

# Microbótica

## Índice

Índice

Tema 1: Motores

1.1. Características principales de un motor

1.2. Mediciones

1.3. Alimentación

1.4. Tipos de motor

1.4.1. Estudio motores DC

1.4.2. Estimación de parámetros

1.4.3. Potencia y eficiencia

1.5. Bucles de control cerrados

1.5.1. Codificadores

1.5.2. Controladores Bang Bang

1.5.3. Controladores PID

1.6. Movimiento motores

## Tema 1: Motores

### 1.1. Características principales de un motor

Los motores se encargan de transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

En la mayoría de casos, utilizaremos motores para mover a los micro-robots, en concreto, solemos utilizar un mínimo de 2 motores.

Parámetros a considerar en un datasheet:

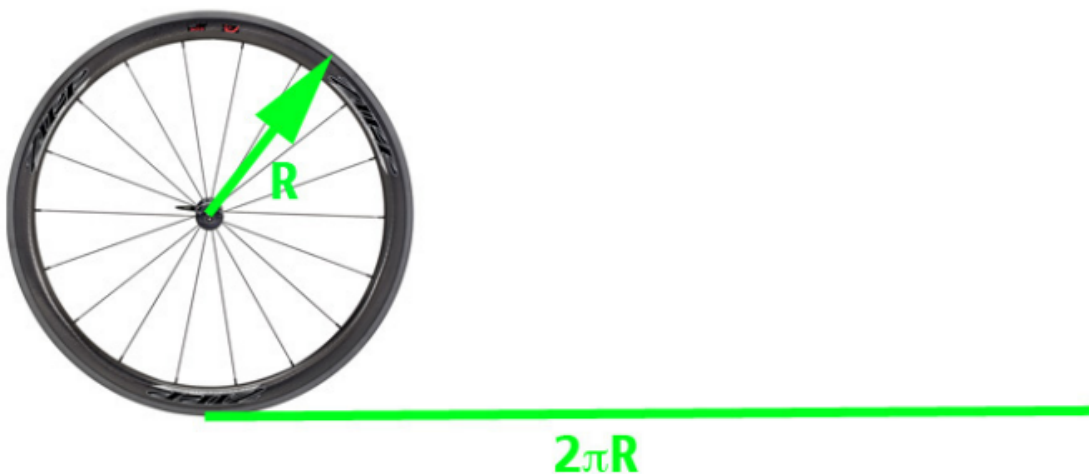
- **Tensión de operación:** la tensión nominal recomendada para hacer funcionar al motor. Si revertimos los polos de la tensión podemos hacer que el motor gire en sentido contrario pero podría provocar espurios que pueden romper al motor. Lo mismo ocurriría si tenemos un motor junto con un microcontrolador, por lo que sería importante tener un regulador de tensión junto con un filtro de diodos para eliminar (dentro de lo posible) los espurios ocasionados.
- **Consumo de corriente:** corriente requerida por el motor. Existen 4 tipos de corrientes a considerar:
  - **No load/sin carga:** corriente que requiere sólo el motor.

- **Load/carga:** estimación de la corriente.
- **Stalled/Bloqueado:** corriente que máxima que puede soportar el motor cuando lo bloqueamos. **Hay que evitar alcanzar esta corriente o el motor puede quemarse.**
- **Shorted/Corto:** corriente en la que el motor se encuentra en cortocircuito. **Tampoco hay que alcanzar dicha corriente.**
- **Torque/Par de torsión:** es la fuerza del motor que se encuentra en un punto. Cuando mas cerca se encuentre la fuerza a aplicar del motor, menor será la fuerza requerida a aplicar.
- **Velocidad:** cómo de rápido gira el motor, normalmente en rpm. **Tener en cuenta que a mayor fuerza menor es la velocidad del motor.**

