

**Instituto Tecnológico de Buenos Aires**

31.99 - MECATRÓNICA APLICADA

---

# **Trabajo práctico N°I**

One Wheel

---

*Alumno*

LAMBERTUCCI, Guido Enrique 58009

*Profesores*

PERFUMO, Lucas Alberto  
BASUALDO, Hernán Federico

Presentado: 18/08/21

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Uso . . . . .	2
1.2. Alternativas . . . . .	2
<b>2. Esquema físico</b>	<b>2</b>
<b>3. Esquema de control</b>	<b>3</b>
3.1. Variable de medición . . . . .	3
3.2. Sensores . . . . .	3
3.2.1. Acelerómetro . . . . .	3
3.2.2. Giróscopo . . . . .	4
3.2.3. Magnetómetro . . . . .	4
3.2.4. Sensor fusion . . . . .	5
3.3. Actuadores . . . . .	8
3.3.1. Motores . . . . .	8
3.4. Lazo de control propuesto . . . . .	8
3.4.1. Lazo de control . . . . .	8
3.4.2. Motores FOC . . . . .	8
3.4.3. Kalman Filter . . . . .	8

## 1. Introducción

En el siguiente trabajo de ingeniería inversa se eligió como producto el One Wheel. Es una patineta eléctrica usada mayormente con fines recreativos, aunque también es utilizada para transporte.



Figura 1: OneWheel.

### 1.1. Uso

Para su uso basta con colocar los pies sobre las superficies con lija e impulsarse para poner la patineta en posición horizontal. Esto activará el sistema de balance automático de la patineta, el cual equilibrará la tabla en posición horizontal. Para acelerar basta con desplazar el peso de uno en la dirección deseada, lo cual indicará a la tabla el cambio que debe hacer.

### 1.2. Alternativas

En el mercado existe otras alternativas similares al OneWheel tales como el monociclo eléctrico.



Figura 2: Monociclo eléctrico.

Algunas características en las que difieren estas dos alternativas son: la posición en la que uno pone las piernas, la dirección de avance (con los pies ortogonales al movimiento o no) el tamaño y el perfil de uso.

## 2. Esquema físico

El OneWheel está compuesto por diversas partes dentro de ellas se pueden mencionar los siguientes elementos

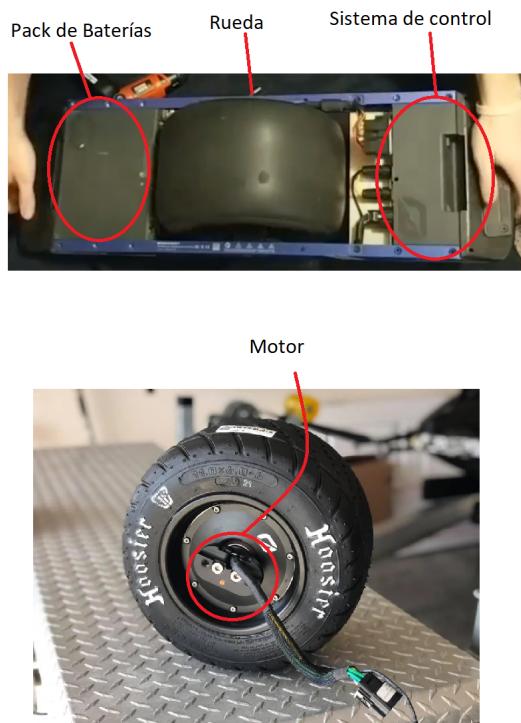


Figura 3: Esquema de componentes.

Ademas en la unidad de control se distinguen una unidad de medidas iniciales (IMU), algún microcontrolador (MCU) para realizar el control programable, baterías, rueda, una carcasa con antideslizantes.

### 3. Esquema de control

#### 3.1. Variable de medición

Las variables de medición son el ángulo respecto de la normal a la tierra. Ya que en el sistema de control de balance automático tiene como finalidad mantener el ángulo ortogonal al piso, el control de velocidad es realizado por otro sistema.

#### 3.2. Sensores

Los sensores utilizados en el sistema de balance automático del OneWheel son:

- Acelerómetro
- Magnetómetro
- Giróscopo

##### 3.2.1. Acelerómetro

El acelerómetro como su nombre indica mide la magnitud física de la aceleración, el principio de funcionamiento del utilizado en el OneWheel consiste en la medición de una capacidad que resulta proporcional a la aceleración.

