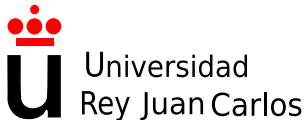


## 2. Acondicionadores de señal

Julio Vega

[julio.vega@urjc.es](mailto:julio.vega@urjc.es)



Sensores y actuadores



(CC) Julio Vega

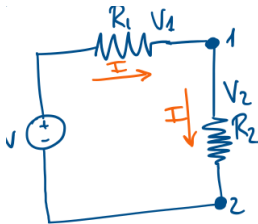
*Este trabajo se entrega bajo licencia **CC BY-NC-SA**.  
Usted es libre de (a) compartir: copiar y redistribuir el material en  
cualquier medio o formato; y (b) adaptar: remezclar, transformar  
y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas  
libertades mientras cumpla con los términos de la licencia.*

# Contenidos

- 1 Acondicionadores de señal
- 2 Circuitos divisores
- 3 Circuitos de puente
- 4 Circuitos amplificadores
- 5 Circuitos convertidores
- 6 Filtros
- 7 Puentes, amplificadores y convertidores de alterna

- Sensor (transductor) cambia dom. variable física y vierte dato útil.
- Dato general/ necesita acondiciona/ para ser interpretada correcta/.
- Acondicionador de señal: circuito adecúa salida del sensor. Procesos:
  - Amplificación: aumentar magnitud de señal (e.g.  $5 - 10mV$  a  $0 - 5V$ ).
  - Linealización: convertir señal no lineal en señal con compto. lineal.
  - Filtrado: despreciar componentes no deseadas de una señal.
  - Conversión: de señal continua o analógica a discreta o digital.
    - Raspberry necesita un DAC (Dig-Ana-Conv) si queremos señal analog.
  - Aislamiento eléctrico: interrumpir paso de señal entre entrada-salida.
    - General/ la entrada se convierte a señal óptica o magnét. como salida.
  - Excitación: requerida por muchos sensores para su funcionamiento.
    - Sens./act. con ppio. trans. reluctancia variable necesitan señal AC.

- Circuitos divisores: +sencillos para acondicionar sensores resistivos.
  - Contra vs. circuitos puente: alta sensibilidad a variaciones corriente.
- Divisor de voltaje: permite distintos niveles de  $V$  con una fuente.

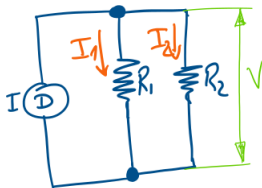


- Ley de mallas de Kirchhoff:  $V = IR_1 + IR_2$ ;  $I = \frac{V}{R_1 + R_2} \Rightarrow L. Ohm$ :  

$$V_1 = IR_1 = \frac{V}{R_1 + R_2} R_1; V_2 = IR_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} R_2 \quad (1)$$
- Vemos que cociente que multiplica  $V$  es  $< 1$ , así  $V_1$  y  $V_2$  son  $< V$ .
- Usos: como auxiliares para medición con sensores resistivos.
  - Si se mantiene resistencia fija se puede saber el valor de la otra (Ohm).
  - Al medir voltaje sobre el divisor se puede saber resistencia del sensor.

[Ejercicios: Kirchhoff, circuitos divisores de voltaje]

- Similar al de voltaje; diferencia: resistencias ahora en paralelo...
  - ...y en lugar de fuente de tensión, tenemos fuente de corriente.
  - Circuito electrónico necesita fuente energía: de tensión o de corriente.
  - Fuente tensión: tiene  $R_{interna}$  pequeña; corriente:  $R_{interna}$  enorme.
  - Ideal:  $F_{tensión}$  con  $R_i = 0$ ;  $V = cte.$  o  $F_{corriente}$  con  $R_i = \infty$ ;  $I = cte.$
  - Corolario:  $F_t : V = cte. (R \uparrow \Rightarrow I \downarrow)$ ;  $F_c : I = cte. (R \uparrow \Rightarrow V \uparrow)$

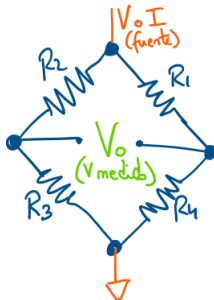


$$V_2 = V_1 = V_T = I_1 R_1 = I_2 R_2 = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}; I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