## 1.2. Mediciones

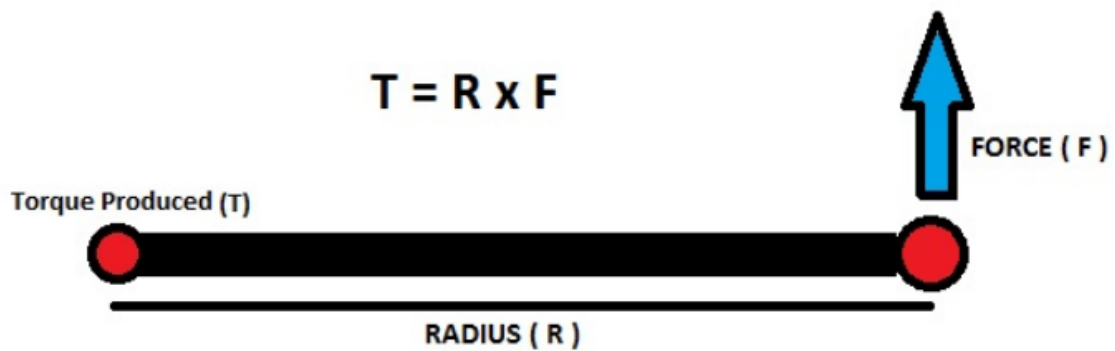
- **Mediciones de velocidad** (generalmente el robot se moverá con una rueda):

$$\text{ideal speed (m/s)} = \text{Motor speed (rpm)} \cdot 2\pi R \text{ (meters)} / 60$$



- **Mediciones del torque:**

$$\text{Torque} = \text{Moment} = \text{Fuerza} \cdot \text{distancia}$$



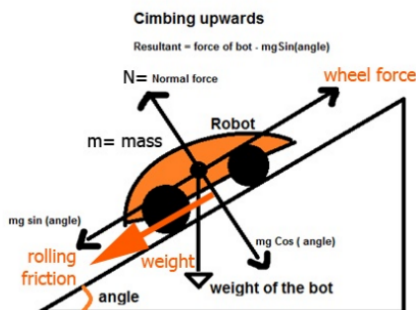
Si queremos buscar el centro de masa para repartir la fuerza a aplicar, buscamos el punto de equilibrio con la mano → Poco exacto pero rápido.

Tener en cuenta que cualquier variación de peso afecta al torque.

- **Mediciones en pendientes:**

Si tenemos una pendiente, ésta contribuye a las fuerzas ascendentes y descendentes

de forma negativa y positiva respectivamente. Por lo tanto, **la pendiente afecta al toque.**



$F_w$  = force to move up the slope

$F_f$  = force of rolling friction

$u$  = rolling resistance (N (force) / KN (vehicle weight))

#### Calculation

$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$  (robot weight):

- $\vec{F}_r = \vec{F}_g \cdot \sin(\text{angle})$

- $\vec{N} = \vec{F}_g \cdot \cos(\text{angle})$

$\vec{F}_f = u \cdot \vec{N}$  (gen. u aprox. 0.1-0.3)

$\vec{F}_m > \vec{F}_r + \vec{F}_f$

$\text{Torque} = \frac{F_m \cdot r_{\text{wheel}}}{N_{\text{mot}}}$

Para nosotros, si el suelo es liso consideraremos el valor de  $u$  (rolling resistance, resistencia de rodamiento) de alrededor de  $u = 0.3$ .

De la función anterior del Torque, llegamos a la conclusión que cuando sube por una pendiente queremos que el radio de la rueda sea menor.

## 1.3. Alimentación

Los componentes de un robot no tienen por qué necesitar la misma tensión que el microcontrolador. En este caso, tenemos que alimentar el sistema con el voltaje mas alto pero que no varíe mucho con respecto al microcontrolador. Emplear reguladores de tensión con protección de picos.

