Mecánica

La estructura mecánica de la serpiente apodo está compuesta por 6 módulos Y1, conectados en fase. En la figura 5 se muestra una foto. Cuando todos los módulos están en reposo, la longitud es de 42cm y la altura y anchura de 51mm. El módulo situado en la cola se le asigna el número 1 (el situado más a la izquierda según se mira la foto de la figura 5) y el de la cabeza el número 4.

Para las conexiones de los servos se ha construido una pequeña placa pasiva que tiene 4 conectores macho de 3 pines para los servos y un conector para cable plano de 10 vías, por el que viene la alimentación y las señales de control de los servos de la electrónica externa. Su

aspecto se puede ver en la figura 20. El reducido tamaño es debido a que se tiene que situar dentro de uno de los módulos, pegada con velcro sobre un servo. Los cables de todos los servos se llevan a esa placa y ahí sale un cable de bus de 10 líneas que se conecta a la electrónica externa. Debido a que los módulos Y1 tienen huecos en sus bases, los cables pueden pasar de un módulo a otro ningún tipo de problemas. En total se han construido seis módulos Y1. Inicialmente se usaron cuatro hacer pruebas de locomoción, posteriormente se le incorporaron dos módulos más para el diseño final.

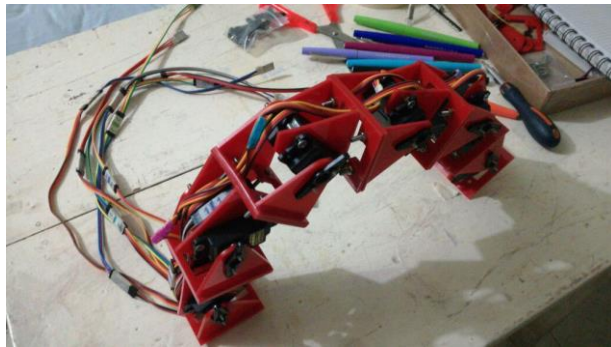


Figura 5: serpiente ápodo ASPRILLA 5000

[Autores]

Robot armado, con sus seis módulos y con el cableado, listo para pruebas.

## 5.2. Electrónica

Para la locomoción de serpiente apodo se ha utilizado la tarjeta Arduino es una placa basada en un microcontrolador, específicamente un ATmega328P, en el cual se pueden grabar instrucciones. Estas instrucciones se escriben utilizando un lenguaje de programación que permite al usuario crear programas que interactúan con circuitos electrónicos.

Normalmente un microcontrolador posee entradas y salidas digitales las encargadas de posicionar los servos. Un Arduino es una placa que cuenta con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas del microcontrolador. Se trata de una placa impresa con todos los componentes necesarios para el funcionamiento del micro y su comunicación con una computadora a través de un protocolo de comunicación serial.

Aunque el sistema, puede funcionar de manera autónoma, normalmente se utiliza en conexión con el PC. En este caso el Arduino hace de interfaz entre el puerto serie del PC y el SPI. Desde el PC se envían las posiciones de los servos mediante la interfaz de Matlab.

## 5.3 ESQUEMATICO DEL ROBOT A REALIZAR

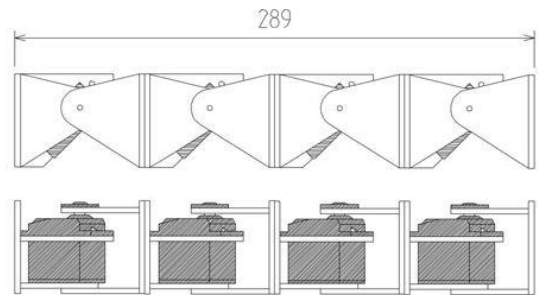


Figura 6: Vista superior y lateral de cuatro módulos Y1 conectados entre si.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

## 5.2 MODULO Y1

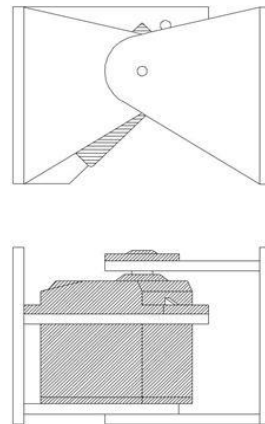


Figura 7: Vista lateral y superior de un módulo Y1 del robot apodo tipo serpiente.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

