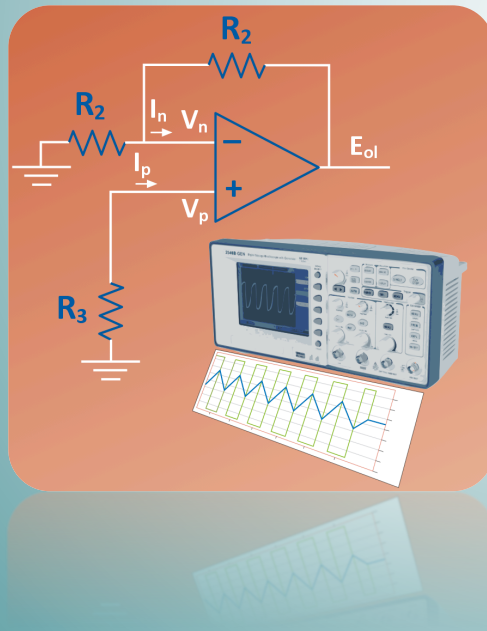


Electrónica Básica

Tema A.3.

Aplicaciones lineales y no-lineales del amplificador operacional



Gustavo A. Ruiz Robredo

Juan A. Michell Martín

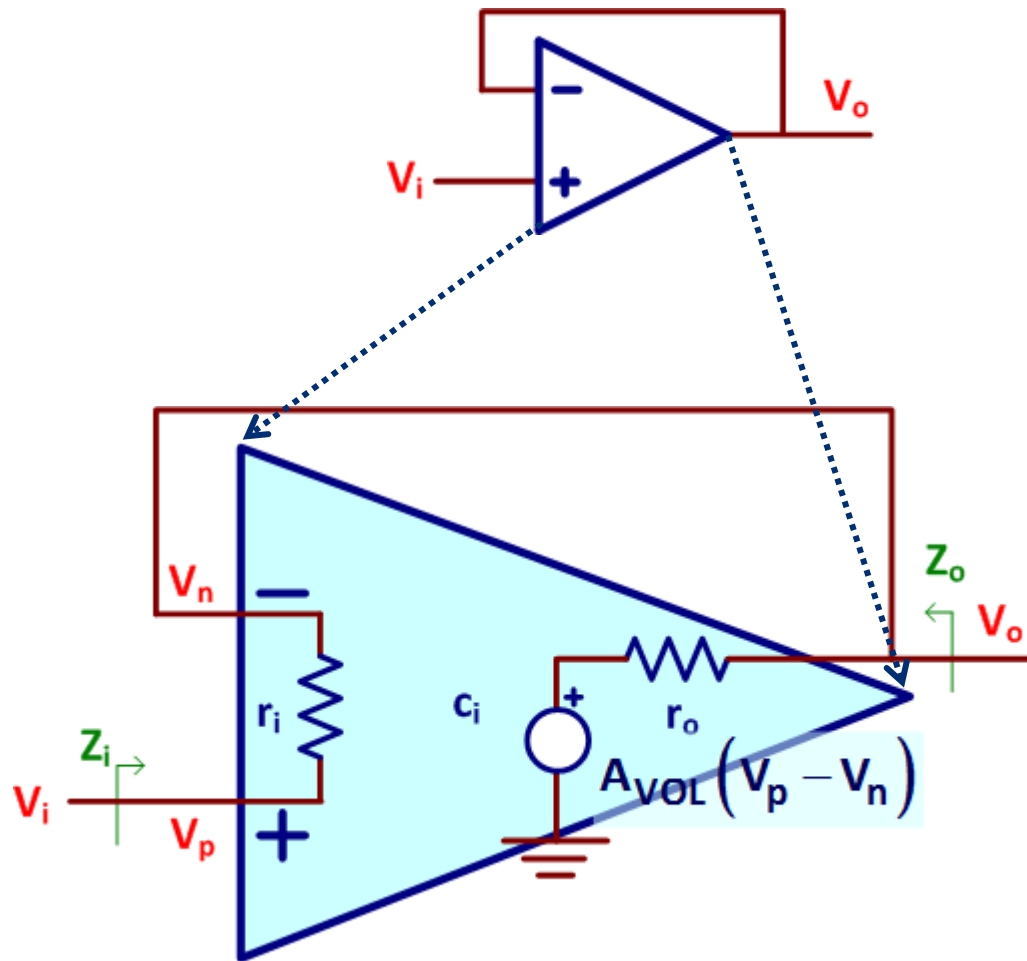
DPTO. DE ELECTRÓNICA Y COMPUTADORES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)



Seguidor de tensión



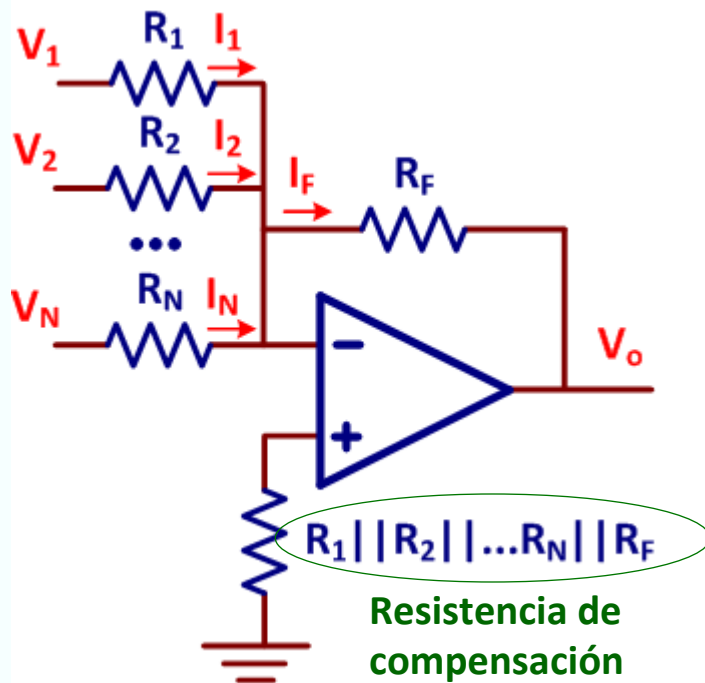
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

$$Z_i = r_i (1 + A_{VOL})$$

$$Z_o = \frac{r_o}{(1 + A_{VOL})}$$

Prob A.III.1

Amplificador sumador



$$I_1 + I_2 + \dots + I_N = I_F$$

$$\begin{cases} \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_N}{R_N} = \frac{V_n - V_o}{R_F} \\ V_n = V_p = 0 \end{cases}$$

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1} V_1 - \frac{R_F}{R_2} V_2 - \dots - \frac{R_F}{R_N} V_N = -R_F \sum_{i=1}^N \frac{V_i}{R_i}$$