La autonomía de un robot es afectada por:

- La **tensión suministrada**.
- El **peso** de la batería u otros componentes del robot. A mayor peso, mayor fuerza requerirá el motor para desplazarse por lo que requerirá mayor energía.
- La propia **capacidad de la batería** (corriente x tiempo). Por ejemplo, si una batería es capaz de proporcionar 3 Amperios/hora, equivale a decir que si se está requiriendo en todo momento los 3 Amperios de la batería, ésta durará 1 hora.

A la hora de realizar los cálculos de la estimación de la autonomía de nuestro robot, mirar los datasheet de las baterías y realizar los estudios para los casos peores. Tener en cuenta que cuanto mayor sea la descarga de la batería, menor será su capacidad.

Podemos conectar baterías de 2 formas distintas, considerando siempre que utilizamos baterías del mismo tipo con iguales capacidades:

- En serie: la tensión resultante es la suma de tensiones de cada batería en serie y la corriente es de la misma capacidad.
- En paralelo: obtenemos la misma tensión pero la corriente se dobla.

## 1.4. Tipos de motor

- **Motores DC continuos:** giran de manera continuada hasta que se les quite la alimentación. Podemos controlar la velocidad variando la corriente y se activan/desactivan variando el **PWM**. Tiene un buen torque. Considerar que mayor peso mayor corriente será necesaria.

Podemos controlar el número de vueltas del motor o la velocidad encendiendo y apagando la alimentación, pero requiere de un codificador. Cuando un motor DC tiene un encoder decimos que el motor trabaja en bucle cerrado, en caso contrario trabajará en bucle abierto.

Los motores DC requieren de engranajes.

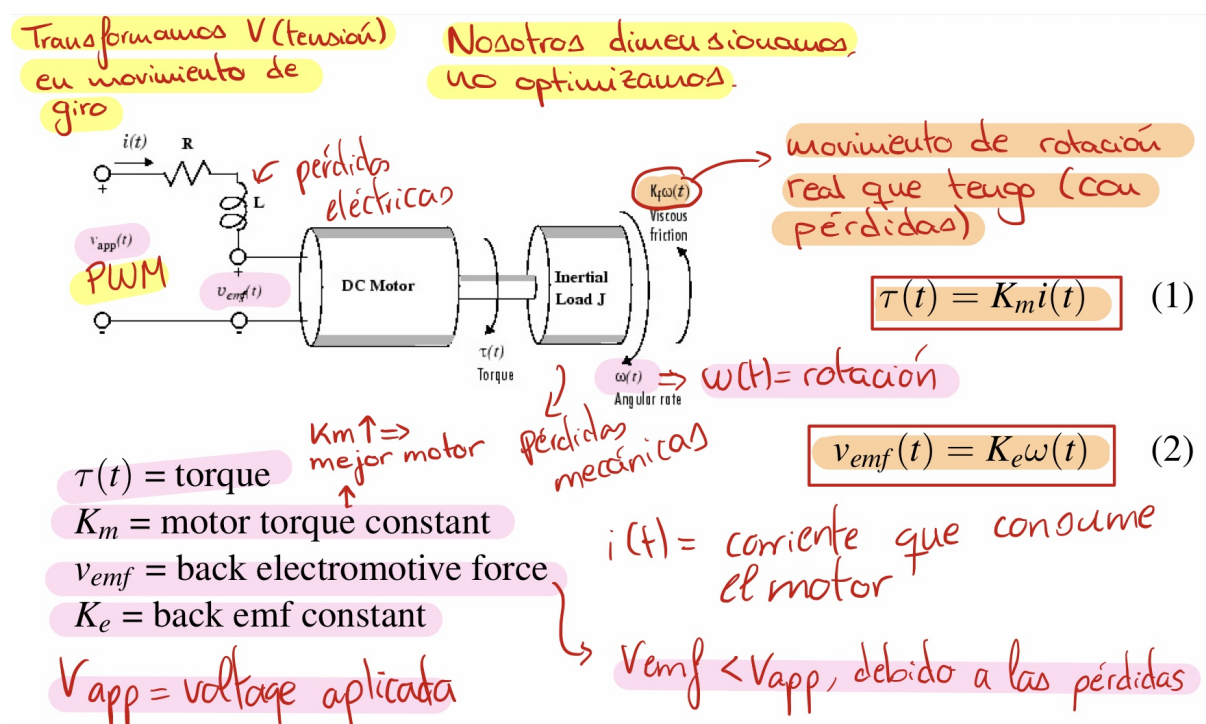
- **Motores paso a paso:** giran una cantidad de grados determinados dependiendo de la tensión aplicada obteniendo giros muy precisos. Su

