



Sistemas de Instrumentación y Control de Procesos

Dr. Gerson Beauchamp Báez, Catedrático

Taller para los cursos INEL 5195/ICOM 5047

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras

Universidad de Puerto Rico

Recinto Universitario de Mayagüez

Orden del Día


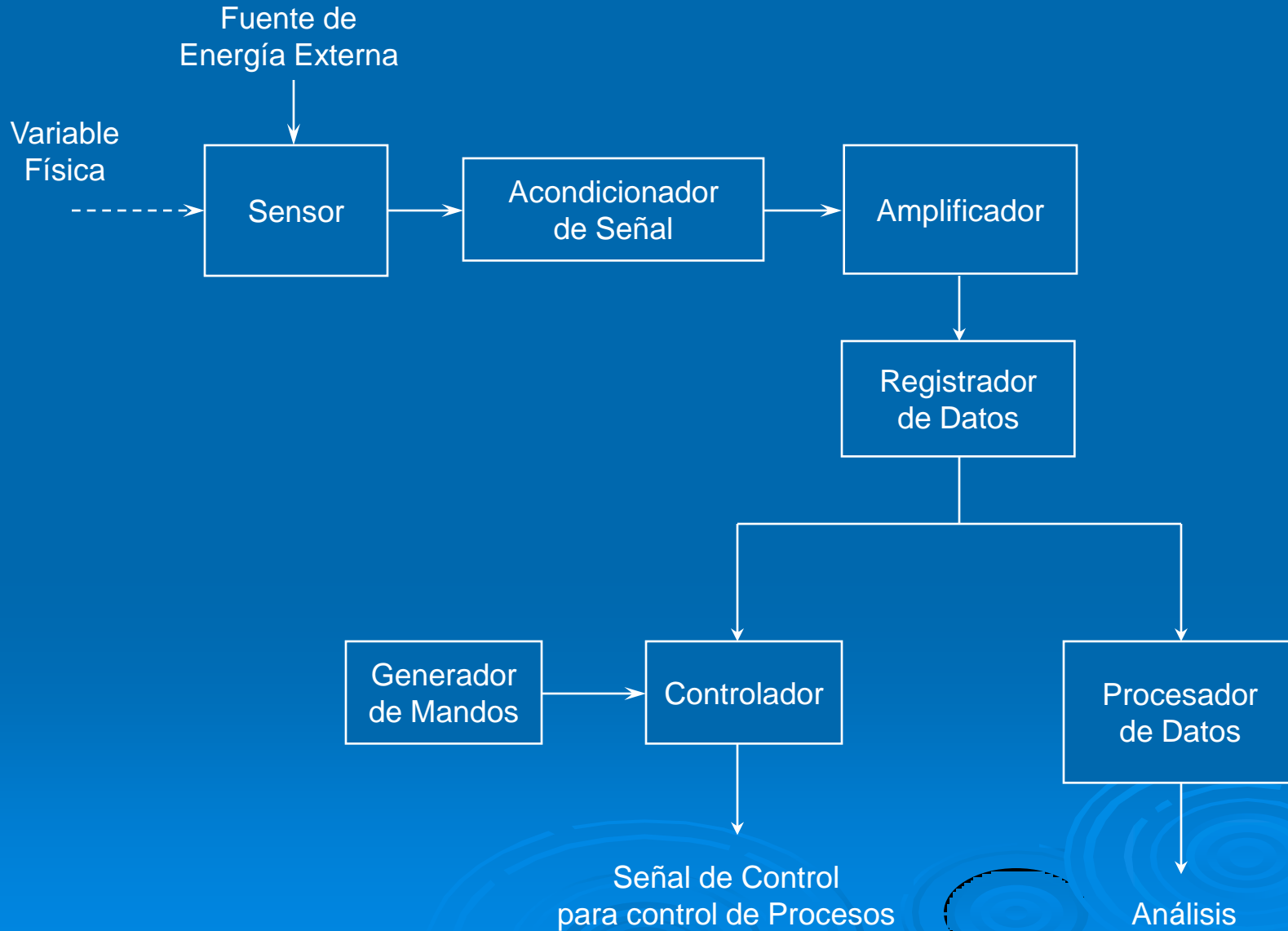
- Sistemas de Instrumentación
 - Sensores
 - Acondicionamiento de Señales
 - Sensores de Temperatura Resistivos
 - Sistemas de Control
 - Sesión de Preguntas
- 

Diagrama de Bloques de un Sistema de Instrumentación



Sensores

- Dispositivos que convierten una forma o manifestación de energía en otra forma que es más útil para medir la variable física que causa dicha manifestación de energía
- Todo sensor es un transductor. Sin embargo, se reserva el nombre “sensor” para el dispositivo que realiza la transformación inicial de energía

Transductor

- Dispositivo que transforma una señal o forma de energía de un tipo a otra señal
- Ejemplo - Un dispositivo que convierte de una señal de voltaje a una de corriente se considera un transductor
- Todos los sensores son transductores; pero no todos los transductores son sensores ya que no necesariamente miden la variable fundamental.

Acondicionamiento de Señales

- Transformaciones realizadas a las señales para convertirlas en una forma más útil para interconectarla a la próxima etapa del sistema
- Ejemplo - Circuito que detecta cambios en resistencia y los convierte en cambios de voltaje o corriente

Tipos de Acondicionamiento de Señales

➤ Cambios de Nivel en la Señal

- Amplificar una señal pequeña
- Atenuar una señal muy grande

➤ Linealización

- Convertir una característica de transferencia de un dispositivo no-lineal en una lineal
- Se puede realizar mediante circuitos analógicos o mediante software en una computadora

Tipos de Acondicionamiento de Señales

➤ Conversión de Señales

- Cambio de Resistencia-a-cambio de voltaje
- Cambio de voltaje-a-cambio de corriente
- Cambio de corriente-a-cambio de voltaje

➤ Amplificación y “Offset”

- Convertir una variación de voltaje a otra más conveniente
 - Ejemplo - Interfaz de Convertidores A/D

Tipos de Acondicionamiento de Señales

➤ Filtros

- Los filtros eliminan señales no-deseadas (ruido) de las señales que contienen la información
- Tipos de Filtros
 - Pasa Baja
 - Pasa Alta
 - Pasa Banda
 - Rechaza Banda

Aplicaciones de Instrumentos Electrónicos

- **Análisis Científico y de Ingeniería**
 - Componentes de máquinas, estructuras y vehículos
- **Monitorear Procesos**
 - Proveer datos en tiempo real al usuario
- **Control Automático de Procesos**
 - Proveer Señales de Retroalimentación

Sensores de Temperatura Resistivos

➤ RTD's - Resistance Temperature Device (Detector)

- Elemento resistivo fabricado de metales como el platino o níquel
- Coeficiente de resistividad positivo
- muy estables y producen respuestas térmicas muy reproducibles por largos períodos de tiempo

Característica de Transferencia del RTD

$$R(T) = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

$R(T)$ - Resistencia del RTD a temperatura T

R_0 - Resistencia del RTD a temperatura T_0

α - Coeficiente de temperatura ($\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$)

Para Platino - $\alpha = 0.00385 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$

Sensores de Temperatura Resistivos

➤ *Thermistors* (Termistores)

- Dispositivos resistivos fabricados de semiconductores como los óxidos de manganeso, níquel o cobalto.
- Coeficiente de resistividad es negativo y alto
- Su respuesta térmica es altamente no-lineal
- Sin embargo son muy sensitivos y precisos

Característica de Transferencia del Termistor

$$R(T) = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$R(T)$ - Resistencia del Termistor a temperatura T

R_0 - Resistencia del Termistor a temperatura T_0

β - Constante (Kelvin)

Valores Típicos: $3000 \leq \beta \leq 5000$ Kelvin

T y T_0 - Temperaturas absolutas en Kelvin

Modelo de Steinhart-Hart para Termistores

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R(T)) + C (\ln(R(T)))^3$$

T - Temperatura absoluta en Kelvin

R(T) - Resistencia del Termistor a temperatura T

A, B, C - Coeficientes que se determinan por calibración

Calibración del Modelo de Steinhart-Hart

- Se seleccionan tres valores de temperatura T_1 , T_2 y T_3 para la variación de temperatura deseada
- Se mide el valor de $R(T)$ para las temperaturas T_1 , T_2 y T_3
- Esto provee tres ecuaciones lineales en tres desconocidas A , B y C

Ecuaciones de Calibración

$$\begin{bmatrix} 1 & \ln(R(T_1)) & (\ln(R(T_1)))^3 \\ 1 & \ln(R(T_2)) & (\ln(R(T_2)))^3 \\ 1 & \ln(R(T_3)) & (\ln(R(T_3)))^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix}$$