Esto se debe a como está diseñado el sensor. Cuenta con una masa unida a unos resortes, esta masa tiene unas paletas a lo largo de su cuerpo, que se intercalan con otras ajenas a la masa. Cuando esta masa sufre una aceleración , la distancia entre las paletas de la masa y las ajenas a la misma cambian, por lo tanto la capacidad entre ellas varía.

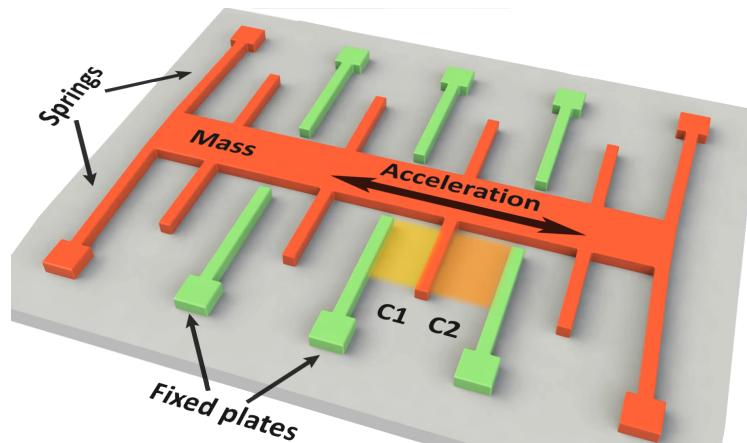


Figura 4: Acelerómetro.

Este esquema es útil para ilustrar el principio de funcionamiento del acelerómetro, aunque vale la pena mencionar que este esquema permite medir la aceleración en un solo eje. Deberían utilizarse 3 de estos dispositivos para poder medir los 3 ejes.

### 3.2.2. Giróscopo

El giróscopo mide velocidad angular utilizando el efecto coreolis. El efecto coreolis enuncia que:

$$\vec{F}_c = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) \quad (1)$$

Como se observa en la ecuación (1) para que haya efecto coreolis debe haber una velocidad no nula. Por lo que la microestructura del sensor es la siguiente: Hay una masa (roja) la cual se encuentra en movimiento constante (debido a la masa amarilla), la masa roja tiene un sistema similar al del acelerómetro, donde cambia la capacidad dependiendo la posición, cuando al sistema se le agrega una velocidad angular a la masa se le agrega una componente ortogonal en su movimiento (debido a la fuerza coreolis) por lo que cambiara la capacidad entre las paletas y se podrá obtener la velocidad angular.

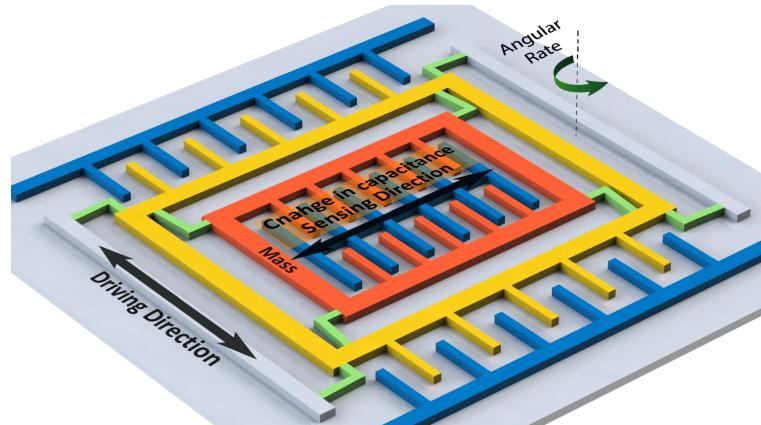


Figura 5: Giróscopo.

Al igual que el acelerómetro esto permite la medición en un eje, y para obtener los otros se necesitarán más sensores.

### 3.2.3. Magnetómetro

En cuanto a los magnetómetros pueden existir en dos tecnologías usualmente, los que utilizan el efecto Hall y los que usan el efecto magneto-resistivo ambos con el fin de medir el campo magnético  $\vec{H}$ .

El efecto Hall dice que dada una corriente que circula por un conductor, al acercar un campo magnético este polarizará el material, pudiendo medir una diferencia de potencial entre los extremos del conductor, proporcional al campo magnético. El efecto magnetoresistivo se basa en utilizar elementos cuya resistencia sea sensible a campos magnéticos tales como el hierro y el níquel.