rendimiento es peor cuando las cargas son variables y su consumo es mayor. Por tanto, no están pensados para giros continuos.

- **Servomotores:** son una combinación de motores DC continuos y motores paso a paso en los que se obtiene una menor precisión (pero buenos) que el motor paso a paso pero son más baratos.

### 1.4.1. Estudio motores DC

Aunque el estudio se enfoca en motores DC lo podemos extrapolar a los servomotores.



El datasheet de un motor DC al menos nos debe proporcionar:

- Características sin carga y bloqueado.
- Características de eficiencia máxima.
- Características de la máxima potencia de salida.
- (normalmente) los elementos reactivos ( $L$  y  $J$ ).

A partir de estos parámetros podemos estimar las constantes del motor ( $K_t$  y  $K_e$ ), su resistencia interna  $R$  y su constante de fricción  $K_f$ .

### 1.4.2. Estimación de parámetros

$$v_{app} = iR + v_{emf} \quad (3)$$

$$\tau = \tau_{converted} - \tau_{friction} \quad (5)$$

$$v_{app} - iR = K_e \omega \quad (4)$$

$$\tau + K_f \omega = K_m i \quad (6)$$

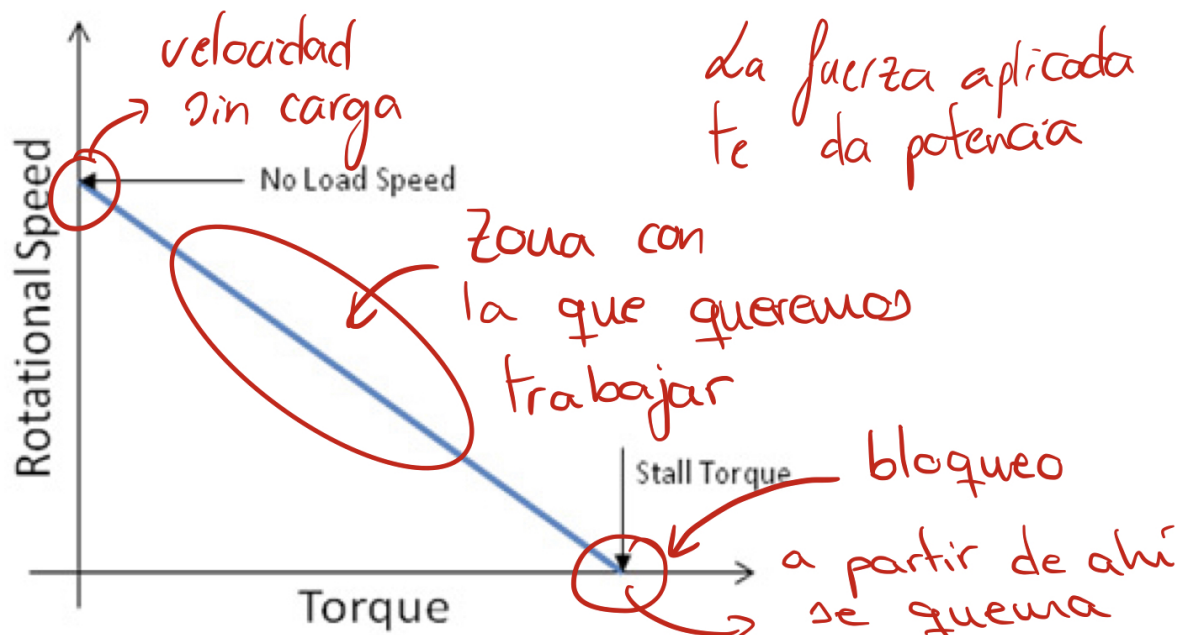
- $V_{app}$  y  $V_{emf}$  están relacionados a través de las pérdidas del motor debidas a i) la resistencia interna y ii) la fricción.
- El par se invierte en i) combatir la inercia y ii) el funcionamiento del eje.
- Siempre que tengamos  $\tau$ ,  $\omega$ ,  $i$  y  $V_{app}$  para al menos dos de los cuatro puntos de funcionamiento de un motor, podemos estimar  $K_f$ ,  $R$ ,  $K_e$  y  $K_m$ . Si disponemos de los datos de los puntos de funcionamiento sin carga o bloqueado, en esos puntos toda la energía se emplea en pérdidas internas (resistencia y fricción).