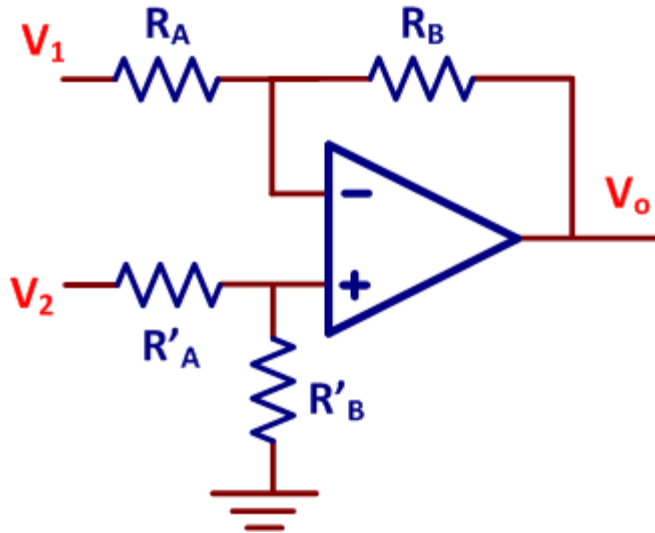
Ancho de Banda

$$BW = \frac{f_1}{A_N}, \text{ donde la ganancia de ruido vale } A_N = 1 + \frac{R_F}{R_1 || R_2 || \dots || R_N}$$

Prob A.III.2



Amplificador diferencial



$$V_o = V_2 \left(\frac{R'_B}{R'_A + R'_B} \right) \left(\frac{R_A + R_B}{R_A} \right) - V_1 \frac{R_B}{R_A}$$

➤ En el caso particular de que $\frac{R_B}{R_A} = \frac{R'_B}{R'_A}$

$$V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_B}{R_A}$$

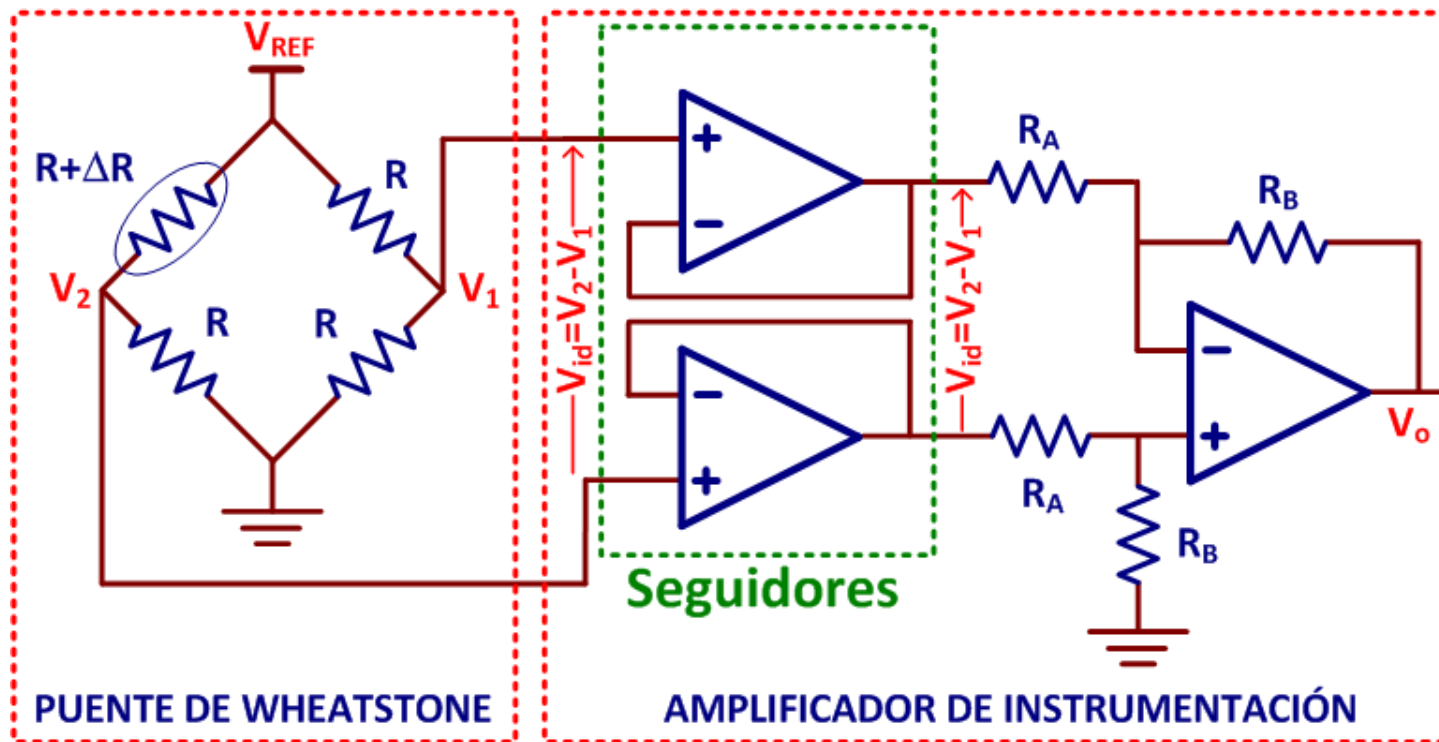
Prob A.III.7

Amplificador de instrumentación

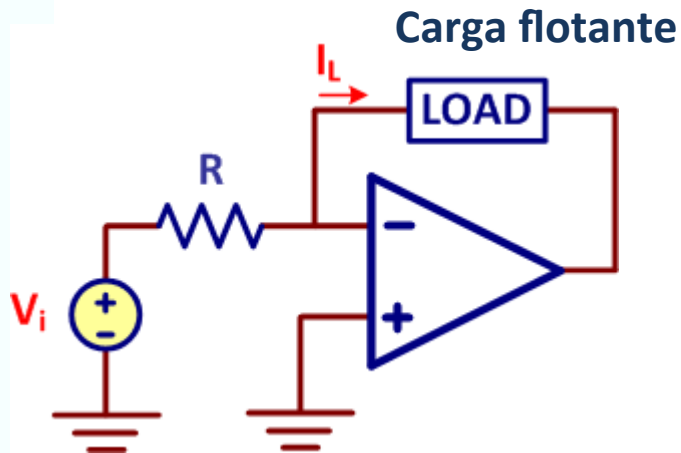
- Optimizado en términos de componentes DC: CMRR, corrientes y tensiones offset, corrientes de polarización, etc ... Tiene seguidores a las entradas.

$$V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_B}{R_A} = \left(\frac{R}{2R + \Delta R} - \frac{1}{2} \right) V_{REF} \frac{R_B}{R_A}$$

