

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**Escuela Superior de Cómputo**  
**(ESCOM)**



**PROFESOR:** ORTEGA GONZALEZ RUBEN

**MATERIA:** Instrumentación.

**Práctica:** 1.- PID

**Alumnos:**

- Arteaga Lara Samuel de Jesús.
- Mendoza Jaimes Ian.
- Monroy Martos Elioth.
- Saldaña Aguilar Andrés Arnulfo.

**Equipo:** 5

**Grupo:** 3CM2

## Objetivo

Comprobar el funcionamiento de un controlador PID (proporcional-integrativo-derivativo) analógico utilizando amplificadores operacionales, aplicado al control de un motor que está siendo sensado por otro motor generador que está retroalimentando la señal al comparador para así conocer cuál es el error en el sistema y que este se ajuste a las exigencias.

## Material

- OPAMP (741)
- Resistencias :
  - 12 - 100 K
  - 1 - 4.7 K
  - 1 - 220
- Potenciómetros:
  - 1 - 100 K
  - 1 - 2 M
- Capacitores:
  - 1 - 1 F
  - 1 - 10 F
- 2 Motores de CD 5V/50

## Equipo

- Osciloscopio.
- Multímetro.
- Fuente de voltaje de CD.

# Introducción

## Controlador PID

Un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID (véase Figura 1) está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción **Proporcional**, **Integral** y **Derivativa**. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID.

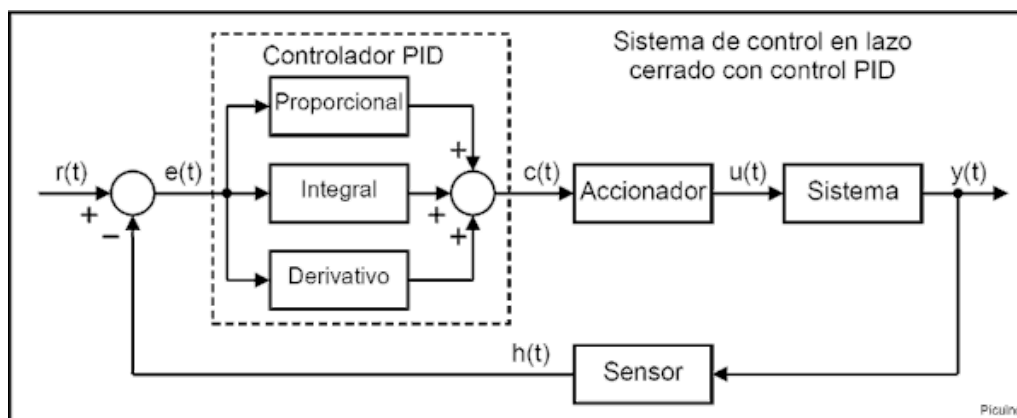


Figura 1. Controlador PID.

## Señal de referencia y señal de error

La señal  $r(t)$  se denomina **referencia** e indica el estado que se desea conseguir en la salida del sistema  $y(t)$ . En un sistema de control de temperatura, la referencia  $r(t)$  será la temperatura deseada y la salida  $y(t)$  será la temperatura real del sistema controlado.

Como puede verse en el esquema anterior, la entrada al controlador PID es la señal de **error**  $e(t)$ . Esta señal indica al controlador la diferencia que existe entre el estado que se quiere conseguir o referencia  $r(t)$  y el estado real del sistema medido por el sensor, señal  $h(t)$ .

Si la señal de error es grande, significa que el estado del sistema se encuentra lejos del estado de referencia deseado. Si por el contrario el error es pequeño, significa que el sistema ha alcanzado el estado deseado.

## Acción de control Proporcional

Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la señal de error  $e(t)$ . Internamente la acción proporcional multiplica la señal de error por una constante **Kp**.

Esta acción de control intenta minimizar el error del sistema. Cuando el error es grande, la acción de control es grande y tiende a minimizar este error.

Aumentar la acción proporcional **K<sub>p</sub>** tiene los siguientes efectos:

- 1º.- Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
- 2º.- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- 3º.- Aumenta la inestabilidad del sistema.

Los dos primeros efectos son positivos y deseables. El último efecto es negativo y hay que intentar minimizarlo. Por lo tanto al aumentar la acción proporcional existe un punto de equilibrio en el que se consigue suficiente rapidez de respuesta del sistema y reducción del error, sin que el sistema sea demasiado inestable. Aumentar la acción proporcional más allá de este punto producirá una inestabilidad indeseable. Reducir la acción proporcional, reducirá la velocidad de respuesta del sistema y aumentará su error permanente.

## Acción de control Derivativa

Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la derivada de la señal de error **e(t)**. La derivada del error es otra forma de llamar a la "velocidad" del error. A continuación se verá porqué es tan importante calcular esta velocidad. El problema viene al tener en cuenta las inercias. Cuando el sistema se mueve a una velocidad alta hacia el punto de referencia, el sistema se pasará de largo debido a su inercia. Esto produce un sobrepulso y oscilaciones en torno a la referencia. Para evitar este problema, el controlador debe reconocer la velocidad a la que el sistema se acerca a la referencia para poder frenarle con antelación a medida que se acerque a la referencia deseada y evitar que la sobrepase.

Aumentar la constante de control derivativa **K<sub>d</sub>** tiene los siguientes efectos:

- 1º.- Aumenta la estabilidad del sistema controlado.
- 2º.- Disminuye un poco la velocidad del sistema.
- 3º.- El error en régimen permanente permanecerá igual.

Esta acción de control servirá por lo tanto para estabilizar una respuesta que oscile demasiado.

Un problema que presenta el control derivativo consiste en que amplifica las señales que varían rápidamente, por ejemplo el ruido de alta frecuencia. Debido a este efecto, el ruido de la señal de error aparece amplificado en el accionamiento de la planta. Para poder reducir este efecto es necesario reducir el ruido de la señal de error mediante un filtro paso bajos antes de aplicarla al término derivativo. Con este filtro la acción derivativa se encuentra limitada, por lo que es deseable reducir el ruido de la señal de error por otros medios antes de recurrir a un filtro paso bajos.

Llegado a este punto, el sistema es rápido y estable, pero mantiene todavía un pequeño error en régimen permanente. Esto significa que la posición real del

sistema no es exactamente la posición deseada. Para poder reducir este error se recurre a la tercera acción de control del regulador PID, la acción de control Integral.

## Acción de control Integral

Esta acción de control como su nombre indica, calcula la integral de la señal de error  $e(t)$ . La integral se puede ver como la suma o acumulación de la señal de error. A medida que pasa el tiempo pequeños errores se van sumando para hacer que la acción integral sea cada vez mayor. Con esto se consigue reducir el error del sistema en régimen permanente. La desventaja de utilizar la acción integral consiste en que esta añade una cierta inercia al sistema y por lo tanto le hace más inestable.

Aumentar la acción integral  $K_i$  tiene los siguientes efectos:

- 1º.- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- 2º.- Aumenta la inestabilidad del sistema.
- 3º.- Aumenta un poco la velocidad del sistema.

Esta acción de control servirá para disminuir el error en régimen permanente.

## Sintonización manual de un controlador PID

Después de ver las diferentes acciones proporcional, integral y derivativa de un control PID, se pueden aplicar unas reglas sencillas para sintonizar este controlador de forma manual.

### 1º.- Acción Proporcional.

Se aumenta poco a poco la acción proporcional para disminuir el error (diferencia entre el estado deseado y el estado conseguido) y para aumentar la velocidad de respuesta.

Si se alcanza la respuesta deseada en velocidad y error, el PID ya está sintonizado.

Si el sistema se vuelve inestable antes de conseguir la respuesta deseada, se debe aumentar la acción derivativa.

### 2º.- Acción Derivativa.

Si el sistema es demasiado inestable, se aumentará poco a poco la constante derivativa  $K_d$  para conseguir de nuevo estabilidad en la respuesta.

### 3º.- Acción Integral.

En el caso de que el error del sistema sea mayor que el deseado, se aumentará la constante integral  $K_i$  hasta que el error se minimiza con la rapidez deseada.

Si el sistema se vuelve inestable antes de conseguir la respuesta deseada, se debe aumentar la acción derivativa.

## Desarrollo Experimental

En la Figura 2 se puede observar el circuito implementado para la realización de esta práctica. El cual consta de distintas etapas. La etapa de control PID y la etapa de potencia para el motor.

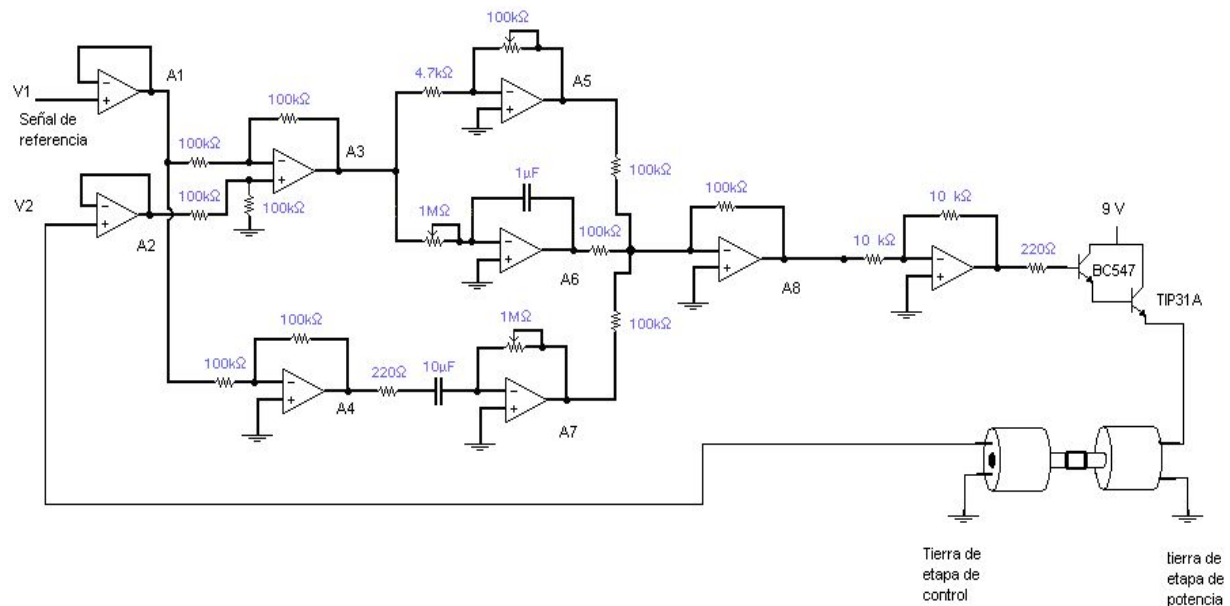


Figura 2. Circuito implementado para la práctica.

### Control PID

La primera etapa, control PID, se encarga de recibir la señal de referencia (5v en A1) y la señal de retroalimentación (A2) obtenida del motor generador de voltaje. Posteriormente ambas señales pasan a través de un amplificador restador (A3), el cual entrega la señal de error ( $e(t)$ ). La cual pasa posteriormente al amplificador inversor (proporcional) y al amplificador integrador. En la Figura 3, se muestra la sección del circuito que realiza la tarea de recibir la señal de referencia y la señal de retroalimentación junto con el primer sumador inversor encargado de obtener la señal de error.

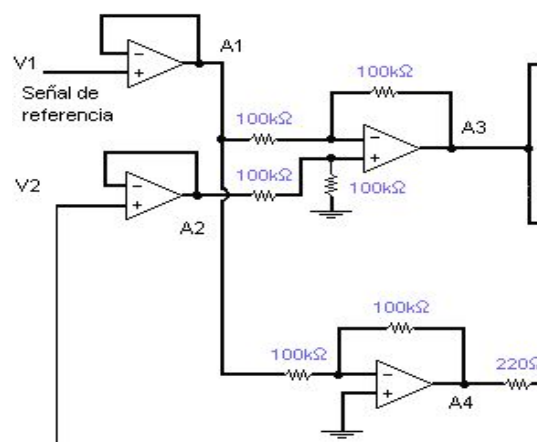


Figura 3. Sección del circuito para obtener señal de error.

El amplificador A4 se encuentra configurado como un amplificador inversor de ganancia unitaria, la entrada de este es la señal de referencia, por lo cual en la salida se obtiene una señal de -5v.

La Figura 4 muestra los amplificadores operacionales usados para el control PID, A5 corresponde al control proporcional, A6 al control integral y A7 al control derivativo.

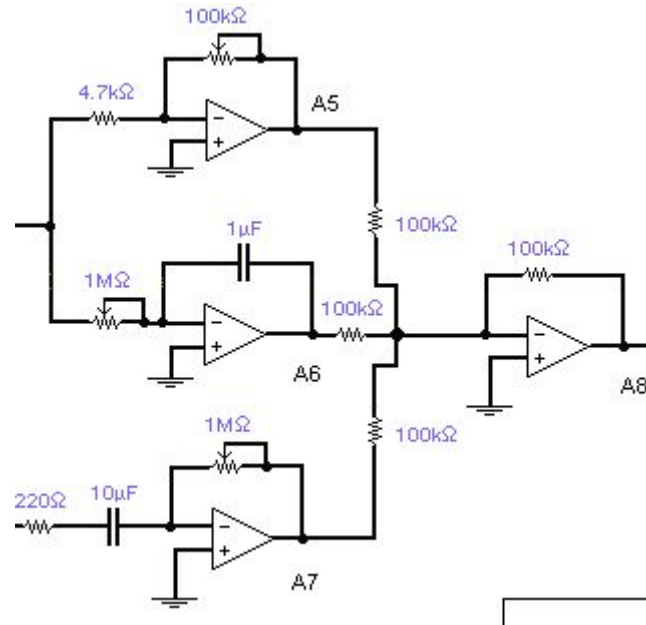


Figura 4. Control PID.

El amplificador A5 (Proporcional) se encuentra configurado como un amplificador inversor de ganancia variable (debido al potenciómetro usado). La salida obtenida de la medición hecha, se muestra en la Figura 5.

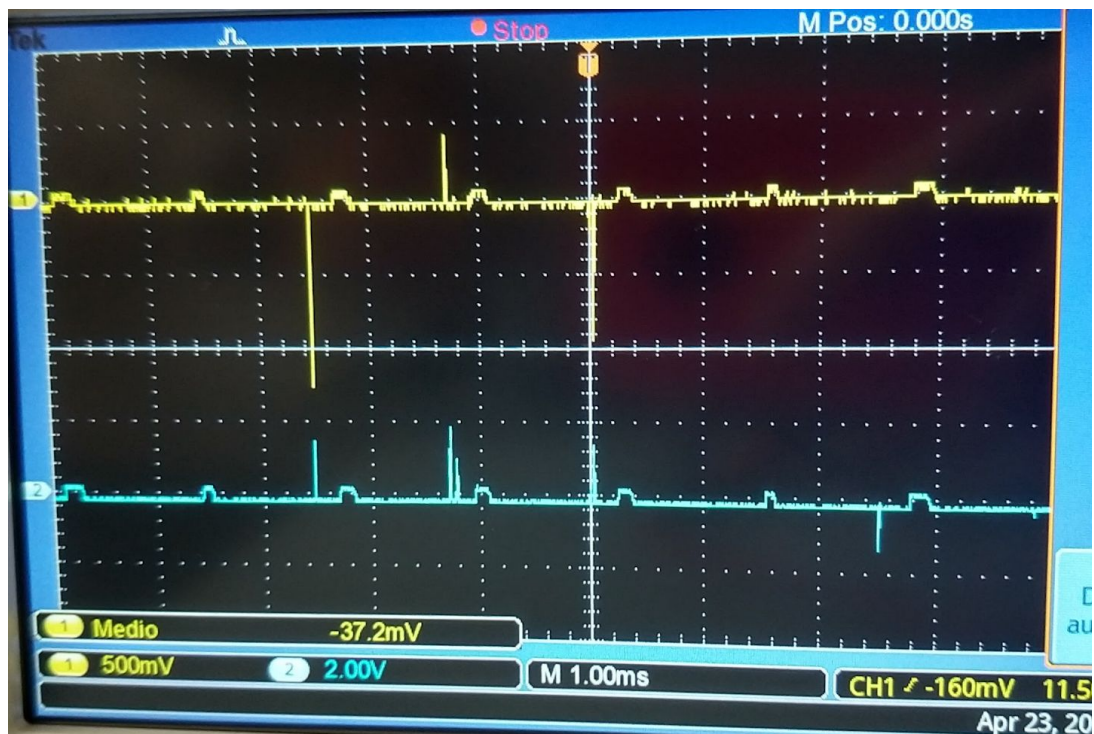


Figura 5. Salida obtenida del amplificador inversor A5.