### 1.4.3. Potencia y eficiencia

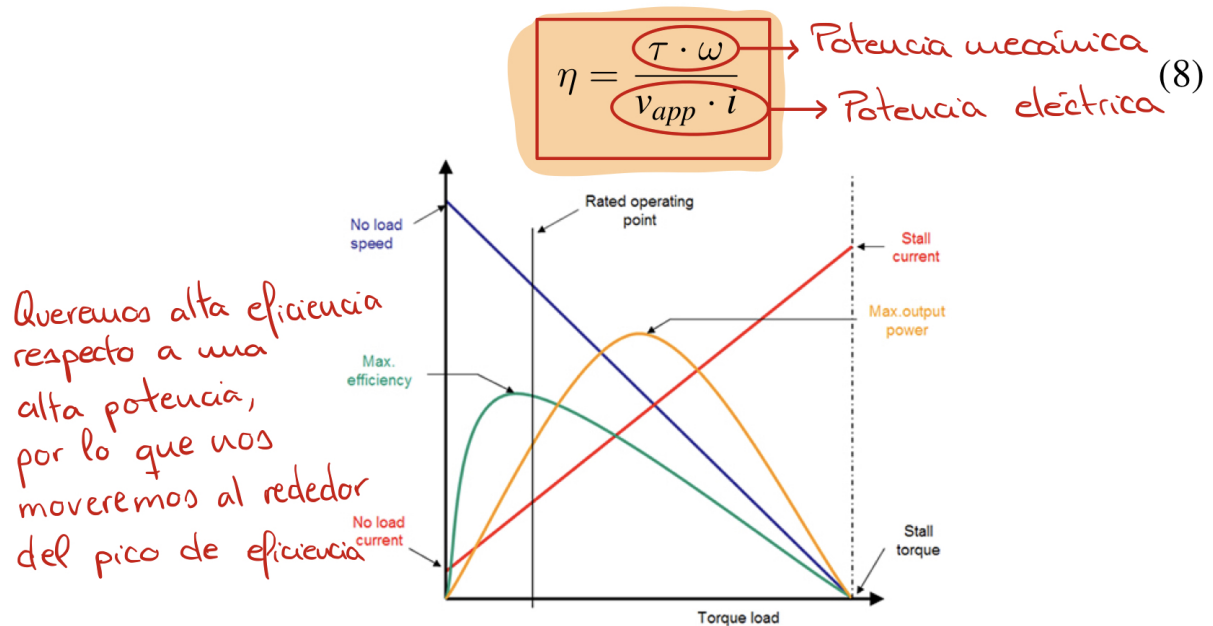
Potencia:

$$P_o = \tau \omega$$

La relación (de manera ideal) entre el torque del motor y la velocidad es lineal:



## Eficiencia:



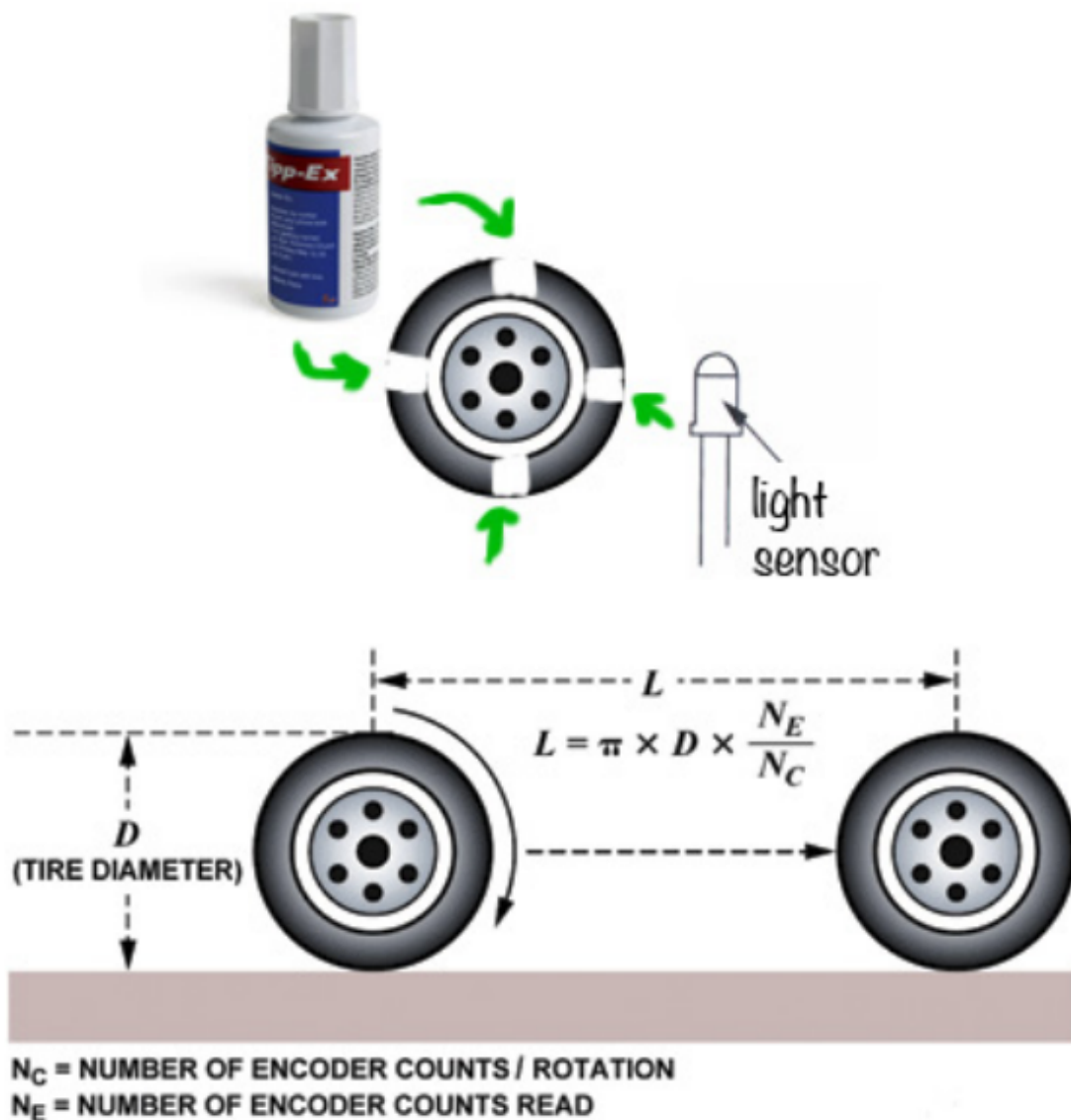
La eficiencia cambia para diferentes velocidades. En modelos de motor ideal la mayoría de las pérdidas se deben al calor

## 1.5. Bucles de control cerrados

### 1.5.1. Codificadores

Los motores giran más lento o más rápido dependiendo de factores como la carga. Para controlar la velocidad, necesitamos una retroalimentación directa (bucle de control cerrado).

Nosotros usaremos sensores ópticos para contar el número de vueltas que realiza un motor. Los sensores ópticos tienen menor resolución pero son más baratos que los sensores mecánicos.



### 1.5.2. Controladores Bang Bang

Para controlar la velocidad podemos ir encendiendo y apagando el motor. Dada una tensión objetivo  $V_d$  y una estimación de la velocidad real  $V_s$ :

$$R(t) = K_c \forall V_d \leq V_s$$

$$R(t) = 0 \text{ otherwise}$$

La primera ecuación hace referencia a que cuando la velocidad estimada es menor o igual que la velocidad objetivo le damos alimentación al motor, es decir,



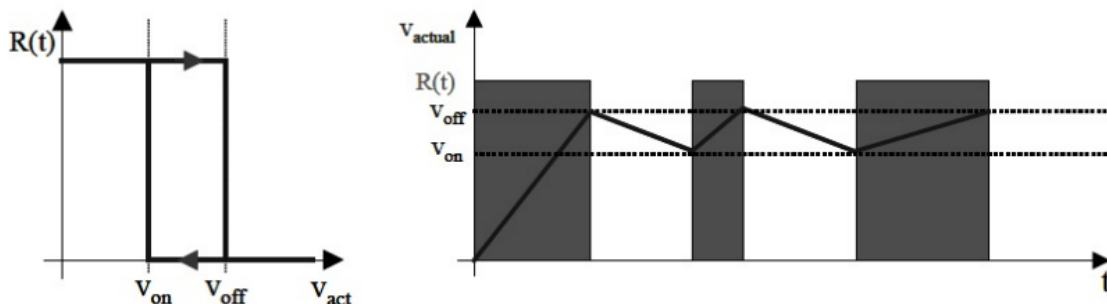
aumentamos el ciclo de trabajo. La segunda ecuación por tanto consiste en que una vez que el motor ha sobrepasado el destino se deja de alimentar.

Por tanto, vemos que el principal problema de este tipo de controladores son las oscilaciones. Por ello, establecemos un rango de valores de tensión en los que maniobrar:

$$R(t + \Delta t) = K_c \text{ if } V_d(t) < V_{on}(t)$$

$$R(t + \Delta t) = 0 \text{ if } V_d(t) > V_{off}(t)$$

$$R(t + \Delta t) = R(t) \text{ otherwise}$$



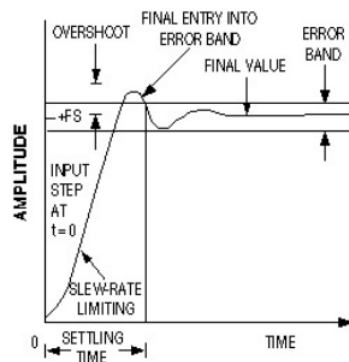
### 1.5.3. Controladores PID

El controlador PID (Proportional Integral Derivative) funciona en función de la diferencia entre  $V_d$  y  $V_s$ :

- Proporcional (P):  $R(t) = K_p \cdot (V_d(t) - V_s(t))$ . Cuanto mayor sea  $K_p$ , más rápido responde el controlador, pero si  $K_p$  es demasiado alto, el sistema oscila demasiado.
- Derivativo (D):  $R(t) = K_p \cdot e(t) + K_d \cdot (e_n - e_{n-1})/t_\Delta$  es combinado con P (proporcional) o PI (Proporcional + Integral) para alcanzar el equilibrio más rápidamente.
- Integral (I):  $R(t) = R_{n-1} + K_p \cdot (e_n - e_{n-1}) + K_i \cdot (e_n + e_{n-1})/2 + K_d \cdot (e_n - 2 \cdot e_{n-1} + e_{n-2})$  se combina con P (Proporcional) o PD (Proporcional + Derivativo) para reducir su error en estado estacionario.

