

# Introducción a los Amplificadores Operacionales

Ingeniería | Ingeniería mecatrónica

## Descripción del Curso

Este curso pertenece a la asignatura Ingeniería Mecatrónica y aborda la Unidad 4: Aplicaciones de OP-AMP — Filtros activos, integradores, diferenciadores y comparadores. Su propósito es que el estudiante desarrolle la capacidad de diseñar, analizar y aplicar circuitos activos con amplificadores operacionales en contextos reales de mecatrónica, integrando teoría, simulación y prácticas de laboratorio. Se enfatizan tanto los fundamentos como las consideraciones prácticas necesarias para trabajar con señales en sistemas de control, sensado y adquisición de datos.

En esta unidad se aplican los conceptos aprendidos para diseñar y analizar circuitos activos con OP-AMP: filtros activos de primer y segundo orden, integradores y diferenciadores prácticos, y comparadores simples (con o sin histéresis). Se considera las limitaciones reales de los OP-AMP, como ganancia finita, ancho de banda, slew rate, offset de entrada, corriente de deriva y saturación, y se discute su impacto en el rendimiento de cada topología. Además, se presta atención a la seguridad de operación y a la estabilidad de los circuitos en condiciones reales, incluyendo variaciones de alimentación, temperatura y ruido.

El enfoque del curso combina fundamentos teóricos, análisis de respuestas en frecuencia, simulación y prácticas experimentales para validar diseños. Se estudian métodos de diseño y criterios de estabilidad para evitar comportamientos no deseados, como oscilaciones o salidas saturadas. Los filtros activos se exploran en configuraciones clásicas de primer y segundo orden, destacando cómo la elección de componentes RC y la realimentación del OP-AMP afectan la respuesta en frecuencia y la selectividad. Los integradores y diferenciadores se analizan con especial atención a la saturación y a la tolerancia a ruidos, proponiendo estrategias para mantener la linealidad en ventanas de operación típicas de la mecatrónica. Los comparadores, simples o con histéresis (Schmitt trigger), se utilizan para convertir señales analógicas en salidas digitales robustas ante ruidos, con énfasis en la implementación práctica y la estabilidad de la salida ante perturbaciones.

La unidad está orientada a proporcionar al estudiante herramientas para acondicionar señales en sistemas mecatrónicos: sensores, actuadores y sistemas de control, promoviendo la transferencia de conocimientos a proyectos reales. Se fomenta el aprendizaje activo mediante ejercicios de diseño, simulación y verificación experimental, con énfasis en la seguridad, la ética en el laboratorio y la documentación de resultados. En suma, el objetivo es que el estudiante sea capaz de seleccionar, dimensionar y analizar circuitos de OP-AMP que respondan a requerimientos de precisión, velocidad y estabilidad en aplicaciones de ingeniería mecatrónica.

## Competencias

- Aplicar principios de amplificadores operacionales para diseñar y analizar circuitos activos (filtros, integradores, diferenciadores y comparadores) en contextos de la vida real y de sistemas mecatrónicos.

- Analizar la respuesta en frecuencia y la estabilidad de filtros activos de primer y segundo orden, considerando no-idealidades de los OP-AMP y límites prácticos.
- Diseñar integradores y diferenciadores que funcionen dentro de rangos de linealidad y sin saturación, gestionando limitaciones como el slew rate y la ganancia limitada.
- Seleccionar y aplicar configuraciones de comparadores, incluyendo opciones con histéresis para robustez ante ruidos y variaciones de señal.
- Utilizar herramientas de simulación y de laboratorio para validar diseños, interpretar resultados y proponer mejoras.
- Trabajar de forma ética y segura en entornos de laboratorio, interpretando datasheets y respetando normas de seguridad eléctrica y de manipulación de equipos.

## Requerimientos

- Conocimientos previos de electrónica analógica, circuitos RC y fundamentos de OP-AMP.
- Acceso a herramientas de simulación (p. ej., SPICE u otras) y/o equipo de laboratorio con amplificadores operacionales, fuentes de alimentación, resistencias, capacitores, osciloscopio y multímetro.
- Capacidad para leer esquemas, interpretar especificaciones de OP-AMP (ganancia, GBW, slew rate, offset) y realizar cálculos de diseño básicos.
- Compromiso para realizar prácticas de diseño, simulación y verificación de resultados, con atención a normas de seguridad y manejo adecuado de equipos.
- Dominio del español para lectura de manuales, datasheets y reportes de laboratorio; alto interés en aplicaciones de mecatrónica, robótica y control.