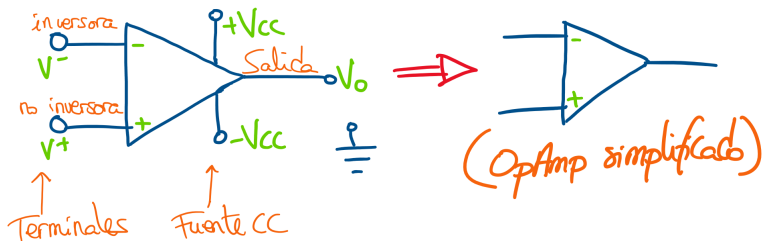
- Vemos que corriente del circuito se divide entre las dos resistencias.
- Uso: similar al de voltaje, que se usan más (preferible medir voltajes).

- Usados para obtener lectura de sensores resistivos y piezorresistivos.
  - E.g.: galgas extensiométricas, fotorresistencias.
- Se valen de variaciones de resistencia de los sensores y divisores de  $V$ .
  - Cambio resist. sensor implica cambio de  $V$ . entre terminales circuito.
- Ventaja (vs. circuito divisor): sensible a variaciones  $< 1\% R_{nominal}$ .
- Puentes de Wheatstone: +usados para acondic. señal salida sensor.
  - En realidad es como dos divisores de  $V$ , con  $V_o = V_{o1-4} - V_{o2-3}$ .
  - Uso: si se cambia una  $R$  por un sensor, para medir cambios de este.



$$V_o(V_{out}) = V \frac{R_1}{R_1 + R_4} - V \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad (4)$$

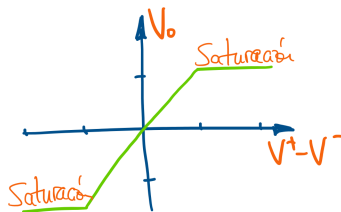
- Presentan muchas configuraciones = muchas aplicaciones.
- Nos centraremos en basados en amplificador operacional (*OpAmp*).
  - Es un circ. amplif. que se presenta normal/ en forma de circ. integrado.



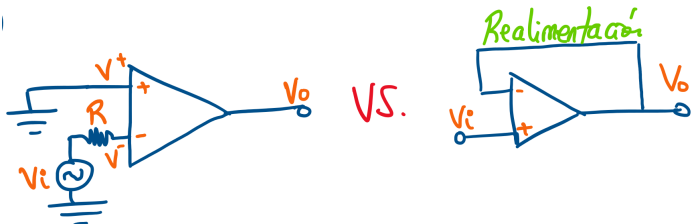
- Posee dos entradas, inversora ( $V^-$ ) y no inversora ( $V^+$ ) y una salida.
- Para funcionar necesita dos conexiones de alimentación ( $+V$  y  $-V$ ).



- Ganancia  $\infty$ : tener cualquier  $V_o$ . Pero  $V_o$  acotado por fuente.
  - (Gan.: magn. adimensional =  $\frac{out}{in} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{I_o}{I_i}$  (belio, decibelio (dB))
- Ganancia nula:  $V^+ = V^- \implies ganancia_{salida} = 0 \implies V_o = 0$ .
- $V$  nulo entre entradas: si  $V^+$  o  $V^-$  conectada tierra, otra  $=V$ .
- $V$  de *offset* nulo: si  $V_o = V_{in}$  (ganancia = 1). Normal/  $[1e^{-6}, 1e^{-3}]$ .
- Impedancia  $\infty$  de entrada:  $I_{V^+} = I_{V^-} = 0A$ . Normal/  $[1e^{-12}, 1e^{-6}]A$ .
  - Imped. ( $Z$ ): oposición del circuito a corriente cuando se aplica tensión.
- $Z$  nula en salida:  $\forall$  carga  $\nexists$  caída de  $V$ . Normal/  $< 1\Omega$ .
- Respuesta lineal en  $F$ : ganancia amplif. cte. aunque frec. entrada no.
- Transferencia de  $V$ : relación entre  $V_o$  y la diferencia  $V^+ - V^-$ .
  - Si  $|V^+ - V^-|$  es pequeño, el ampl. operac. se comporta de forma lineal.
  - Si  $V^- \gg V^+$ , amplif. saturado: amplitud  $V_o =$  valor máx.  $= -V_{cc}$ .
  - Si  $V^+ \gg V^-$ , amplif. saturado: amplitud  $V_o =$  valor máx.  $= +V_{cc}$ .