Por lo tanto,  $K_p, K_i, K_d$  son parámetros que tendremos que ajustar.

El valor de las ganancias, que debe ajustarse manualmente, tiene un impacto en la rapidez con la que el sistema converge.



#### CL RESPONSE

Kp  
Ki  
Kd

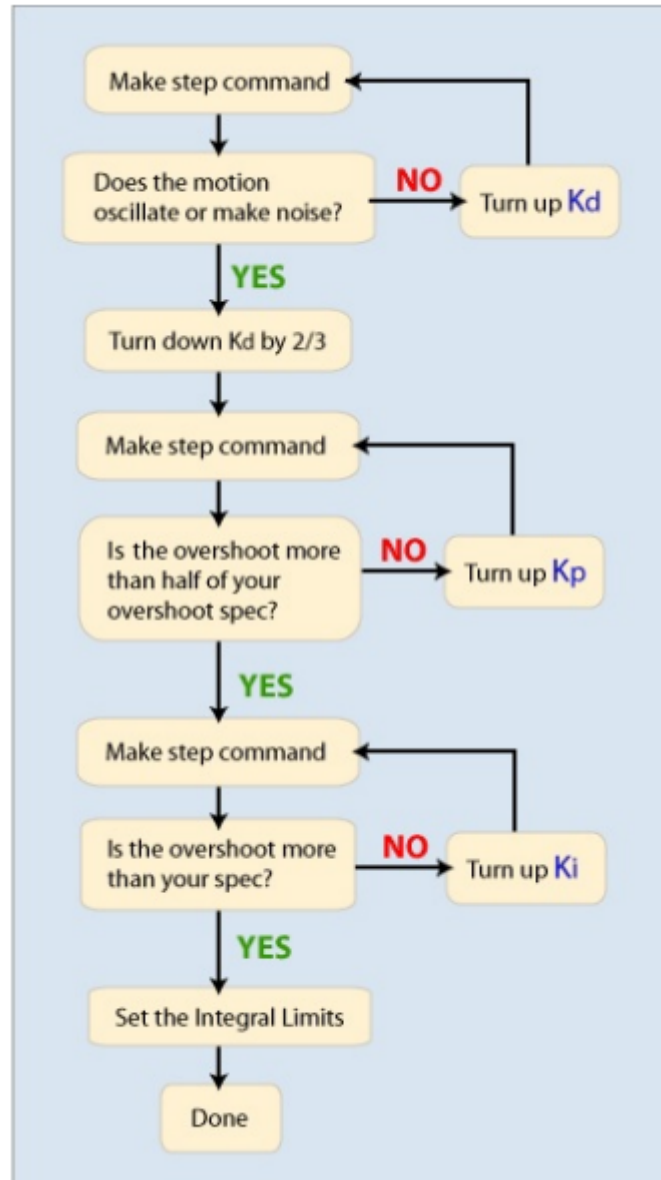
**RISE TIME**  
Decrease  
Decrease  
Small Change

**OVERSHOOT**  
Increase  
Increase  
Decrease

**SETTLING TIME**  
Small Change  
Increase  
Decrease

**S-ERROR**  
Decrease  
Eliminate  
Small Change

Esquema resumen:



## 1.6. Movimiento motores

Para poder dirigir un robot por lo general necesitaremos 2 motores. Además, si queremos hacer que un motor se mueva hacia adelante y hacia atrás tendremos que invertir los polos. Para ello, utilizamos los **puentes en H (H Bridge)**:

