



Dirección General de  
**EDUCACIÓN TÉCNICA Y  
FORMACIÓN PROFESIONAL**

Ministerio de  
**EDUCACIÓN**



**CÓRDOBA**  
*Seguimos haciendo*

Materia: Sistemas de Control y Servicios

## **TRABAJO PRÁCTICO #2**

**Docente: Cristian Gonzalo Vera**

**Alumno: José Augusto Orsili**

**Año 2024**

## 1. Análisis de los diferentes tipos de controladores y su clasificación según su función

### Introducción

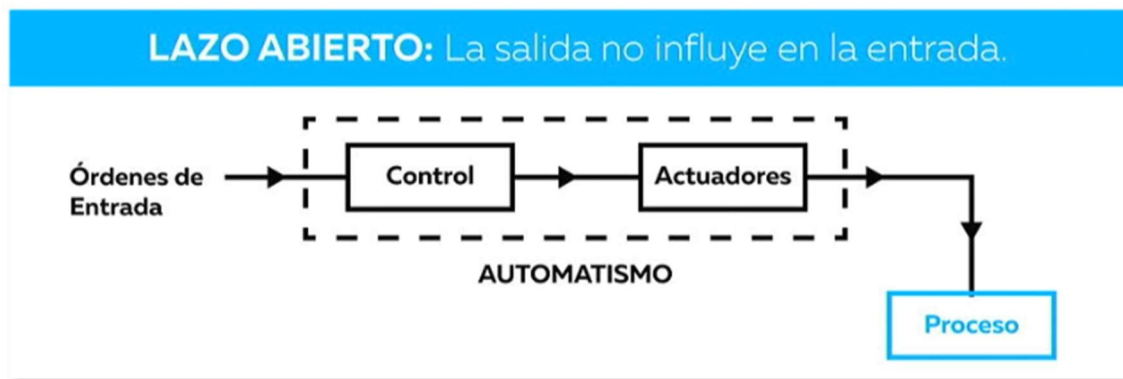
Los controladores son dispositivos electrónicos que se utilizan para regular o controlar un proceso o sistema. Su función principal es comparar la variable de proceso (valor que se desea controlar) con la señal de referencia (valor deseado de la variable de proceso) y generar una señal de control que ajusta el actuador para lograr la variable de proceso deseada.

### **Clasificación de controladores según su función**

Los controladores se pueden clasificar en dos categorías principales según su función:

#### Controladores de lazo abierto

En los controladores de lazo abierto, la señal de control se genera únicamente a partir de la señal de referencia y no se toma en cuenta la variable de proceso real. Esto significa que el controlador no tiene retroalimentación sobre el efecto de su acción en el proceso.



#### Ventajas:

- **Simplicidad:** Son más simples de diseñar e implementar que los controladores de lazo cerrado.
- **Bajo costo:** Suelen ser menos costosos que los controladores de lazo cerrado.

#### Desventajas:

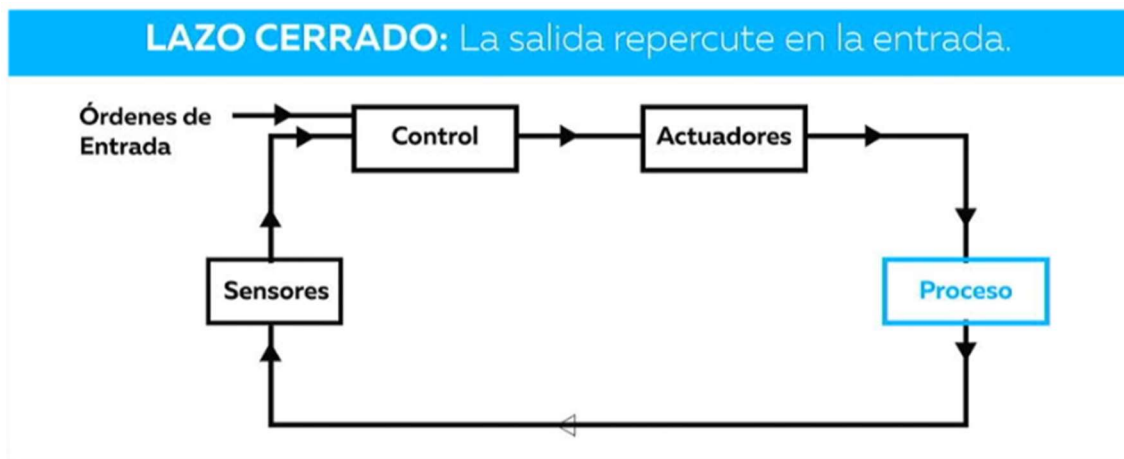
- **Inestabilidad:** Pueden ser inestables en algunos casos, lo que significa que el proceso puede oscilar o divergir en lugar de converger al valor deseado.
- **Baja precisión:** No pueden lograr un control preciso de la variable de proceso, especialmente en presencia de perturbaciones.

#### Aplicaciones:

- **Sistemas simples y estables:** Donde la precisión no es crítica y las perturbaciones son mínimas.
- **Aplicaciones de bajo costo:** Donde el costo es un factor importante.

#### Controladores de lazo cerrado

En los controladores de lazo cerrado, la señal de control se genera no solo a partir de la señal de referencia, sino también de la variable de proceso real. Esto significa que el controlador tiene retroalimentación sobre el efecto de su acción en el proceso y puede ajustar la señal de control en consecuencia para lograr la variable de proceso deseada.



#### Ventajas:

- **Estabilidad:** Son más estables que los controladores de lazo abierto y pueden mantener el proceso dentro de un rango de operación deseado, incluso en presencia de perturbaciones.
- **Alta precisión:** Pueden lograr un control preciso de la variable de proceso.

#### Desventajas:

- **Complejidad:** Son más complejos de diseñar e implementar que los controladores de lazo abierto.
- **Alto costo:** Suelen ser más costosos que los controladores de lazo abierto.