El amplificador A6 (Integral) está configurado como un amplificador integrador de ganancia variable. La medición obtenida de la salida del mismo se muestra en la Figura 6. La salida se muestra como la señal de color amarillo (representa un coseno) y la entrada es mostrada de color azul (seno).

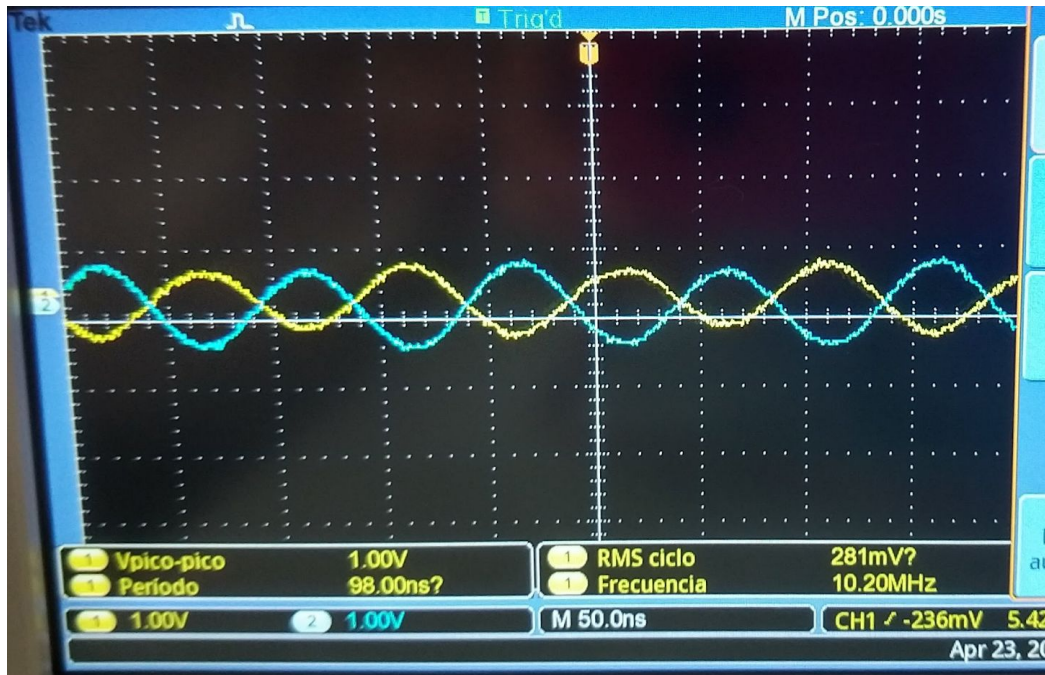


Figura 6. Salida obtenida integrador.

Finalmente la Figura 7, muestra la salida obtenida del amplificador A7 (Derivativo), al recibir este como entrada -5v , la salida obtenida del amplificador derivativo es un cero, por lo cual podemos comprobar que el funcionamiento del amplificador derivador era correcto.

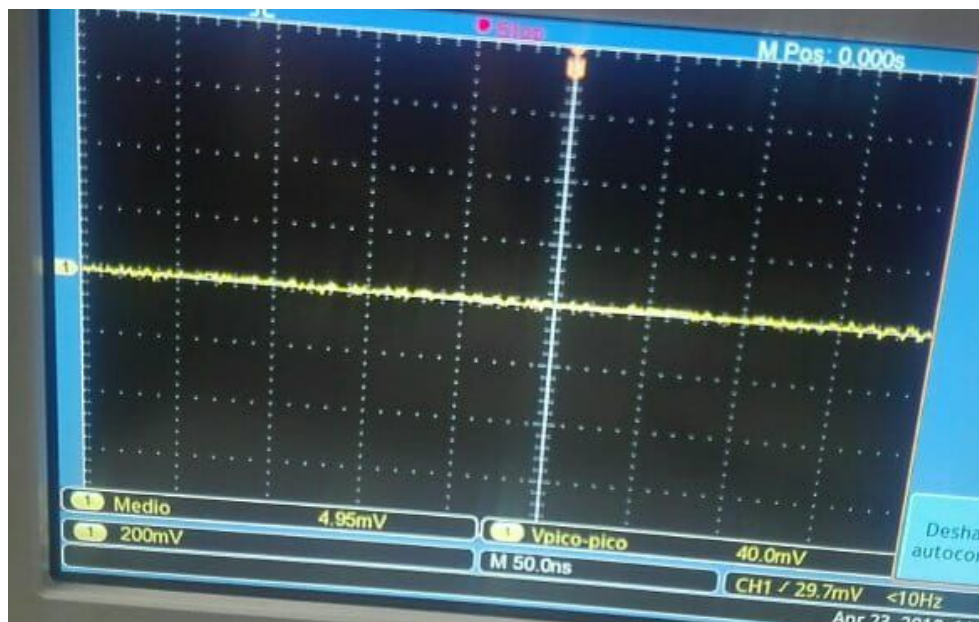


Figura 7. Salida obtenida del derivador.



El amplificador A8 está configurado como un sumador inversor, que recibe como entrada las salidas de los amplificadores A5, A6 y A7. Para comprobar la etapa de potencia del motor, se realizó una medición del voltaje que era ingresado al primer motor. La cual se muestra en la Figura 8. Como se puede observar, se obtuvo un poco más de 12 v como salida, lo cual es la entrada del motor ya mencionado.

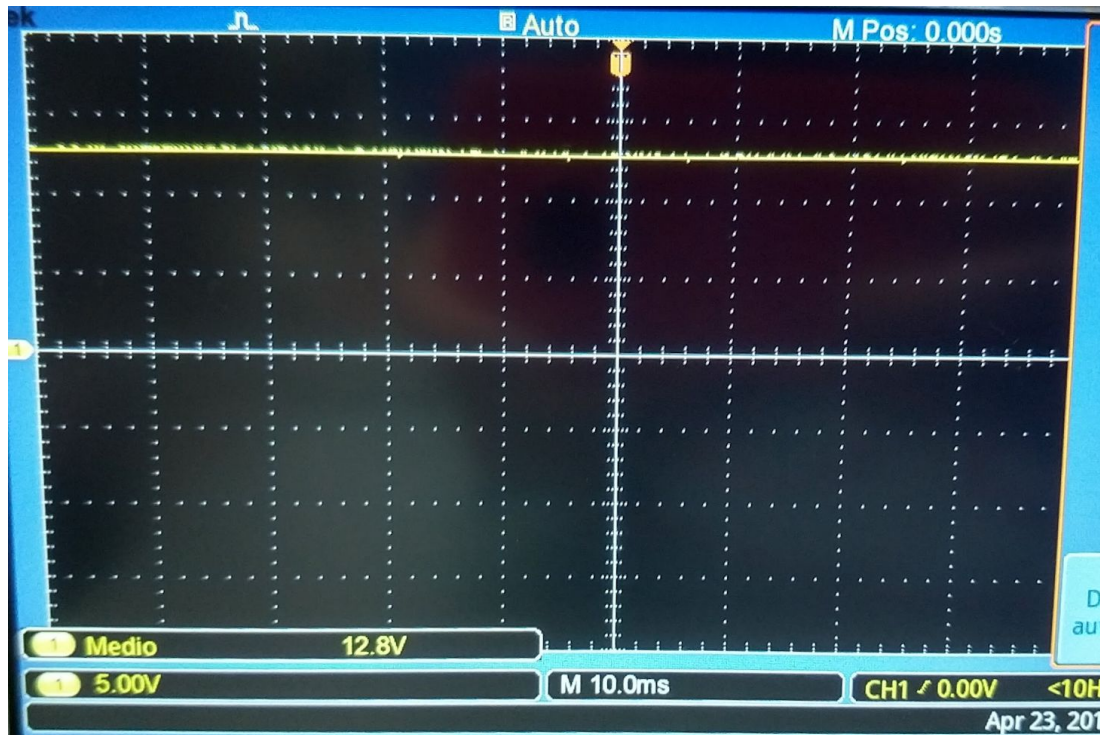
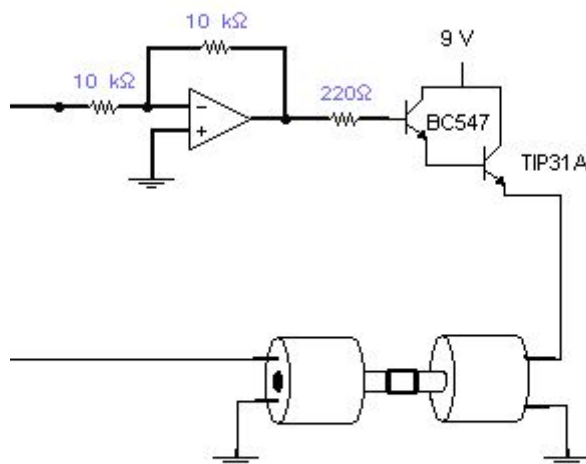


