

# Ball and Beam - Instrucciones de armado

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Laboratorio de Control Automático (86.22) - Dr. Ing. Claudio D. Pose

## 1 Descripción de la planta

El sistema a ser controlado se basa en un típico problema de control llamado *Ball and Beam*, donde una bola se mueve linealmente sobre una barra. El mismo puede visualizarse en la Fig. 1.

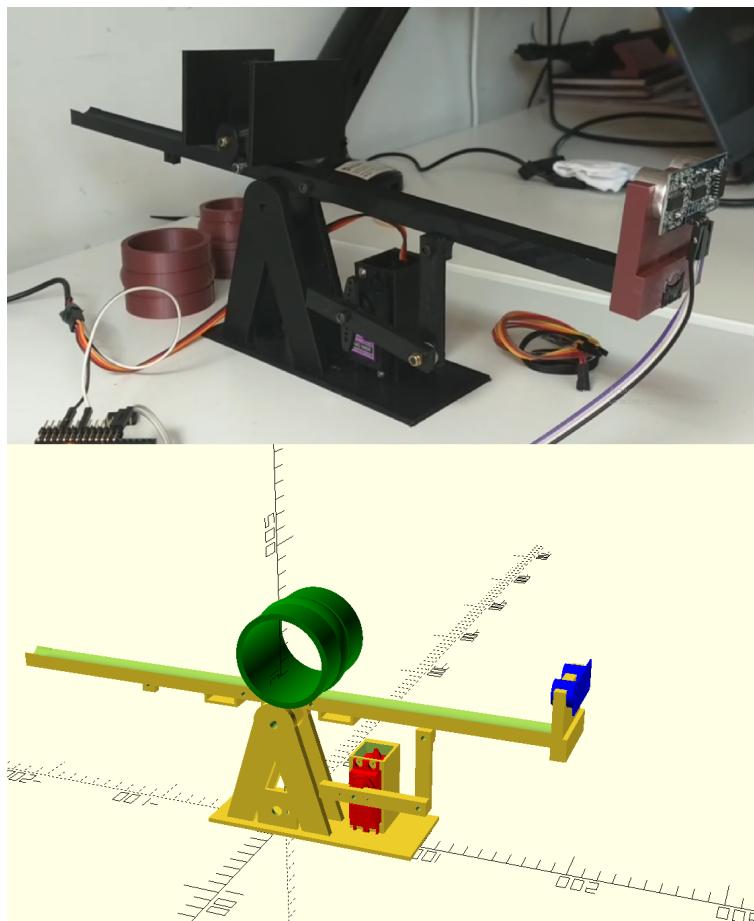


Figure 1: Sistema Ball and Beam

El mecanismo es simple, donde un servomotor controla la inclinación de la barra, y eso causa que la bola acelere en alguna dirección de acuerdo a la proyección del vector de gravedad. En este proyecto, en lugar de una bola se utilizará una rueda, un carrito, o cualquier otra posibilidad disponible. A continuación, se presenta la tabla de componentes necesarios:

Cant.	Descripción
1	Arduino, preferentemente UNO R3 al ser el de mejor calidad-precio. Cualquiera es aceptable.
1	Servo MG996R 12Kg.
1	IMU MPU6050 en placa de desarrollo.
1	Sensor de distancia HC-SR04 (NO el formato I2C, sino el Trigger/Echo).
1	Potenciómetro 10K lineal, con perilla de 20mm de largo y 6mm de diámetro.
1	Rulemán 626zz, diámetro 19mm externo, 6mm interno, y espesor 6mm.
1	Piezas impresas 3D.
1	Fuente de 5V-3A, de las típicas de cargador de celular.
1	Tornillería cabeza aleación M3: 1) 10mm; 2) 15mm; 2) 20mm; 2) 30mm. 6 tuercas autofrenantes y 10 arandelas. Tornillo M6 de 30mm y tuerca. Tornillos para servo.

## 2 Instrucciones de armado

### 2.1 Mecánica

La Fig. 2 representa el proceso de armado mecánico del sistema.

Se comienza ubicando el ruleman dentro del alojamiento de una media barra como en la subfigura (a), para luego completar con la otra media barra, quedando sujetas mediante dos tornillos M3 de 20mm con tuerca autofrenante como en la subfigura (b).

Se montará el soporte del ultrasonido simplemente a presión, si se desea mayor seguridad, se puede agregar una pequeña gota de pegamento, como se muestra en (c).

Se instalará el servo en la base como en la subfigura (d) con los tornillos que vienen con el mismo, y posicionado de forma tal que al comandarle una señal de punto medio, el accesorio en cruz quede con los brazos apuntando lo mas vertical y horizontal posible. Esto permitirá que en el punto medio de comando, la barra quede perfectamente horizontal.

Para montar la barra en la base, se apoyarán las arandelas separadoras una a cada lado del rulemán como en la subfigura (e), y se deslizará cuidando que no se caiga ninguna dentro de la base como en (f). Se sujetará con un tornillo M6 de 30mm con tuerca como se muestra en (g), puede ajustarse con fuerza dado que no causará rozamiento.

Se montará la barra del servo (la que tiene la forma de encastre, puede que haya que recortar ligeramente la cruz del servo) de manera horizontal y apuntando a la derecha como en (h), y se ajustará con un tornillo M3 de 10mm. Pasando a la Fig. 3, se montará la barra del brazo del lado externo con un tornillo M3 de 15mm con tuerca autofrenante como en (a), de tal que quede lo suficientemente apretado para que no haya mucho juego, pero que tampoco haya rozamiento. finalmente, se unirán ambos brazos con un tornillo



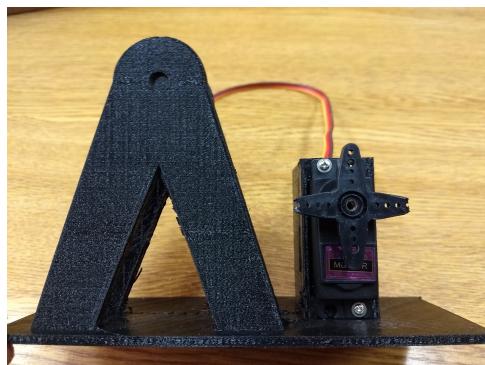
(a) Montaje del ruleman en media barra.



(b) Montaje de barra completa.



(c) Montaje de soporte de ultrasonido.



(d) Montaje de servo en base.



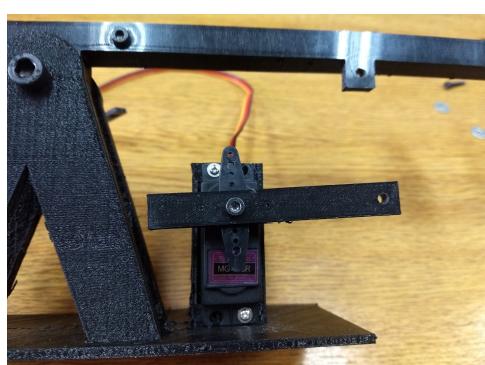
(e) Montaje de arandelas separadoras.



(f) Montaje de barra en base.

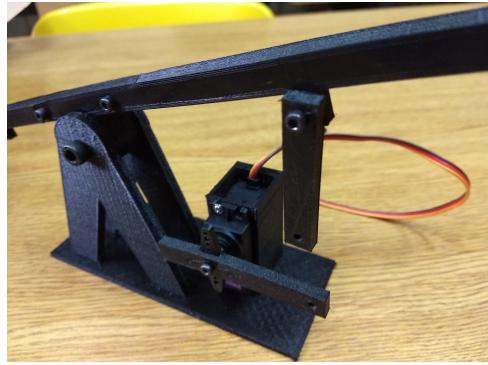


(g) Montaje de barra en base.



(h) Montaje de brazo de servo.

Figure 2: Proceso de montaje



(a) Montaje del brazo de la barra.



(b) Unión de ambos brazos.

Figure 3: Proceso de montaje.

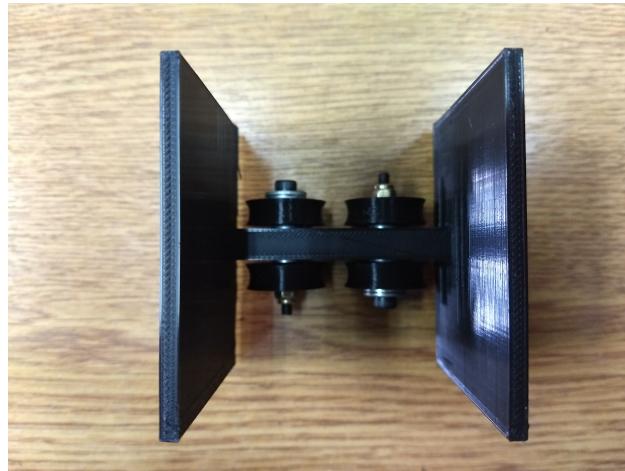


Figure 4: Armado del carro

M3 de 15mm con tuerca autofrenante, usando arandelas M3 para que actúen como separación y queden perpendiculares como en (b), cuidando nuevamente que no haya juego ni rozamiento.

Para quienes utilicen el carro, se montará con tornillos M3 de 30mm con tuercas autofrenantes, y usando arandelas separadoras entre carro y ruedas para disminuir rozamiento, como se observa en la Fig. 4.

## 2.2 Electrónica

En la Fig. 5 puede observarse el esquemático de las conexiones del sistema para un Arduino Uno, pero son válidas para cualquier modelo.

La IMU MPU6050 sólo debe conectarse con alimentación de 5V y masa, además de los pines de comunicaciones I2C denominados SDA y SCL, los cuales suelen estar marcados en cualquier Arduino con el mismo nombre.

El potenciómetro debe conectarse en sus extremos a 5V y masa (sin importar cuál extremo a cuál), y su punto medio debe conectarse a cualquiera de las entradas analógicas del Arduino.