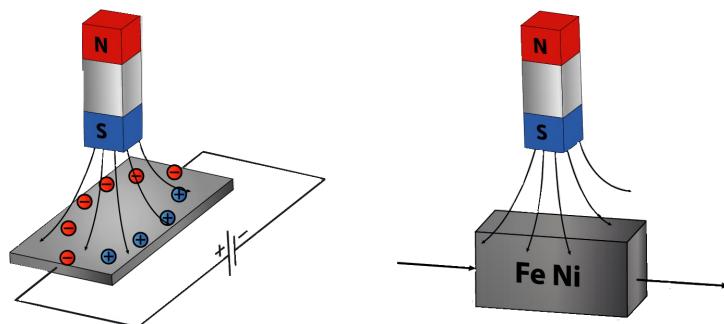


Figura 6: Magnetómetro.

### 3.2.4. Sensor fusion

La técnica de *sensor fusion* consiste en combinar las mediciones de por lo menos 2 fuentes de información en una manera que genere un **mejor entendimiento** del sistema estudiado. Donde por mejor entendimiento se interpreta como mas consistente, mas preciso, mas confiable.

En el caso del OneWheel vamos a utilizar sensor fusion para estimar la rotación de la tabla respecto de la normal de la tierra. Para esto se elige como marco de referencia de la tierra, los puntos cardinales norte y este, y la dirección "Abajo". Para ubicar la posición de la tabla en función del marco de refernecia mencionado basta con utilizar el acelerómetro y el magnetómetro. Si se asume que la tabla se encuentra estática se puede medir la aceleración la cual indicará que dirección es arriba (opuesta a la gravedad), luego uno pensaría que para determinar el norte basta con medir la dirección del campo magnético, pero esto no es asi, debido a que las líneas de campo tienen diversos ángulos de ataque dependiendo en que zona del mundo uno se encuentra (Esto no sucede en una brújula debido a que esta se encuentra limitada a un espacio bidimensional).