Figura 8. Voltaje ingresado al primer motor.

En la Figura 9 se muestra la etapa de potencia de motor, cabe señalar que los dos motores están acoplados uno con otro, esto para que un motor genere el movimiento de otro, así la señal de retroalimentación del sistema es un voltaje generado por el segundo motor (generador).



Además, el diseño completo del circuito hacía que el motor uno siempre recibiera el voltaje necesario para mover al generador y este generará el voltaje necesario para llevar el error lo más cercano posible a cero, en esto es donde vemos aplicada la

retroalimentación de un sistema, debido a que la salida obtenida del sistema se compara con una referencia y así se puede conocer si el sistema funciona de forma correcta o no. Durante la práctica, al tratar de frenar el motor, el voltaje que le llegaba al mismo aumentaba para que este pudiera seguir moviendo al otro motor y así el voltaje generado por este último siguiera permitiendo mantener el error muy cercano a cero. Al momento de soltar el motor el voltaje caía y se mantenía constante hasta que otra vez su movimiento fuera tratado de detener.

## **Conclusiones**

### **Arteaga Lara Samuel**

La elaboración de la práctica trajo consigo la comprobación experimental que terminó de aclarar todo aquello que anteriormente habíamos visto en clase, se pudo ver perfectamente cómo es que una señal de entrada es comparada con una de referencia para mantener estable el funcionamiento del circuito, y cuando este se veía modificado, es decir, frenábamos manualmente los motores, entonces el circuito hacía que el voltaje aumentará para retornar el movimiento a los motores, así cuando estos se soltaban el voltaje disminuía, asemejándose demasiado al funcionamiento de un elevador, en el que a mayor cantidad de gente dentro de él requerirá mayor fuerza para llevar a estos hacia arriba o abajo, los resultados fueron analizados y comprobados, por lo que la práctica pudo realizarse con éxito.

### **Mendoza Jaimes Ian**

Los sistemas eléctricos pueden ser modelados con ecuaciones y así predecir su comportamiento antes de tener que armarlos en la realidad. En esta práctica se involucraron muchas de las cosas vistas en clase y se plasmaron en un circuito funcional. Pudimos medir directamente los resultados arrojados por las diferentes partes del circuito y así contrastarlo con lo que las ecuaciones nos dicen.

### **Monroy Martos Elioth**

Con la realización de esta práctica pudimos analizar con los aparatos de medición del laboratorio (osciloscopio y multímetro) las diferentes salidas que obtuvimos de cada una de las etapas del circuito (amplificadora, derivadora e integradora). Las cuales comparamos con las salidas obtenidas en ejercicios previos hechos en clase de forma teórica y simulada con el uso de MATLAB. Por lo cual, se comprobó que lo visto y simulado en clase fue correcto, ya que al momento de realizar mediciones en el circuito se obtuvieron los resultados esperados. Además vimos una implementación práctica de los temas vistos en clase.

### **Saldaña Aguilar Andrés Arnulfo**

Con la prueba de este circuito se pudo analizar de manera práctica el funcionamiento de un sistema a lazo cerrado, algunos de los errores que cometimos en el ensamblado del circuito fueron después obvios, como el caso de que la retroalimentación debe ser negativa para que el comparador pueda realizar bien su trabajo o la ganancia debe ser ajustada para que sea proporcional la salida que va al motor, entonces vimos los resultados buscados en cuanto como el sistema compensaba el voltaje cuando forzamos su reducción de revoluciones o las salidas esperadas del sumador, inversor, comparador y diferenciador.