El servomotor debe conectarse a 5V y masa de la fuente externa, dado que requiere mucha mas corriente de la que puede proveer el Arduino. Sin embargo, debe conectarse la masa de la fuente con la masa del Arduino para que tengan los mismos niveles de referencia. La señal de control PWM del servo debe conectarse a alguna de las salidas digitales con capacidad de PWM del Arduino, que suelen estar marcadas con el carácter “~”.

Es **EXTREMADAMENTE** importante que la IMU y el potenciómetro obtengan su alimentación desde el Arduino, ya que la misma se obtiene de una fuente regulada. La alimentación externa para el servo, al

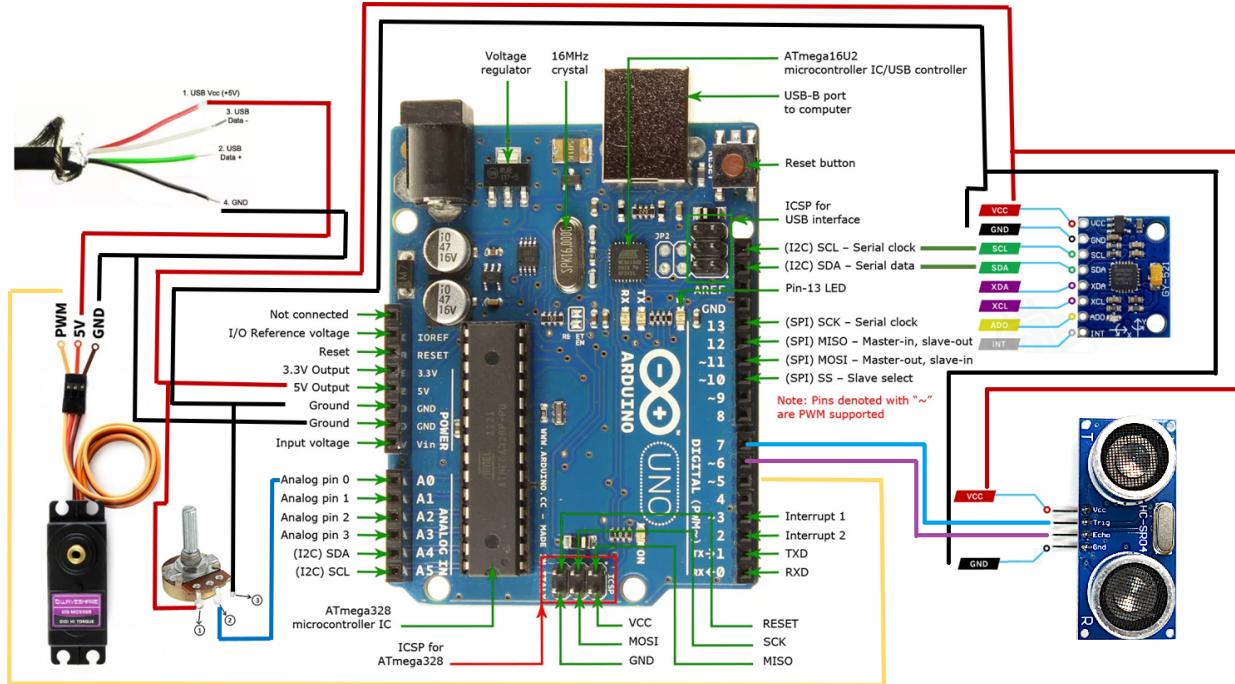


Figure 5: Cableado del péndulo

tener requerimientos instantáneos altos de corriente, sufre frecuentemente de efectos de carga, disminuyendo la tensión. Si se conectan los componentes a la misma alimentación del servo, eso puede provocar reinicios de la IMU, y modificar la tensión de referencia del potenciómetro volviendo inutilizable su medición.

### 3 Puesta en marcha

Para poner a funcionar el sistema, se recomienda primero probar todos los subsistemas por separado. Para ello, es útil programar algunas funciones para cada tarea. Por ejemplo:

- Programar una función que tome el valor analógico del potenciómetro, y devuelva un valor de ángulo donde está posicionado el brazo.
- Programar una función que reciba como parámetro un ángulo de referencia, y mueva al servomotor a dicho ángulo. Puede ser conveniente saturar las respuestas a los valores máximos y mínimos que debería tener.
- Se puede combinar el uso de ambas funciones para modelar la respuesta del servomotor ante una entrada angular.

En el caso de la IMU, es muy compleja la programación desde cero, con lo cual se pueden utilizar librerías disponibles para Arduino. Observe la orientación de la placa con el sensor, y proponga un filtro complementario para medir el ángulo de la barra. Utilice solo aquellos sensores que son útiles para el problema en cuestión.

Se recomienda calibrar todos los sensores de la mejor manera posible para hacer más sencillo el trabajo. Por ejemplo, con el péndulo perfectamente vertical, el giróscopo  $x$  debería marcar cero, y los acelerómetros  $y$  y  $z$  deberían medir cero y la gravedad, respectivamente. Si existe un bias, se puede corregir por software. De la misma manera, se puede medir con un transportador o similar el ángulo del brazo para calibrar los PWM del servo y las mediciones del potenciómetro.