

# Pre informe



Sistemas controlados por computadora

Diseño e implementacion de un robotin

Alumnos: Tania Ferreira, Sansoni Sebastián

Neuquén, 2018

## 1. Ideas

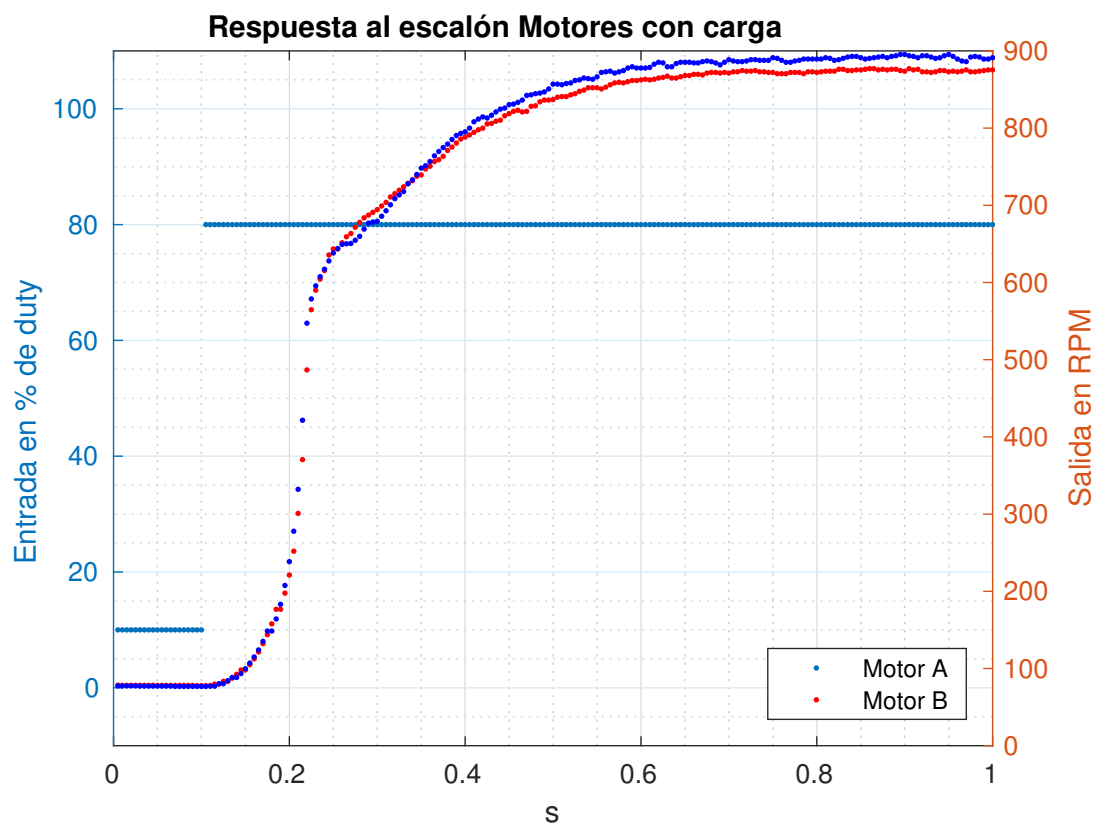
Cuestiones Importantes:

- Modelado del sistema (cinemático vs dinámico). Robot no holonómico.
- Modelado de los motores. Ensayos con carga y sin carga.
- Sistema de medición de RPM y línea.
- Problema del delay en la medición de los encoders.
- Ziegler-Nichols: para los motores no andaba bien por el delay variable, para el sistema total no lo podíamos implementar.
- PID tuner: una vez estimado el sistema da buenos resultados.
- Discretización del PID: el Tf era FUNDAMENTAL para el sistema completo.
- Identificación del sistema completo.
- Hipótesis simplificadoras.
- Controlador final.

## 2. Objetivos de la propuesta

- Desarrollar e implementar un robot seguidor de línea.
- Identificación del sistema.
- Implementar un controlador PID discreto: efectos de la acción derivativa y algunas cuestiones practicas.