#### Aplicaciones:

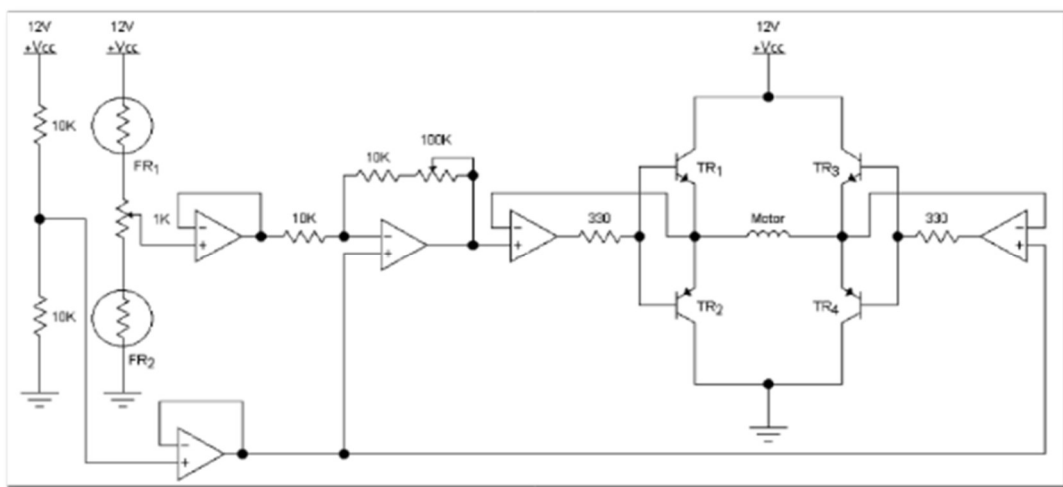
- **Sistemas complejos o inestables:** Donde la precisión y la estabilidad son críticas.
- **Aplicaciones de alta precisión:** Donde se requiere un control preciso de la variable de proceso.

### Tipos de controladores según su tecnología

Los controladores también se pueden clasificar según la tecnología que utilizan para generar la señal de control:

#### Controladores analógicos

Los controladores analógicos utilizan señales continuas para representar la variable de proceso, la señal de referencia y la señal de control. Son implementados con componentes electrónicos analógicos, como amplificadores operacionales, resistencias, capacitores y transistores.



#### Ventajas:

- **Simplicidad:** Son más simples de diseñar e implementar que los controladores digitales.
- **Bajo costo:** Suelen ser menos costosos que los controladores digitales.
- **Respuesta rápida:** Pueden generar una señal de control rápidamente, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren un control rápido.

#### Desventajas:

- **Baja precisión:** Pueden tener una precisión limitada, especialmente en presencia de ruido.
- **Sensibilidad a la temperatura:** Su rendimiento puede verse afectado por cambios de temperatura.

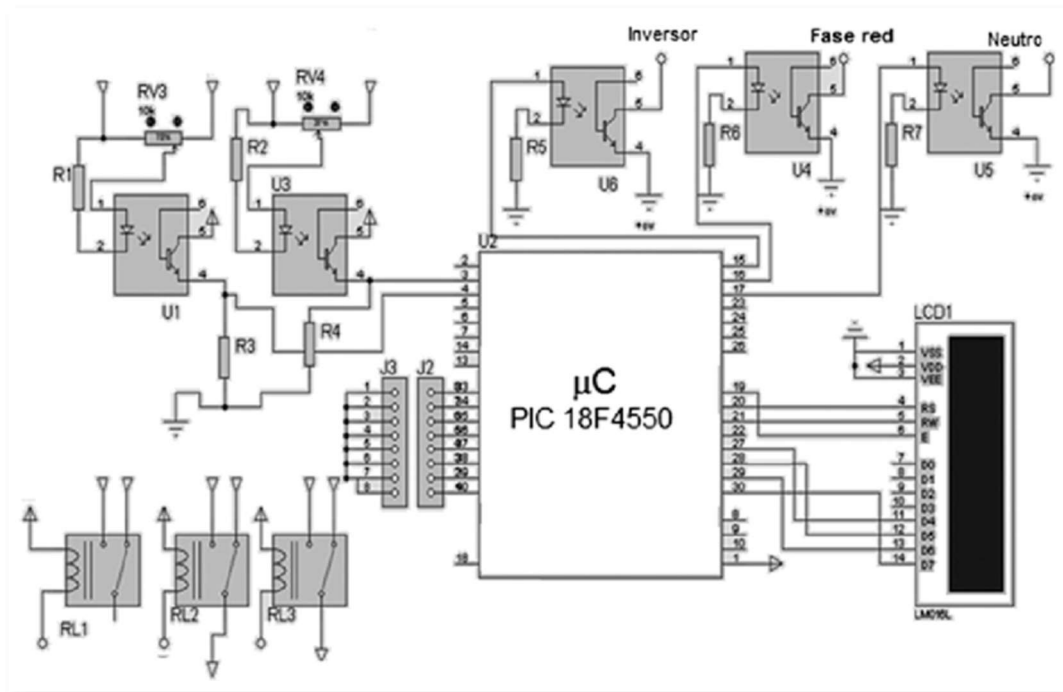
- **Dificultad de implementación de funciones complejas:** Implementar funciones complejas de control puede ser difícil con controladores analógicos.

#### Aplicaciones:

- Sistemas simples y estables: Donde la precisión no es crítica y las funciones de control son simples.
- Aplicaciones de bajo costo: Donde el costo es un factor importante.
- Aplicaciones que requieren una respuesta rápida: Donde la velocidad de control es crítica.

#### Controladores digitales

Los controladores digitales utilizan señales discretas (binarias) para representar la variable de proceso, la señal de referencia y la señal de control. Son implementados con microcontroladores o procesadores digitales.



#### Ventajas:

- **Alta precisión:** Pueden lograr una alta precisión de control.
- **Versatilidad:** Pueden implementar funciones de control complejas.
- **Insensibilidad al ruido:** Son menos sensibles al ruido que los controladores analógicos.

- **Facilidad de ajuste y calibración:** Se pueden ajustar y calibrar fácilmente mediante software.