## Unidades del Curso

### Unidad 1: Unidad 1: Fundamentos de los Amplificadores Operacionales

#### Objetivos de Aprendizaje

- Definir qué es un amplificador operacional y describir su modelo ideal.
- Identificar las terminales del OP-AMP ( $V_+$ ,  $V_-$ ,  $V_{out}$ ,  $V_{cc+}$ ,  $V_{cc-}$ ) y sus funciones básicas.
- Explicar el concepto de “virtual short” y condiciones de operación en modo lineal frente a la saturación.

#### Contenidos Temáticos

1. **Tema 1: Modelo ideal del OP-AMP** - Descripción corta: introducción al concepto de ganancia infinita, entrada diferencial y salida dependiente de la diferencia de voltaje.
  1. Definición de ganancia diferencial infinita.
  2. Impedancia de entrada muy alta.
  3. Relación entre  $V_{out}$  y  $(V_+ - V_-)$ .

2. **Tema 2: Terminales y polarización** - Descripción corta: identificación de  $V_+$ ,  $V_-$ ,  $V_{out}$  y de las fuentes de alimentación.
  1. Función de cada terminal.
  2. Relación entre las fuentes de alimentación y la salida.
  3. Consideraciones de seguridad y saturación.
3. **Tema 3: Realimentación y operación lineal** - Descripción corta: introducción a la realimentación y al concepto de “virtual short”.
  1. Concepto de realimentación positiva vs. negativa.
  2. Concepto de virtual short entre  $V_+$  y  $V_-$  en realimentación negativa.
  3. Condiciones para operar en la región lineal.

## Actividades

- **Actividad 1: Exploración conceptual del OP-AMP** - Revisión guiada del modelo ideal, identificación de terminales y discusión sobre diferencias entre ideal y real. Se resumen las condiciones para mantener el op-amp en su región lineal y la importancia de la realimentación.
- **Actividad 2: Análisis de “virtual short”** - Resolución de ejercicios simples para demostrar el concepto de virtual short entre las entradas cuando la realimentación es negativa; se discute cuándo no aplica (salida saturada).
- **Actividad 3: Comparación ideal vs real** - Análisis cualitativo de cómo cambian la ganancia, la impedancia de entrada y el rango de operación al pasar de un modelo ideal a uno real.

## Evaluación

- Cuestionario corto de conceptos clave sobre el modelo ideal y las terminales (20%).
- Actividad de resolución de problemas sobre virtual short y saturación (30%).
- Actividad de discusión y análisis de diferencias entre modelos (10%).
- Ejercicio de repaso con problemas tipo examen (40%).

## Unidad 2: Configuraciones básicas — Inversor y No Inversor

### Objetivos de Aprendizaje

- Derivar la ganancia para la configuración inversora:  $A_v = -R_f/R_{in}$ .
- Derivar la ganancia para la configuración no inversora:  $A_v = 1 + (R_f/R_{in})$ .
- Analizar la impedancia de entrada y la influencia de la realimentación en cada configuración.

### Contenidos Temáticos

1. **Tema 1: Amplificador inversor** - Descripción corta: ganancia establecida por la relación  $R_f/R_{in}$  y baja impedancia de entrada.

1. Ecuación de ganancia  $A_v = -R_f/R_{in}$ .
  2. Impedancia de entrada  $Z_{in} \approx R_{in}$ .
  3. Condiciones de operación y limitaciones (offset, saturación).
2. **Tema 2: Amplificador no inversor** - Descripción corta: ganancia alta y alta impedancia de entrada.
1. Ecuación de ganancia  $A_v = 1 + (R_f/R_{in})$ .
  2. Impedancia de entrada  $Z_{in} \approx R_{in} \parallel R_f$  (alta en práctica).
  3. Condiciones de operación y uso típico (amplificación de señales débiles, buffering).
3. **Tema 3: Comparación y selección de configuraciones** - Descripción corta: criterios para elegir entre inversor y no inversor según requisitos de ganancia e impedancia.
1. Comparación de ganancia y impedancia entre ambas configuraciones.
  2. Impacto de tolerancias de resistencias y offset.
  3. Ejemplos de aplicaciones prácticas.

## Actividades

- **Actividad 1: Diseño de un inversor sencillo** - Selección de  $R_{in}$  y  $R_f$  para obtener una ganancia deseada, simulación rápida y verificación de la regla de signo.
- **Actividad 2: Diseño de un no inversor** - Configuración para obtener una ganancia específica, evaluación de la impedancia de entrada y la respuesta ante señales de baja amplitud.
- **Actividad 3: Comparativa práctica** - Comparar en simulación ambas configuraciones con la misma ganancia objetivo y observar diferencias en impedancia de entrada y respuesta transitoria.

## Evaluación

- Laboratorio/Simulación de ambas configuraciones (40%).
- Cuestionario teórico sobre las fórmulas de ganancia y características (20%).
- Problemas de análisis y diseño (20%).
- Participación y entrega de informe breve (20%).