Respuesta escalón motores



Motor A:

$$M_a(s) = \frac{7075.3e^{-0.013s}}{(s + 9.631)(s + 67.5)} \quad (1)$$

Controlador A:

$$C_a(s) = \frac{19.243(s - 11.74)}{s} \quad (2)$$

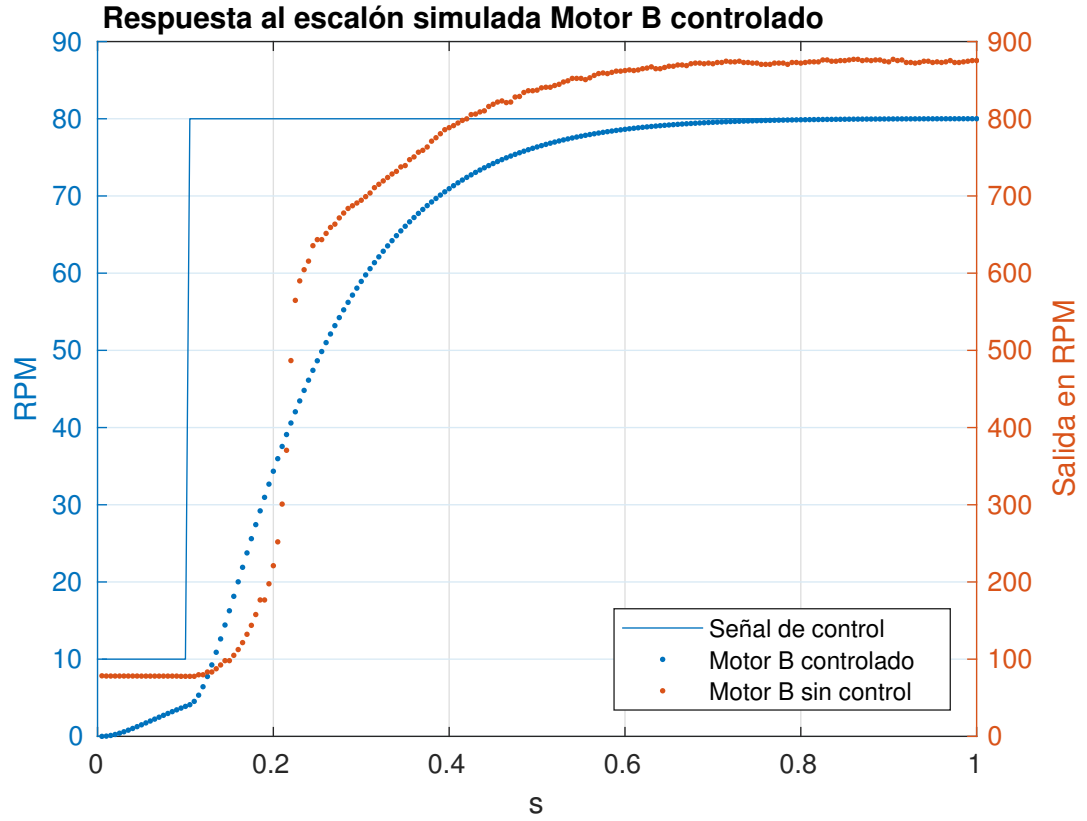
Motor B

$$M_b(s) = \frac{5042.1e^{-0.013s}}{(s + 9.988)(s + 45.48)} \quad (3)$$

Controlador B

$$C_b(s) = \frac{18.68(s - 10.93)}{s} \quad (4)$$

Se ajustaron ambos motores para que con el controlador tengan una respuesta identica, la respuesta a lazo cerrado es:



### 3. Modelo cinemático

Esta parte fue sacada del archivo "Ideas para el modelado del robot.docx"

Tomando en cuenta [1], si modelamos la línea detectada como una recta, la situación geométrica del problema se asemeja a la mostrada en la figura 1.