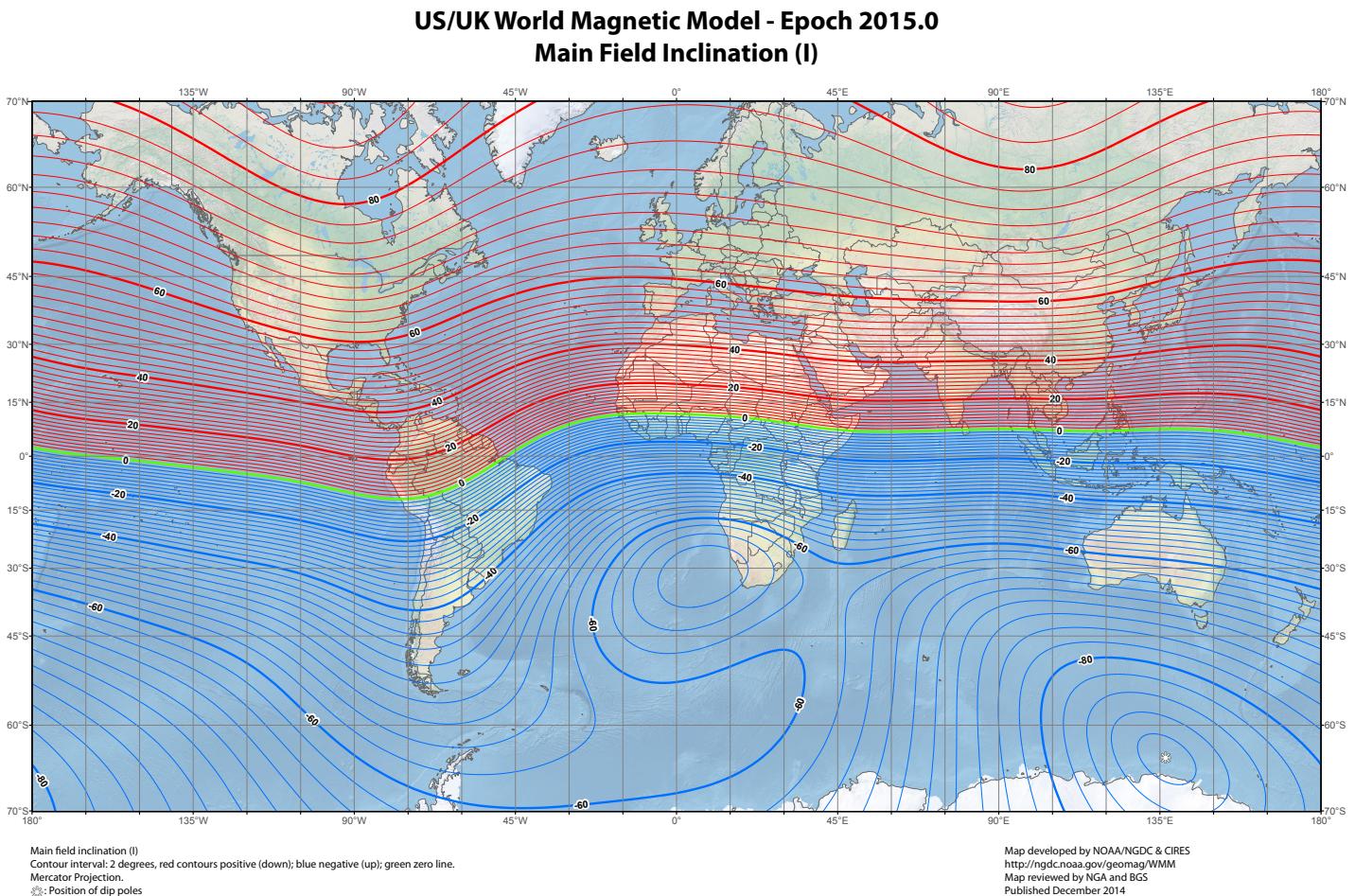


Figura 7: Campo magnético terrestre.

En Argentina por ejemplo este ángulo varía entre -20 y -55 grados. Por lo que el vector claramente no estará únicamente en el sentido norte.

Para obtener el sentido norte basta con realizar productos vectoriales dado que:

$$\vec{Este} = \vec{Arriba} \times \vec{H} \quad (2)$$

y finalmente

$$\vec{Norte} = \vec{Este} \times \vec{Abajo} \quad (3)$$

Queda definido tanto el marco de referencia propio como así también el terrestre. Con ellos se pueden armar los cosenos directores y tener la orientación de la tabla en el espacio.

Si bien esto resulta muy satisfactorio para las condiciones iniciales propuestas, cuando uno mueve la tabla, el acelerómetro no medirá únicamente la aceleración de la gravedad sino que todo tipo de aceleración por lo que no medirá correctamente que dirección es "Abajo". Otro problema que surge depende de donde está ubicado la IMU, dado a que si el acelerómetro no está en el eje de rotación, al rotar detectará una aceleración.

Otro problema existe debido a que el campo magnético terrestre no es el único que interacciona con el magnetómetro, por lo que la medición no será correcta. Para solucionar este problema hay diversos métodos, si la perturbación magnética es parte del sistema y rota con el magnetómetro puede ser calibrado. Este tipo de perturbaciones se llaman "Hard iron source" y "Soft iron source".

Una "Hard iron source" es una que genera su propio campo magnético, por ejemplo un imán, una bobina, etc. por lo que agrega un campo magnético fijo además del terrestre.

Mientras que una "Soft iron source" es un material ferromagnético que tendrá el efecto de doblar las líneas de campo magnético.

Estos tipos de perturbaciones tienen distintos efectos en las mediciones del campo, idealmente al rotar el magnetómetro en todas las direcciones, se registraría una esfera centrada en el campo magnético terrestre, mientras que la contribución de las "Hard iron source" provocaría un offset en el centro de esta esfera, y las "Soft iron source" provocarían una distorsión en esta esfera tornándola en un elipsode.

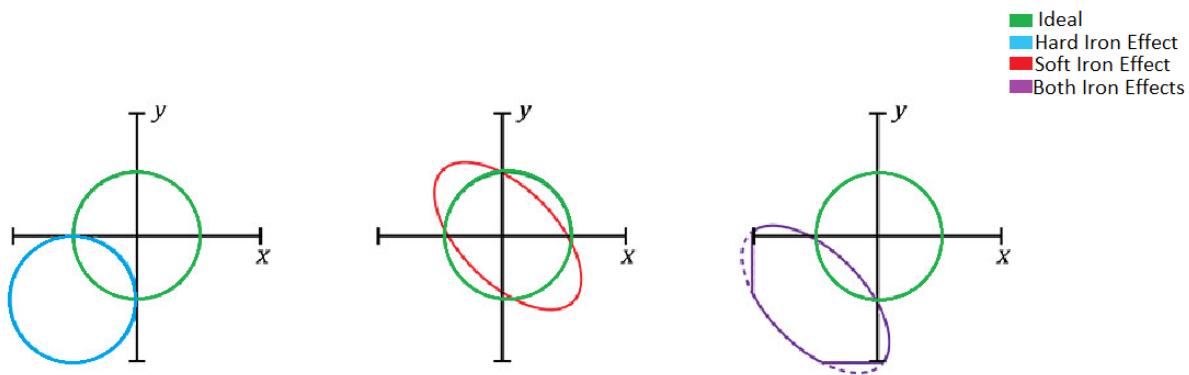


Figura 8: Campo magnético perturbados.