## 5.3 MEDICIONES DE LA ESTRUCTURA

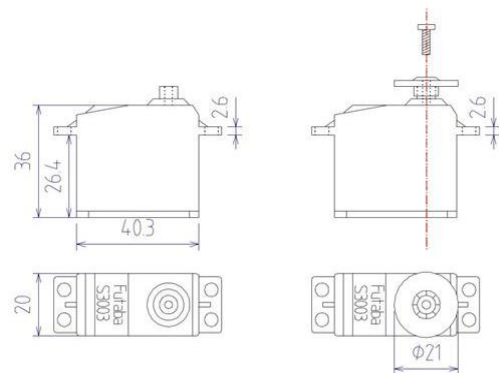


Figura 8: Medias exactas de un servomotor Futaba 3003.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

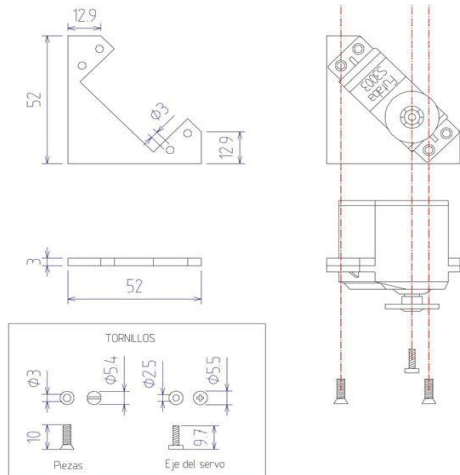


Figura 9: Piezas del Módulo Y1 y ubicación de tornillos.

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

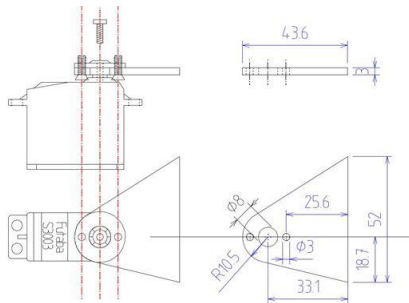


Figura 9: Piezas del Módulo Y1.

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

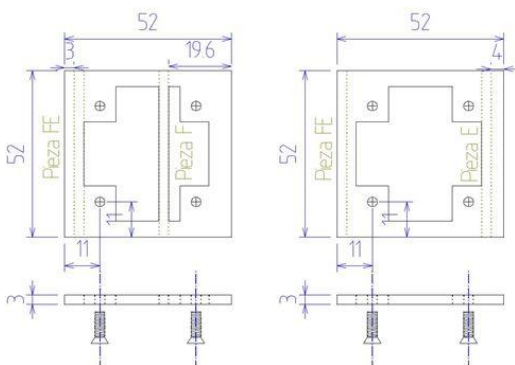


Figura 10: Piezas del Módulo Y1.

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

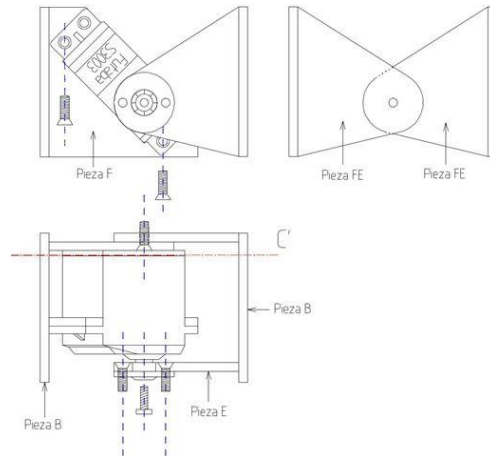


Figura 10: Piezas del Módulo Y1

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

## 5.4 MODO DE CONSTRUCCIÓN

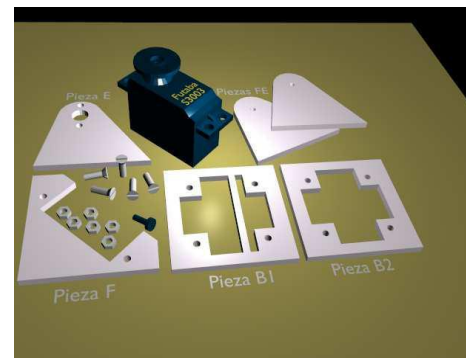


Figura 11: Modulo Y1 y todas las piezas que lo conforma.

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]



Figura 12: Instalación de la pieza que sostiene al servo.

[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]





Figura 13: Instalación de la pieza lateral para conexión del otro módulo.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

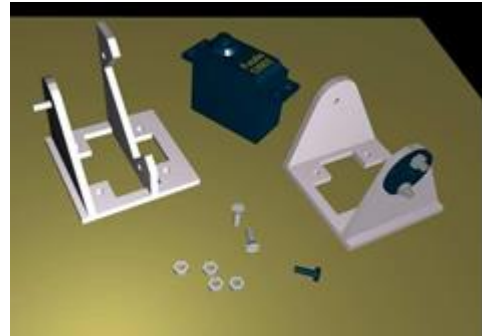


Figura 16: Instalación de la pieza que sostiene al servo.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

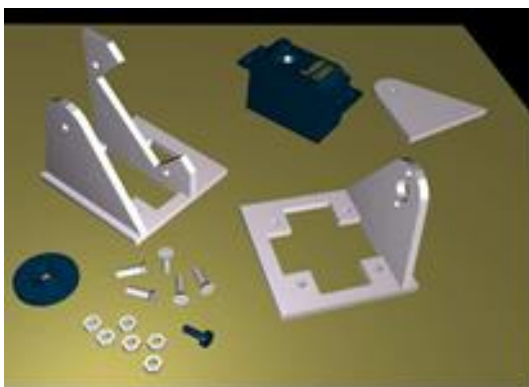


Figura 14: Instalación de la pieza lateral que ajusta el servo al módulo.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]



Figura 17: Instalación del servo.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]



Figura 15: Instalación de la pieza lateral del módulo.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

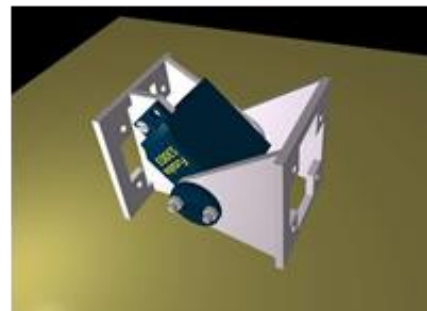


Figura 18: Instalación Modulo Y1 final.

[[www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)]

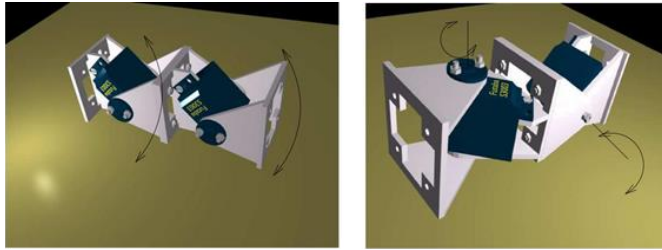


Figura 19: Instalación de dos módulos y ubicación de tornillos.

[www.iearobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf]

## 5.4.1 Construcción final del robot tipo serpiente ASPRILLA 5000.



Figura 20: Módulos Y1 en la distribución final del robot, realizando pruebas con una fuente de poder.

[Autores]

Como podemos detallar es la estructura final, construida con 6 módulos Y1, acoplados a los servos y como objetivo final crear la forma de una serpiente tipo mecánica

## 6 FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ Y DESCRIPCIÓN DE CADA ELEMENTO.

### 6.1 INTERFAZ HECHA EN MATLAB FINAL.

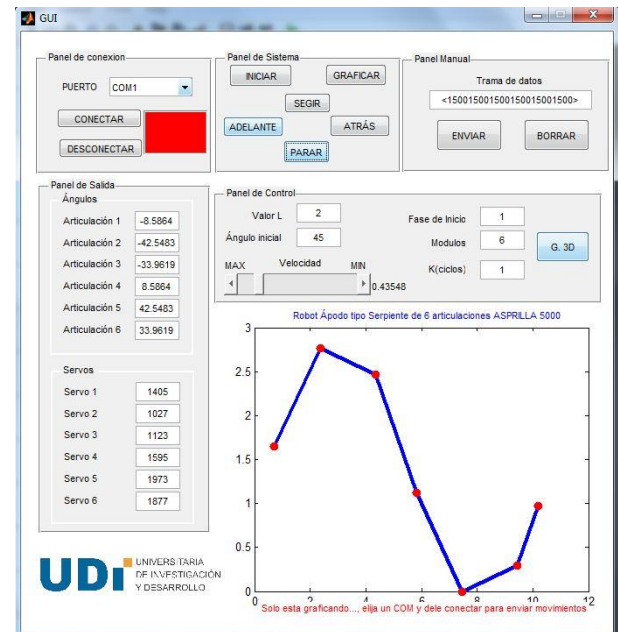


Figura 21: Interfaz en Matlab para el control y visualización de los puntos de la serpiente.

[Autores]

Interfaz final del usuario donde monitoreará y controlará el movimiento de la serpiente.

## 6.2 EXPLICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA INTERFAZ.

### 6.2.1 PANEL DE CONEXIÓN



Figura 22: Panel de conexión.

[Autores]

Este módulo se refiere a la conexión que se manifiesta entre arduino y Matlab por medio de un puerto serial

donde se transmitirán los datos, en este caso los ángulos de los servos.