Las ecuaciones de velocidad para este problema según [1] son:

$$\dot{s} = v \cos(\theta - \Psi) \quad (5)$$

$$\dot{d} = v \sin(\theta - \Psi) \quad (6)$$

$$\dot{\theta} = \omega \quad (7)$$

Donde  $v$  y  $\omega$  son las velocidades lineal y angular del punto medio entre las ruedas, C. Si los motores se mueven a velocidades  $\omega_R$  y  $\omega_L$ , estas velocidades son ([2]):

$$v = \frac{r(\omega_R + \omega_L)}{2} \quad (8)$$

$$|\omega| = \frac{|r(\omega_R - \omega_L)|}{R} \quad (9)$$

Donde  $R$  es la distancia entre las ruedas. En nuestro problema la segunda línea no estaría y no se tendría la información de la distancia a la recta  $d$ , sino la distancia entre el centro de la línea de sensores y el punto de

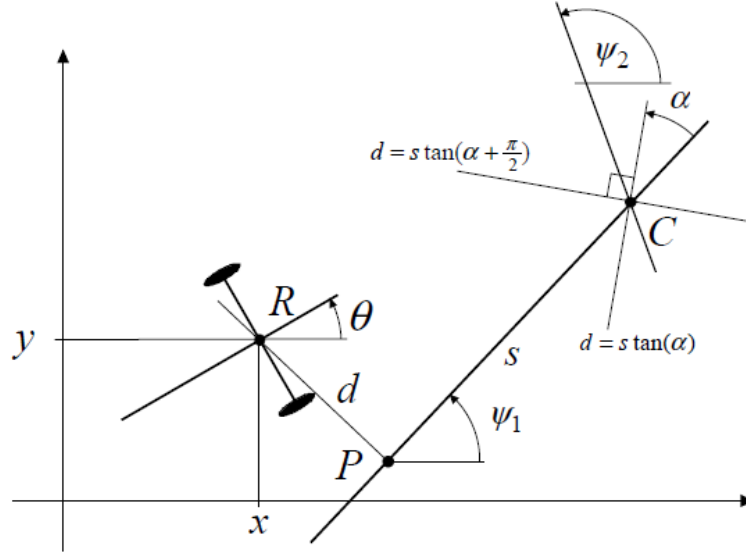


Figura 1: Gráfico de la línea a seguir y del robot según [1].

intersección entre la línea de sensores y la recta a seguir, llamado e. La situación nuestra se asemeja más a lo mostrado en la figura 2

Tomando las ecuaciones anteriores como referencia, las velocidades en módulo serían:

$$\dot{e} = v \tan(\beta) \quad (10)$$

$$\dot{\beta} = \omega \quad (11)$$

Dado que sólo poseemos la medición de e, se propone la siguiente estrategia para la medición del ángulo. Suponemos que el punto centro entre las dos ruedas se mantiene siempre sobre la línea a seguir. Bajo esta suposición, podemos calcular  $\beta$  por trigonometría:

$$\tan(\beta) = \frac{e}{l} \quad (12)$$

Como l es fijo, la medición de e puede traducirse en una medición del ángulo. Así, podríamos buscar minimizar el ángulo para alinear el robot con la pista. Como la medición se hace suponiendo que C está sobre la línea, si el robot no está centrado respecto a la pista el cálculo del ángulo va a indicar que hay error (a pesar de que en la realidad estén paralelos los ejes), por lo que al llevar a cero el  $\beta$  medido de esta manera se termina garantizando que el robot esté centrado respecto a la pista. Bajo estas simplificaciones, nos basta con mirar el comportamiento del ángulo:

$$\dot{\beta} = |\omega| = \frac{|r(\omega_R + \omega_L)|}{R} \quad (13)$$

Como sólo nos interesa la diferencia entra velocidades angulares del motor, se puede mantener v constante tomando:

$$\omega_R = \omega_{fijo} + \Delta\omega \quad (14)$$

$$\omega_L = \omega_{fijo} - \Delta\omega \quad (15)$$

Esto disminuiría el problema a una sola señal de control,  $\Delta\omega$ , y disminuiría los efectos alineales influyendo sobre  $\dot{e}$  sin embargo, como no se está tomando en cuenta la dinámica de e, no se tiene claro si esta restricción es necesaria. Se necesitaría profundizar en el análisis para poder asegurarlo.