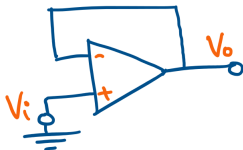


- Se emplean en circuitos acondicionadores, para sensores y actuadores.
  - Amplificación, atenuación, filtrado, linealización, comparación señales.



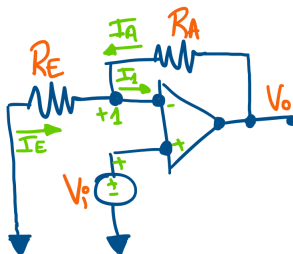
- Configuraciones: lazo abierto o lazo cerrado (con realimentación).
  - Con realim.: hay conexión entre salida y entrada del mismo circuito.
- Dada versatilidad y uso extendido, nos centraremos en lazo cerrado.
  - En lazo hay compntes. para compto. resistivo, reactivo, (no)lineal.
    - Hace que las configuraciones posibles en lazo cerrado sean mayores.
  - Además, con realim., ganancia en circuito amplific. puede controlarse.
    - Permite trabajar con diferencias  $|V^+ - V^-|$  grandes antes de saturar.
  - El circuito es poco sensitivo a variaciones de ganancia propia.
    - E.g.:  $\sim t.^a \implies \sim \text{ganancia}_{\text{amplif.}} \not\Rightarrow \sim \text{ganancia}_{\text{circuito}}$ .

## Seguidor o amplificador de ganancia unitaria



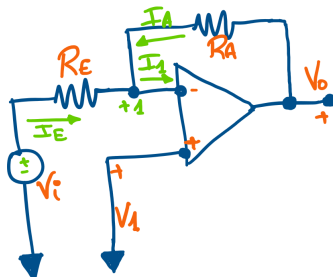
- Configuración más sencilla de conexión de amplif. operac. con realim.
- Debe su nombre, *seguidor*, a que  $V_o = V_i \implies$  no amplifica entrada.
  - Y *amplif. ganancia unitaria* (1), porque  $V_o = V_i \implies \frac{V_o}{V_i} = 1$ .
- Muy usados; gran impedancia entrada anula efectos de carga (EC).
  - EC: cambios en  $V$  de circuito cuando carga conectada a este cambia.
- Perfectos como 1ª etapa acondiciona/, pues aíslan  $V_o$  respecto a  $V_i$ .

# No inversor



- Aquí ya se incluyen otros componentes en el lazo de realimentación.
- Se conecta fuente de  $V$  a terminal  $V^+$ , que tendrá  $V_i$ .
  - Considerando amplif. operac. ideal, también hay  $V_i$  en  $V^-$ .
- Sea lazo  $V_o$ ,  $R_A$ ,  $nodo_1$ ,  $R_E$  y tierra, tenemos circ. divisor de voltaje.
  - Sabemos que:  $V_i = V_o \frac{R_E}{R_E + R_A} \implies ganancia = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E + R_A}{R_E} = 1 + \frac{R_A}{R_E}$ .

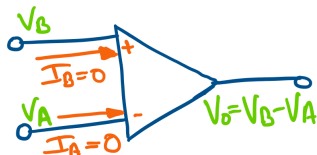
# Inversor



- Similar a anterior, pero fuente de  $V$  se conecta en terminal inversora.
- Cálculo de ganancia, aplicamos Kirchhoff sobre  $nodo_1$ :  $I_1 = I_E + I_A$ .
- Considerando amplif. ideal, corrientes en ambos terminales son nulas.
  - Por tanto:  $I_1 = 0 = I_E + I_A$ , donde  $I_E = \frac{V_i - V_1}{R_E}$  y  $I_A = \frac{V_o - V_1}{R_A}$ .
- Además,  $V^- = 0$  (ideal); por tanto,  $V_1 = 0 \implies I_E = \frac{V_i}{R_E}$ ;  $I_A = \frac{V_o}{R_A}$ .
  - Sustituyendo en fórmula inicial:  $\frac{V_i}{R_E} + \frac{V_o}{R_A} = 0 \implies \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_A}{R_E}$ .
- Corolario: el amplif. inversor cambia el signo del voltaje de entrada.

# Otros

- Sumador: circ. amplif. inversor con varias entradas a un mismo nodo.
  - Su función: suma los voltajes de esas entrada al terminal.
- Diferencial: se obtiene la diferencia  $|V^+ - V^-|$ .
  - Vtja vs. lazo abierto: control de ganancia para evitar saturación.
- Integral: incluir resistencia en entrada y capacitor en lazo.
- Derivador: incluir resistencia en lazo y capacitor en entrada.
- Logarítmico: incluir diodo en lazo y resistencia en entrada.
- Antilogarítmico: incluir diodo en entrada y resistencia en lazo.
- De instrumentación: para medir pequeñas  $\sim$  de  $V$  cuando hay ruido.

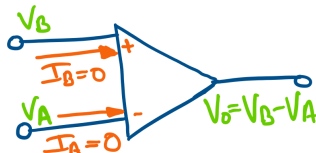


- Se usan fundamental/ como comparadores de voltaje.
- Se aplican dos voltajes,  $V_A$  y  $V_B$  en la entrada.
  - Si  $V_A = V_B \implies V_o = 0$ .
  - Si no, amplif. satura ya que  $gan_{circ.} = gan_{ampl.} = \infty (ideal)$ .
- Inversor/no-inversor ( $V$  en terminal y otro a tierra) = ampl. difer.
  - Ampl. difer. compara dos  $V$  vs. inv./no-inv. compara  $V$  con 0.

- Linealización de puentes resistivos para medición con galgas.
  - Baja  $Z$  evita efectos de carga al conectar el puente a UCP.
- Leer sensor alta  $Z$  ( $M\Omega$ ): fotodiodos, piezoeléctr., det. humo.
- Medición de posición: lineal (LVDT) o angular (encoder).
  - LVDT = Transductor de Desplazamiento Lineal Variable.
  - Objetivo: amplificar valores salida para ser leídos con facilidad.
- Uso termocuplas; amplificación ayuda a compensación de unión fría.
  - O termopar: transductor hecho por 2 metales, genera  $V$  bajísimo ( $mV$ ).



- Def. CC: transforma un tipo de señal de entrada a otro en salida.
- Def. ADC: acopla señal A. con circuito D. (e.g. microcontroladora).
  - Procesos:  $t$  continuo  $\rightarrow t$  discreto, cuantización amplitud señal.
- Conocer:  $v$  muestreo, resol., ancho banda para correcto tto. señal.
  - $v$  muestreo, según  $t^a$  muestreo, debe ser  $= 2 \times \text{frec. máx. señal A.}$
  - Resol.: determinada por el número de bits (e.g. 16b.) del convertidor.
- Ej. básico: amplif. difer. lazo abierto (o comparador) = ADC de 1 bit.
  - En entradas puede haber señales analógicas, si  $V_A \neq V_B$  amplif. satura.
  - Si una entrada es referencia, la otra puede ser  $> 0$  o  $< 0$  (¡ya digital!).

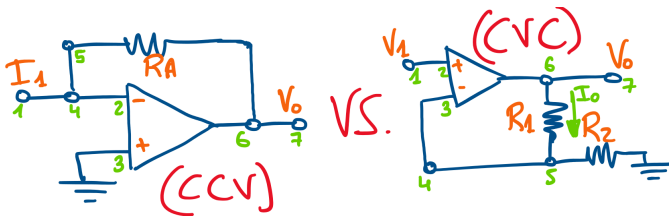


- Otros: ADC aprox. sucesivas, ADC flash, ADC integrador, ADC  $\sigma - \delta$ .

- Def.: reconstruir señal analógica a partir de datos binarios.
  - En un DAC siempre se pierde información y  $\exists$  desfase.
- Procesos: almacenar señal, restituir amplitud, establecer correlación.
- Requerimientos DAC = ADC.
- Usos: punto de *unión* entre sist. dig. y otros elem. de sistema.
- Tipos: DAC resist. ponderadas, DAC R-2R, DAC termóm., DAC  $\sigma - \delta$ .