Compuesto por:

- **Seleccionador de puerto:** Lista de los puertos COM donde se puede seleccionar el que está en uso por el arduino.
- **Botón conectar:** Realiza la conexión serial de Matlab con Arduino.
- **Botón Desconectar:** Termina la conexión serial entre Matlab y Arduino.
- Los colores indican el estado de la conexión rojo (desconectado), verde (conectado).

### 6.2.1 PANEL DE SISTEMA

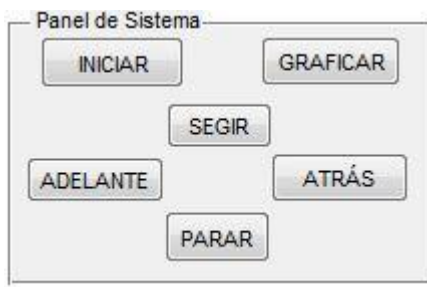


Figura 23: Panel de sistema.

[Autores]

Este módulo se especifica todo el sistema de control que maneja la serpiente en relación al movimiento.

Compuesto por:

- **Botón iniciar:** Inicia el movimiento del robot, enviando los valores al puerto COM y grafica el movimiento.
- **Botón graficar:** Solo emula el movimiento de la serpiente, representándolo en la gráfica pero sin enviar datos a un puerto COM.
- **Botón parar:** Detiene o pausa el sistema, deteniendo la graficación y el envío de datos al arduino.
- **Botón seguir:** Retoma el sistema pausado después de haber pulsado el botón parar, continúa en la fase que había quedado.
- **Botón adelante:** Establece los movimientos de la serpiente hacia adelante.
- **Botón atrás:** Establece los movimientos de la serpiente hacia atrás.

### 6.2.2 TRAMA DE DATOS MANUAL

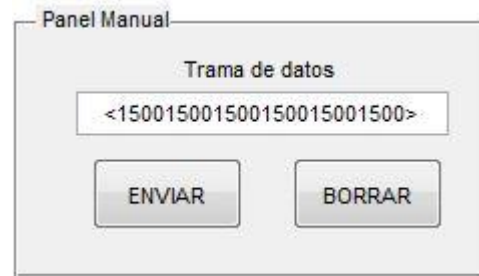


Figura 24: Trama de datos manual.

[Autores]

Este módulo no es muy importante, pero es un mecanismo de prueba sencillo que se puede utilizar para verificar si le están llegando información a la serpiente robótica por el puerto serial.

Compuesto por:

- **Botón enviar:** Envía la trama escrita manualmente por el usuario, al arduino por el puerto COM.
- **Botón borrar:** Borra toda la información en la consola y variables de Matlab.
- **Caja de escritura:** Espacio para escribir manualmente la trama que se desea enviar a la serpiente.
- Ejemplo de la trama: <150015001500150015001500>, Se debe enviar la trama (números), entre corchetes para que el sistema reconozca la información.

### 6.2.3 SALIDA DE DATOS DE ARTICULACIONES Y SERVOS.

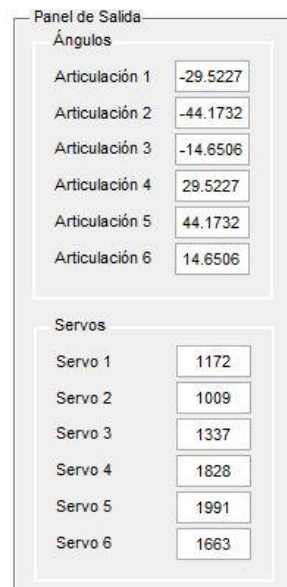


Figura 25: Salida de datos de articulaciones y servos.

[Autores]



Este módulo muestra los valores en tiempo real que tiene cada variable de las articulaciones y servos.

### 6.2.4 PANEL DE CONTROL



Figura 26: Panel de control.

[Autores]

Este módulo comprende los valores iniciales que se le digitan a la serpiente robot para que pueda generar un movimiento correcto.

Compuesto por:

- **Slider de velocidad:** Ajusta el periodo del timer para controlar la rapidez que se ejecuta esta función y se verá reflejada en la velocidad de la serpiente robótica.
- En las cajas de texto, el usuario digitará la configuración inicial de la serpiente robótica, medidas, ángulo inicial, etc. Y con esto poder generar los movimientos de la serpiente de una forma eficaz.

### 6.2.5 PANEL DE VISUALIZACIÓN

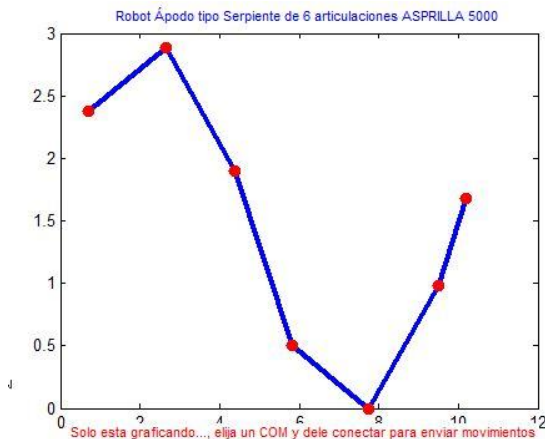


Figura 27: Panel de visualización.

[Autores]

Este módulo es conformado por un Axes donde se puede observar la gráfica que genera cada punto calculado o ángulos, dando como resultado los movimientos de la serpiente robótica.

## 7 VISUALIZACIÓN DE LA SERPIENTE ROBÓTICA EN 3D

En esta parte podremos observar como sería el mecanismo robótico, si no se contara con la serpiente robótica físicamente, Pues facilita la comprensión y análisis del mecanismo. A continuación fotos del modelado en 3d hecho en V-Realm Builder 2.0.

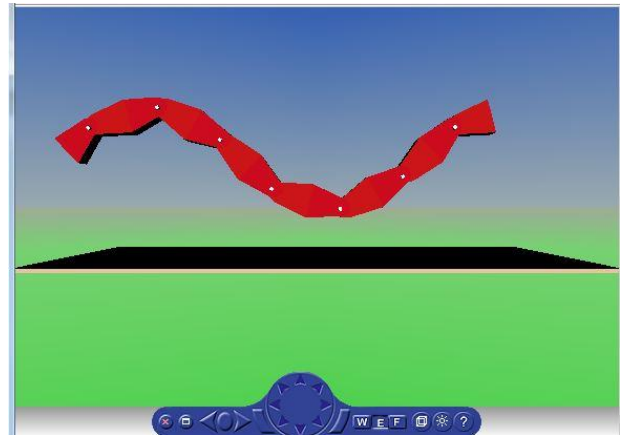


Figura 28: Vista frontal modelo 3d Asprilla 5000.

[Autores]

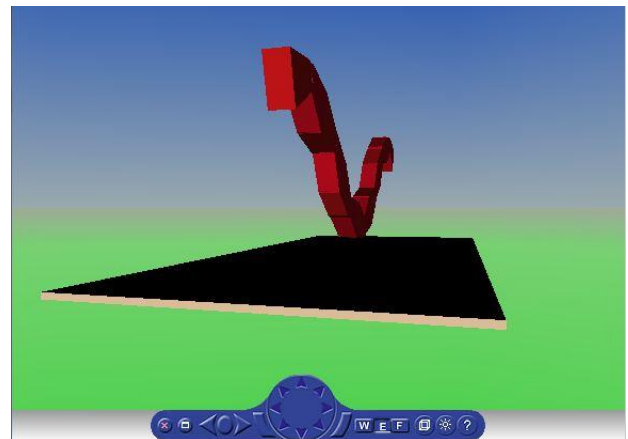


Figura 29: Vista de espalda modelo 3d Asprilla 5000.

[Autores]

## 8 CÓDIGO IMPLEMENTADO EN ARDUINO Y MATLAB

Link donde se puede encontrar toda la información del código de arduino y matlab:

[https://github.com/anrideni/Robot\\_apodo](https://github.com/anrideni/Robot_apodo)

### 9 CONCLUSIONES

Al añadir más módulos al sistema, los movimientos del robot, serán más fluidos y visualmente más similares a una gráfica sinusoidal.

Estos robots tipo apodo, son un buena fuente de conocimiento, que se pueden plasmar en diferentes aplicaciones para trabajos futuros.

Al enviar datos por el monitor serial entre Arduino y Matlab, el timer no debe estar con un periodo menor a 0.0001, ya que generaría un error en la comunicación serial y posteriormente al software.

El trabajar con la interfaz GUIDE facilita el control del robot, ya que podemos elementos gráficos intuitivos que permiten el sencillo uso para cualquier usuario que no conozca la elaboración del código.

Trabajar con modelados 3d es una forma muy eficaz para planificar trabajos, de este modo horrando gastos en construcciones o diseños y tiempo. Ya que el modelo no da una futura vista del mecanismo a realizar.

### 10 WEBGRAFIA

1. [www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-reloaded/download/tea.pdf)
2. <http://menteerrabunda.blogspot.com.co/2009/10/robots-apodos.html>
3. <http://noticiasdelaciencia.com/not/9015/robot-serpiente-para-explorar-marte/>