



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE  
SISTEMAS INFORMÁTICOS

Máster en Software de Sistemas Distribuidos y  
Empotrados

## Sistemas de Control

# Práctica de Controlador PID

*Alejandro Casanova Martín*

N.º de matrícula: bu0383

Madrid, 7 de diciembre, 2023

# Índice

Introducción .....	3
Ejercicio 1 .....	3
Ejercicio 2 .....	3
Ejercicio 2.1 .....	3
Ejercicio 2.2 .....	4
Ejercicio 2.3 .....	5
Ejercicio 2.4 .....	5
Ejercicio 2.5 .....	6
Ejercicio 3 .....	7
Ejercicio 3.1 .....	7
Ejercicio 3.2 .....	8
Ejercicio 3.3 .....	9
Ejercicio 3.4 .....	10
Ejercicio 3.5 .....	11
Conclusiones .....	12

# Introducción

A partir del modelo matemático de un motor de DC, se ha desarrollado un controlador PID para estabilizarlo, ajustando sus parámetros a partir de sus índices de rendimiento.

Todos los ejercicios han sido resueltos en el Jupyter Notebook. Sin embargo, adicionalmente se han adjuntado los resultados obtenidos en este documento.

## Ejercicio 1

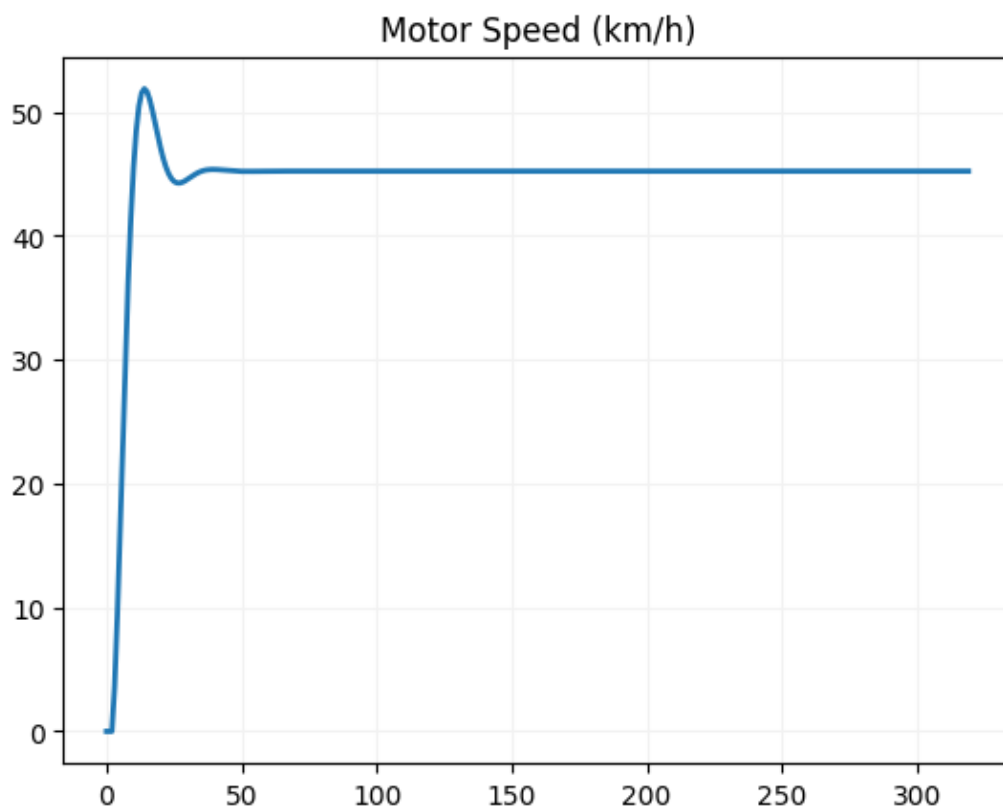
Se implementó la función *Exec\_controller\_cycle*, encargada de calcular la señal de control  $u(t)$  para la siguiente iteración de control, a partir de los parámetros del controlador PID.

## Ejercicio 2

Se ajustaron las ganancias del controlador para obtener distintas respuestas del sistema. Los resultados se muestran a continuación.

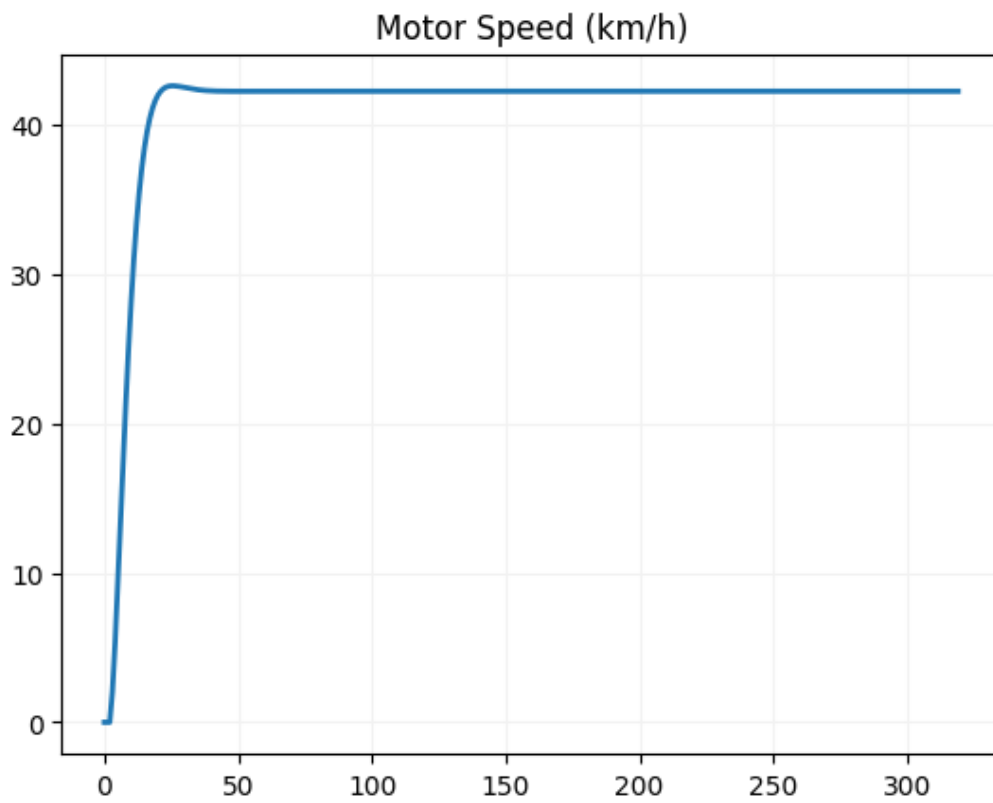
### Ejercicio 2.1

Para lograr un overshoot del 10%:  $K_p = 0.35$  |  $K_i = 0$  |  $K_d = 0$



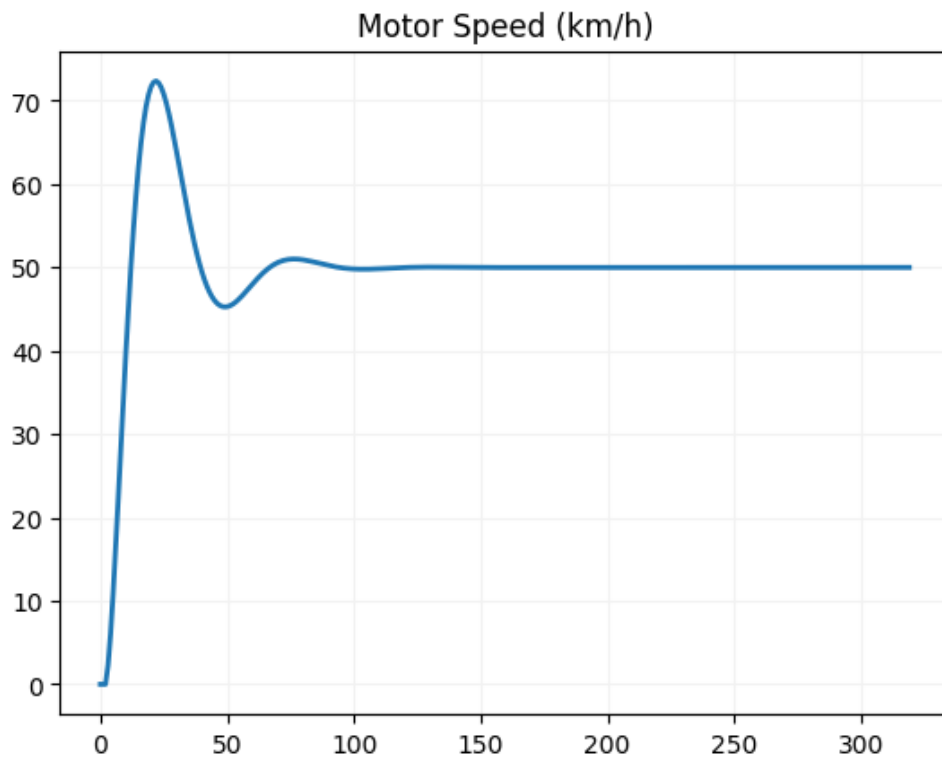
## Ejercicio 2.2

Para lograr un tiempo de estabilización  $T_s$  mínimo:  $K_p = 0.2$  |  $K_i = 0$  |  $K_d = 0$  (se redujo ligeramente  $K_p$ )



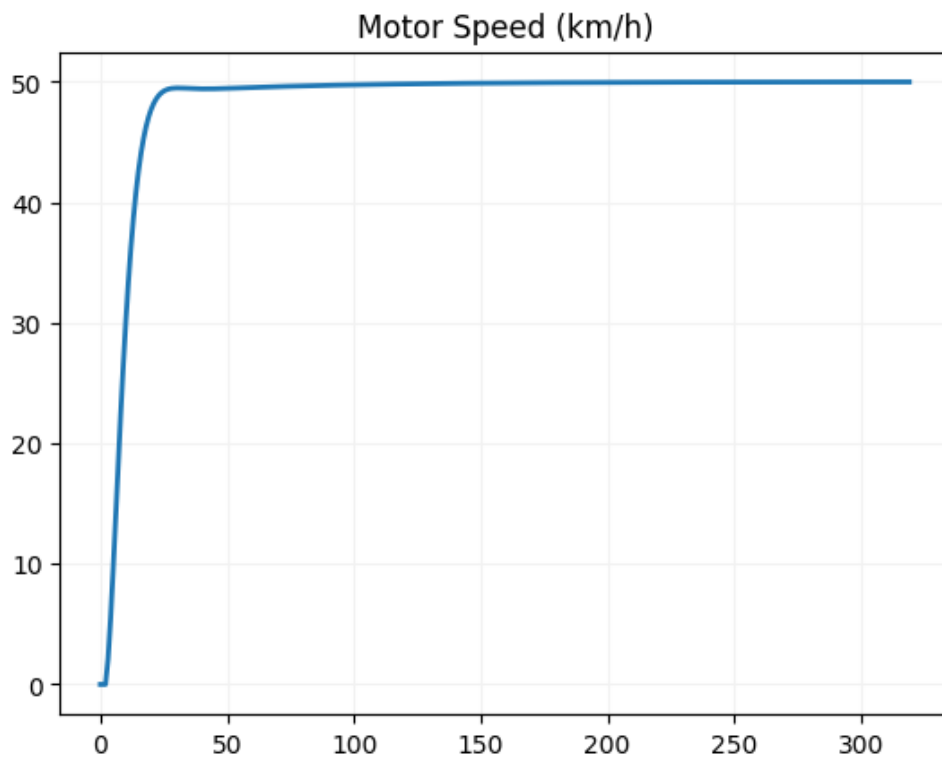
### Ejercicio 2.3

Para lograr un error en régimen estacionario  $E_{ss}$  mínimo:  $K_p = 0.2$  |  $K_i = 0.01$  |  $K_d = 0$  (se añadió  $K_i$  para eliminar el error en régimen estacionario)



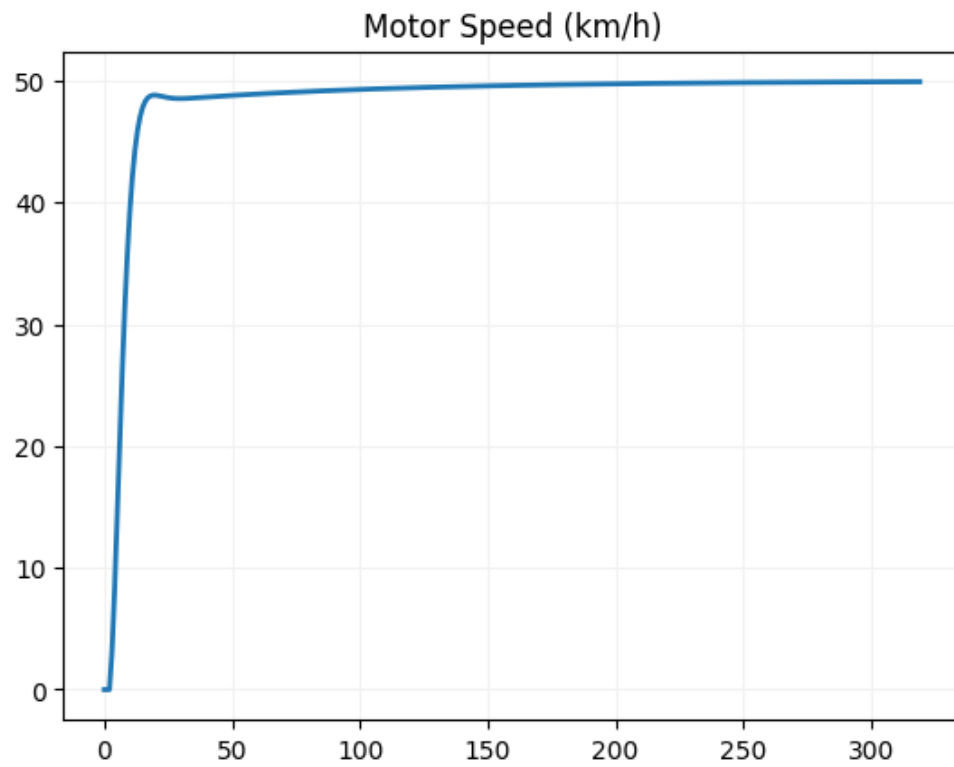
### Ejercicio 2.4

Para eliminar el overshoot:  $K_p = 0.2$  |  $K_i = 0.06$  |  $K_d = 0$  (Se aumentó  $K_i$  para eliminar el overshoot)



## Ejercicio 2.5

Para reducir todos los errores:  $K_p = 0.3$  |  $K_i = 0.09$  |  $K_d = 0.001$  (Se añadió  $K_d$  y se ajustaron las demás ganancias)

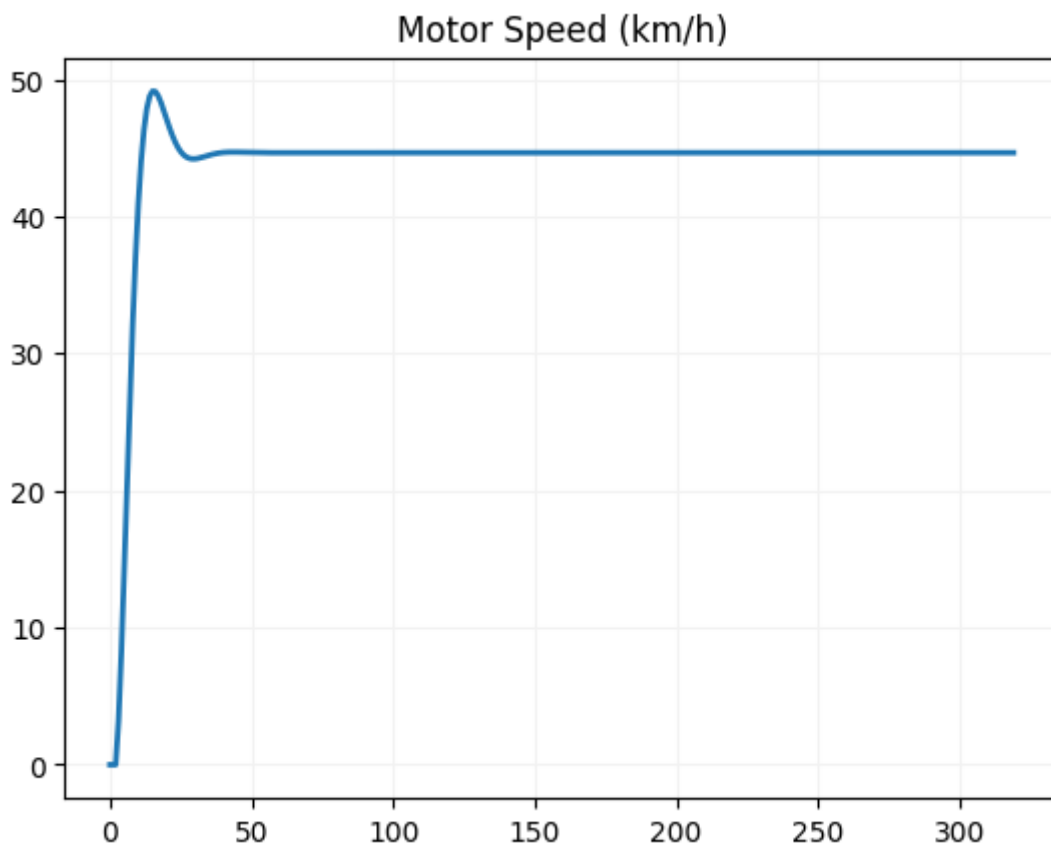


## Ejercicio 3

Se implementó la función para calcular los 4 índices de rendimiento más relevantes: Overshoot, Ess, Ts y d. A continuación, se obtendrán los índices de rendimiento para las 5 configuraciones de ganancias del ejercicio 2. Finalmente, con la ayuda de dichos índices de rendimiento, se realizó un ajuste más fino del regulador para obtener mejores resultados en cada ejercicio. Los resultados se muestran a continuación.

### Ejercicio 3.1

Para lograr un overshoot del 10%:  $K_p = 0.308$  |  $K_i = 0$  |  $K_d = 0$



**Overshoot: 0.1005228625493344 (10.05 %)**

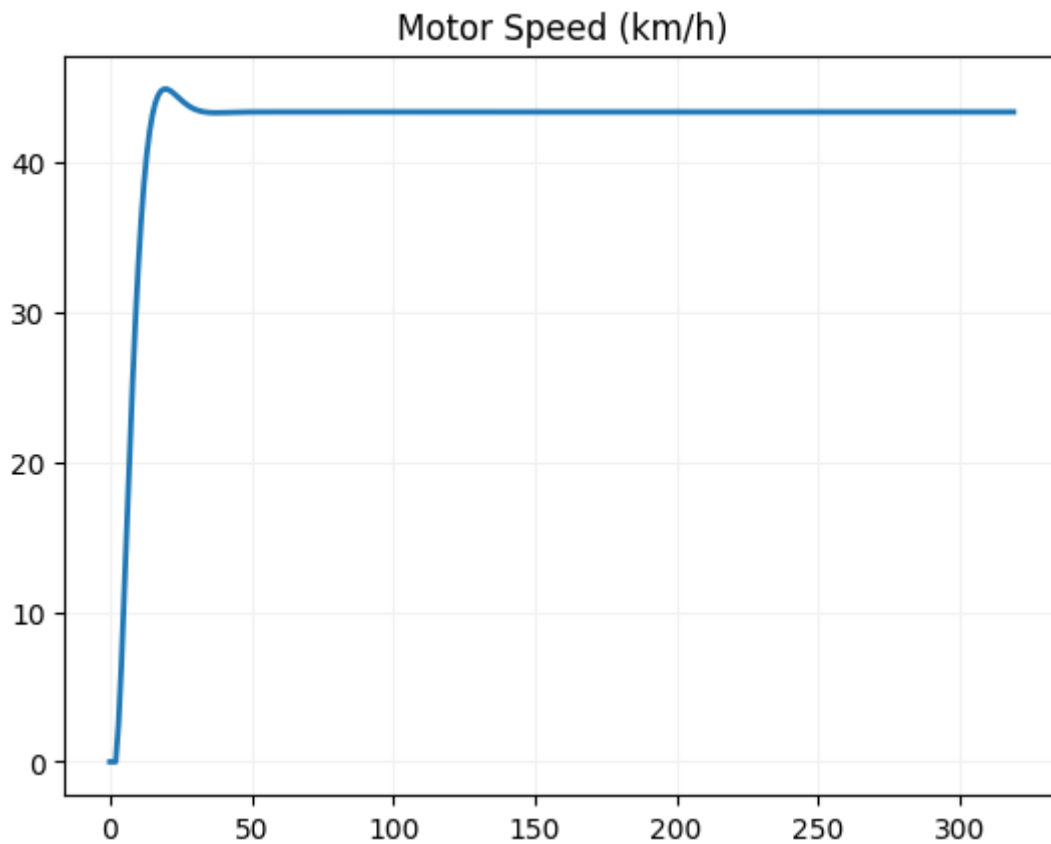
Decay Rate (d): 0.009971637499686898 (1.0 %)

Ess: -5.350135124590935 (11.98 %)

Ts: 0.0210 seconds (sample number 21)

### Ejercicio 3.2

Para lograr un tiempo de estabilización  $T_s$  mínimo:  $K_p = 0.24$  |  $K_i = 0$  |  $K_d = 0$  (se redujo ligeramente  $K_p$ )



Overshoot: 0.03526798790555552 (3.53 %)

Decay Rate (d): 0.0012407633310925017 (0.12 %)

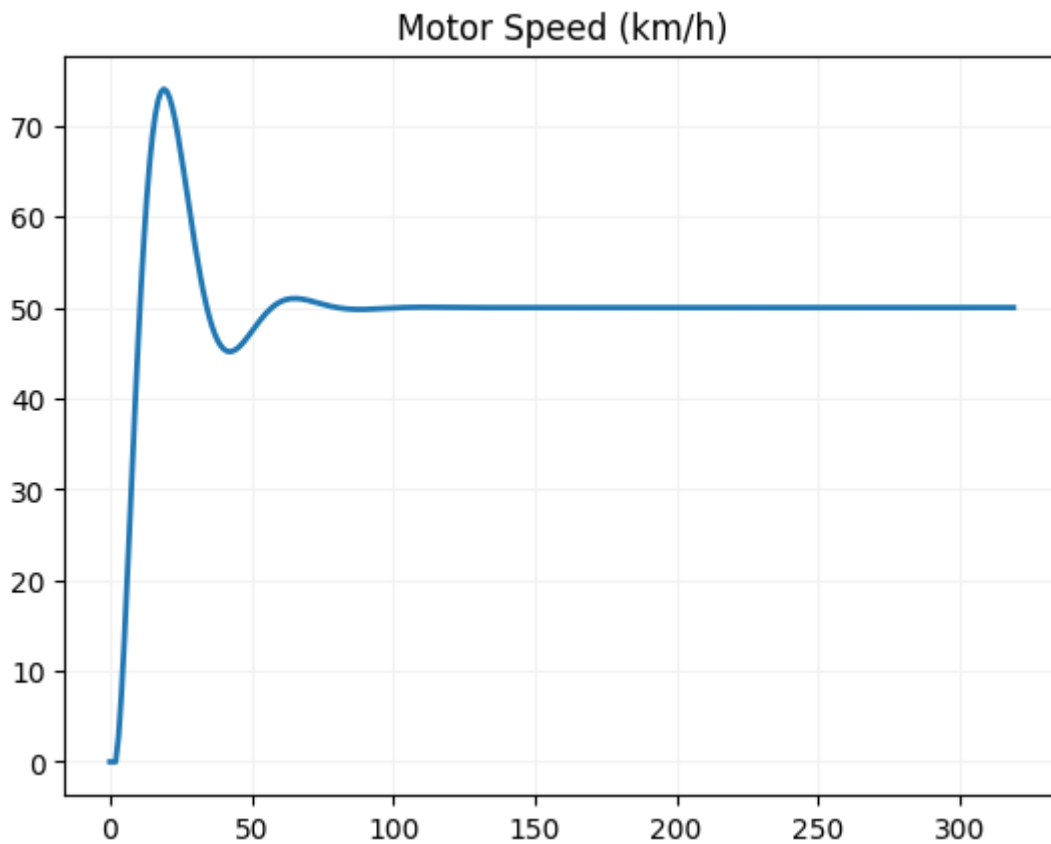
Ess: -6.663972216226199 (15.38 %)

**Ts: 0.0140 seconds (sample number 14)**



### Ejercicio 3.3

Para lograr un error en régimen estacionario  $E_{ss}$  mínimo:  $K_p = 0.24$  |  $K_i = 0.01$  |  $K_d = 0$  (se añadió  $K_i$  para eliminar el error en régimen estacionario)



Overshoot: 0.48101100225446425 (48.10 %)

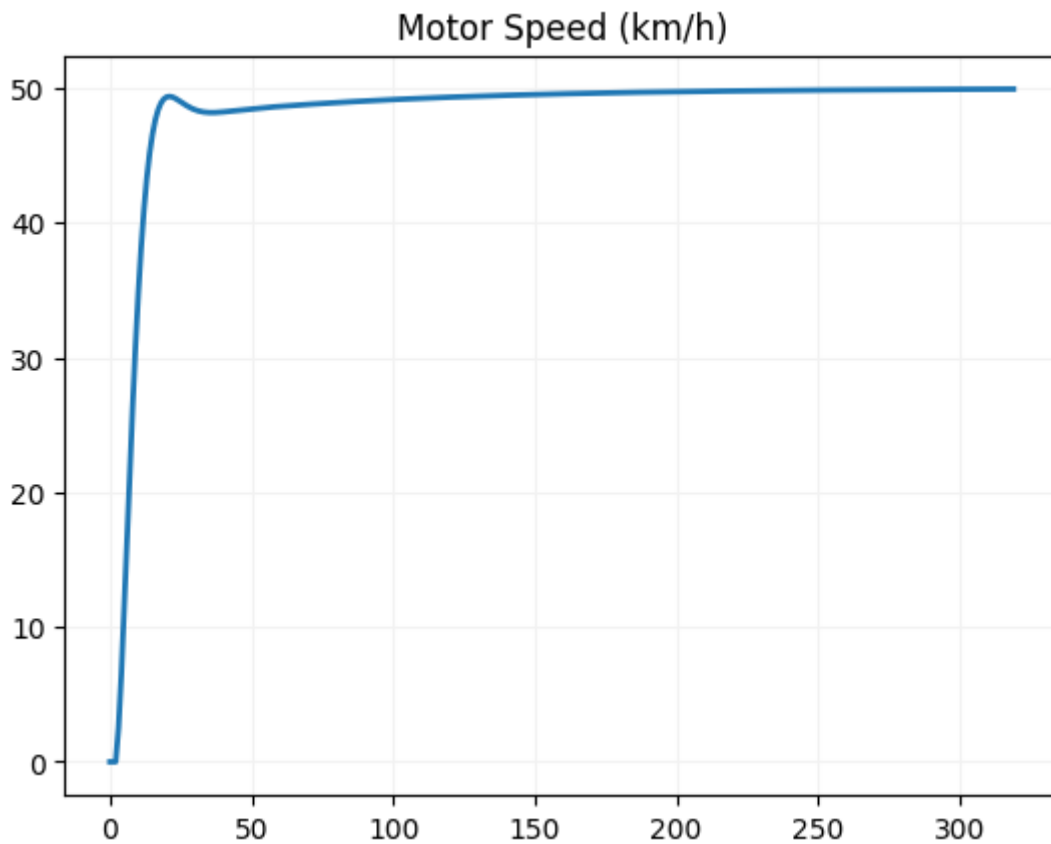
Decay Rate (d): 0.0416435808737424 (4.2 %)

**Ess: -1.3951178701177014e-06 (0.00 %)**

Ts: 0.0510 seconds (sample number 51)

### Ejercicio 3.4

Para eliminar el overshoot:  $K_p = 0.24$  |  $K_i = 0.08$  |  $K_d = 0$  (Se aumentó  $K_i$  para eliminar el overshoot)



**Overshoot: 0 (0.00 %)**

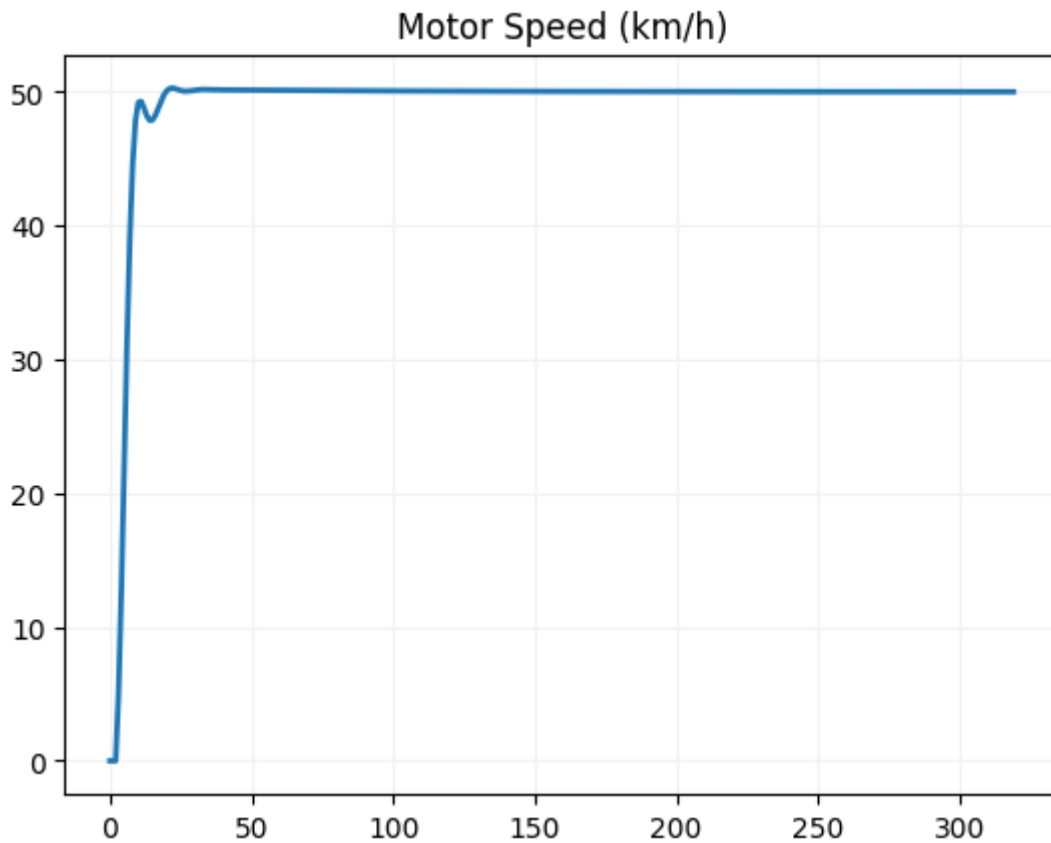
Decay Rate (d): 0.0 (0.0 %)

Ess: -0.11751474593017974 (0.24 %)

Ts: 0.0160 seconds (sample number 16)

### Ejercicio 3.5

Para reducir todos los errores:  $K_p = 0.5$  |  $K_i = 0.08$  |  $K_d = 0.002$  (Se añadió  $K_d$  y se ajustaron las demás ganancias)



**Overshoot: 0 (0.00 %)**

**Decay Rate (d): 0.0 (0.0 %)**

**Ess: 0.008914187758257697 (0.02 %)**

**Ts: 0.0090 seconds (sample number 9)**

# Conclusiones

En esta práctica de sistemas de control se llevó a cabo el ajuste de los parámetros de un controlador PID, con el objetivo de controlar eficientemente un motor de corriente continua simulado.

Durante el desarrollo de la práctica, se pudo comprobar la importancia y utilidad de cada uno de los componente del regulador:

- El componente proporcional (P) se encarga de responder proporcionalmente al error actual (la diferencia entre la referencia y la salida del sistema). Un valor alto de ganancia proporcional ( $K_p$ ) puede aumentar la velocidad de respuesta del sistema, pero también puede causar oscilaciones no deseadas o incluso inestabilidad.
- La componente integral (I) ayuda a reducir el error acumulado a lo largo del tiempo, y permite eliminar el error en régimen permanente.
- La componente derivativa (D) responde a la velocidad de cambio del error, proporcionando una amortiguación que evita oscilaciones excesivas y mejora la estabilidad del sistema. El componente derivativo es predictivo, es decir, puede ayudar a anticipar el comportamiento futuro del sistema, contribuyendo a una respuesta más suave y rápida ante cambios en la referencia o perturbaciones.

Durante la práctica se observó que el ajuste de los parámetros del PID es un proceso delicado y muy dependiente del sistema a controlar. Se comprobó que un valor de ganancia proporcional demasiado alto puede llevar a la inestabilidad mientras que una ganancia integral excesiva puede causar oscilaciones. La ganancia derivativa, por otro lado, juega un papel crucial en la amortiguación de oscilaciones pero un valor demasiado alto puede llevar a respuestas lentas. Por lo tanto, es importante encontrar un equilibrio adecuado entre estabilidad y velocidad de la respuesta.

A pesar de haber obtenido resultados aceptables, se ha comprobado que el ajuste manual de reguladores PID es una tarea tediosa y lenta. Además, resulta poco probable alcanzar un rendimiento óptimo mediante este método.