Prob A.III.8

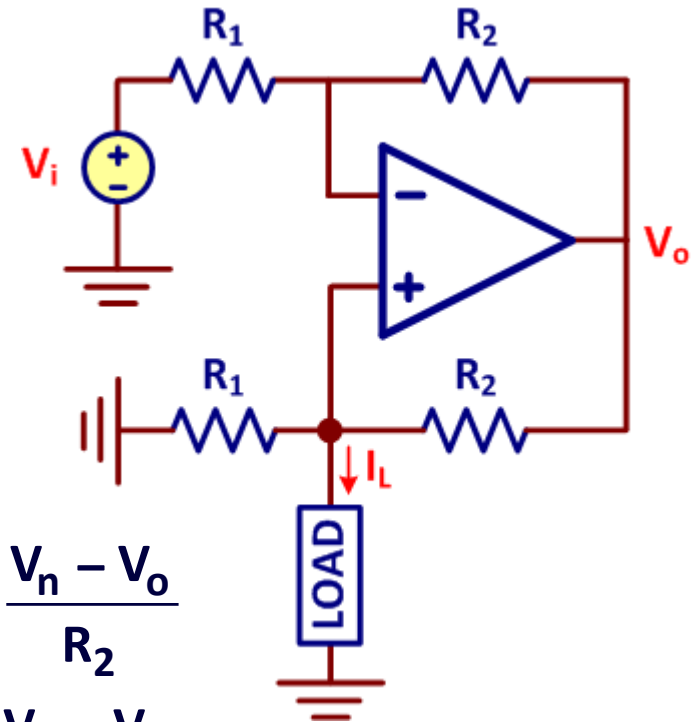


Convertidores tensión-corriente



$$I_L = \frac{V_i}{R}$$

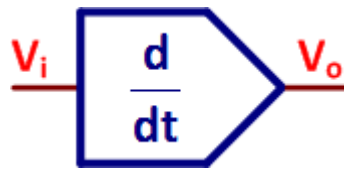
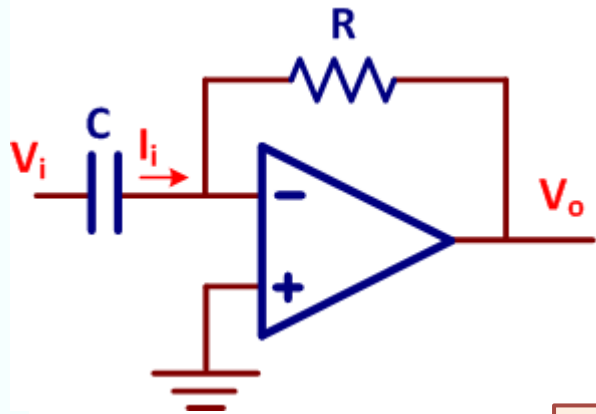
Fuente de corriente Howland



$$\begin{cases} \frac{V_i - V_n}{R_1} = \frac{V_n - V_o}{R_2} \\ \frac{V_p}{R_1} + I_L = \frac{V_o - V_p}{R_2} \\ V_n = V_p \end{cases}$$

$$I_L = -\frac{V_i}{R_1}$$

Diferenciador



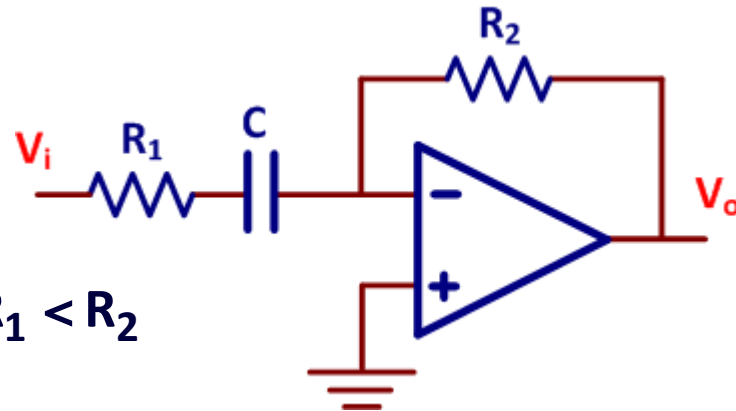
$$\left. \begin{array}{l} I_i = C \frac{dV_i}{dt} \\ V_o = -R I_i \end{array} \right\} \Rightarrow V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

Prob A.III.12



■ Diferenciador práctico

➤ Mejora la estabilidad

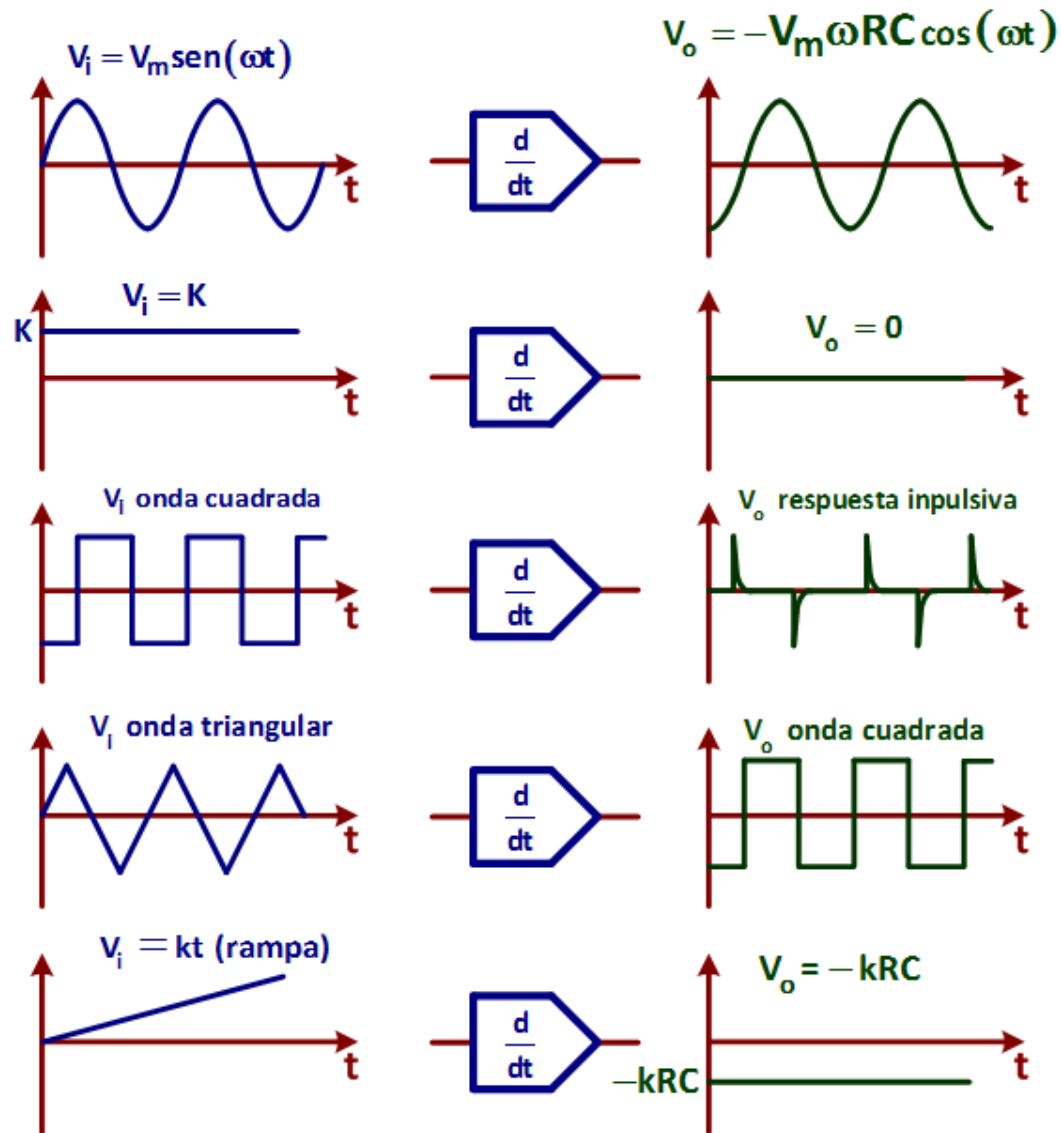


Prob A.III.13

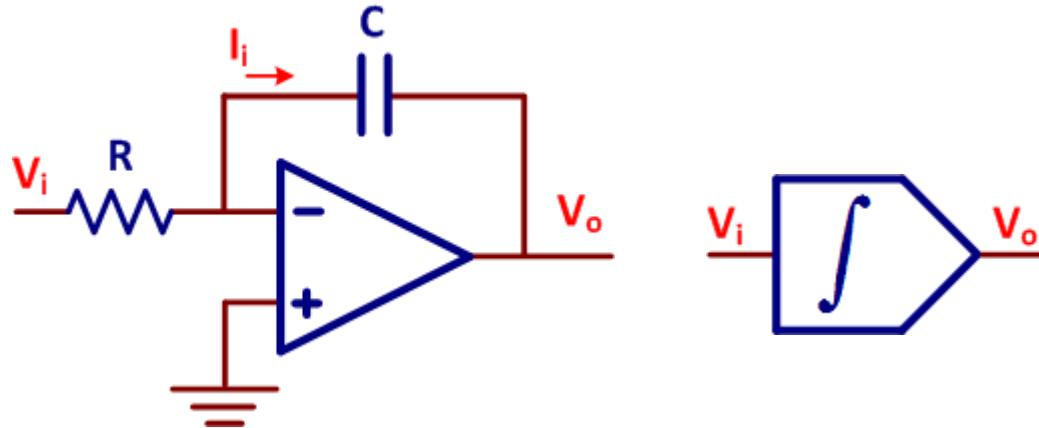


$$10R_1 < R_2$$

■ Respuesta del diferenciador a diferentes tipos de entrada

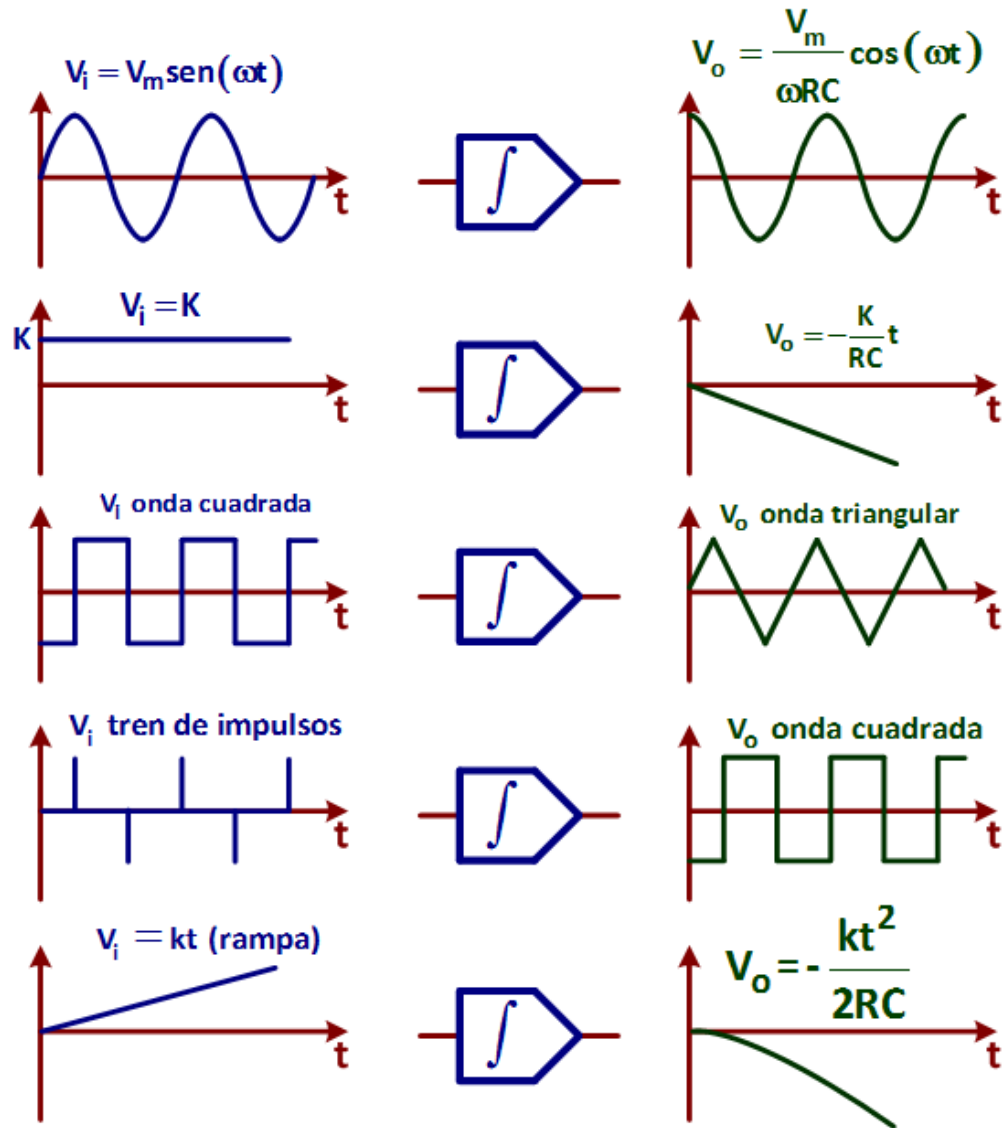


Integrador



$$\left. \begin{aligned} I_i &= \frac{V_i}{R} \\ I_i &= -C \frac{dV_o}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i dt + cte$$

■ Respuesta del integrador a diferentes tipos de entrada

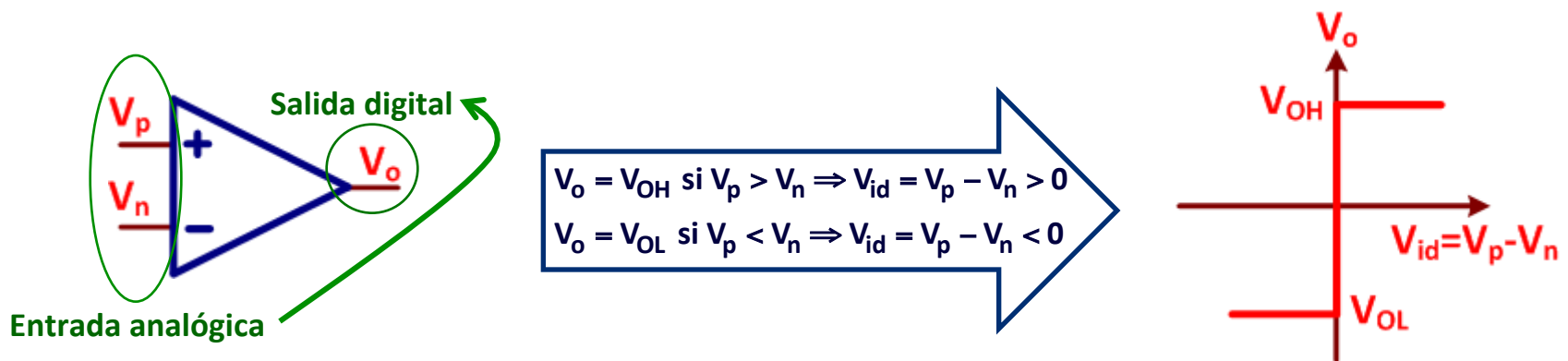


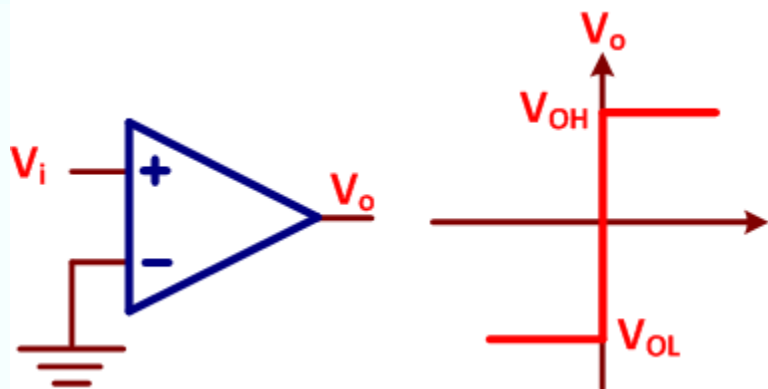
Prob A.III.14

 LTspice IV

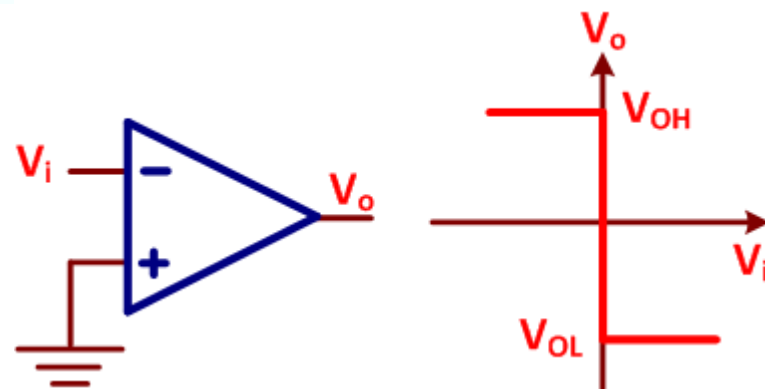
El OA como comparador

- Un comparador es un circuito **no-lineal** que permite comparar dos señales (una de las cuales generalmente es una tensión de referencia) y determinar cuál de ellas es **mayor o menor**.
- La tensión de salida tiene dos estados (binaria) → comporta como un **convertidor analógico-digital de 1 bit**.
- La tensión de salida puede ser V_{OH} (Output High) o baja V_{OL} (Output Low). En OAs, estas tensiones de salida están fijadas por las fuentes de alimentación: $V_{OH} \approx V_{CC}$ y $V_{OL} \approx -V_{CC}$.



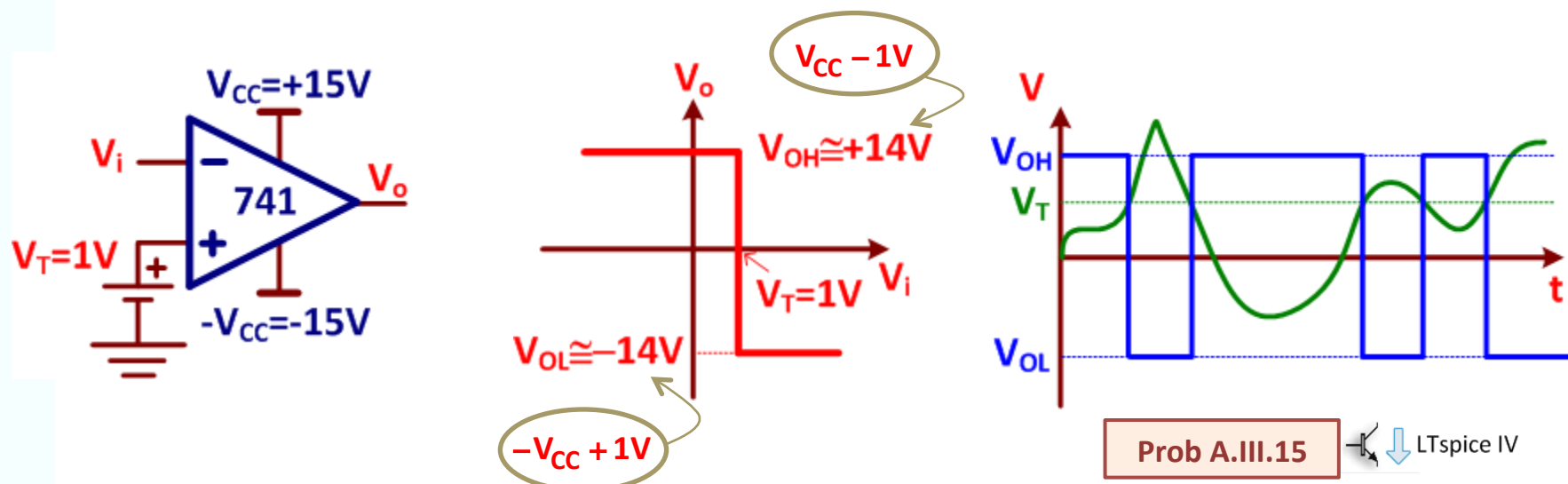


Comparador no-inversor



Comparador inversor

■ Ejemplo de un comparador



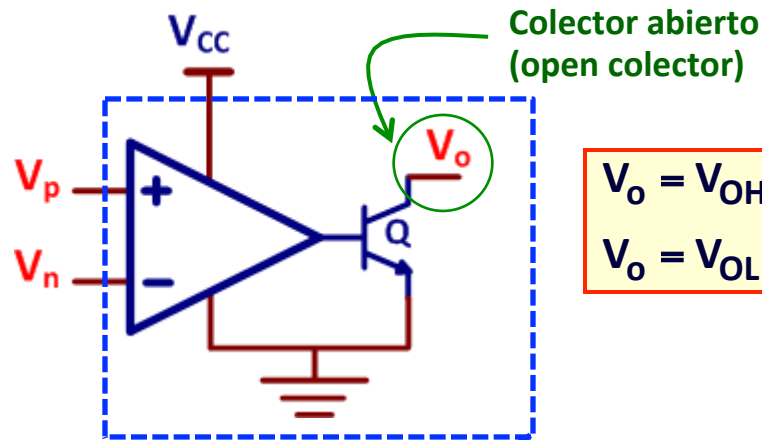
Comparadores monolíticos: Familia 339

- Los OAs funcionalmente pueden actuar como comparadores, no obstante sus limitaciones hacen que sean inservibles para muchas aplicaciones:
 1. Tienen una **limitación en frecuencia** importante.
 2. **Bajo slew-rate**, transición alto $\leftrightarrow$ bajo es lenta.
 3. Presenta unos **retrasos tan elevados** que únicamente son válidos a frecuencias bajas.

- Además, los OAs están pensados para actuar como amplificadores e incluyen **técnicas de compensación en frecuencia no necesarias** cuando operan como comparadores.

- A veces es necesario **añadir un circuito adicional** cuando los niveles de tensión tienen que ser compatibles con circuitos digitales TTL, ECL o CMOS.

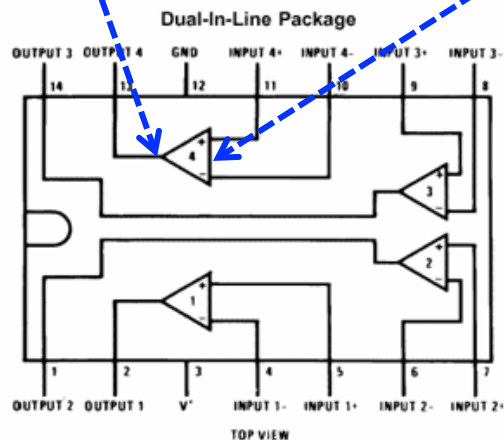
- La serie **339 de National Semiconductor** es una familia de comparadores muy utilizada de bajo coste.



Prob A.III.16

$$V_o = V_{OH} \cong V_{CC} \text{ si } V_p > V_n \text{ (Q en Corte)}$$

$$V_o = V_{OL} \cong V_{CE}(\text{sat}) \approx 0V \text{ si } V_p < V_n \text{ (Q en Saturación)}$$

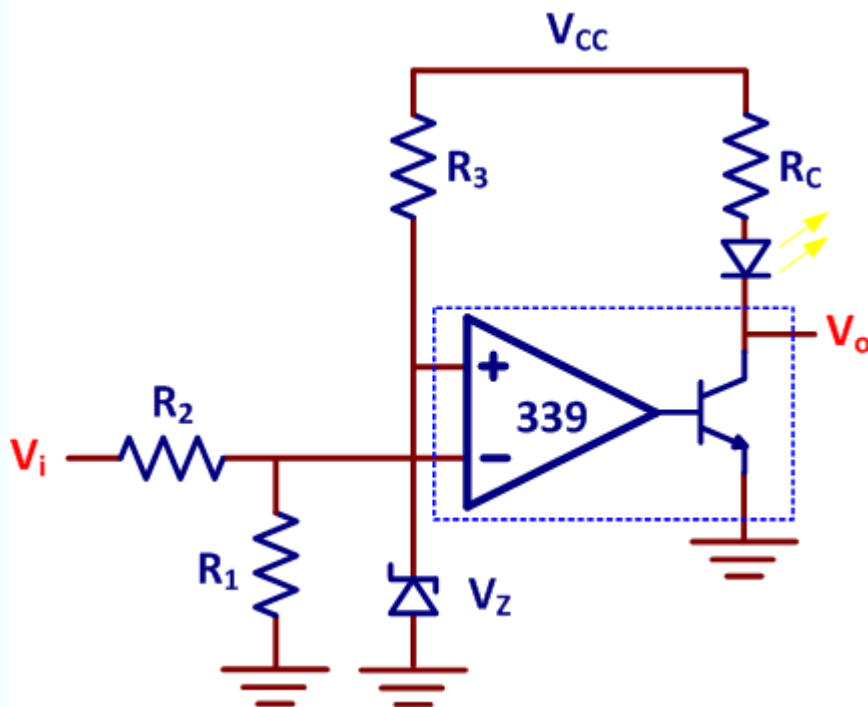


Features

- Wide supply voltage range
 - LM139/139A Series 2 to 36 V_{DC} or ± 1 to $\pm 18 V_{DC}$
 - LM2901: 2 to 36 V_{DC} or ± 1 to $\pm 18 V_{DC}$
 - LM3302: 2 to 28 V_{DC} or ± 1 to $\pm 14 V_{DC}$
- Very low supply current drain (0.8 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current: 25 nA
- Low input offset current: ± 5 nA
- Offset voltage: ± 3 mV
- Input common-mode voltage range includes GND
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage: 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

■ Detector de nivel

- La función del detector de nivel es identificar cuando una variable física (tensión, corriente, temperatura, humedad, etc), la cual suele ser convertida a una tensión de entrada V_i mediante un transductor, es superior o inferior a un nivel de referencia.



$$V_Z < \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_i \Rightarrow \text{Diodo LED ON}$$

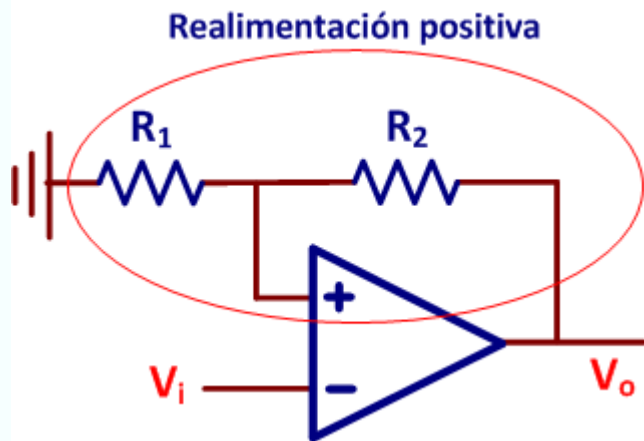
$$V_Z > \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_i \Rightarrow \text{Diodo LED OFF}$$

Prob A.III.17

Disparador Schmitt

- Un **disparador Schmitt** o **comparador con histéresis** es un comparador regenerativo con realimentación positiva que presenta dos tensiones de comparación a la entrada, V_{TH} y V_{TL} , en función del estado de la salida.
- Sus principales aplicaciones se encuentran en el campo de las comunicaciones digitales debido a su **capacidad de eliminar ruidos** y en **circuitos generadores de formas de onda**.

■ Disparador Schmitt: Ejemplo 1



$$V_p = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_o \quad \left\{ \begin{array}{l} V_o = V_{OH} \Rightarrow V_p = V_{TH} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{OH} \\ V_o = V_{OL} \Rightarrow V_p = V_{TL} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{OL} \end{array} \right.$$
$$V_n = V_i$$

➤ **Caso 1:**

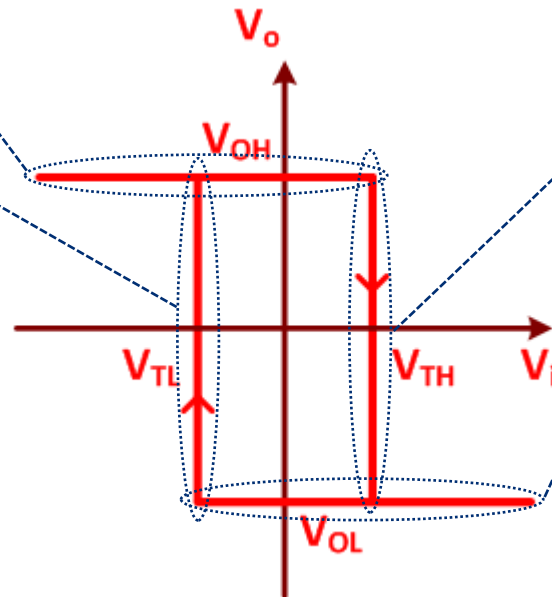
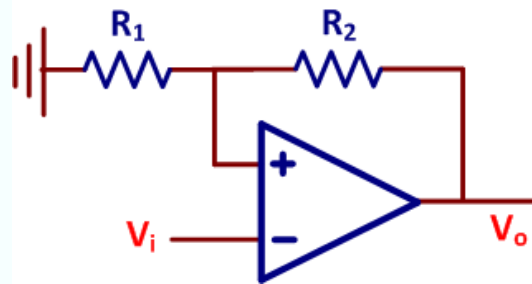
$$\rightarrow V_p > V_n \Rightarrow V_o = V_{OH} \Rightarrow V_n = V_i < V_{TH} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{OH}$$

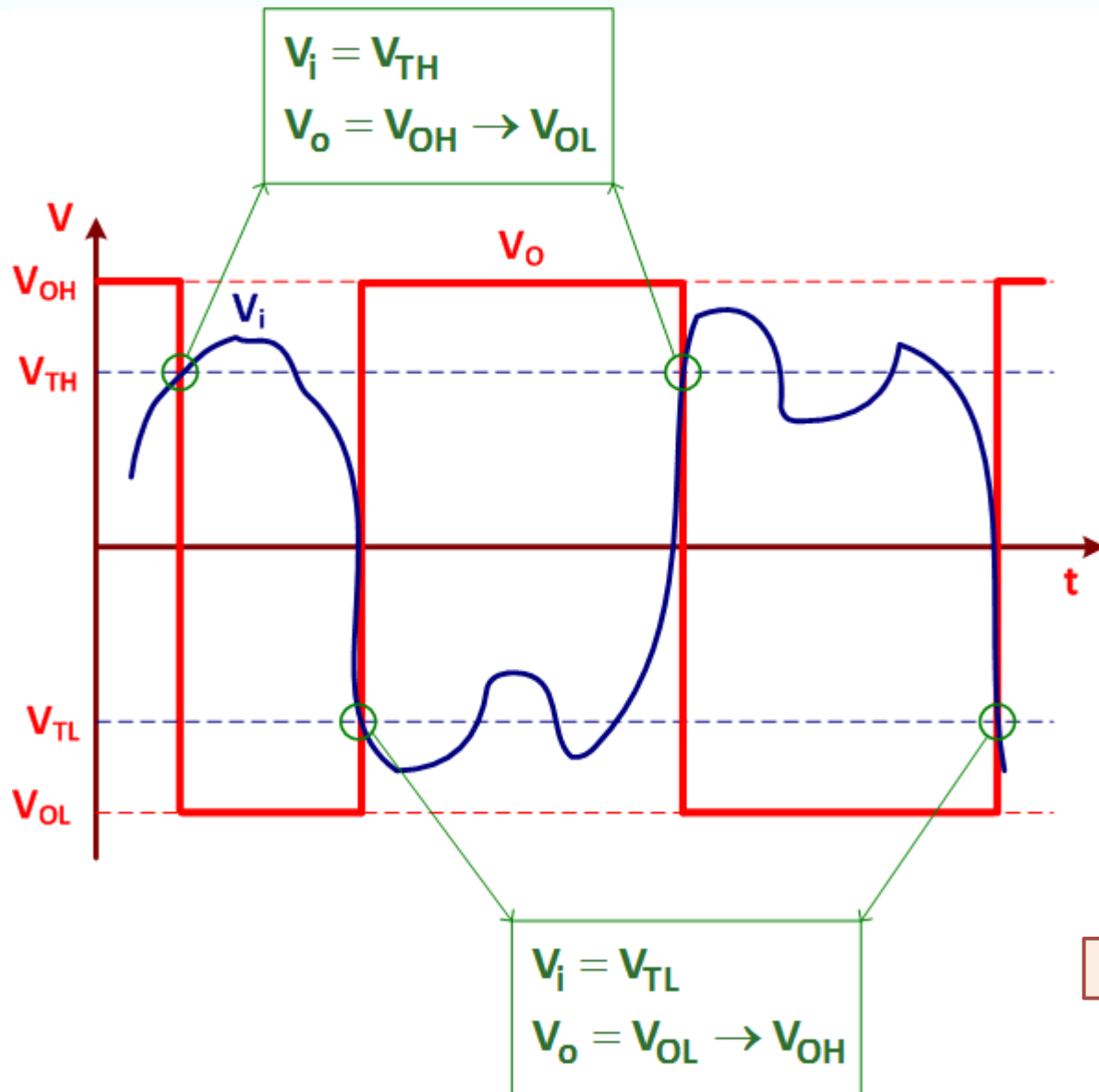
La transición $V_o : V_{OH} \rightarrow V_{OL}$ se produce cuando $V_i = V_{TH}$ ←

➤ **Caso 2:**

$$V_p < V_n \Rightarrow V_o = V_{OL} \Rightarrow V_n = V_i > V_{TL} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{OL}$$

→ La transición $V_o : V_{OL} \rightarrow V_{OH}$ se produce cuando $V_i = V_{TL}$

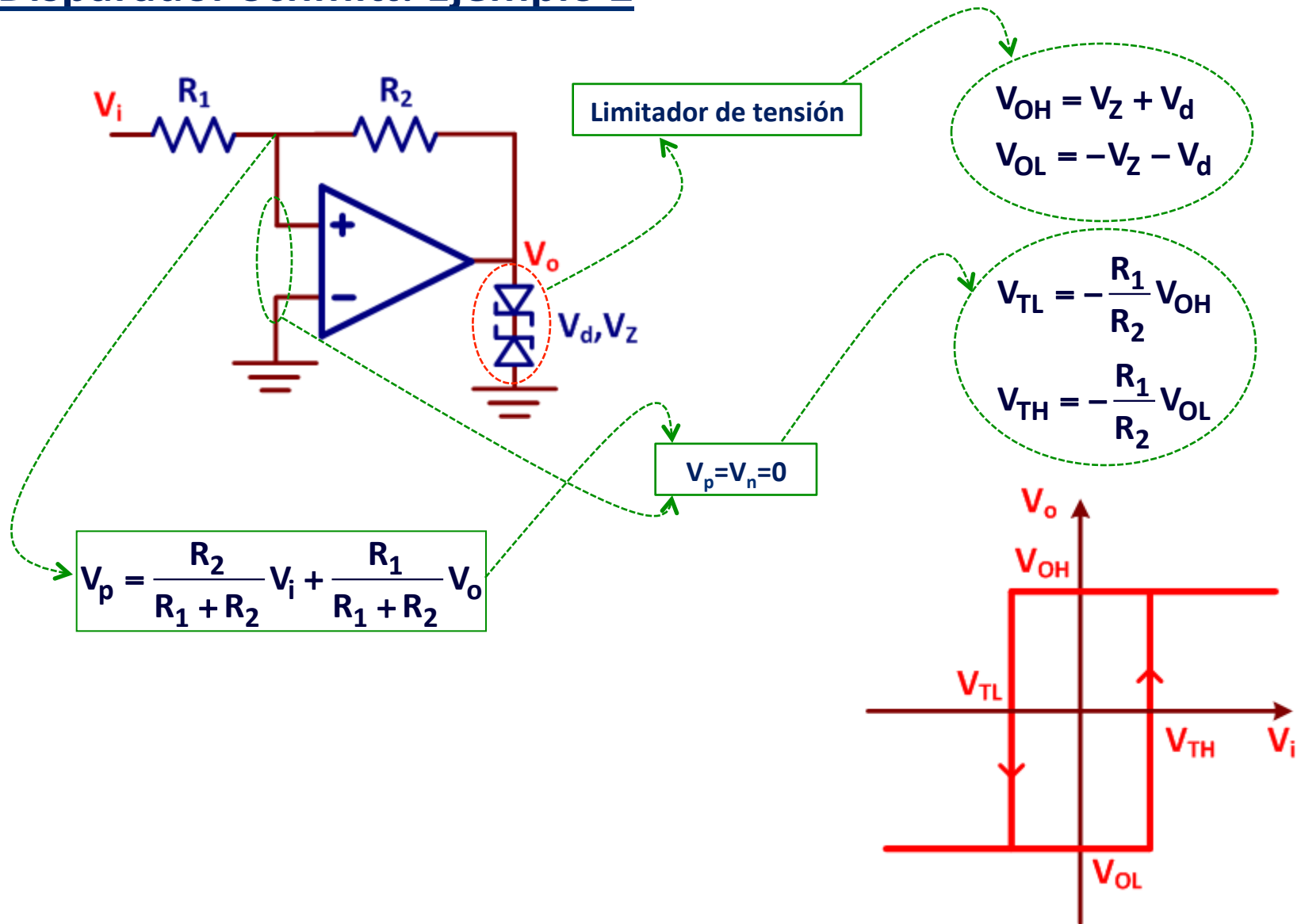




Prob A.III.18.A

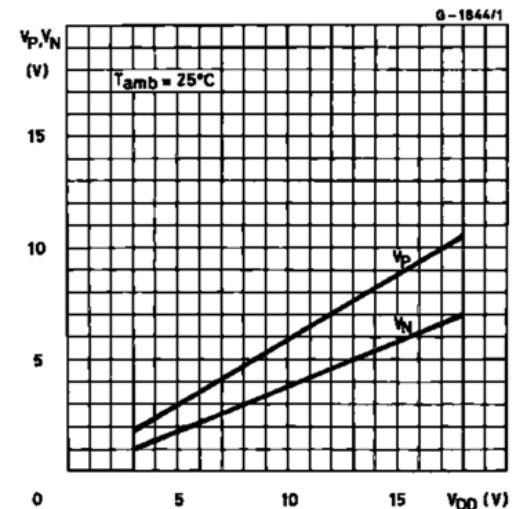
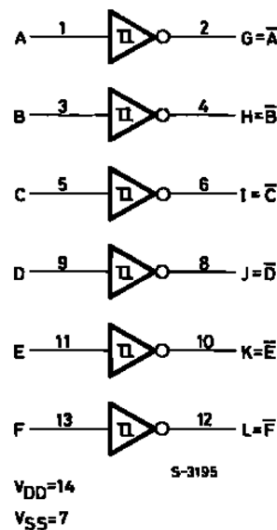
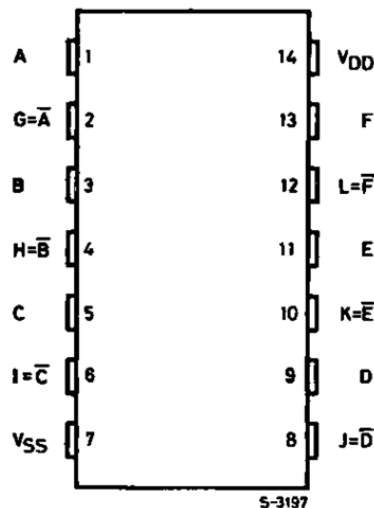
LTspice IV

■ Disparador Schmitt: Ejemplo 2



Disparadores Schmitt CMOS

- Ventajas de los disparadores Schmitt CMOS monolíticos: alta impedancia de entrada, rango de salida rail-to-rail y bajo consumo de potencia.
- Los valores de la tensión umbral o threshold de estos circuitos se encuentran alrededor del 60% de V_{DD} para la V_{TH} y del 40% de la V_{DD} para la V_{TL} .
- HCC40106B de SGS-Thomson Microelectronics que es un circuito monolítico CMOS constituido por 6 disparadores Schmitt inversores.



■ Ejemplo de aplicación del HCC40106B