Si se mide el elipsoide desplazado antes de realizar mediciones, se puede encontrar el vector de offset y la matriz de transformación que corrige el elipsoide a una esfera perfecta.

$$\vec{x}_{corrected} = (\vec{x}_{meas} - \vec{b}_{off}) \cdot \vec{A} \quad (4)$$

En cuanto al problema de la aceleración plantearemos 2 métodos que pueden trabajar en conjunto para solucionarlo. El primer método es útil si la aceleración es resultado de los actuadores del sistema. Teniendo un buen modelo del sistema, se puede utilizar un observador de estados para predecir cual será la salida del sistema dado el comando del actuador, y restar la aceleración estimada de la medida, para obtener la gravitatoria.

Si no es posible predecir la aceleración porque esta viene de un sistema ajeno al nuestro, una técnica útil es descartar las mediciones que estén fuera de un rango de 1 g

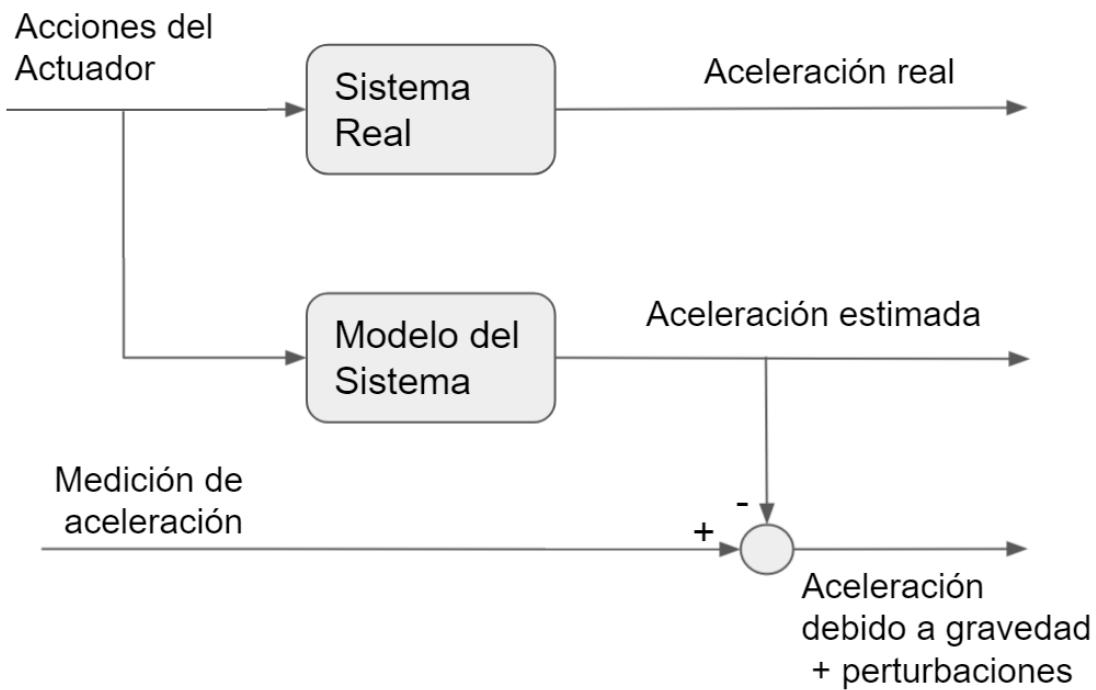


Figura 9: Algoritmo medición gravedad

La solución de descartar las mediciones fuera de un rango de 1 g, trae el problema que en estos momentos, se pierde la orientación del objeto, lo cual para algunos sistemas no es un problema como alguno estacionario. Mientras que para otros si, donde el sistema este acelerando o rotando.

Hasta ahora se utilizó sensor fusion para estimar el ángulo a partir del acelerómetro y un magnetómetro. A continuación se plantea como llegar al mismo fin, utilizando un giroscopio.