## Unidad 3: Unidad 3: Parámetros y limitaciones de los OP-AMP — Análisis de frecuencia y dinámica

### Objetivos de Aprendizaje

- Definir Ganancia de Banda (GBW) y entender su influencia en la ganancia a distintas frecuencias.
- Explicar la velocidad de subida (slew rate) y su efecto en señales rápidas o con pendientes altas.
- Describir offsets de entrada y corrientes de polarización (bias) y su impacto en circuitos de precisión.

### Contenidos Temáticos

1. **Tema 1: Ganancia de banda (GBW) y respuesta en frecuencia** - Descripción corta: relación entre ganancia estática y ancho de banda, análisis en dominio de frecuencias.
  1. Definición de GBW y su significado en un OP-AMP real.
  2. Impacto de GBW en configuraciones inversor y no inversor.
  3. Introducción a diagramas de Bode para OP-AMP.
2. **Tema 2: Velocidad de subida (slew rate) y saturación** - Descripción corta: limitaciones dinámicas ante señales rápidas.
  1. Definición de slew rate y su influencia en la linealidad.
  2. Efectos de saturación y recortes en señales de alta pendiente.
  3. Estrategias de diseño para mitigar limitaciones de slew rate.
3. **Tema 3: Offset de entrada y corriente de bias** - Descripción corta: efectos de sesgos y errores de diseño en precisión.
  1. Offset de entrada y drift por temperatura.
  2. Corriente de offset y su influencia en configuraciones de alta ganancia.
  3. Compensación y estrategias de calibración.

## Actividades

- **Actividad 1: Análisis de respuesta en frecuencia** - Usar una simulación para trazar la respuesta en frecuencia de una configuración inversora y observar la limitación impuesta por GBW.
- **Actividad 2: Ensayo sobre slew rate** - Simular una señal de entrada con pendiente alta y observar la distorsión y la limitación de la salida; discutir soluciones.
- **Actividad 3: Estudio de offsets y bias** - Concurrentemente medir o estimar efectos de offset y bias en diferentes condiciones de temperatura.

## Evaluación

- Informe de simulación de GBW y análisis de efectos prácticos (40%).
- Ejercicios teóricos sobre slew rate y offsets (25%).
- Problemas de diseño que consideren limitaciones reales (25%).
- Participación y resolución de cuestionarios cortos (10%).

## Unidad 4: Aplicaciones de OP-AMP — Filtros activos, integradores, diferenciadores y comparadores

### Objetivos de Aprendizaje

- Diseñar filtros activos (primer y segundo orden) usando OP-AMP y componentes RC, y analizar su respuesta en frecuencia.
- Diseñar e interpretar un integrador y un diferenciador con consideraciones de estabilidad y limitaciones de saturación.
- Diseñar un comparador simple y, si procede, un comparador con histéresis (Schmitt trigger) para evitar salidas erráticas ante ruidos.

## Contenidos Temáticos

1. **Tema 1: Filtros activos con OP-AMP** - Descripción corta: implementación de filtros de primer y segundo orden usando realimentación y RC.
  1. Filtro paso-bajo de primer orden con realimentación.
  2. Filtro paso-alto de primer orden y filtros de segundo orden (con  $\omega_0$  y Q).
  3. Estabilidad y consideraciones de implementación práctica.
2. **Tema 2: Integrador y diferenciador** - Descripción corta: construcción de integrador y diferenciador y sus limitaciones prácticas.
  1. Integrador ideal y realimentación para estabilidad.
  2. Diferenciador y problemas de ruido y offset.
  3. Aplicaciones típicas en procesamiento de señales.
3. **Tema 3: Comparador y histéresis** - Descripción corta: uso de OP-AMP como comparador y la implementación de histéresis para evitar oscilaciones.
  1. Comparador básico sin realimentación positiva vs. con retroalimentación positiva.
  2. Schmitt trigger y rangos de umbral.
  3. Aplicaciones típicas en detección de umbrales y señales de reloj.

## Actividades

- **Actividad 1: Diseño de un filtro activo de primer orden** - Elegir componentes para alcanzar una ganancia y una frecuencia de corte deseadas; simular y analizar la respuesta.
- **Actividad 2: Implementación de un integrador y un diferenciador** - Construcción en simulación; observar limitaciones de saturación y ruido; proponer mejoras.
- **Actividad 3: Diseñar un comparador con histéresis** - Implementar un esquema de umbrales y verificar la robustez ante ruidos en simulación.

## Evaluación

- Proyecto de diseño de un filtro activo con informe de simulación (35%).

- Informe de implementación de integrador/diferenciador con análisis de estabilidad (25%).
- Problemas de diseño de comparadores y verificación de umbrales (20%).
- Participación y ejercicios cortos (20%).