Ejemplo de Calibración

Se utilizan datos de un termistor comercial que funciona desde -80°C hasta 150°C

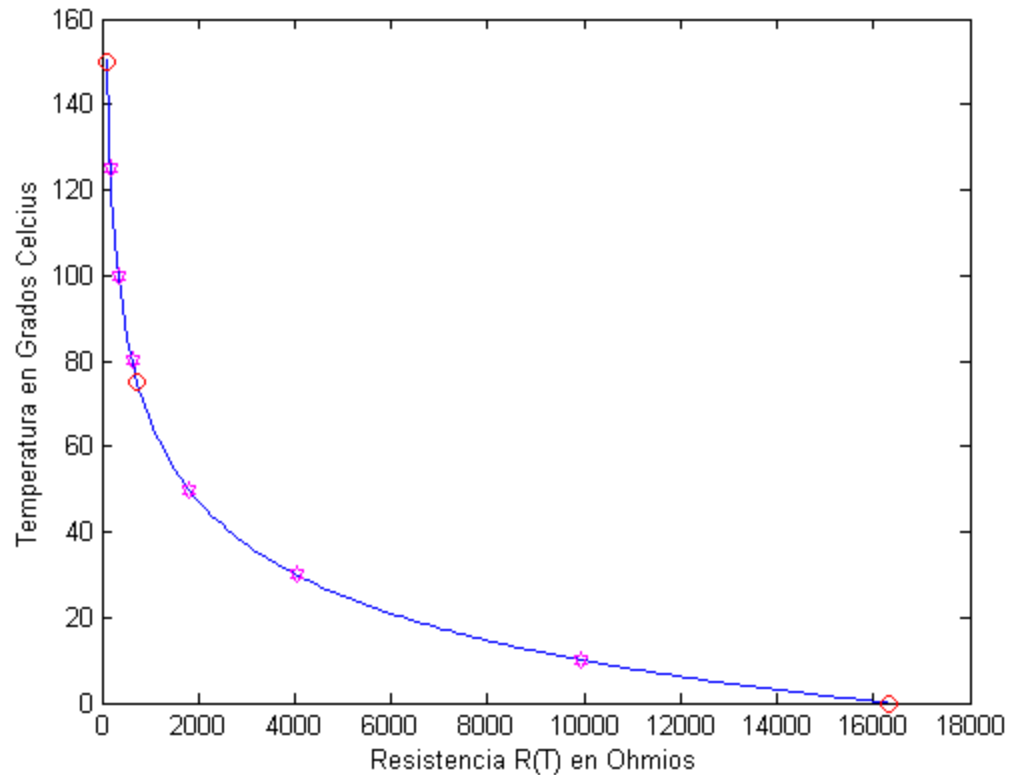
Se calibra el modelo para la variación desde 0°C hasta 150°C con $T_1 = 0^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 75^{\circ}\text{C}$ y $T_3 = 150^{\circ}\text{C}$ (Es necesario transformar a temperatura absoluta sumándole 273) y con los datos $R(T_1) = 16.33 \text{ K}\Omega$, $R(T_2) = 740 \Omega$ y $R(T_3) = 92.7\Omega$

Los resultados obtenidos son:

$$A = 0.0013, B = 2.3665 \times 10^{-4} \text{ y } C = 9.1615 \times 10^{-8}$$

El error en que se incurre al usar este modelo no excede el 0.01% en el peor de los casos

Resultado del Modelo de Steinhart-Hart



o - Datos de calibración

* - Datos adicionales

Efectos por Autocalentamiento

- Todos los sensores de temperatura resistivos exhiben efectos por autocalentamiento
- Es necesario limitar la corriente que fluye por el sensor para dichos efectos
- Si el sensor se autocalienta con la corriente que se usa para medir su resistencia, la medida será errónea

Constante de Discipación para RTD's y Termistores

- La potencia eléctrica discipada en el sensor para que su temperatura aumente por 1°C
- Los Manufactureros proveen valores para el sensor en aire quieto y sumergido en aceite bien mezclado
- Valores típicos $F_{sh} = 1 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ (Aire quieto)
 $F_{sh} = 8 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ (Aceite bien mezclado)

Ejemplo de Limitación de Corriente

- Suponga que se desea que el error por autocalentamiento no exceda los $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Si $F_{sh} = 1\text{ mW}/^{\circ}\text{C}$ y se trabaja con el termistor del ejemplo anterior en un circuito de corriente constante, determine el valor al que hay que limitar la corriente para que no se exceda el error en toda la variación de temperatura $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Solución Ejemplo de Autocalentamiento

La potencia disipada máxima permitida es

$$P_{D(Max)} = F_{sh} (0.2^{\circ} C) = 0.2mW$$

Es decir, esta es la potencia eléctrica máxima que puede estar disipando el termistor para toda la variación de temperatura.

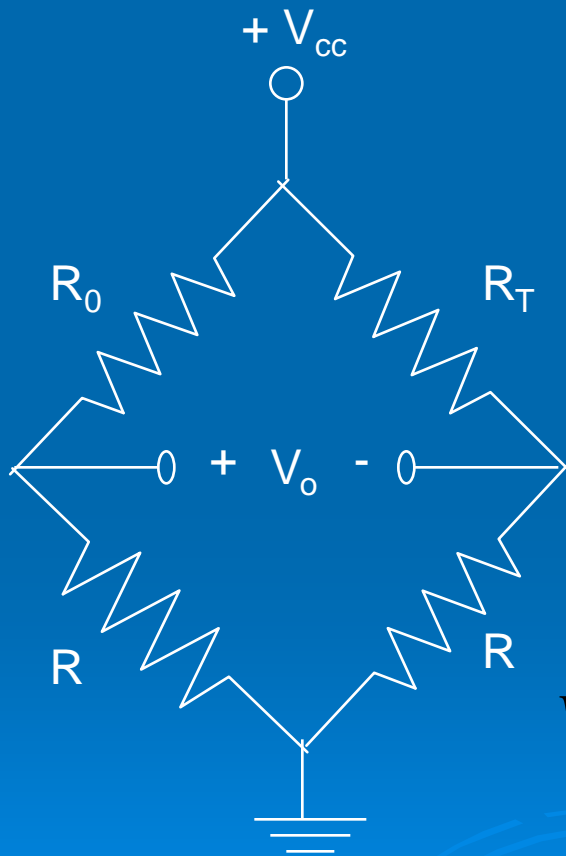
Si la corriente es constante, la disipación máxima ocurre con el valor de resistencia máximo. Es decir, con $R(0^{\circ}C) = 16.33 K\Omega$. La corriente máxima será

$$i_{\max} = \sqrt{\frac{P_{D(\max)}}{R(0^{\circ}C)}} = \sqrt{\frac{0.0002}{16,330}} = 110.7 \mu A$$

Acondicionamiento de señales para sensores resistivos

- Para medir los cambios en resistencia que exhiben los sensores resistivos se utilizan circuitos tipo puente, divisores de voltaje o convertidores de resistencia-a-voltaje realizados con amplificadores operacionales

Puente Wheatstone para Sensores Resistivos



$$V_o = \frac{R}{R + R_o} V_{cc} - \frac{R}{R + R_T} V_{cc}$$

$$V_o = \frac{R(R_T - R_o)}{(R + R_o)(R + R_T)} V_{cc}$$

Si $R_T = R_o + \Delta R$, entonces

$$V_o = \frac{R(\Delta R)}{(R + R_o)(R + R_o + \Delta R)} V_{cc}$$

Puente Wheatstone para Sensores Resistivos

Finalmente, si $R \gg R_o + \Delta R$, entonces

$$V_o = \frac{(\Delta R)}{R} V_{cc}$$

La cual es una relación lineal entre ΔR y V_o .

Note que para que la medida sea precisa es necesario que el voltaje de la fuente V_{cc} se mantenga constante, estable y no tenga ruido.