Un giroscopio mide velocidad angular, al multiplicarla por el período de muestreo se obtiene el cambio de angulo en ese tiempo, al sumarle el delta anterior se obtiene el ángulo acutal.

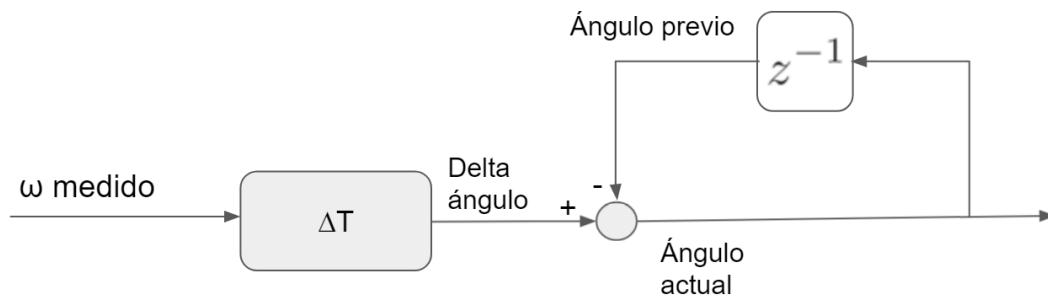


Figura 10: Algoritmo medición ángulo

Básicamente es integrar las mediciones del giróscopo. Esta técnica tiene algunos problemas, primero se necesita un ángulo inicial por donde comenzar la estimación. Además los sensores no son perfectos, tienen error de offset y ruido, por lo que al integrarlo si bien el ruido puede ser reducido (pasabajos), el offset producirá que haya un error de deriva, provocando que el error aumente en función del tiempo.

Con las dos alternativas para la medición del ángulo tenemos ventajas y desventajas. Para el acelerómetro + magnetómetro tiene la ventaja de producir una medición absoluta, mientras que es corrompido por perturbaciones. Y el giróscopop que puede obtener mediciones relativas ante disturbios, pero necesita una orientación inicial y tiene el problema de la deriva.

La idea de sensor fusion nuevamente será combinar las estimaciones de ambos sistemas de manera que enfatice sus ventajas y minimice sus puntos débiles. Para lograr esto existen diversos métodos, por ejemplo se pueden utilizar filtros complementarios, de Kalman, de Madgwick o de Mahony entre otros.

En líneas generales todos comparten el siguiente esquema:

- Definen condiciones iniciales, sea de manera manual o utilizando mediciones iniciales.
- Utilizan las mediciones del acelerómetro y magnetómetro para corregir la deriva del giróscopo.
- Las estimaciones de en que solución se confía mas dependerá en una regla de decisión, en el complementario es decidido por el diseñador y en el filtro de kalman es la ganancia de kalman por ejemplo.

### 3.3. Actuadores

#### 3.3.1. Motores

### 3.4. Lazo de control propuesto

#### 3.4.1. Lazo de control

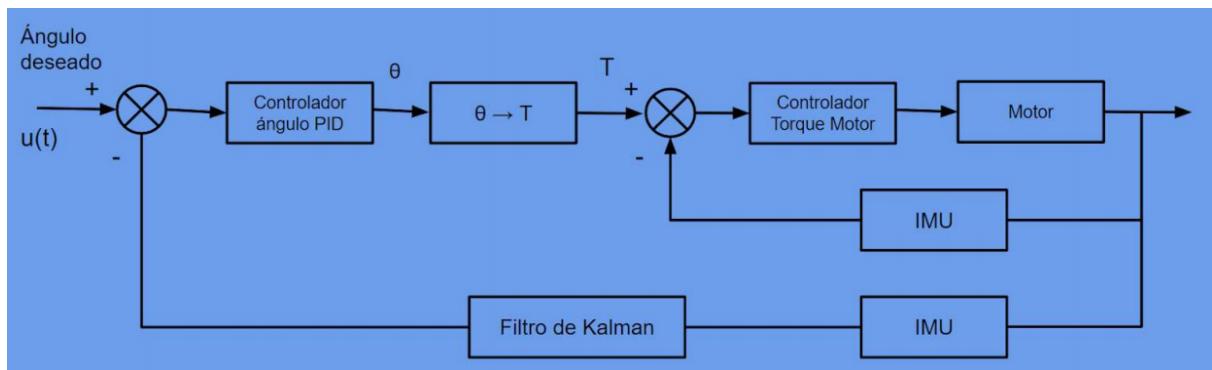


Figura 11: Lazo de control.

#### 3.4.2. Motores FOC