## 4. Radio de giro

Cuando el robot gira siguiendo una curva la disposición es como se muestra en la siguiente figura:

En este caso la velocidad del punto C (punto medio entre las dos ruedas del robot) tiene una componente tangencial, v, y una componente de giro,  $\omega$ , dadas por:

$$v = \frac{r(\omega_R + \omega_L)}{2} = r\omega_{fijo} \quad (16)$$

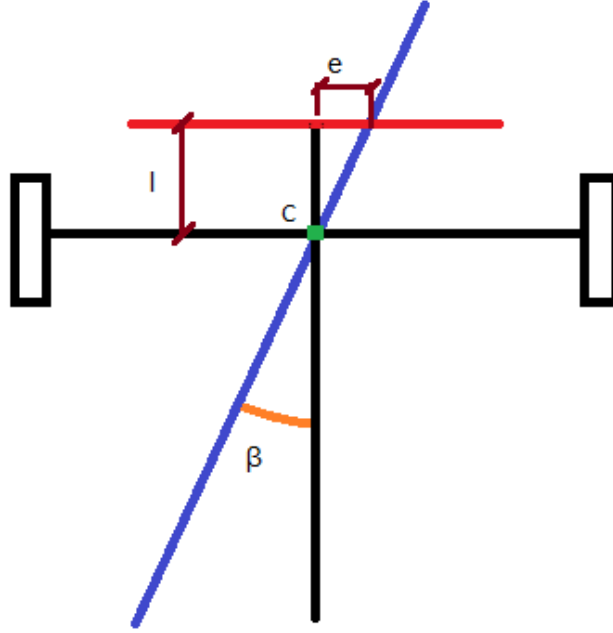


Figura 2: Esquema del robot sobre la línea a seguir (azul). La línea roja representa la línea de sensores,  $e$  es la distancia medida entre el centro de los sensores y la intersección de la recta a seguir con la línea de los sensores, y  $\beta$  es el ángulo entre la línea a seguir y el eje central del robot

$$\omega = \frac{r(\omega_R - \omega_L)}{2} = \frac{2r\Delta\omega}{R} \quad (17)$$

Como la relación entre ambas magnitudes es:

$$v = R_{giro}\omega \quad (18)$$

Obtenemos:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_{fijo}R}{R_{giro}} \quad (19)$$

Así, mientras más pequeño sea el radio de giro, más grande debe ser  $\Delta\omega$ . Si definimos que  $\omega_{fijo} = 300rpm$ , para obtener un radio de giro mínimo de 1,5 veces  $R$  necesitaríamos  $\Delta\omega = 100rpm$ , mientras que para uno igual a  $R$  necesitaríamos  $\Delta\omega = 150rpm$ .

## 5. Ensayo al Escalón

En función de lo analizado anteriormente, podemos pensar que si el robot arranca alineado con una línea recta, y manteniendo la restricción de  $v$  constante, entonces la planta se comporta como un sistema cuya entrada es  $\Delta\omega$  y su salida  $\beta$ , gobernado por la ecuación:

$$\dot{\beta} = \frac{2r\Delta\omega}{R} \quad (20)$$

Para realizar el ensayo al escalón se debería empezar con  $\Delta\omega = \beta = \theta = 0$  y luego cambiar  $\Delta\omega$  abruptamente a un valor final ( $\Delta\omega$  es el escalón de entrada) midiendo el valor de  $\beta$  obtenido. Físicamente esto implica que el robot debe empezar andando a velocidad constante, perfectamente alineado con la línea, y luego girar hasta perder la línea (más allá de este punto no tiene sentido seguir porque se pierde la medición). Si el cambio de velocidad de los motores fuese automático, el robot giraría siguiendo una circunferencia perfecta como se ve a continuación:

Lo que nos interesa es saber cuánto tiempo transcurre hasta que pierde la línea. Dicho punto sería cuando el último sensor de la derecha está sobre la línea verde. Si la distancia entre el eje central del robot y éste LED es  $d_1$ , entonces el LED se desplaza siguiendo una trayectoria circular de radio  $R_{giro} + d_1$  .... Terminar de poner ideas para el cálculo Borrador:

## 6. Ensayo escalón carrito implementación

Necesidad de que el sistema sea lineal, esta es la respuesta de los motores en función de las RPM de entrada:

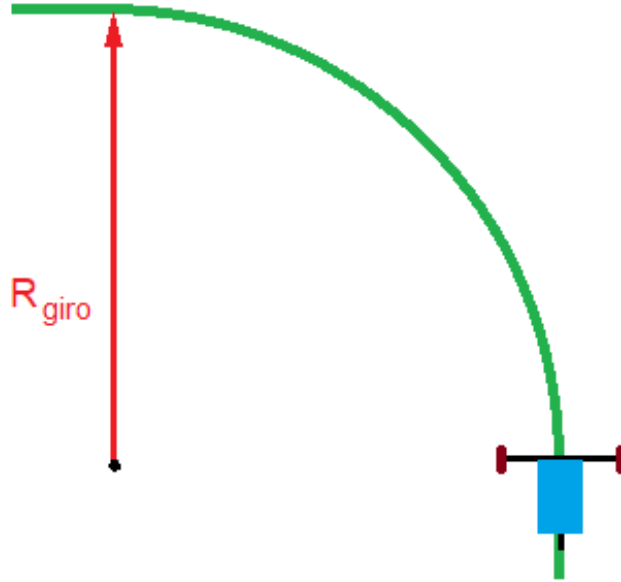


Figura 3: esquema del robot girando.

Las consideración antes descriptas son válidas dentro de la región de linealidad del sistema. Como se vió anteriormente, es necesario que el dispositivo se encuentre centrado sobre la línea y moviéndose a velocidad constante.

El objetivo de esta etapa es obtener el modelo del sistema; Dadas algunas complicaciones practicas, se implemento un controlador proporcional ajustado experimentalmente para que las hipótesis de que el vehiculo se encuentre centrado sobre la línea y moviéndose sean lo mas "validas posibles".

Un ensayo modelo se muestra a continuacion:

Para un conjunto de estos ensayos se estimo el siguiente sistema:

$$Sys_{tot} = \frac{0.028934}{s} \quad (21)$$

De la ecuación 20 y de 21 se concluye que  $\frac{2r}{R} = 0.028934$  siendo que los parámetros medidos son  $r = 1.5cm$  y  $R = 16cm$ , lo cual da  $\frac{r}{R} = 0.09375$ . Esta discrepancia no se pudo explicar aún.

## 7. Sistema total y control

Si se parte de la suposición de que los motores se comportan de manera semejante, el diagrama del sistema total resulta:

A la hora de implementar el control se encontraron varios inconvenientes.... Poner Z-N, problemas de rozamiento y de inestabilidad; falta de linealidad a bajas RPM

Referencias [1]: "Path Following Mobile Robot in the Presence of Velocity Constraints", Bak, Poulsen y Ravn. [2]: "Robotics: Modelling, Planning and Control", Siciliano, Sciavicco, Villani y Oriolo.

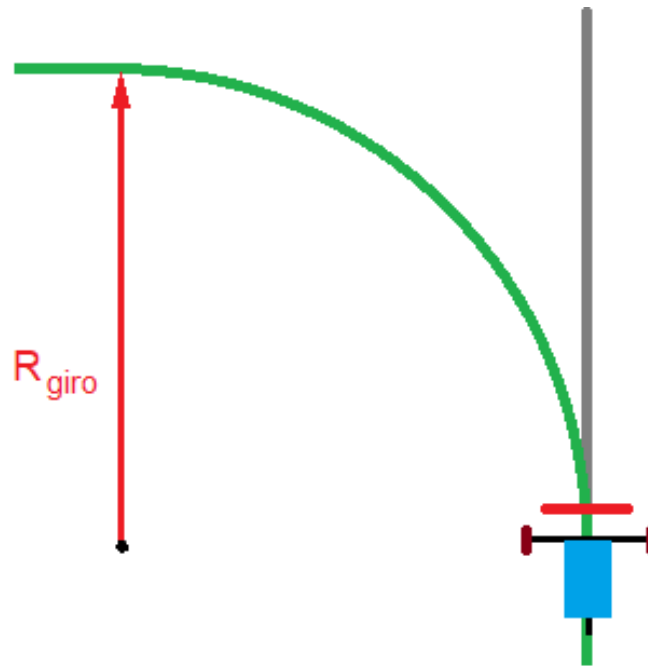


Figura 4: Trayectoria seguida por el robot si empieza a girar a  $\Delta\omega$  constante (verde) arrancando inicialmente alineado con la línea (gris).