Determinar la Temperatura T a partir de la medida de V_o

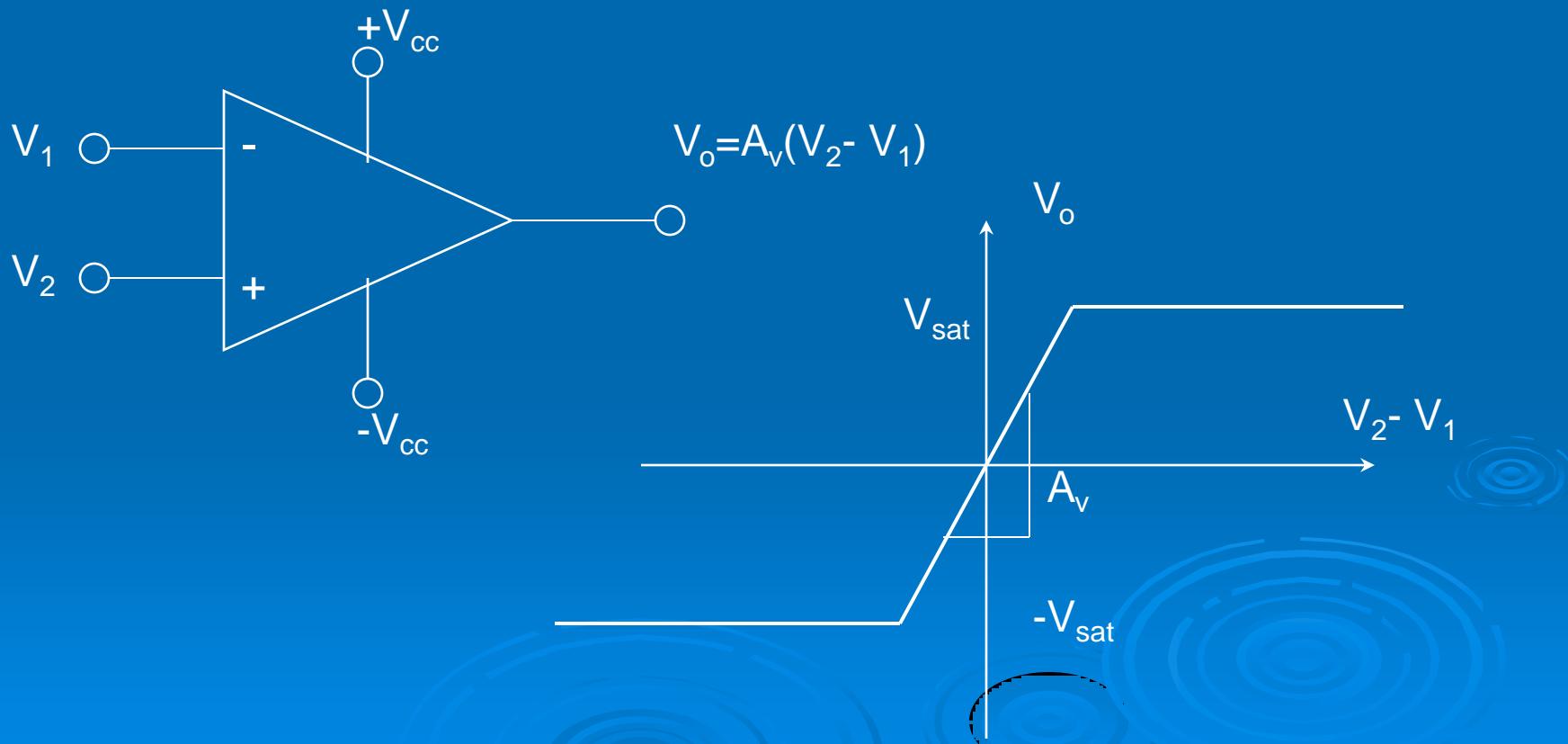
Si medimos V_o , entonces

$$\Delta R = \alpha R_o (T - T_o) = \frac{RV_o}{V_{cc}}$$

De donde obtenemos

$$T = T_o + \frac{RV_o}{\alpha R_o V_{cc}}$$

Amplificadores Operacionales (Op-Amps)



Parámetros para Op-Amps Ideales

Resistencia de Entrada: $R_i \rightarrow \infty$

Resistencia de Salida: $R_o = 0$

Ganancia de Voltaje de lazo abierto: $A_v \rightarrow \infty$

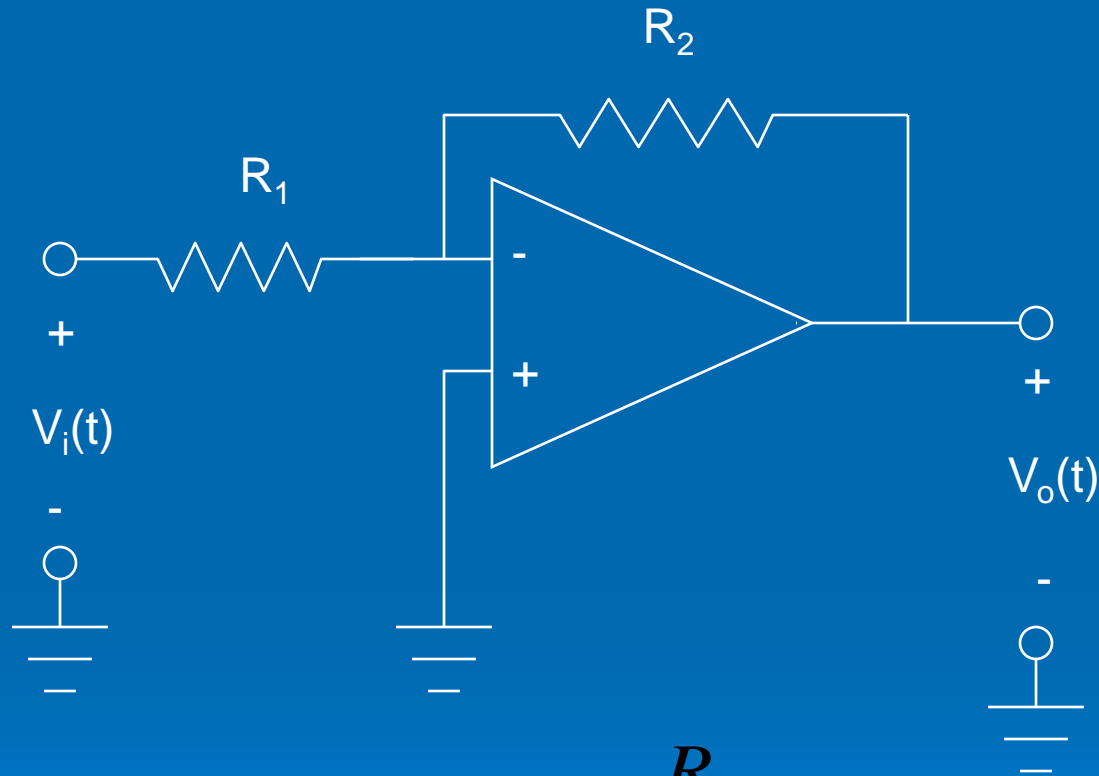
Aplicaciones de Op-Amps

- Los Op-Amps no son muy útiles si no se les conectan componentes externos
- Para usarlos como dispositivos lineales se les conecta retroalimentación degenerativa (negativa)
- Para usarlo como un comparador es necesario aplicar retroalimentación regenerativa (positiva)

Aplicaciones de Op-Amps

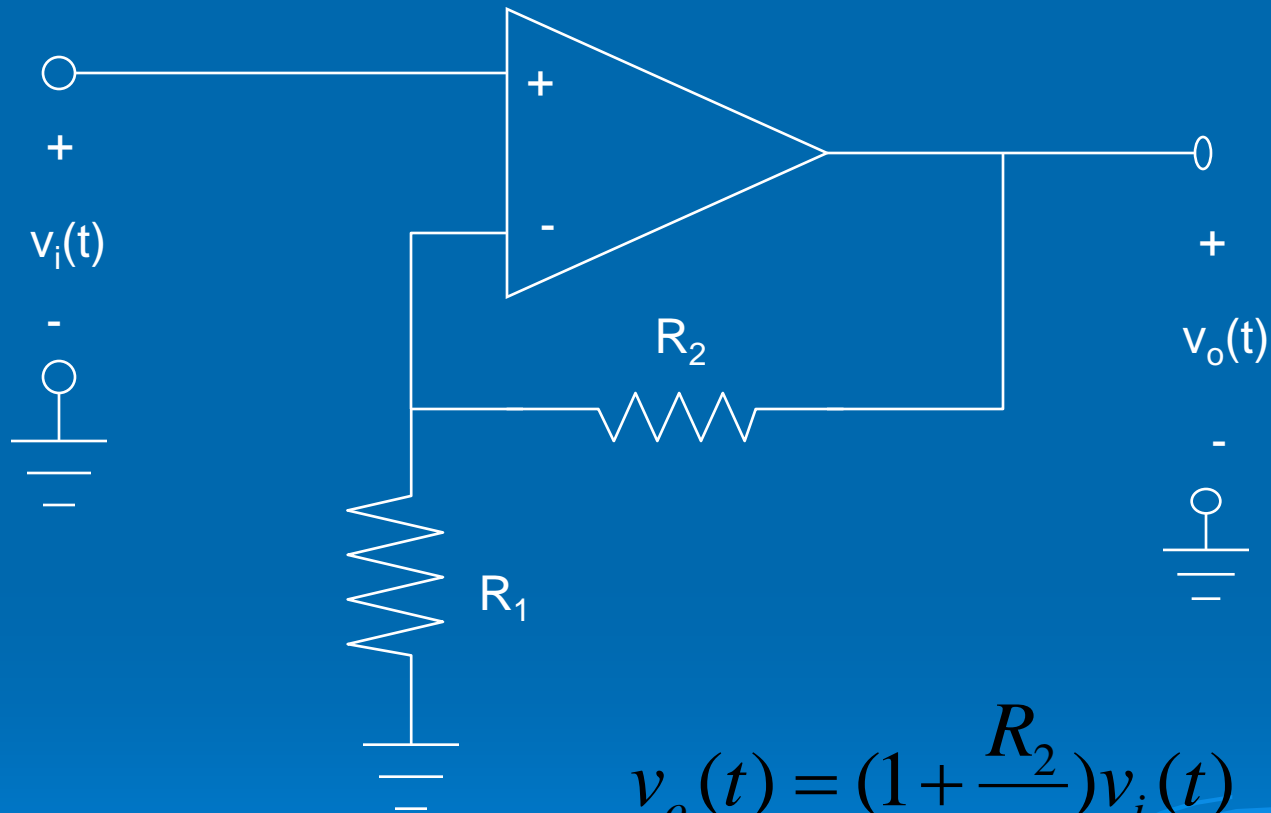
- Amplificador Invertidor
- Amplificador No-Invertidor
- Amplificador de Ganancia Unitaria (*Buffer*)
- Integradores
- Amplificadores de Instrumentación
- Circuitos Linealizadores
- Amplificador Logarítmico-Exponencial

Amplificador Invertidor



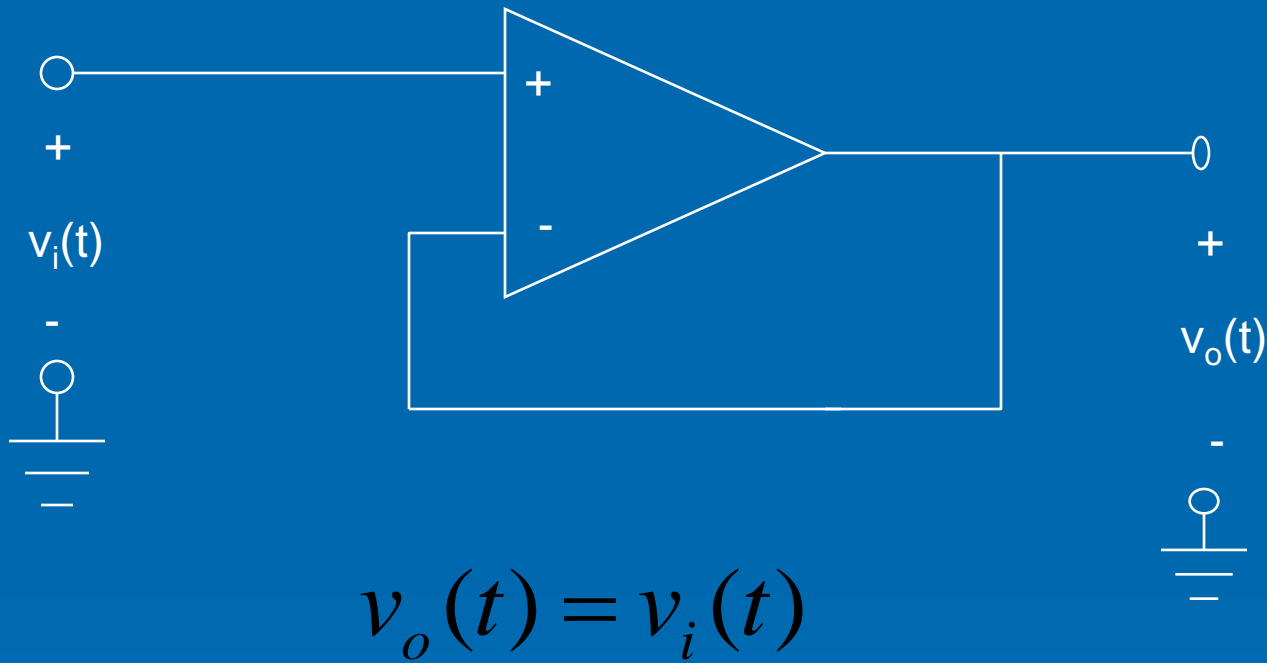
$$v_o(t) = -\frac{R_2}{R_1} v_i(t)$$

Amplificador No-Invertidor



$$v_o(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_i(t)$$

Amplificador de Ganancia Unitaria (*Buffer*)



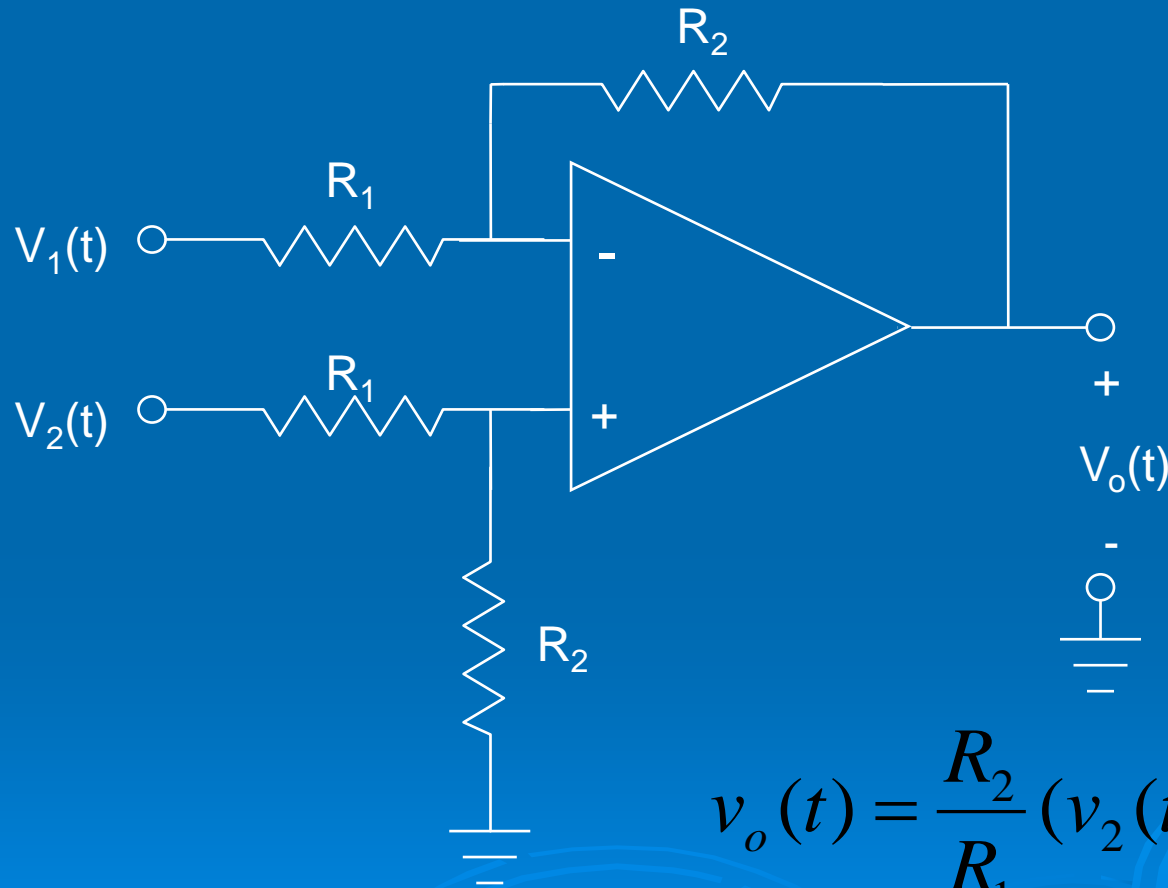
Es un caso especial del amplificador no-invertidor con $R_1 \rightarrow \infty$ y $R_2 = 0$.

Es útil para bloquear fuentes de señal de las cargas que deben alimentar.

Amplificador de Instrumentación

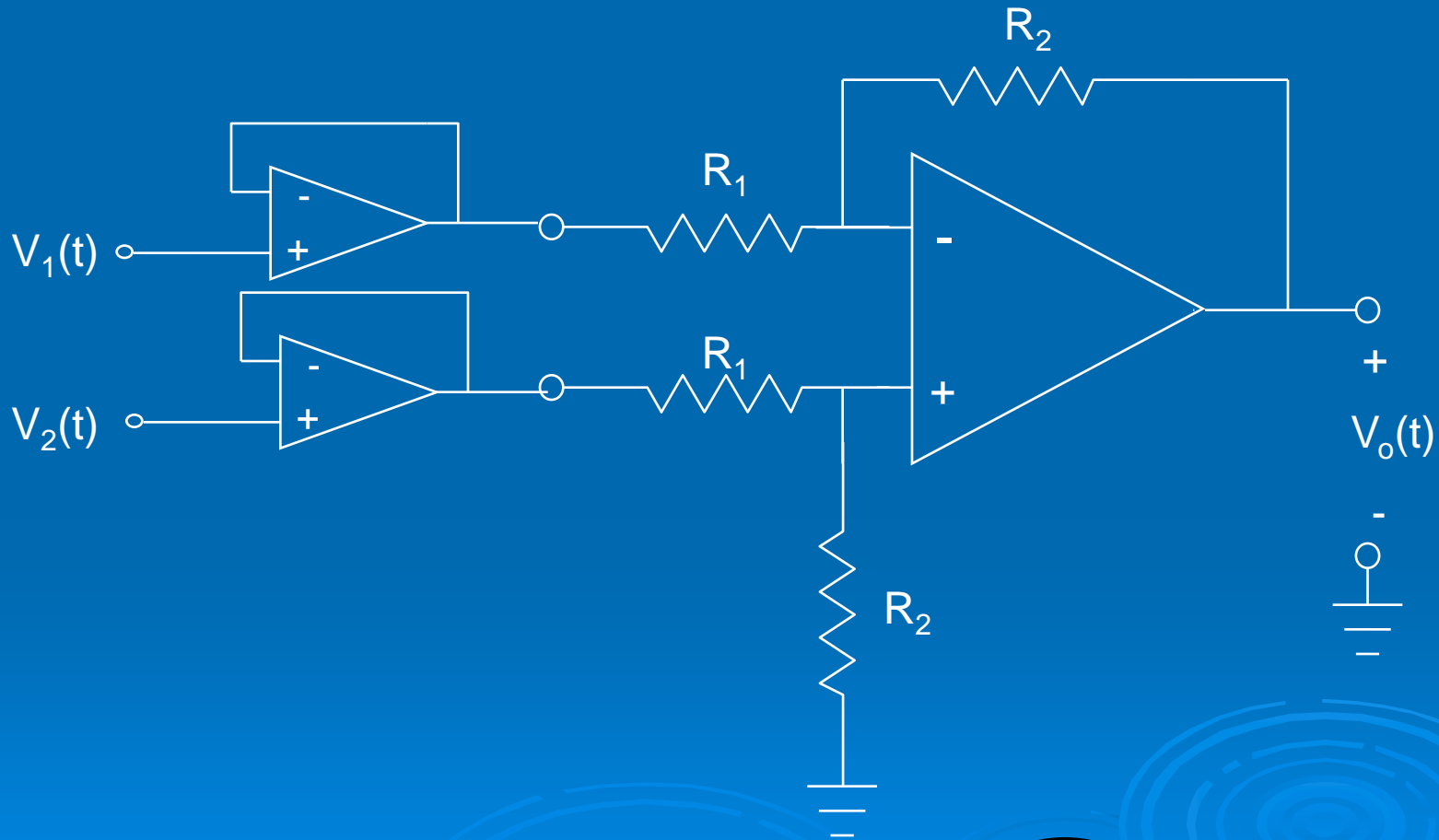
- Amplificador Diferencial
- Resistencia de entrada extremadamente alta
- Razón de rechazo de ganancia de modo común (“Common Mode Rejection Ratio” - CMRR) bien alta
- Se consiguen comercialmente encapsulado en un solo circuito

Amplificador Diferencial

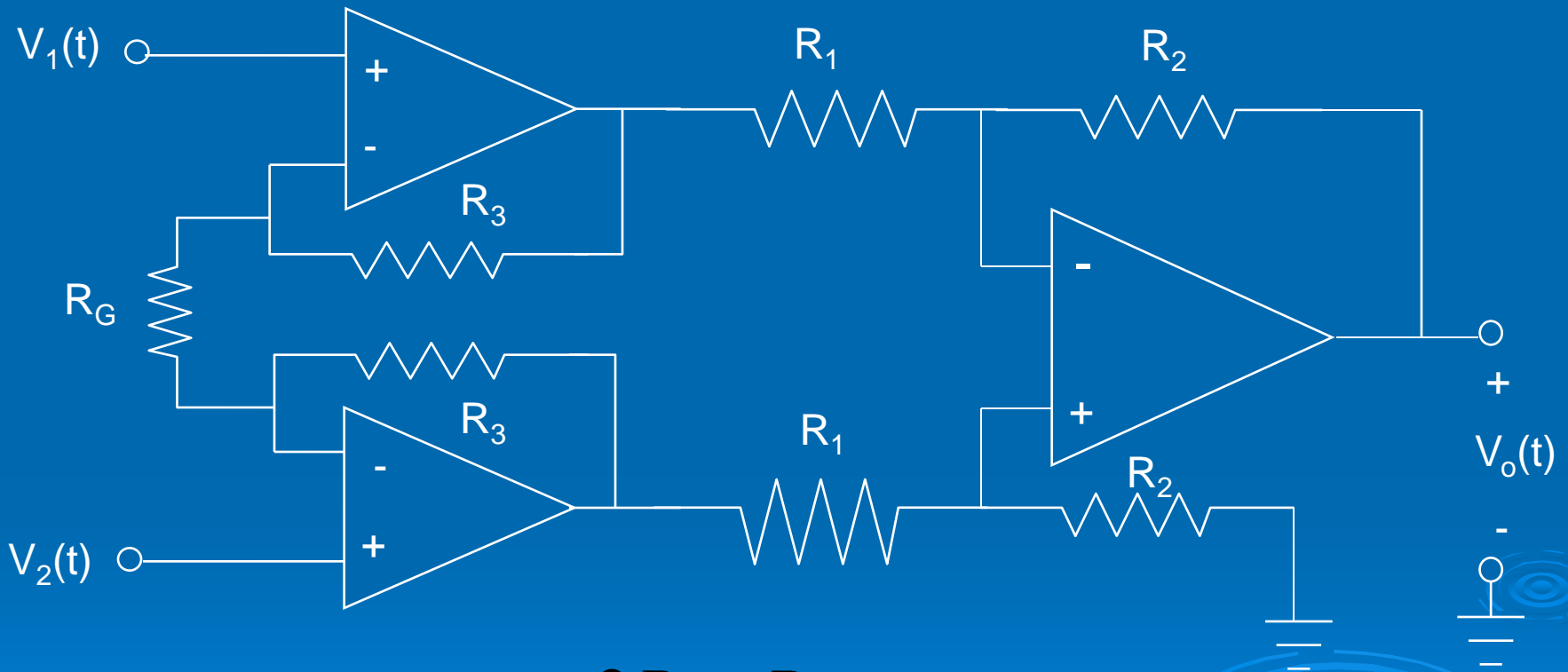


$$v_o(t) = \frac{R_2}{R_1} (v_2(t) - v_1(t))$$

Amplificador de Instrumentación Básico

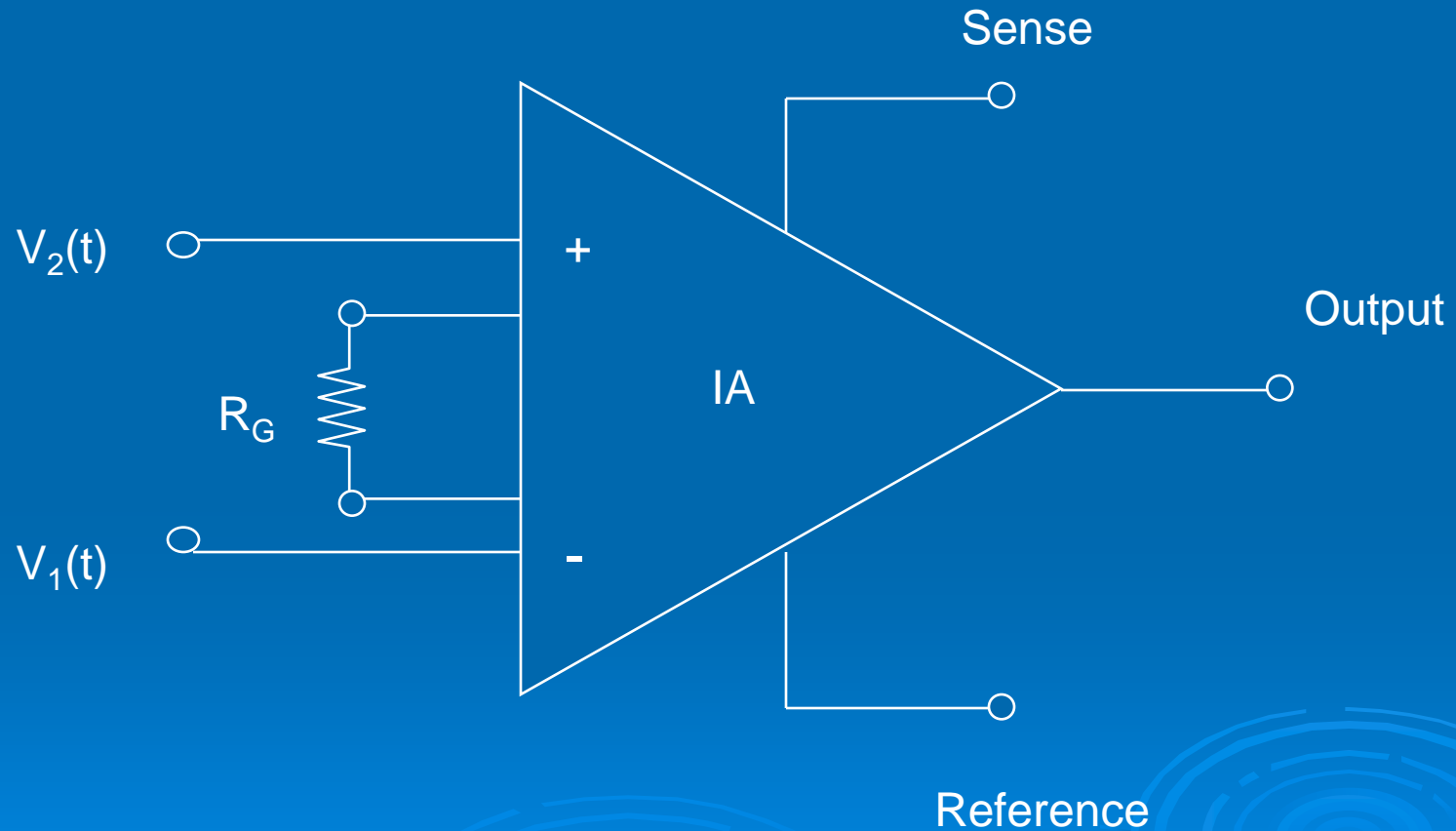


Amplificador de Instrumentación con CMRR Alto



$$v_o(t) = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right) \left(\frac{R_2}{R_1}\right) (v_2(t) - v_1(t))$$

Amplificador de Instrumentación Comercial



Representación de Información Analógica

- La información analógica contenida en señales eléctricas que representan variables físicas se puede representar con señales estándar
- Se utilizan estándares de corriente, voltaje y presión
- Mediante estos estándares las señales se representan en una variación continua

Señales Estándar

➤ Estándar de Corriente

(Se usa para transmitir a distancias largas)

- 4 a 20 miliamperes (4-20 mA)

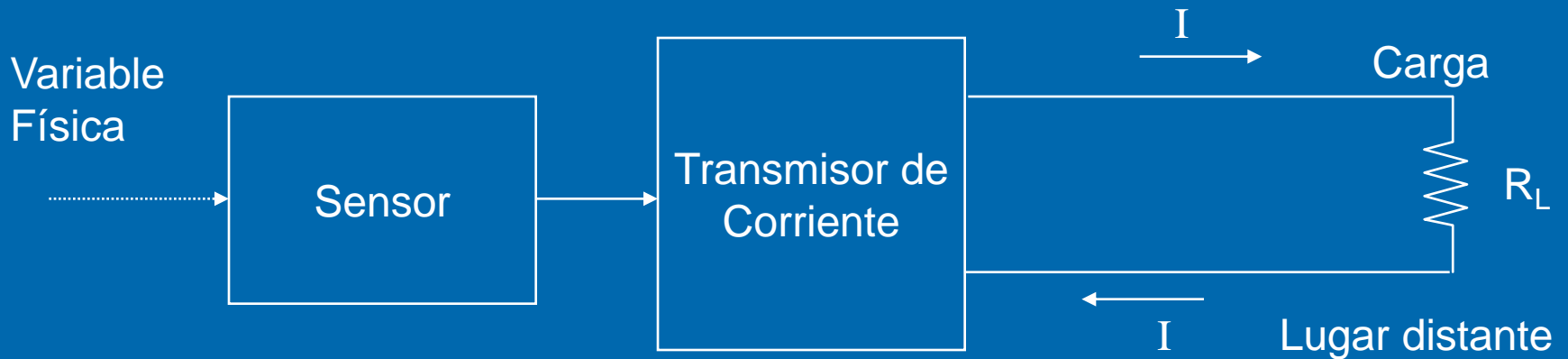
➤ Estándares de Voltaje (Distancias cortas)

- 0 a 5 voltios
- 0 a 10 voltios
- -5 a 5 voltios
- -10 a 10 voltios

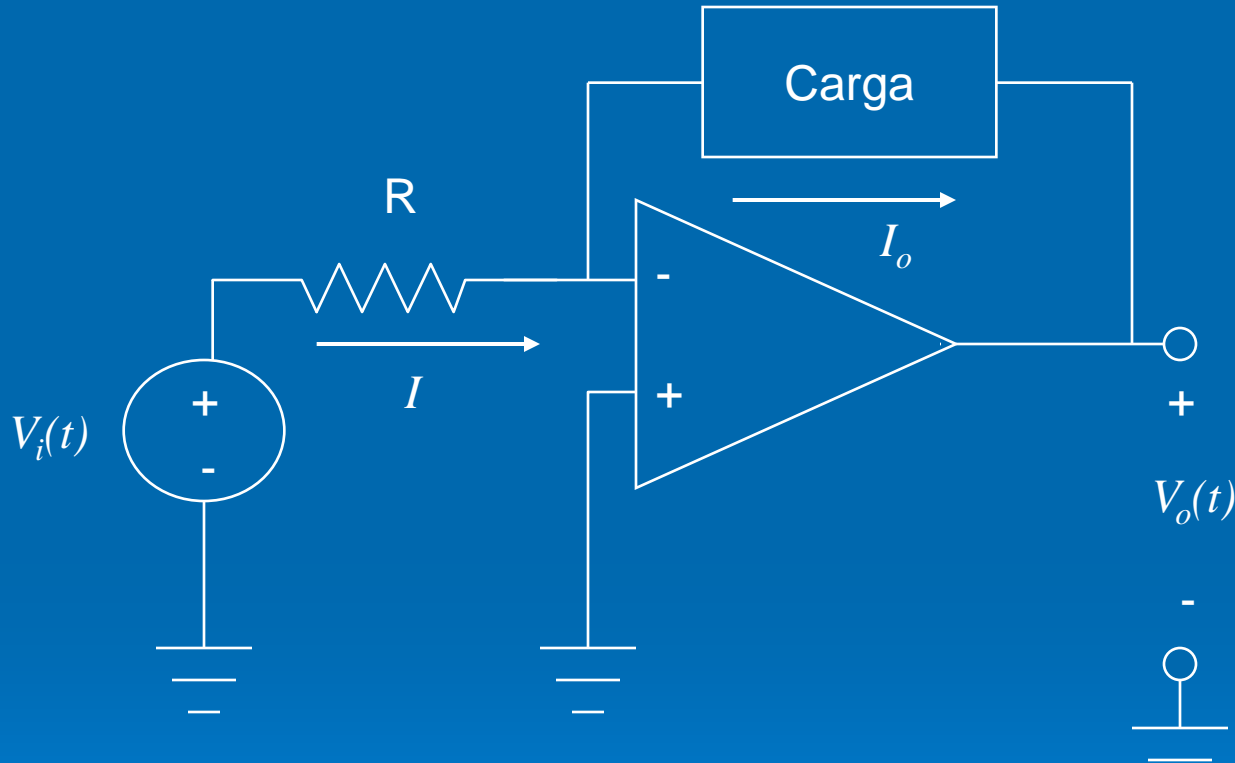
Razones para Transmitir Corriente

- El circuito se hace independiente de la carga
 - Funciona bien para $0 < R_L < 1000 \Omega$
- Transmitir corriente provee inmunidad contra ruido electromagnético
- El estándar de 4-20 mA provee para una señal distinta de cero (4mA) para el valor mínimo de la variable transmitida (No existe señal válida de 0mA)

Transmisores de Corriente

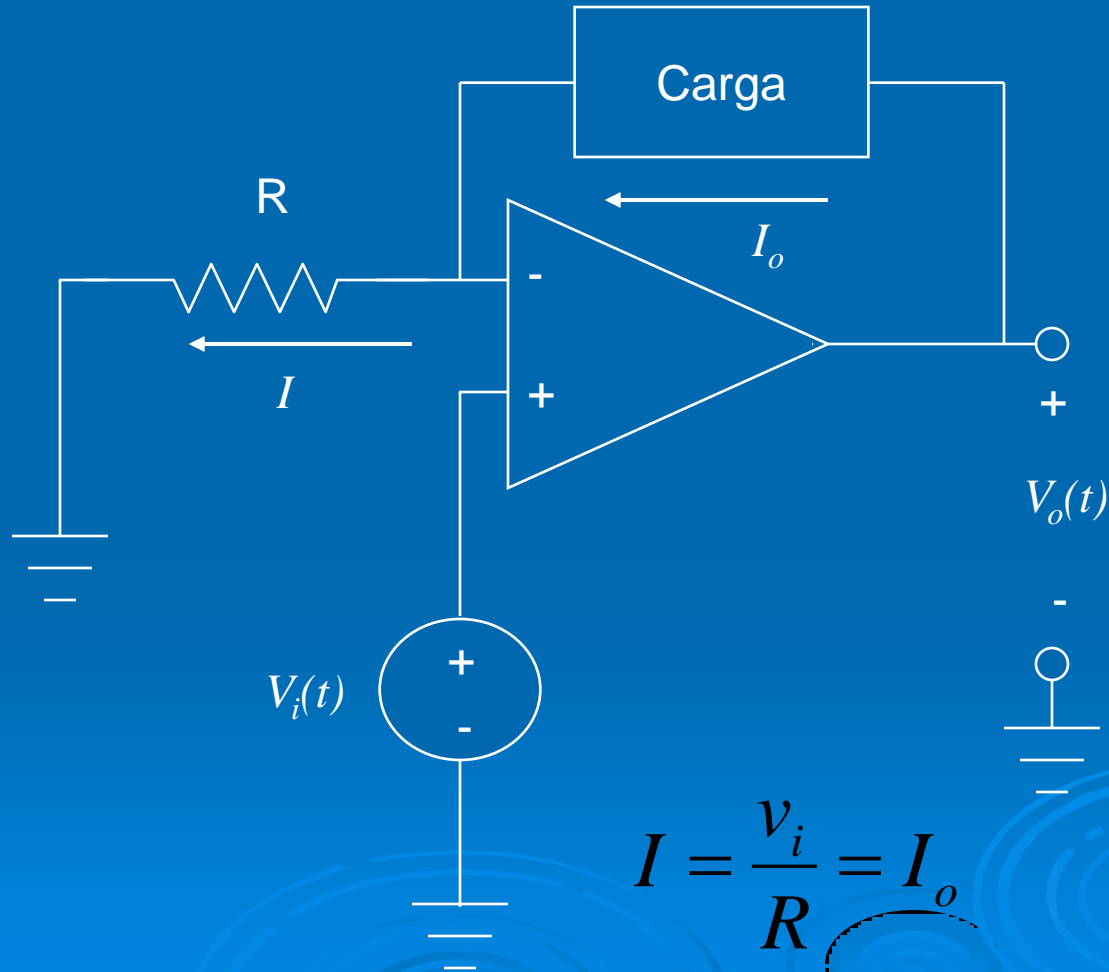


Convertidores de Voltaje-a-Corriente



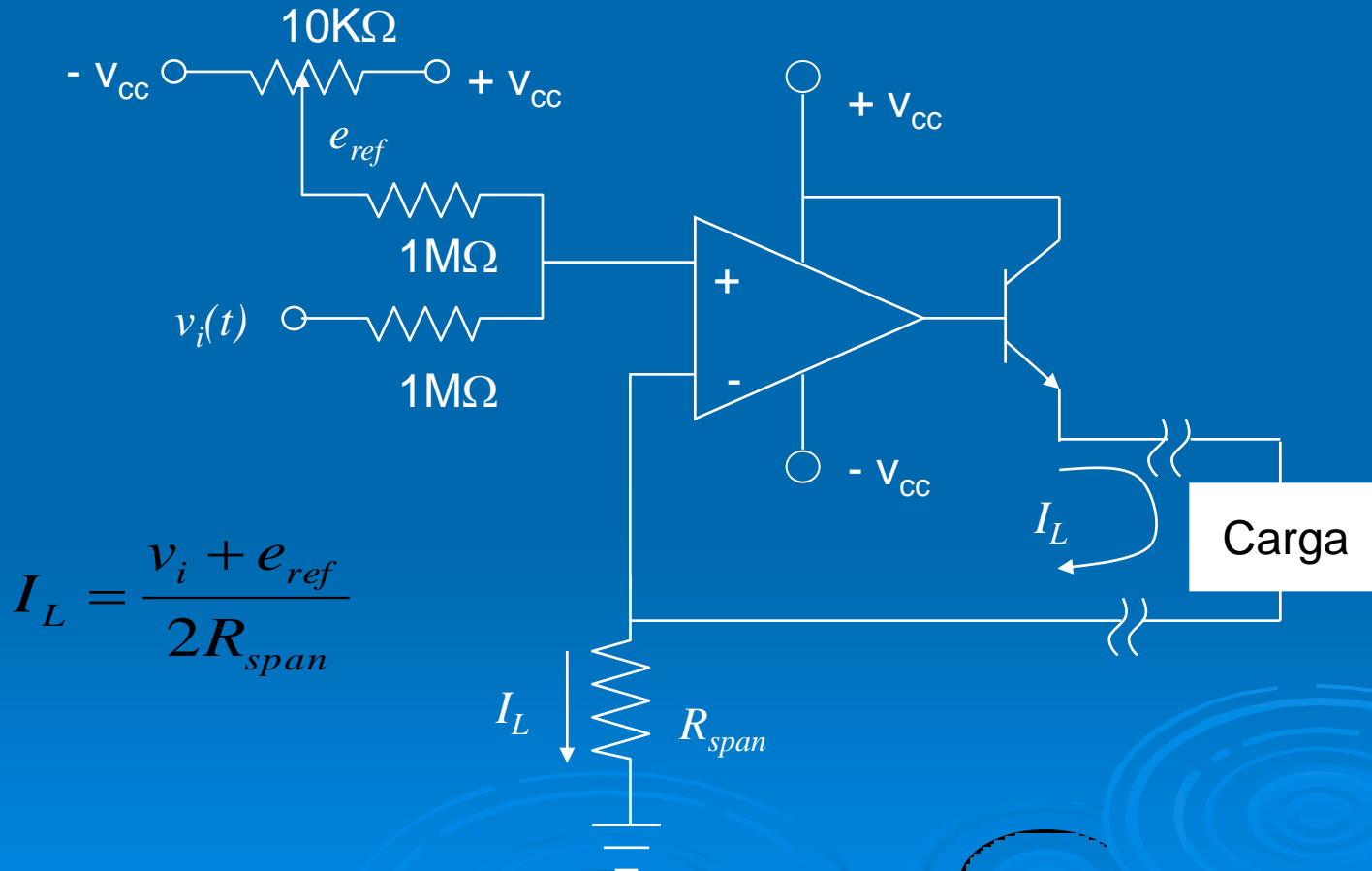
$$I = \frac{V_i}{R} = I_o \quad \text{Independiente de la carga}$$

Convertidores de Voltaje-a-Corriente



$$I = \frac{v_i}{R} = I_o$$

Circuito con Offset y Mayor Capacidad de Corriente

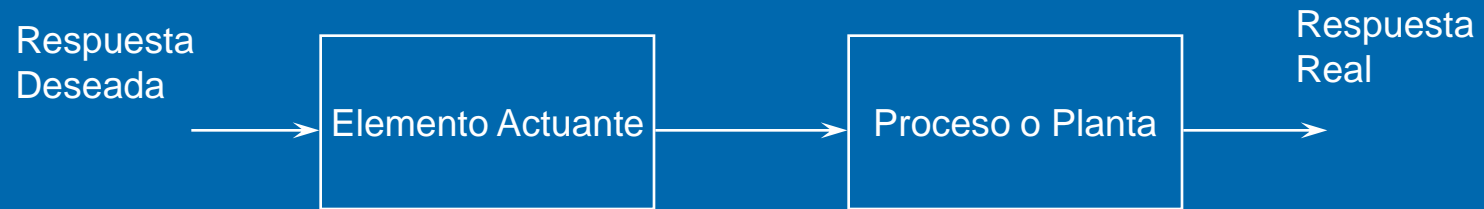


Ingeniería de Control Automático

- La ingeniería de control automático está dirigida a entender y controlar sistemas con el objetivo de regular variables físicas para proveer procesos y productos útiles y económicos para la sociedad.

Representación Básica de Sistemas de Control

Sistema de Control de Lazo Abierto (Sin Retroalimentación)



Sistema de Control de Lazo Cerrado (Con Retroalimentación)

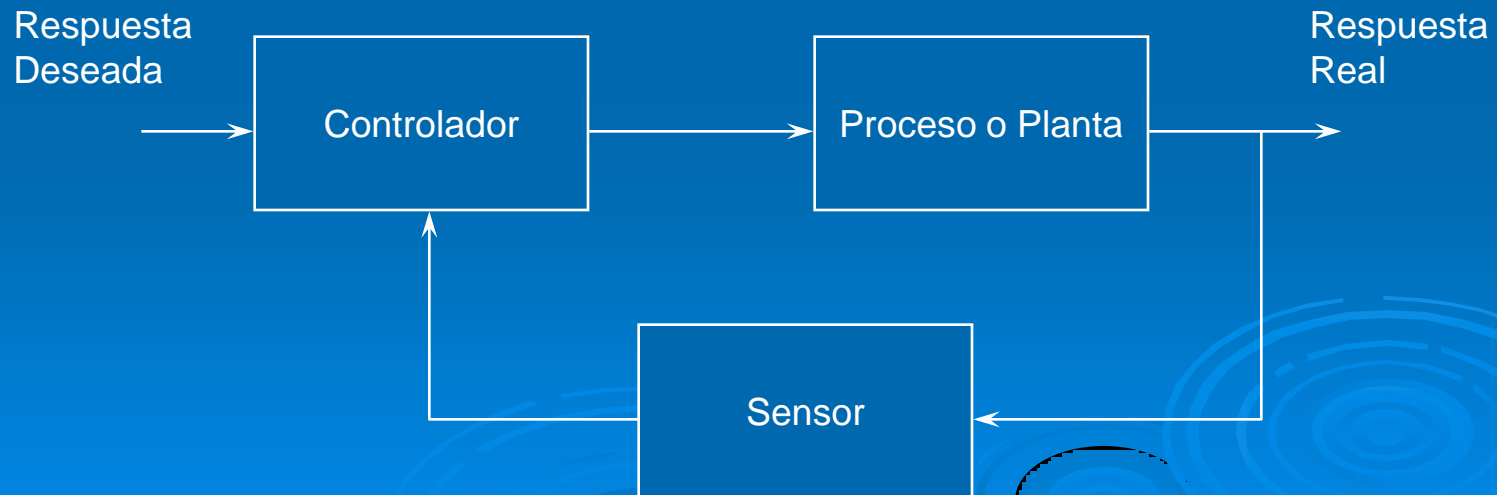
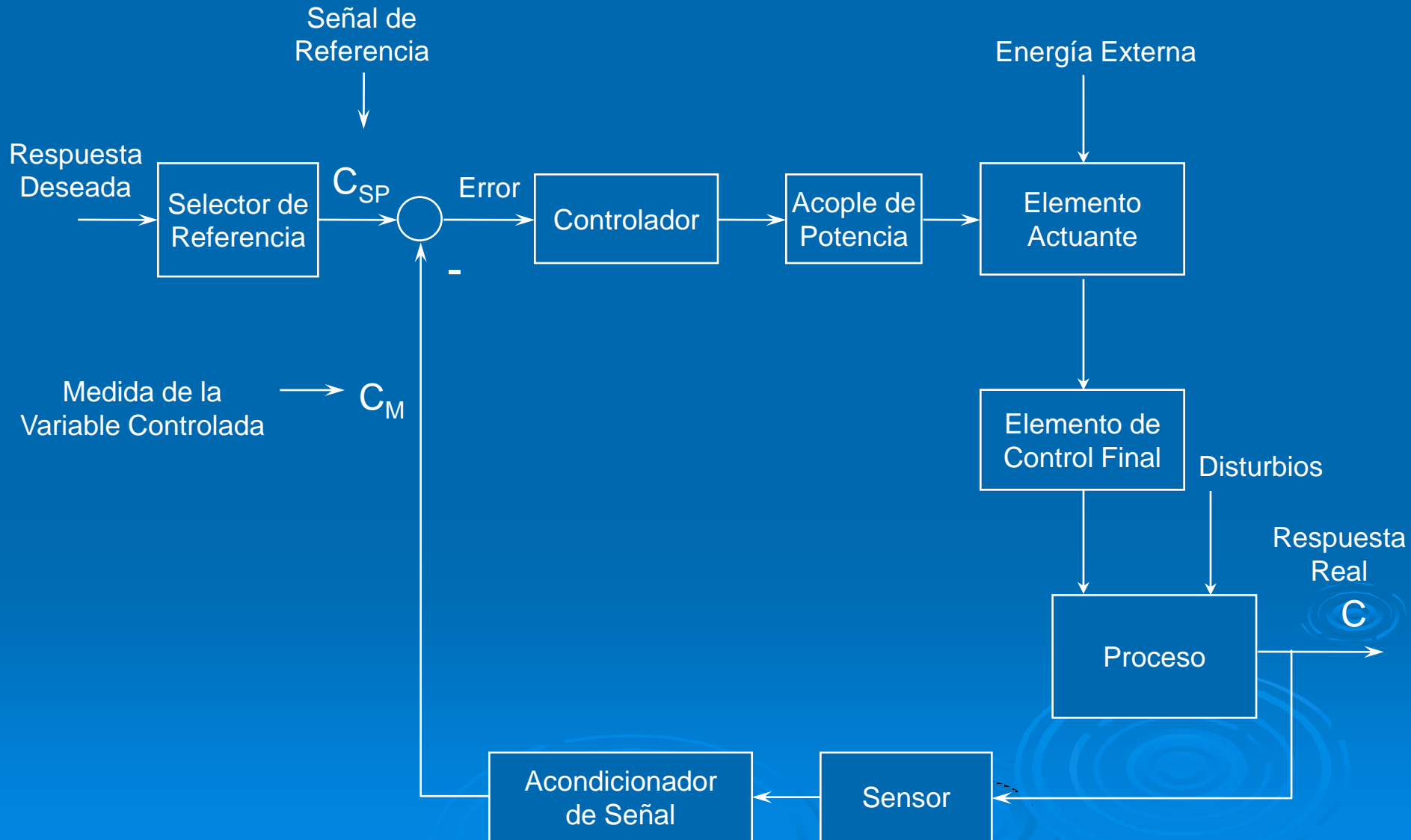
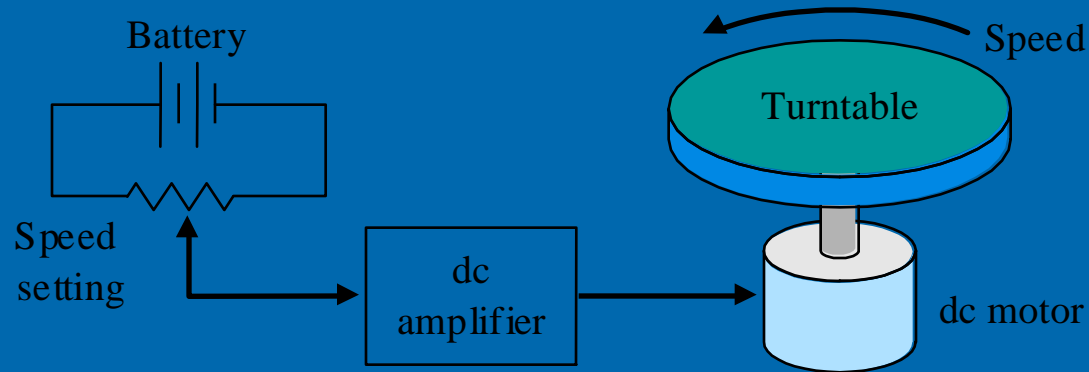


Diagrama de Bloques de un Sistema de Control de Procesos

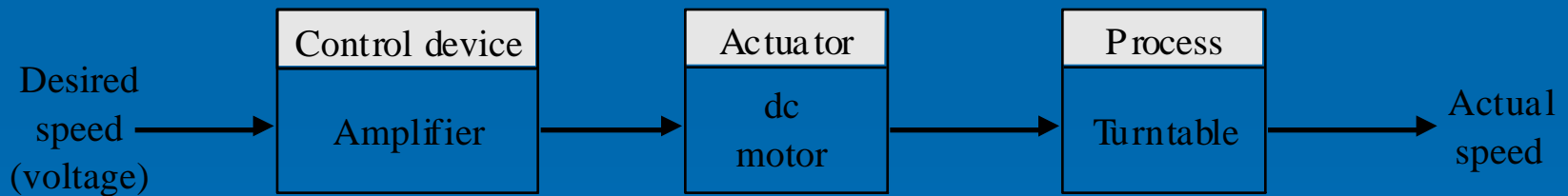


Ejemplos de Problemas de Control

- Controlar la velocidad de un motor eléctrico independiente de la carga que esté moviendo
- Controlar la posición de un brazo mecánico
- Mantener la velocidad de un automovil constante (“Cruise Control”)
- Orientar una antena parabólica en dirección de cierto satélite mediante señales eléctricas
- Cambiar la órbita de un satélite de comunicaciones mediante mandos a control remoto
- Mantener la temperatura de una reacción química dentro de unos límites deseados

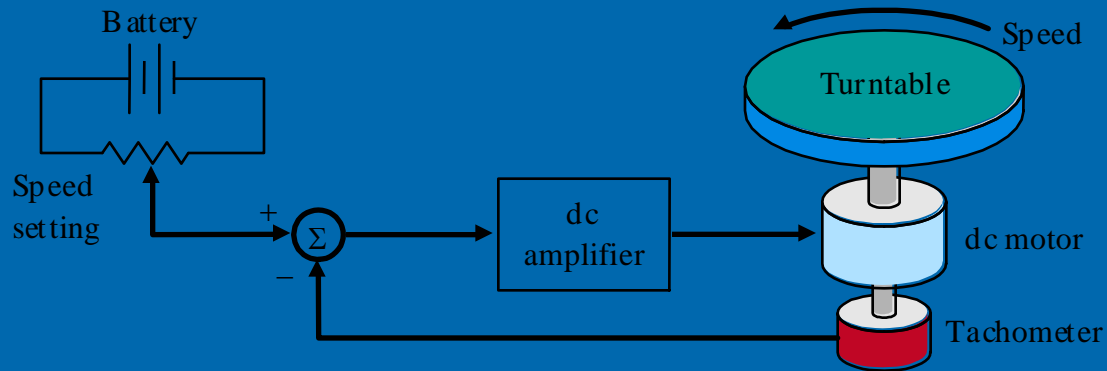


(a)

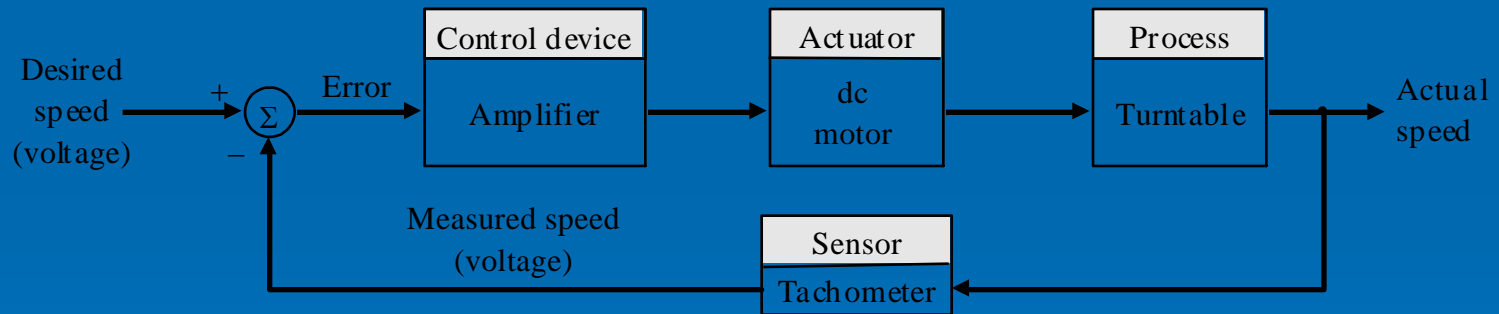


(b)

Figure 1.20 (a) Open-loop (without feedback) control of the speed of a turntable (b) Block diagram model



(a)



(b)

Figure 1.21 (a) Closed-loop control of the speed of a turntable (b) Block diagram model

Lazo Abierto Vs. Lazo Cerrado

- Menos Costoso y Complicado
 - Pobre Manejo de Disturbios
 - Intrínsecamente estable
 - Sólo puede aplicarse a algunos sistema
 - Pobre precisión en su respuesta
 - Sensitivo a variación de parámetros
- Más Costoso y Complicado
 - Excelente Manejo de Disturbios
 - Requiere atender el problema estabilidad
 - Puede aplicarse a cualquier sistema
 - Excelente precisión en su respuesta
 - Insensitivo a variación de parámetros

¿Preguntas?