#### Desventajas:

- **Complejidad:** Son más complejos de diseñar e implementar que los controladores analógicos.
- **Alto costo:** Suelen ser más costosos que los controladores analógicos.
- **Respuesta más lenta:** La generación de la señal de control puede ser más lenta que en los controladores analógicos, lo que puede limitar su uso en aplicaciones que requieren un control muy rápido.

#### **Aplicaciones:**

- **Sistemas complejos o inestables:** Donde la precisión y la versatilidad son críticas.
- **Aplicaciones de alta precisión:** Donde se requiere un control preciso de la variable de proceso.
- **Aplicaciones que requieren funciones de control complejas:** Donde se necesitan funciones de control que son difíciles o imposibles de implementar con controladores analógicos.

#### Ejemplos de controladores

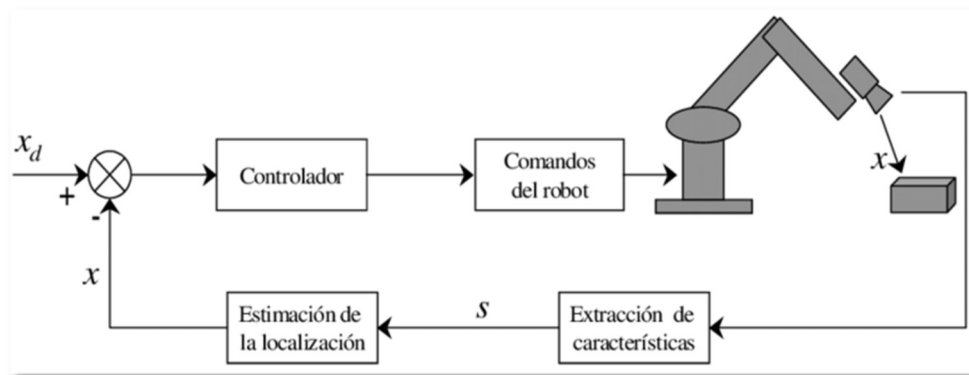
- **Controlador de temperatura:** Un controlador de temperatura puede ser analógico o digital. Se utiliza para mantener la temperatura de un sistema dentro de un rango deseado.



- **Controlador de velocidad:** Un controlador de velocidad puede ser analógico o digital. Se utiliza para controlar la velocidad de un motor o de otro dispositivo rotatorio.

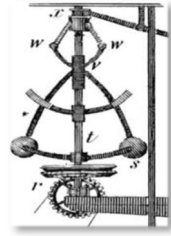


- **Controlador de posición:** Un controlador de posición puede ser analógico o digital. Se utiliza para controlar la posición de un objeto en el espacio.



## 2. Historia y evolución de los controladores analógicos y su aplicación en sistemas antiguos

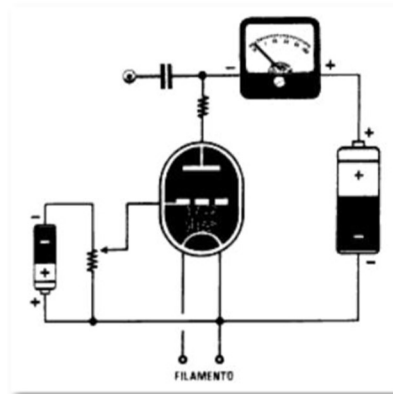
Los controladores analógicos han jugado un papel crucial en el desarrollo de la tecnología de control desde sus inicios hasta mediados del siglo XX. Su simplicidad, bajo costo y respuesta rápida los convirtieron en la opción preferida para una amplia gama de aplicaciones en sistemas antiguos.



### Orígenes y desarrollo temprano

Los primeros controladores analógicos se basaban en amplificadores de vacío y redes pasivas de resistencias, capacitores e inductores. Estos dispositivos eran relativamente simples y confiables, pero tenían limitaciones en términos de precisión y flexibilidad.

A finales del siglo XIX y principios del XX, el desarrollo de la electrónica a válvulas impulsó el avance de los controladores analógicos. La invención del triodo por Lee De Forest en 1906 marcó un punto de inflexión, ya que permitió la amplificación de señales eléctricas con mayor precisión y eficiencia.



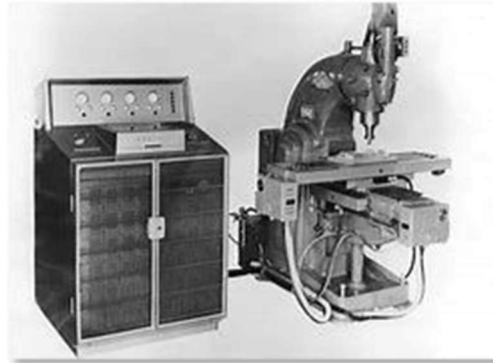
### Aplicaciones en sistemas antiguos

Los controladores analógicos encontraron una amplia gama de aplicaciones en sistemas antiguos, incluyendo:

- **Máquinas-herramienta:** Se utilizaban para controlar la velocidad, la posición y la fuerza de las máquinas-herramienta, como tornos, fresadoras y taladradoras.
- **Sistemas de control de temperatura:** Regulación de la temperatura en hornos, incubadoras y otros sistemas térmicos.
- **Sistemas de control de motores:** Control de la velocidad y el par de motores eléctricos en aplicaciones como ascensores, grúas y ventiladores.



- **Instrumentación:** Se utilizaban en instrumentos de medición como medidores de presión, osciloscopios y registradores de datos.



### Ejemplos de controladores analógicos tempranos

- **Controlador PID:** El controlador PID (proporcional-integral-derivativo) es uno de los controladores analógicos más utilizados y versátiles. Fue desarrollado en la década de 1920 y se sigue utilizando ampliamente en la actualidad. El primer controlador PID conocido fue desarrollado por Elmer Sperry en 1911 para su uso en timones automáticos de barcos. Este controlador era un sistema mecánico que utilizaba giroscopios para detectar la desviación del rumbo del barco y un sistema de servomecanismos para ajustar el timón en consecuencia. El controlador de Sperry no era un controlador PID en el sentido moderno del término, ya que no utilizaba un algoritmo matemático formal para calcular la señal de control. Sin embargo, incorporaba los tres principios básicos de control proporcional, integral y derivativo que son la base de los controladores PID modernos.

El primer análisis teórico de un controlador PID fue publicado por el ingeniero ruso-estadounidense Nicolas Minorsky en 1922. En su trabajo, Minorsky describió las características matemáticas de los controladores PID y demostró cómo podían utilizarse para controlar sistemas dinámicos.

Los controladores PID no se generalizaron hasta la década de 1950, con el desarrollo de la electrónica y la computación. La disponibilidad de componentes electrónicos asequibles y fiables hizo posible la construcción de controladores PID electrónicos que eran más precisos y versátiles que sus predecesores mecánicos.

### Ejemplos de controladores PID:

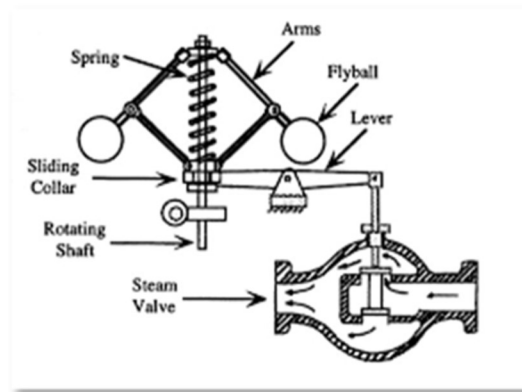
**Controlador de nivel de agua de 1930:** Este controlador utilizaba un flotador para detectar el nivel del agua en un tanque y un sistema de válvulas para ajustar el flujo de agua en consecuencia.

**Controlador de temperatura de horno de 1940:** Este controlador utilizaba un termopar para medir la temperatura del horno y un sistema de relés para controlar los elementos calefactores.

**Controlador de velocidad del motor de 1950:** Este controlador utilizaba un tacómetro para medir la velocidad del motor y un sistema de servomecanismos para ajustar la velocidad del motor en consecuencia.

Los controladores PID han seguido evolucionando desde entonces, y hoy en día son uno de los tipos de controladores más utilizados en la industria. Se encuentran en una amplia variedad de aplicaciones, desde la industria manufacturera hasta la medicina.

- **Compensador de plomo-lag:** El compensador de plomo-lag se utiliza para mejorar la estabilidad y la respuesta de los sistemas de control. Fue desarrollado en la década de 1930 y se sigue utilizando en aplicaciones como el control de aviones y robots.
- **Filtro de Butterworth:** El filtro de Butterworth se utiliza para eliminar el ruido y las señales no deseadas de las señales de control. Fue desarrollado en la década de 1930 y se sigue utilizando en aplicaciones como la instrumentación y el procesamiento de señales.



### Declive y transición a los controladores digitales

A partir de la década de 1970, los controladores digitales comenzaron a reemplazar gradualmente a los controladores analógicos debido a sus numerosas ventajas, como:

- **Mayor precisión y flexibilidad:** Los controladores digitales pueden implementar algoritmos de control más complejos y precisos que los controladores analógicos.
- **Facilidad de ajuste y calibración:** Los parámetros de los controladores digitales se pueden ajustar y calibrar fácilmente mediante software.
- **Comunicación y redes:** Los controladores digitales pueden comunicarse entre sí y con otros sistemas mediante redes, lo que permite implementar sistemas de control más complejos y distribuidos.

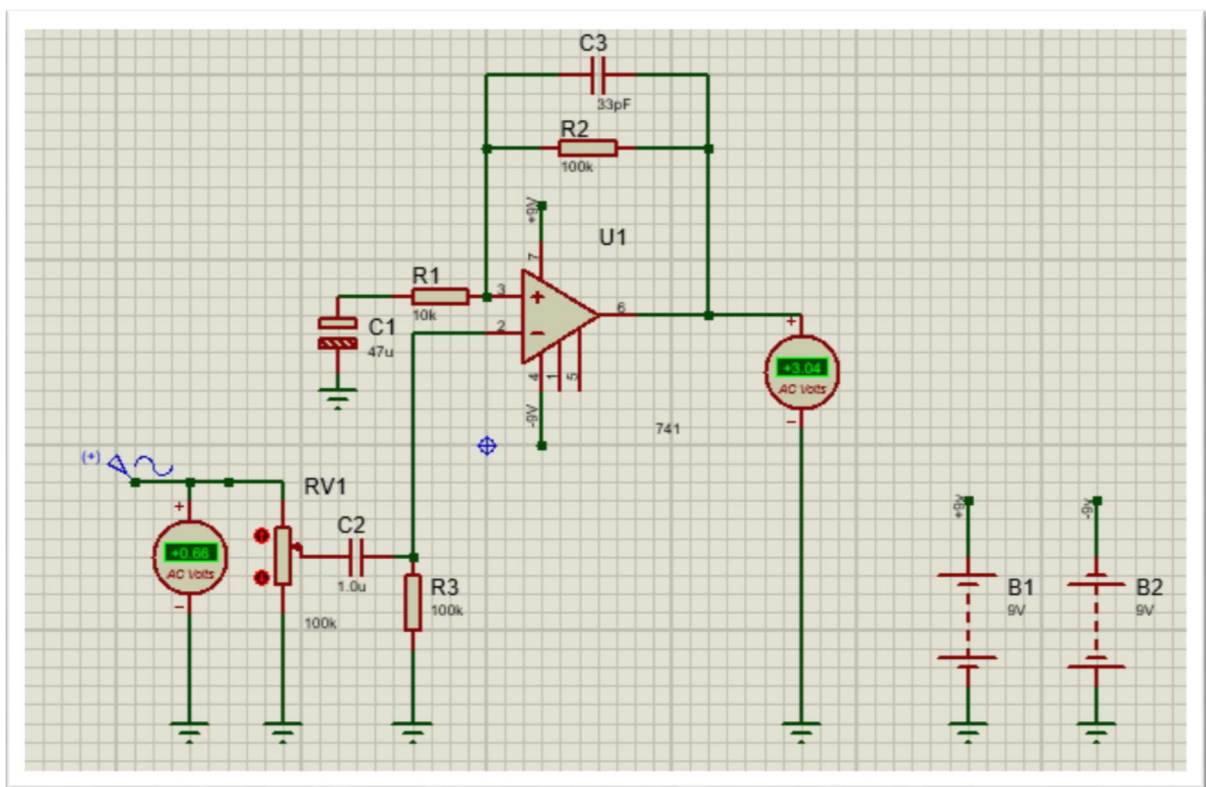
Sin embargo, los controladores analógicos siguen siendo utilizados en algunas aplicaciones donde su simplicidad, bajo costo y respuesta rápida son ventajas importantes.

Los controladores analógicos han jugado un papel fundamental en el desarrollo de la tecnología de control y han tenido un impacto significativo en el avance de la industria y la ciencia. Si bien han sido en gran medida reemplazados por controladores digitales en las últimas décadas, su legado sigue presente en los principios básicos de control y en las aplicaciones donde su simplicidad y eficiencia son valoradas.

### 3. Circuito electrónico analógico simulado en Proteus.

Descripción de un circuito amplificador de micrófono con control por medio de un potenciómetro

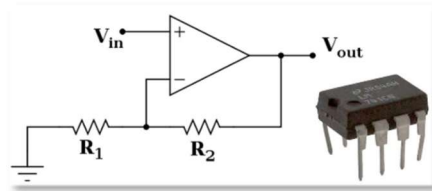
El siguiente circuito es un amplificador de micrófono simple que utiliza un amplificador operacional y un potenciómetro para controlar la ganancia. El micrófono convierte las ondas de sonido en una señal eléctrica de bajo voltaje, que luego se amplifica por el amplificador operacional y se envía a una etapa de potencia o auriculares. El potenciómetro permite ajustar la cantidad de ganancia aplicada a la señal del micrófono, controlando así el volumen de salida.



La imagen muestra la simulación del circuito en Proteus.

#### 4. Análisis de las configuraciones básicas del amplificador operacional en el control de sistemas y su aplicación en un circuito electrónico

Los amplificadores operacionales son componentes electrónicos versátiles que se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el control de sistemas. Su alta ganancia, impedancia de entrada y flexibilidad los convierten en herramientas valiosas para implementar circuitos de control precisos y confiables. Aquí analizaré las configuraciones básicas del amplificador operacional en el control de sistemas y su aplicación en un circuito electrónico específico.



##### Implementación del controlador PID con amplificadores operacionales:

- **Controlador proporcional (P):** La configuración inversora de un AO se utiliza para implementar el controlador proporcional. La señal de error (diferencia entre la variable de referencia y la variable medida) se aplica a la entrada inversora del AO, y la ganancia de este se ajusta mediante una resistencia de retroalimentación. La salida del AO genera la señal de control proporcional al error.
- **Controlador integral (I):** La configuración no inversora de un AO se utiliza para implementar el controlador integral. La señal de error se integra con un condensador y el resultado se aplica a la entrada no inversora del AO. La salida del AO genera la señal de control integral, proporcional a la integral del error en el tiempo.
- **Controlador derivativo (D):** La configuración inversora de un AO se utiliza para implementar el controlador derivativo. La derivada de la señal de error se obtiene con un circuito RC y se aplica a la entrada inversora del AO. La salida del AO genera la señal de control derivativo, proporcional a la tasa de cambio del error.

##### Ventajas del uso de amplificadores operacionales en control PID:

- **Precisión:** Los amplificadores operacionales proporcionan una alta precisión y linealidad en la amplificación de las señales, lo que es crucial para un control PID preciso.
- **Flexibilidad:** La configuración de los amplificadores operacionales permite ajustar fácilmente las ganancias de los términos proporcional, integral y derivativo del controlador PID, adaptándolo a las características específicas del sistema controlado.

- **Escalabilidad:** Los amplificadores operacionales se pueden combinar en configuraciones más complejas para implementar controladores PID más sofisticados, incluyendo controladores PID de dos grados de libertad o controladores PID adaptativos.
- **Bajo costo:** Los amplificadores operacionales son componentes electrónicos relativamente económicos y fáciles de obtener, lo que los hace una opción atractiva para implementaciones de control PID.

#### **Ejemplos de aplicaciones de control PID con amplificadores operacionales:**

- **Control de temperatura:** Un controlador PID con amplificadores operacionales se puede utilizar para controlar la temperatura de un horno o un baño de agua, ajustando la potencia de calentamiento en función de la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura medida.
- **Control de velocidad de motores:** Un controlador PID con amplificadores operacionales se puede utilizar para controlar la velocidad de un motor eléctrico, ajustando la señal de control al motor en función de la diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad medida.
- **Control de posición de robots:** Un controlador PID con amplificadores operacionales se puede utilizar para controlar la posición de un brazo robótico, ajustando los motores que mueven las articulaciones del robot en función de la diferencia entre la posición deseada y la posición medida.

#### **Algunas consideraciones adicionales:**

- **Ruido:** Los amplificadores operacionales pueden ser sensibles al ruido eléctrico, por lo que es importante tomar medidas para minimizar el ruido en el circuito de control.
- **Offset:** Los amplificadores operacionales pueden tener un offset de entrada, lo que puede afectar la precisión del control. Este offset debe ser compensado o calibrado.
- **Estabilidad:** El diseño del controlador PID debe garantizar la estabilidad del sistema controlado, evitando oscilaciones o comportamientos no deseados.

## Aplicaciones básicas del amplificador operacional

Las configuraciones básicas del amplificador operacional se basan en la conexión de componentes externos a sus terminales de entrada y salida. Estas configuraciones permiten obtener diferentes funciones de amplificación, procesamiento de señales y control.

### Amplificador inversor

En la configuración inversora, la señal de entrada se aplica a la terminal negativa (-) del AO, mientras que la ganancia se establece mediante una resistencia de retroalimentación conectada entre la salida y la terminal negativa. La ganancia de voltaje de esta configuración es:

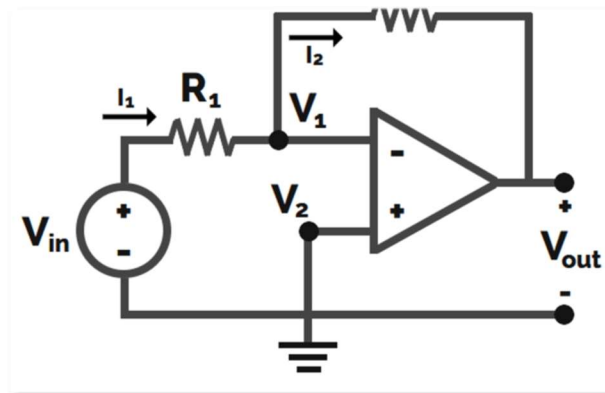
$$A_v = -R_f / R_{in}$$

Donde:

$A_v$  es la ganancia de voltaje

$R_f$  es la resistencia de retroalimentación

$R_{in}$  es la resistencia de entrada



### Amplificador no inversor

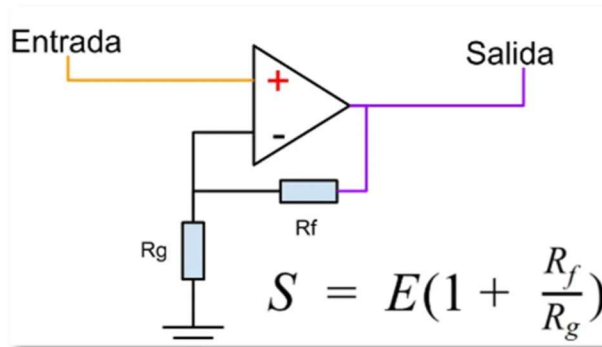
En la configuración no inversora, la señal de entrada se aplica a la terminal positiva (+) del AO, mientras que la ganancia se establece mediante una resistencia de retroalimentación conectada entre la salida y la terminal positiva. La ganancia de voltaje de esta configuración es:

$$A_v = 1 + R_f / R_{in}$$

Donde:

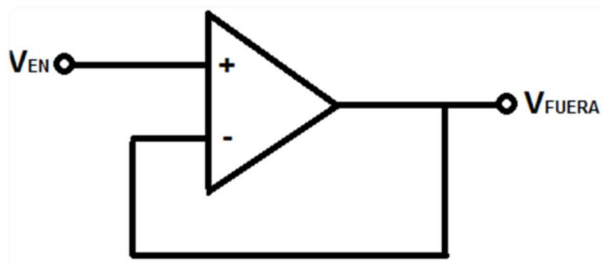
$A_v$  es la ganancia de voltaje

Rf es la resistencia de retroalimentación  
Rin es la resistencia de entrada



### Seguidor de voltaje

En la configuración seguidora de voltaje, la señal de entrada se aplica a la terminal no inversora (+), mientras que la salida es una réplica de la entrada con una ganancia de uno. La impedancia de entrada es alta y la impedancia de salida es baja.



### Amplificador diferencial

En la configuración de amplificador diferencial, la diferencia entre dos señales de entrada se amplifica y aparece en la salida. La ganancia de voltaje de esta configuración es:

$$A_v = (R_f / R_{in}) * (V_{in+} - V_{in-})$$

Donde:

A<sub>v</sub> es la ganancia de voltaje

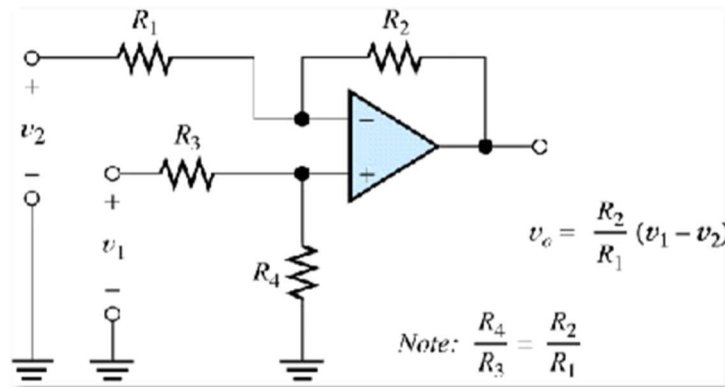
R<sub>f</sub> es la resistencia de retroalimentación

R<sub>in</sub> es la resistencia de entrada

V<sub>in+</sub> es la señal de entrada en la terminal positiva

V<sub>in-</sub> es la señal de entrada en la terminal negativa





### Aplicación en un circuito electrónico:

#### **Amplificador con ganancia variable**

Un amplificador con ganancia variable es un circuito que permite ajustar la ganancia de amplificación de una señal de entrada. Este tipo de circuito es útil en aplicaciones donde se requiere un control preciso de la magnitud de la señal de salida.

#### Circuito con potenciómetro

Un circuito simple de amplificador con ganancia variable puede implementarse utilizando un amplificador operacional en configuración inversora y un potenciómetro conectado entre la salida y la terminal negativa. Al ajustar el valor del potenciómetro, se modifica la resistencia de retroalimentación, lo que permite ajustar la ganancia de acuerdo con la siguiente ecuación:

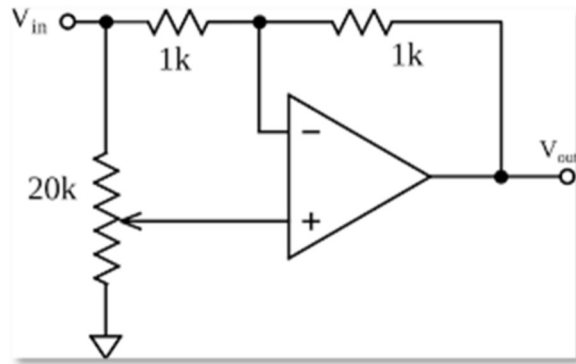
$$A_v = -R_f / R_{in} = -R_{pot} / R_{in}$$

Donde:

$A_v$  es la ganancia de voltaje

$R_{pot}$  es el valor del potenciómetro

$R_{in}$  es la resistencia de entrada

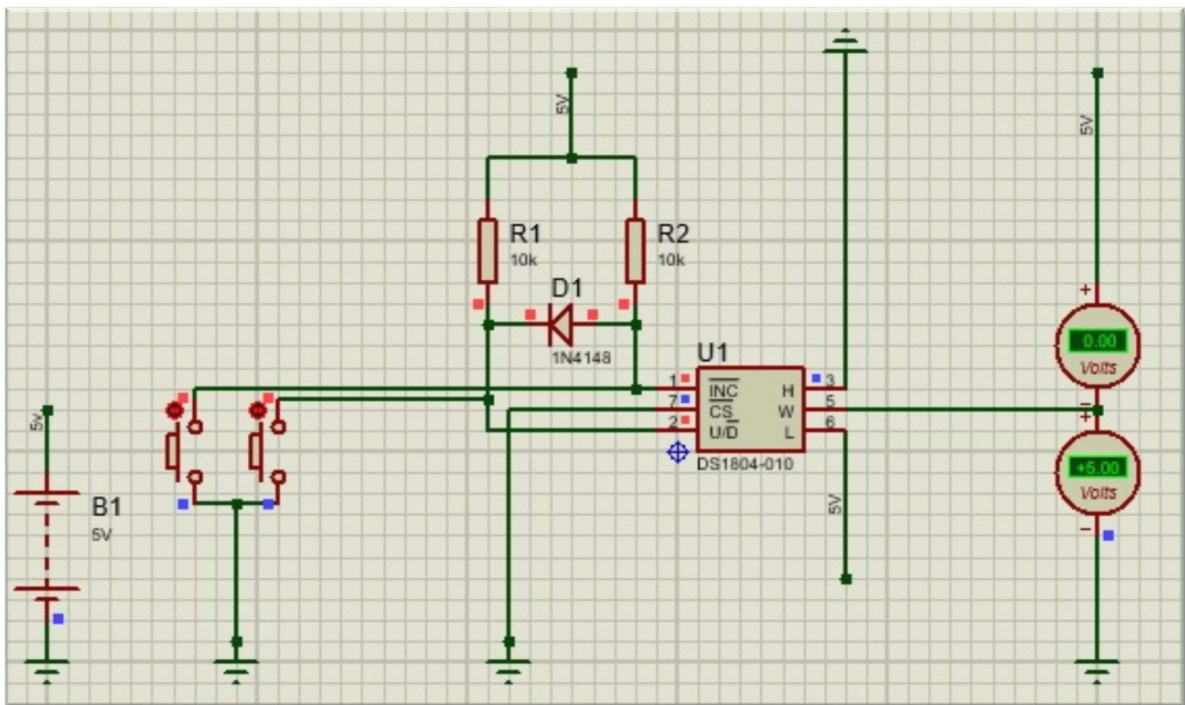


Las configuraciones básicas del amplificador operacional ofrecen una gran versatilidad para el diseño de circuitos de control en sistemas electrónicos. La comprensión de estas configuraciones y su aplicación práctica, como en el caso del amplificador con ganancia variable, permite implementar soluciones de control precisas y eficientes.

## 5. Diseño de un circuito electrónico digital utilizando Proteus.

### Descripción de la Simulación del Control de Tensión Digital con DS1804 en Proteus

El objetivo de esta simulación es diseñar y probar un circuito de control de tensión digital utilizando el DS1804 en el software Proteus. El DS1804 es un potenciómetro digital que puede ser controlado mediante señales digitales, lo que lo hace ideal para ajustar voltajes de manera precisa en aplicaciones electrónicas.



## 6. Programación un controlador digital y análisis de su comportamiento y respuesta a diferentes entradas.

Los controladores digitales son dispositivos electrónicos que utilizan señales discretas (binarias) para controlar un proceso o sistema. Se implementan con microcontroladores o procesadores digitales y son capaces de realizar funciones de control complejas con alta precisión y flexibilidad.

Se realizará la programación de un controlador digital en Python y el análisis de su comportamiento y respuesta a diferentes entradas.

### Elección del lenguaje de programación

El programa se realizará en Python, que es un lenguaje de programación de alto nivel, popular por su simplicidad, legibilidad y versatilidad. Ofrece una amplia gama de bibliotecas para trabajar con hardware, comunicación serial y procesamiento de señales, lo que lo convierte en una opción atractiva para programar controladores digitales.

### Programación en Python

El código es un controlador digital simple que lee la temperatura de un sensor y controla la potencia de un calentador para mantener la temperatura en un rango objetivo.

```
import time
import RPi.GPIO as GPIO

# Definir pines GPIO
sensor_pin = 17
heater_pin = 4

# Configurar pines GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(sensor_pin, GPIO.IN)
GPIO.setup(heater_pin, GPIO.OUT)

# Definir temperatura objetivo
target_temperature = 20

while True:
    # Leer temperatura del sensor
    sensor_value = GPIO.input(sensor_pin)
    temperature = sensor_value / 1024 * 3.3

    # Controlar potencia del calentador
```

```

if temperature < target_temperature:
    GPIO.output(heater_pin, GPIO.HIGH)
else:
    GPIO.output(heater_pin, GPIO.LOW)

# Imprimir temperatura actual
print("Temperatura actual:", temperature)

# Esperar un intervalo de tiempo
time.sleep(1)

```

### Análisis del comportamiento y respuesta

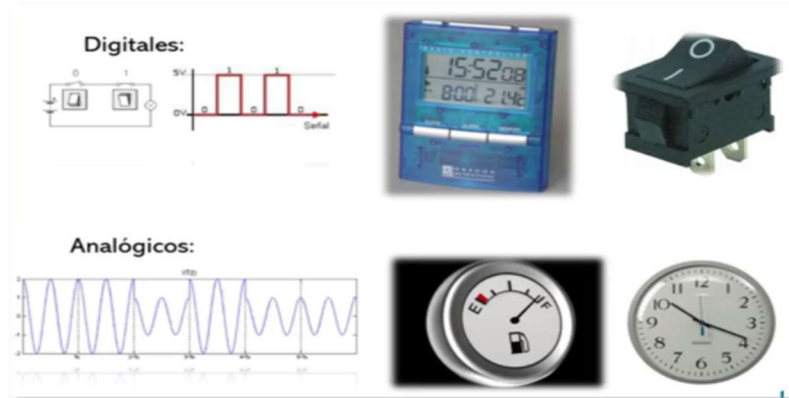
Este código establece un sistema de control simple donde un calentador se activa o desactiva según la lectura de temperatura de un sensor. Si la temperatura cae por debajo de un valor objetivo, el calentador se enciende para aumentarla, y si la temperatura alcanza o supera el valor objetivo, el calentador se apaga para mantenerla en un rango deseado.

#### Procesos realizados en el código:

- **Configuración de pines GPIO:** El código utiliza el módulo RPi.GPIO para interactuar con los pines GPIO de una Raspberry Pi. Define dos pines GPIO, uno para el sensor de temperatura (sensor\_pin) y otro para el calentador (heater\_pin).
- **Bucle principal:** El código se ejecuta en un bucle infinito (while True), lo que significa que continuará ejecutándose indefinidamente hasta que se interrumpa manualmente.
- **Lectura de temperatura:** Dentro del bucle, el código lee la entrada del pin del sensor de temperatura utilizando GPIO.input(sensor\_pin). Luego convierte este valor en una temperatura utilizando una fórmula de conversión basada en la relación entre el valor del sensor y el voltaje.
- **Control de potencia del calentador:** Después de obtener la temperatura actual, el código compara esta temperatura con un valor objetivo (target\_temperature). Si la temperatura actual es menor que el objetivo, el código activa el calentador (GPIO.output(heater\_pin, GPIO.HIGH)); de lo contrario, desactiva el calentador (GPIO.output(heater\_pin, GPIO.LOW)).
- **Impresión de temperatura actual:** El código imprime la temperatura actual en la consola para fines de visualización y seguimiento.
- **Espera de intervalo de tiempo:** Después de ejecutar todas las operaciones dentro del bucle, el código espera un intervalo de tiempo específico (1 segundo en este caso) antes de comenzar la próxima iteración del bucle. Esto controla la frecuencia de lectura y control del calentador.

## 7. Análisis comparativo entre controladores analógicos y digitales

Los controladores analógicos y digitales son dos tipos de dispositivos utilizados para regular o controlar un proceso o sistema. Su función principal es comparar la variable de proceso (valor que se desea controlar) con la señal de referencia (valor deseado de la variable de proceso) y generar una señal de control que ajusta el actuador para lograr la variable de proceso deseada.



### Principios de funcionamiento

- **Controladores analógicos:** Basan su funcionamiento en señales continuas para representar la variable de proceso, la señal de referencia y la señal de control. Se implementan con componentes electrónicos analógicos, como amplificadores operacionales, resistencias, capacitores y transistores.
- **Controladores digitales:** Utilizan señales discretas (binarias) para representar la variable de proceso, la señal de referencia y la señal de control. Se implementan con microcontroladores o procesadores digitales.

### **Ventajas y desventajas**

#### Controladores analógicos

##### **Ventajas:**

- **Simplicidad:** Diseño e implementación más simples.
- **Bajo costo:** Suelen ser menos costosos que los controladores digitales.
- **Respuesta rápida:** Generan una señal de control rápidamente, adecuados para aplicaciones que requieren un control rápido.

##### **Desventajas:**

- **Baja precisión:** Pueden tener una precisión limitada, especialmente en presencia de ruido.
- **Sensibilidad a la temperatura:** Su rendimiento puede verse afectado por cambios de temperatura.
- **Dificultad de implementación de funciones complejas:** Implementar funciones complejas de control puede ser difícil.

#### **Aplicaciones**

- **Sistemas simples y estables:** Donde la precisión no es crítica y las funciones de control son simples.
- **Aplicaciones de bajo costo:** Donde el costo es un factor importante.
- **Aplicaciones que requieren una respuesta rápida:** Donde la velocidad de control es crítica.

#### **Controladores digitales**

##### **Ventajas:**

- **Alta precisión:** Pueden lograr una alta precisión de control.
- **Versatilidad:** Pueden implementar funciones de control complejas.
- **Insensibilidad al ruido:** Son menos sensibles al ruido que los controladores analógicos.
- **Facilidad de ajuste y calibración:** Se pueden ajustar y calibrar fácilmente mediante software.

##### **Desventajas:**

- **Complejidad:** Diseño e implementación más complejos.
- **Alto costo:** Suelen ser más costosos que los controladores analógicos.
- **Respuesta más lenta:** La generación de la señal de control puede ser más lenta, limitando su uso en aplicaciones que requieren un control muy rápido.

#### **Aplicaciones**

- **Sistemas complejos o inestables:** Donde la precisión y la versatilidad son críticas.
- **Aplicaciones de alta precisión:** Donde se requiere un control preciso de la variable de proceso.
- **Aplicaciones que requieren funciones de control complejas:** Donde se necesitan funciones de control que son difíciles o imposibles de implementar con controladores analógicos.

#### **Elección del controlador adecuado**

La elección del tipo de controlador adecuado para una aplicación específica depende de varios factores, como la complejidad del sistema, la precisión requerida, el costo, la velocidad de control y las funciones de control necesarias. Los controladores analógicos y digitales ofrecen diferentes ventajas y desventajas, y la elección del tipo adecuado depende de las necesidades específicas de la aplicación. En general, los

controladores digitales son más versátiles y precisos, pero también son más complejos y costosos. Los controladores analógicos son más simples y económicos, pero pueden tener limitaciones en cuanto a precisión y complejidad de las funciones de control.



## **BIBLIOGRAFIA**

<https://chat.openai.com/>

[www.eng.newcastle.edu.au](http://www.eng.newcastle.edu.au)

[www.sge.frba.utn.edu.ar](http://www.sge.frba.utn.edu.ar)

<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/fuente-de-alimentacion-con-op-amp>

<https://forum.arduino.cc/t/amplificador-proporcional-dc/464992>