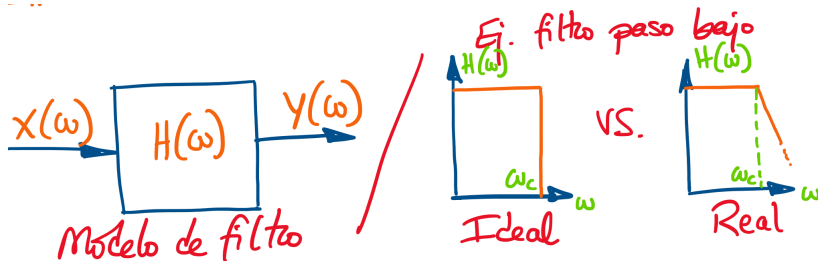
- CVF: producen señal periódica con frecuencia  $\propto$  a  $V$  de control.
  - Pueden producir señales cuadradas, triangulares o sinusoidales.
- CFV: convierte señal entrada en tren pulsos de ampl. cte.; el pulso...
  - ...es diferenciado, rectificado, promediado para obtener  $V_o \propto$  frec.
  - Suelen usarse como circuitos integrados comerciales (e.g. encoders).

- Emplea amplif. operac. y usa ley Ohm para lectura  $\propto I$  o  $V$ .
- CCV: convierte señal corriente pequeña ( $> 0,01\mu A$ ) a  $V \propto$ .
  - $V_o = -I_1 R_A$
- CVC: lee un  $V$  de entrada en forma de corriente  $\propto$ .
  - $V^+ = V^-$  (ampl. operac. ideal)  $\implies I_o = \frac{V_1}{R_2}$ .



- Aplicaciones de estos circuitos en los sistemas de sensado.
  - Lectura de sensores basados en efecto fotoeléctrico.
  - Como fuente de voltaje controlada por corriente.
  - Para medir corriente, se puede conectar CCV y luego voltímetro.

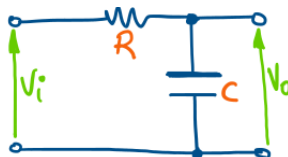
- La respuesta de un filtro depende de los elementos que lo componen.
  - Tiene 1 entrada y 1 salida, donde solo aparece parte de frec. entrada.
  - Se elimina una parte frec. de señal a partir de la *frec. de corte*.
  - Función de transferencia  $H(\omega) = 1$  (permite paso) /  $0$  (impide paso).
    - Real/ lo que ocurre es que el filtro atenúa las frecuencias no deseadas.



- $Z$  de elem. pasivos (capacitores, inductores) depende de  $F_{fuente}$ .
  - Valor y conexión de estos elem. ayudan diseñar filtro c/paso selectivo.
- Clasif.: según componentes que lo constituyen y su respuesta en frec.

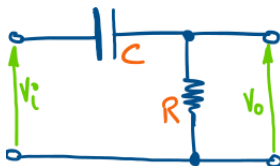
- Pasivos: solo elem. pasivos: resist., capacit. e induct. No amplifican.
- Activos: no usan induct. pero sí *OpAmp*. Sí amplifican señal.
- De capacidades conmutadas: usan capacit. conmut. en vez de resist.
  - Los valores de resist. se consiguen variando la frec. de conmutación.
- Digitales: realizan la función de filtro mediante algoritmos numéricos.

# Filtro paso bajo



- Atenúa según factor de escala frec. ( $\omega$ ) > a la de corte del filtro.
- El circuito de la figura puede ser un filtro paso bajo pasivo. Análisis:
  - Si  $\omega = 0 \Rightarrow Z_{capacitor} = \infty \Rightarrow V_o = V_i$  (=circ. abierto).
  - Si  $\omega \uparrow \Rightarrow Z_{capac.} \downarrow \Rightarrow V_o < V_i$  (=circ. divisor  $V$  entre  $R$  y  $capac.$ ).
  - Si  $\omega = \infty \Rightarrow Z_{capac.} = 0 \Rightarrow V_o = 0$  (=cortocircuito).
- Uso: e.g. dirigir frec.  $\downarrow\downarrow$  de señal de audio a *subwoofer*.

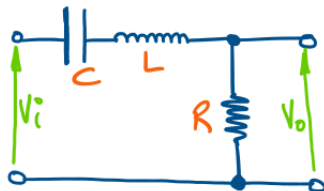
# Filtro paso alto



- Permite paso de frec.  $>$  a la de corte y atenúa las frec.  $<$  corte.
- El circuito de la figura puede ser un filtro paso alto pasivo. Análisis:
  - Si  $\omega = 0 \Rightarrow Z_{capac.} = \infty \Rightarrow V_o = 0$  (=cortocircuito).
  - Si  $\omega = \infty \Rightarrow Z_{capac.} = 0 \Rightarrow V_o = V_i$  (=circ. abierto).
- Uso: e.g. dirigir frec.  $\uparrow\uparrow$  de señal de audio a *tweeter*.
- Corolario: su comportamiento es complementario al filtro paso bajo.

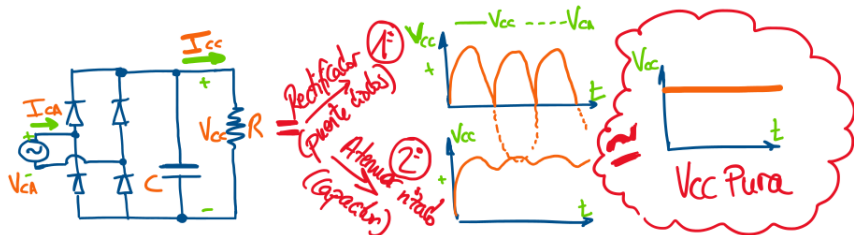


# Filtro paso banda



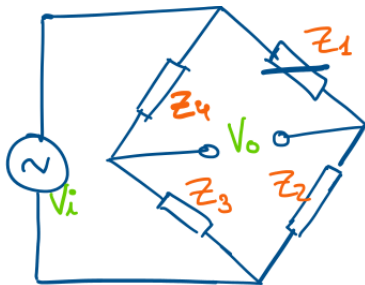
- Permite paso de frec. dentro de rango  $[min, max]$  determinado de frec.
- El circuito de la figura puede ser un filtro paso banda. Análisis:
  - Si  $\omega = 0 \Rightarrow Z_{capacitor} = \infty \Rightarrow V_o = 0$  (=circ. abierto).
  - Si  $\omega \uparrow \Rightarrow Z_{cap.} = X, Z_{ind.} = Y \Rightarrow V_o = W$  (=circ. divisor de  $V$ ).
  - Si  $\omega = \infty \Rightarrow Z_{inductor} = \infty \Rightarrow V_o = 0$  (=circ. abierto).
- En estos filtros se da el fenómeno *frecuencia central del filtro*.
  - Como  $Z_{cap.}$  es  $-$ , cuando  $Z_{cap.} = Z_{ind.} \Rightarrow Z_{total} = 0 \Rightarrow \omega_o = \omega_i$ .

- Para cuando necesito usar señales de CA y CC en un mismo sistema.
- CA-CC: necesita circ. rectificador de onda y capacitor en paralelo.
  - Real/: 1º atenuar magnitud señal CA (220 V) con transformador.



- CC-CA: usan transistores que activan-desactivan  $V_{CC}$  controlada/.
  - Circuitos comunes: *push-pull*, medio puente, puente completo.

- Puentes de alterna: circuitos para acondicionar señal de sensores...
  - ...de reactancia variable, como un *LVDT* (cargas inductivas).
- El puente se excita con señal de  $V$  o  $I$  alterna (debido a cargas ind.).

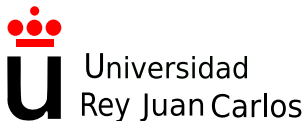


- Solo elemento 1 tiene impedancia variable = sensor que se desea leer.
  - El resto son resist. fijas con su correspondiente impedancia ( $Z$ ).

## 2. Acondicionadores de señal

Julio Vega

[julio.vega@urjc.es](mailto:julio.vega@urjc.es)



Sensores y actuadores