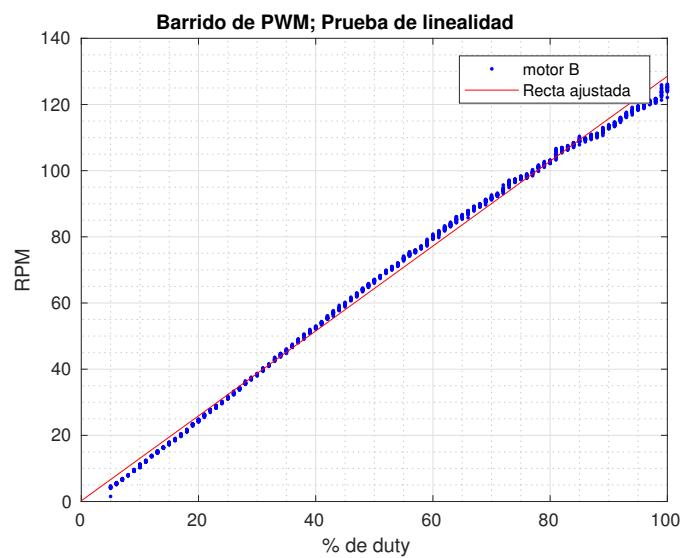


Figura 5: el error medio cuadrático del ajuste de la recta es de 2.0624. REVISAR ESTO; NO TIENE SENTIDO EL EJE Y, en otra imagen parece la palabra "frecuencia de giro" pero no tiene sentido.

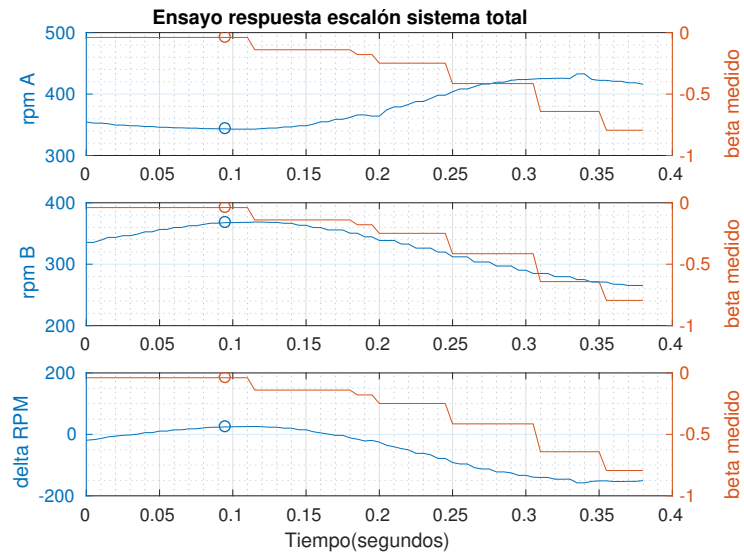


Figura 6: El círculo marca cuando se desactiva el control y el sistema comienza a trabajar en lazo abierto. En esta caso  $\Delta\omega = -50$  RPM

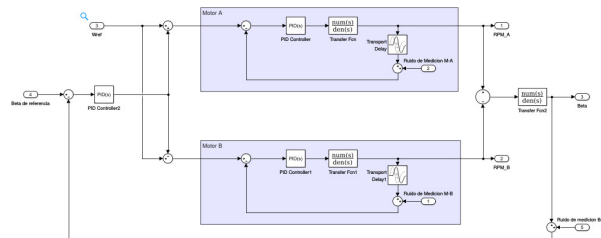


Figura 7: