

# Práctica 4: Motor DC y Control

Paola Del Hierro 157073  
Luis Eduardo Delfín 155966  
Rafael Zardain Bejar 158948

## 1. INTRODUCCIÓN

Los controladores PID son de los esquemas más comunes para controlar un sistema mecatrónico. Son muy populares por su efectividad y bajo costo de componentes para implementar. Esta práctica desarrollamos un controlador PID desde la simulación en MATLAB y Simulink hasta la implementación física con circuitos de filtros activos utilizando OpAmps.

## 2. MARCO TEÓRICO

MATLAB es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. [1]

MATLAB colabora con Simulink para permitir el diseño basado en modelos, el cual se emplea para la comprobación y verificación continuas de sistemas embebidos. [1] Simulink es un entorno de diagrama de bloques para simulación multidominio y diseño basado en el modelo. [2]

Describiremos que son los motores de corriente directa y los controladores PID. Un motor de corriente directa es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica de movimiento. Finalmente, un controlador PID calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. Está conformado por tres elementos:

- Proporcional: multiplica el error por una constante
- Integrador: disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por perturbaciones exteriores y los cuales no pueden ser corregidos por el control proporcional
- Diferenciador: La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

## 3. DESARROLLO

### 3.1. Matlab y Simulink

Se simulo el funcionamiento los controles P, PI y PID utilizando Simulink. Primero se implemento un control P,

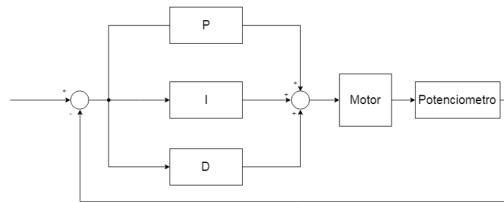


Figura 1: Esquema de un controlador PID

que simplemente multiplicaba el error por una constante. El valor de esta constante se aumentó para ver como cambiaba la señal de salida con el cambio de esta. Esto se muestra en las siguientes figuras.

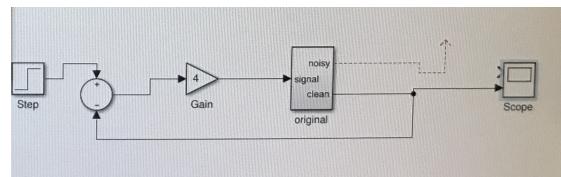


Figura 2: Circuito con componente P y  $K_p = 4$

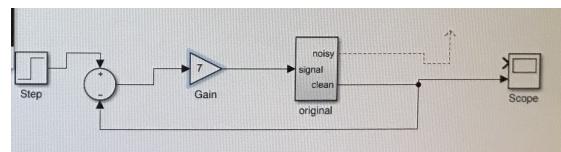


Figura 3: Circuito con componente P y  $K_p = 7$

Una vez que se obtuvo una señal relativamente constante se agrego un componente integrador al circuito. Este integraba el error que se obtenía con la señal de salida. Las señales obtenidas de los dos componentes se sumaban. La señal que entraba al integrador era previamente amplificada por un componente P como se muestra en la Figura 3. De esta manera se podía multiplicar una constante  $K_i$  a la integral. Se probaron distintos valores de  $K_i$ .

Finalmente se agrego un componente derivador. Anterior a este se colocó un componente amplificador de la misma manera que al integrador. Las señales de los tres componentes se sumaron como se muestra en la Figura 4. Se intentaron distintos valores de las constantes de amplifi-

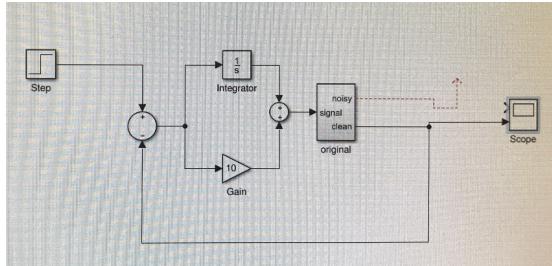


Figura 4: Circuito con componente PI

cación para obtener una señal uniforme. Para poder obtener un mejor resultado se calcularon las constantes utilizando el método de Ziegler-Nichols utilizando el periodo que se muestra en la Figura 5.

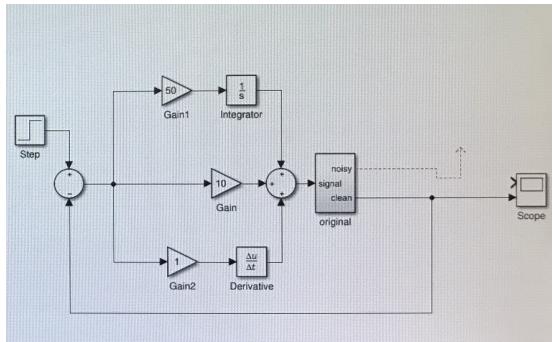


Figura 5: Circuito con componente PID

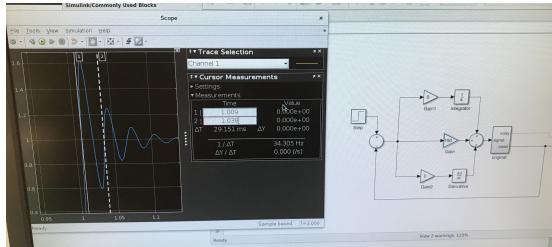


Figura 6: Onda y circuitos utilizados para aplicar el método Ziegler-Nichols

Se realizó una función en Matlab que realizaba las acciones de los tres componentes y se integró como uno solo en el circuito. Para esta función los valores obtenidos para las constantes ya no eran válidos.

### 3.2. OpAms

Durante la segunda parte de la práctica, se implementaron los controladores P, PI y PID en una protoboard utilizando amplificadores operacionales. Se implementaron los controladores P, I y D por separado. Los circuitos implementados correspondientes a cada controlador se muestran a continuación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Matlab y Simulink

Para el circuito que tenía únicamente un componente P se utilizaron los valores  $K_p = 4$ ,  $K_p = 7$  y  $K_p = 10$  para

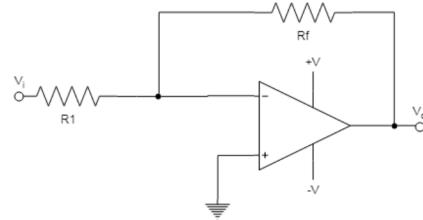


Figura 7: Circuito del controlador proporcional

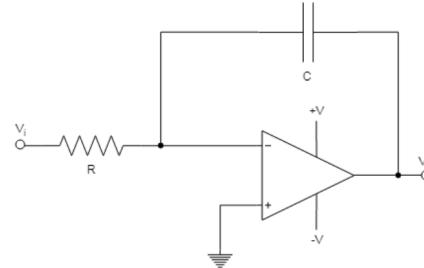


Figura 8: Circuito del controlador integral

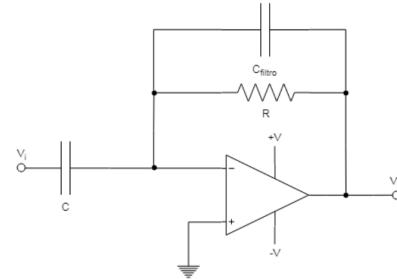


Figura 9: Circuito del controlador diferencial

estabilizar la señal. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras.

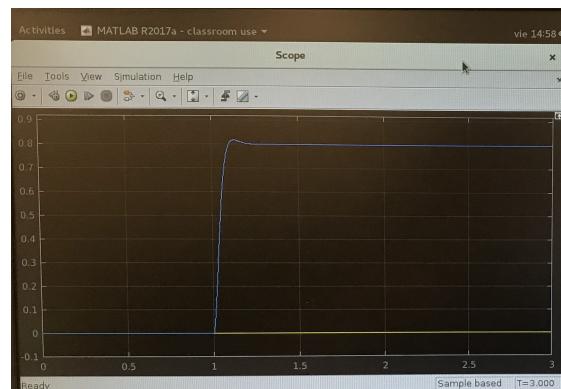


Figura 10: Señal con  $K_p = 4$

Al agregar el componente integrador se obtuvo la siguiente onda. Es importante notar que para esta señal no se incluyó el componente amplificador al circuito por lo que se supone  $K_i = 1$ . (Figura 9)

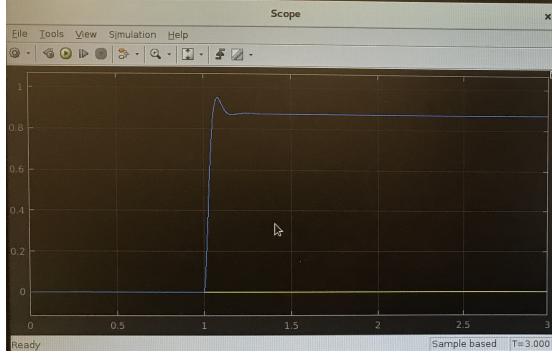


Figura 11: Señal con  $K_p = 7$



Figura 14: Señal con  $K_p = 10$  y  $K_i = 50$



Figura 12: Señal con  $K_p = 10$

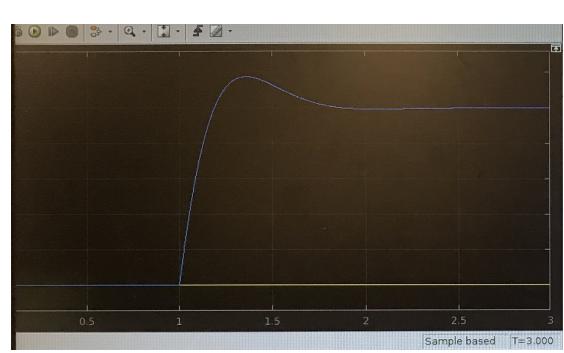


Figura 15: Señal con  $K_p = 10$ ,  $K_i = 50$  y  $K_d = 1$

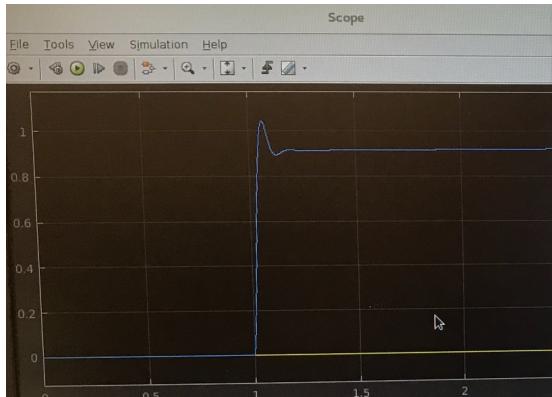


Figura 13: Señal con componente PI

Control	$K_p$	$K_i$	$K_d$
Control P	75.000		
Control PI	68.182	28.588	
Control PID	88.235	17.153	4.288

Cuadro 1: Tabla de sintonización de Ziegler-Nichols

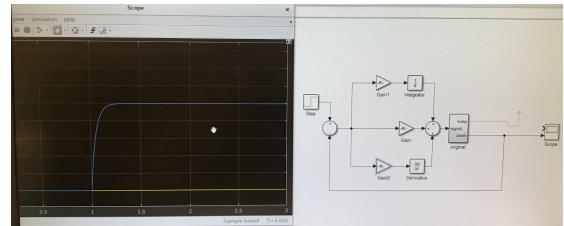


Figura 16: Señal y circuito para Control PID

Al agregar el componente amplificador en serie con el integrador se asignó un valor de  $K_i = 50$ . El resultado obtenido se muestra en la Figura 10.

Finalmente al agregar el componente derivador con un componente amplificador en serie (asignando  $K_d = 1$ ) se obtuvo la señal que se muestra en la Figura 11.

Para el método Ziegler-Nichols se utilizó un  $K_u = 150$  un periodo  $T = 0.029s$  por lo que se obtuvo un periodo  $P = 34.305Hz$ . Los resultados obtenidos para las constantes de cada control se muestran en la siguiente tabla.

La onda obtenida así como el circuito final se muestran en la siguiente imagen.

#### 4.2. OpAmps

Los resultados de los circuitos de amplificación y suma de voltaje hechos con los OpAmps fueron comprobados

gráficamente usando un osciloscopio. Se encontraron muchos problemas al probar el circuito ya que varios de los chips de los OpAmps fallaban o se quemaban fácilmente. Despues de un poco de experimentación con los voltajes de polarización, los valores de las resistencias y las señales de entrada a los circuitos, se comprobó una operación exitosa.

## 5. CONCLUSIONES

**Paola Del Hierro:** En esta práctica se logró estabilizar una señal para minimizar el error entre la entrada y la salida. Muchos de los resultados obtenidos fueron eligiendo valores aleatorios y posteriormente ver como este valor afectaba la señal y después cambiar el valor dependiendo

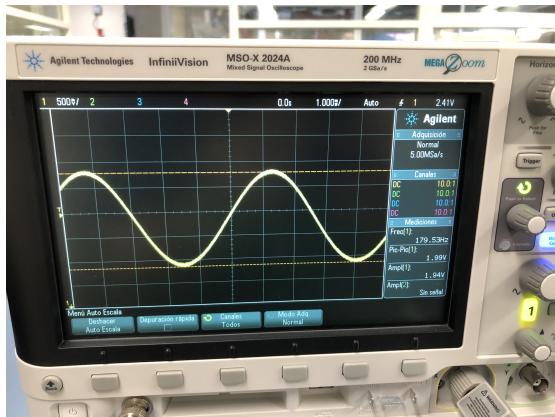


Figura 17: Señal Original

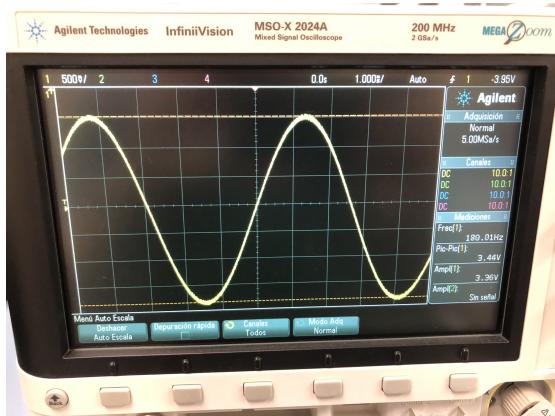


Figura 18: Señal Amplificada

del cambio. Solo con el método Ziegler-Nichols se obtuvieron valores analiticamente. Los resultados con este método fueron mejores que el resto, sin embargo la señal obtenida con el componente PID y las constantes aleatorias fue una aproximación cercana.

**Rafael Zardain:** Armar los circuitos amplificadores fue una buena visualización de cómo la teoría o los cálculos normalmente no son completamente fieles a la realidad. Esto nos pasó cuando no daban exactamente las amplificaciones que habíamos calculado o que el circuito no tenía ningún funcionamiento. Es importante tener un sólido conocimiento teórico de todo lo que pasa para poder resolver estos problemas de manera más eficiente y saber dónde buscar.

**Luis Delfín:** Fue muy interesante descubrir cómo funciona Simulink, pues la simulación antes de la implementación física de un sistema es indispensable. Además, se aplicó la teoría vista en clase de los amplificadores operacionales, cosa que me ayudó a entender mejor el tema.

## 6. ROL O PAPEL

**Paola Del Hierro:** Simulación con Matlab y Simulink de los controles P, PI y PID. Implementación del método Ziegler-Nichols. **Rafael Zardain:** Ensamblaje de los circuitos amplificadores con los OpAmps. **Luis Delfín:** Simulación con MATLAB de los controles P, PI y PID. Ensamblaje de los circuitos amplificadores con los OpAmps.

## REFERENCIAS

- [1] MATLAB <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- [2] SIMULINK <https://la.mathworks.com/help/simulink/getting-started-with-simulink.html>