

Circuitos Electrónicos I (La Cátedra)

Profesor a cargo: Hernán De Battista

Cargo: Profesor Titular Ordinario Dedicación Exclusiva.

Lugar de Trabajo: Instituto LEICI, Dto Electrotecnia, 2do piso.

Email: deba@ing.unlp.edu.ar

web: [http:// gca.ing.unlp.edu.ar/?q=de%20battista](http://gca.ing.unlp.edu.ar/?q=de%20battista)

Profesor: Sebastián Núñez

Cargo: Profesor Adjunto Interino Dedicación Simple.

Lugar de Trabajo: Instituto LEICI, Dto Electrotecnia, 2do piso.

Email: sebastian.nuniez@ing.unlp.edu.ar

web: <http://gca.ing.unlp.edu.ar/?q=nuñez>

JTP: Luis Junciel

Cargo: Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario Dedicación Semi-Exclusiva.

Lugar de Trabajo: Instituto de Física La Plata.

Email: junciel@fisica.unlp.edu.ar

Ayudante: Alejandro Giordana

Cargo: Ayudante Diplomado Ordinario Dedicación Simple.

Lugar de Trabajo: Actividad privada.

Email: alejandro.giordana@gmail.com

Ayudante: Adrián Crespi

Cargo: Ayudante Diplomado Suplente Dedicación Simple.

Lugar de Trabajo: Actividad privada.

Email: ing.adriancrespi@gmail.com

Ayudante: Marcos Antonelli

Cargo: Ayudante Diplomado Suplente Dedicación Simple.

Lugar de Trabajo Instituto LEICI, Dto Electrotecnia, 2do piso.

Email: ing.mbanttonelli@gmail.com

Circuitos Electrónicos I

Temas del curso:

- La realimentación aplicada a los amplificadores electrónicos.
- Topologías y circuitos de amplificadores electrónicos realimentados.
- Los amplificadores operacionales. Circuitos equivalentes y aplicaciones.
- Instrumentación electrónica
- Respuesta en frecuencia de amplificadores. Banda ancha y realimentados.
- Electrónica integrada. Los amplificadores diferenciales y fuentes de corriente como circuitos constitutivos de los amplificadores operacionales.

Circuitos Electrónicos I

Las clases:

- De Teoría
- De Discusión de Problemas
- De Simulación Numérica
- De Laboratorio
- De Consulta (previo a Exámenes)

Días de clase: Martes y Viernes de 10 a 13/14hs

Clases teóricas son en general los viernes

Clases prácticas son en general los martes

Circuitos Electrónicos I

Las clases:

- Clases Teóricas

Se inician con una exposición de los temas de la materia y se resuelven problemas.

Culminan con una discusión de los temas tratados.

No son obligatorias

Se provee (en la página web) el material de las clases por adelantado para reducir la toma de notas por parte del alumno.

Este material no tiene por objetivo reemplazar a los libros de texto.

(ver en página web la bibliografía disponible en biblioteca y en la cátedra)

Circuitos Electrónicos I

Las clases:

- Clases de Discusión de Problemas

Se dan pautas para la resolución de las GTP, se discuten dudas y problemas.

Se atienden consultas de la GTP. Preferentemente, no se atienden consultas de GTP anteriores.

No son obligatorias.

Las GTP pueden bajarse de la página web y constan de:

problemas generales

problema de laboratorio

Circuitos Electrónicos I

Las clases:

- Clases de Simulación Numérica

Se dictarán aprox 4 clases en Lab. Barcala.

No son obligatorias

Se dan pautas para la resolución de las GTP mediante programas de simulación numérica de acceso libre.

Circuitos Electrónicos I

Las clases:

- Clases de Laboratorio

Se realizarán 5 laboratorios de 2hs c/u en dos turnos (10 a 12 hs y 12 a 14 hs).

SI son obligatorias (se debe aprobar el 80% para obtener la cursada)

Condiciones de aprobación:

Presentar el Problema de Laboratorio resuelto al inicio

Participar activamente en la realización del Laboratorio

Responder adecuadamente las preguntas del personal docente

Entregar un informe con los resultados obtenidos en el plazo estipulado.

Circuitos Electrónicos I

Las clases:

- Clases de Consulta

Previo a c/ examen se dará una clase de consulta.

No son obligatorias

Se atienden consultas de todos los temas incluidos en la evaluación

Circuitos Electrónicos I

El sistema de evaluación:

Evaluaciones parciales:

Una evaluación por c/ módulo (2 módulos)

Dos fechas de evaluación para cada módulo.

En fecha especial se puede recuperar 1 solo módulo.

Se puede rendir recuperatorio para mejorar nota. VALE la ULTIMA

La entrega del examen es optativa.

Circuitos Electrónicos I

Aprobación de la materia:

- **Cursada**

Aprobar ambos módulos con calificación mayor o igual a 4.

Aprobar el 80% de los laboratorios

- **Promoción**

Cumplir con los requisitos para obtener la cursada

Aprobar ambos módulos con promedio mayor o igual a 6.

NO se guardan las notas a la espera de regularizar la situación en materias correlativas fuera de los plazos previstos x la Facultad.

Circuitos Electrónicos I

Electrónica analógica



HISTORIA DE LA ELECTRÓNICA

- La válvula de vacío (Fleming, 1904).
- El triodo (De Forest, 1906).
- El diodo de estado sólido (Pickard, 1906).
- La radio (1907).
- La televisión (1925).
- El radar (1940).
- El transistor bipolar (Bardeen, Bratain, Shockley, 1947).
- El circuito integrado (Kilby (TI), Noyce (Fairchild Semiconductor Inc.), 1958).
- El amplificador operacional (Widlar (Fairchild Semiconductor Inc.), 1963).
- El microprocesador (Hoff (Intel), 1971).
- La memoria de estado sólido (Masuoka (Toshiba), 1980).



LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS

Un sistema electrónico es un arreglo de dispositivos electrónicos con la función de procesar señales electrónicas



El procesamiento de señales electrónicas consiste en **amplificar** (amplificadores, osciladores), **moldear** (filtros, moduladores, rectificadores) y **combinar** (operaciones aritméticas y lógicas) señales electrónicas.

Las señales electrónicas de entrada/salida son variables eléctricas (tensiones o corrientes) que representan variables físicas.



Transductores: dispositivos que actúan como interface entre el sistema electrónico y su entorno.

Sensores: transforman una variable física en una señal electrónica (antenas, termocuplas, celdas fotovoltaicas, piezoeléctricos, micrófonos, caudalímetros, tacómetros).

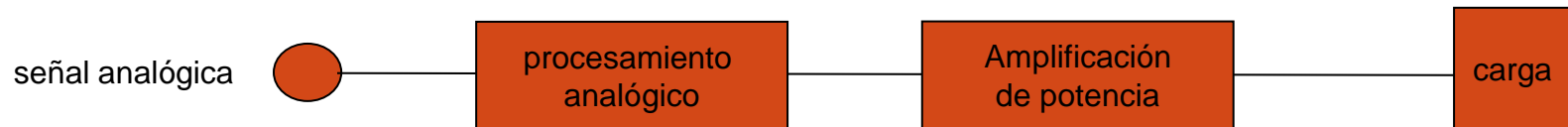
Actuadores: transforman una señal electrónica en una acción (antenas, resistencias calentadoras, LEDs, solenoides, parlantes, galvanómetros, motores).

LA ELECTRÓNICA ANALÓGICA vs DIGITAL

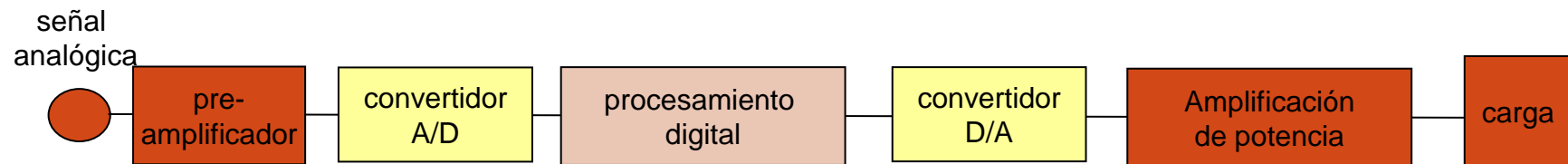
El procesamiento de las señales se puede hacer en forma analógica o digital, habiendo ventajas y desventajas para cada una de ellas.

El perfeccionamiento de las técnicas de integración permite en muchos casos utilizar con ventajas, las técnicas digitales. Sin embargo, la conversión A/D y D/A introduce errores de cuantización, disipa potencia y tiene un costo que puede ser importante.

Sistema analógico



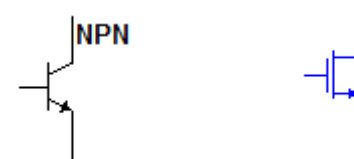
Sistema digital / analógico



En un sistema de audio, la señal analógica proviene de un micrófono y la carga es un parlante. La frecuencia de muestreo típica para audio es de 44,1 KHz con 16 bits de resolución.

Circuitos Electrónicos I

El transistor es el dispositivo fundamental de la electrónica.

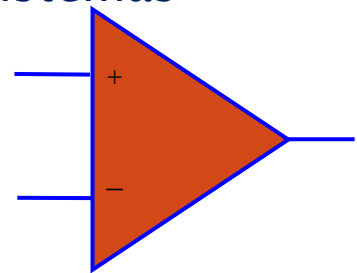


En la asignatura Dispositivos Electrónicos se estudian estos dispositivos y sus usos en etapas de amplificación simples.

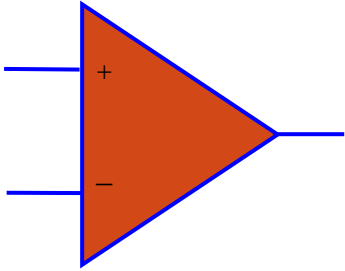
Las técnicas de integración han permitido desarrollar amplificadores con desempeños muy superiores a los amplificadores discretos estudiados hasta aquí.

Más aún, hoy día pueden diseñarse circuitos electrónicos utilizando estos amplificadores integrados sin necesidad de conocer en detalle su circuito interno como se ve en Análisis de Circuitos y en Circuitos y Sistemas Lineales.

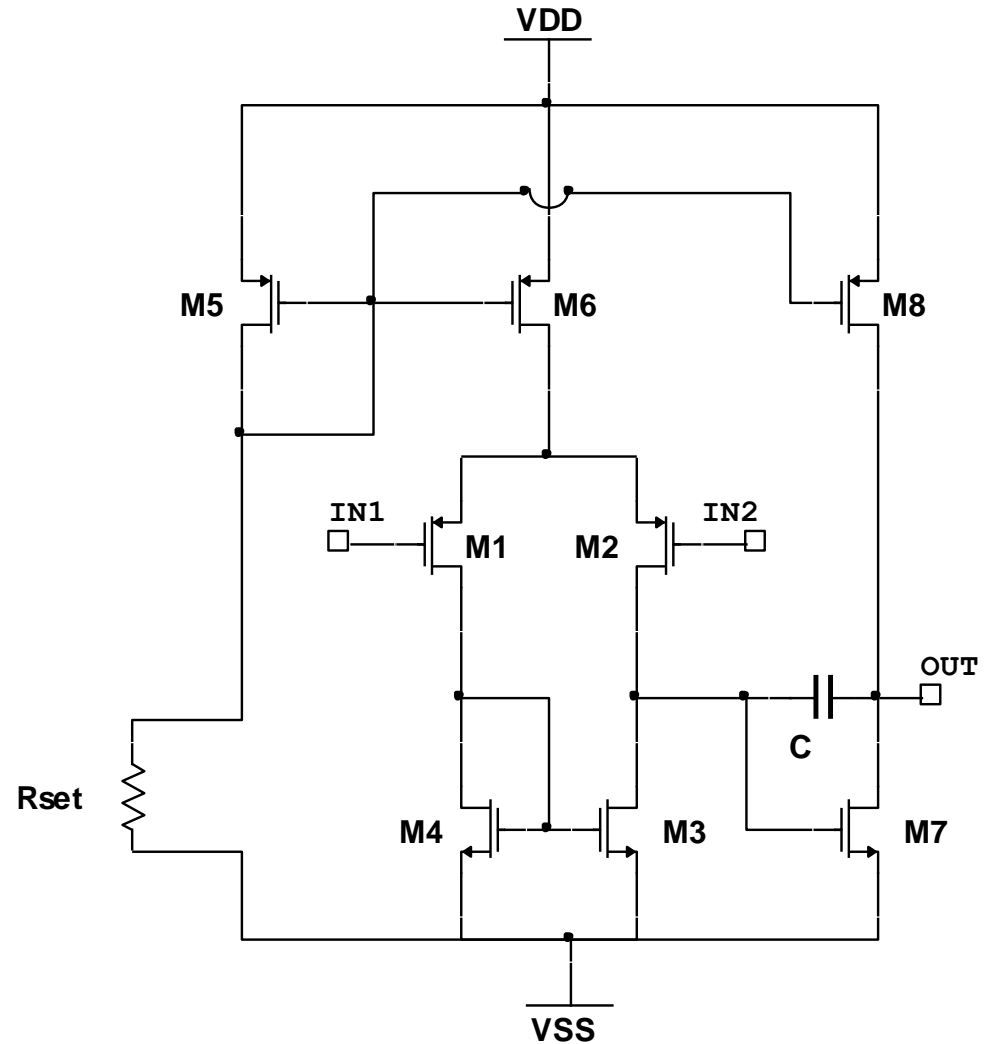
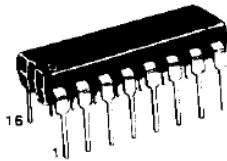
Puede decirse entonces que el amplificador operacional es el dispositivo fundamental de la electrónica analógica integrada.



EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL MÁS SIMPLE



**Amplificador Operacional
CMOS MC14573**



Circuitos Electrónicos I

La asignatura *Circuitos Electrónicos I* aborda el estudio de amplificadores electrónicos analógicos y sus aplicaciones.



Los objetivos de esta asignatura son:

Generar capacidades para analizar y diseñar amplificadores electrónicos.

Proveer herramientas para analizar los sub-circuitos electrónicos fundamentales que constituyen los amplificadores integrados.

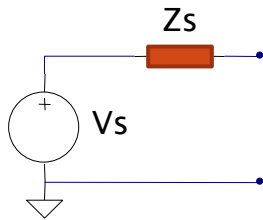
Comprender las propiedades y limitaciones de estos amplificadores y de sus sub-circuitos.

LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

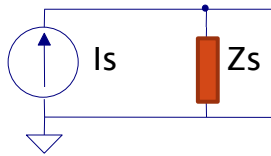
La asignatura *Circuitos Electrónicos I* aborda el estudio de amplificadores electrónicos analógicos y sus aplicaciones.



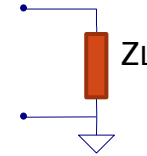
Modelo Thevenin de fuente:



Modelo Norton de fuente:



Modelo de carga:



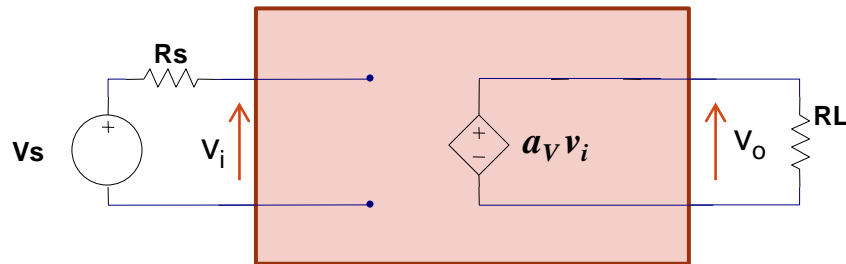
Según el tipo de señal de fuente (tensión o corriente) y el tipo de señal de carga (tensión o corriente), se definen 4 tipos de amplificadores:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{amplificador de tensión: } a_v = \frac{v_o}{v_i} \text{ [V/V]} \\ \text{amplificador de corriente: } a_i = \frac{i_o}{i_i} \text{ [A/A]} \\ \text{amplificador de transimpedancia: } a_z = \frac{v_o}{i_i} \text{ [V/A]} \\ \text{amplificador de transadmitancia: } a_y = \frac{i_o}{v_i} \text{ [A/V]} \end{array} \right.$$

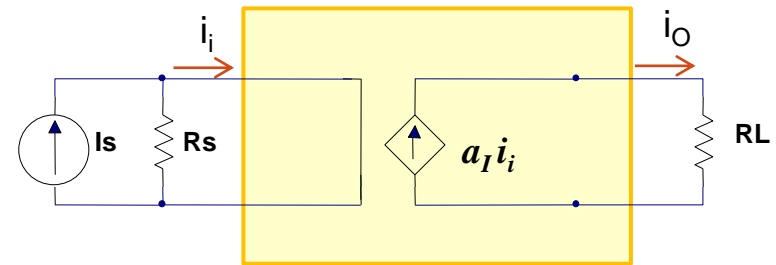
LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

Idealmente, los amplificadores pueden ser representados como simples generadores de tensión/corriente controlados por la tensión/corriente de entrada

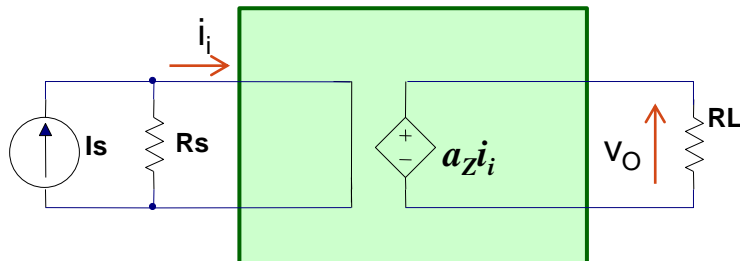
El amplificador de tensión ideal



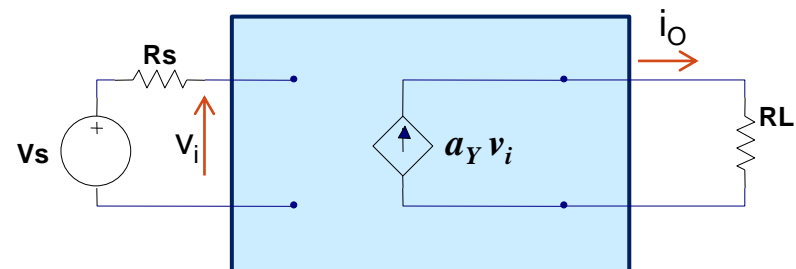
El amplificador de corriente ideal



El amplificador de transimpedancia ideal



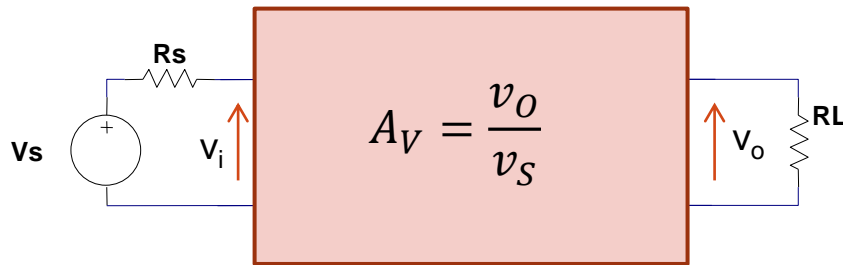
El amplificador de transadmitancia ideal



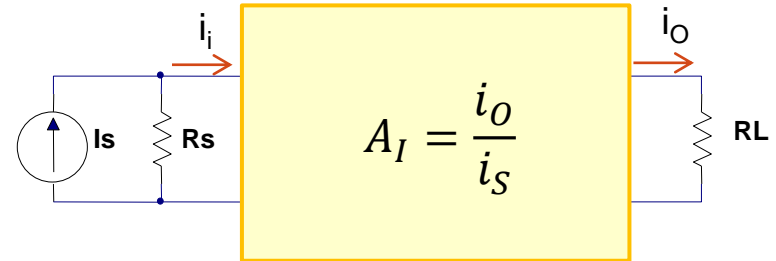
LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

En la realidad, la ganancia de los amplificadores depende de las impedancias de carga a la entrada (R_s) y a la salida (R_L). A esto se llama efecto de carga.

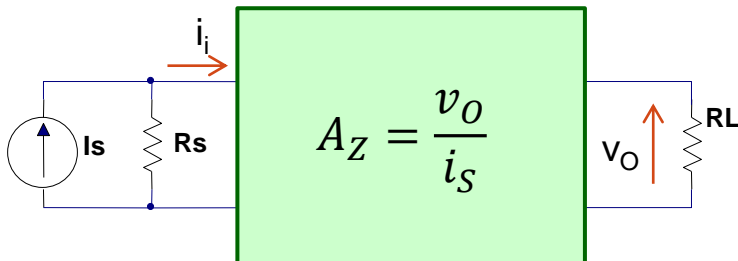
El amplificador de tensión real



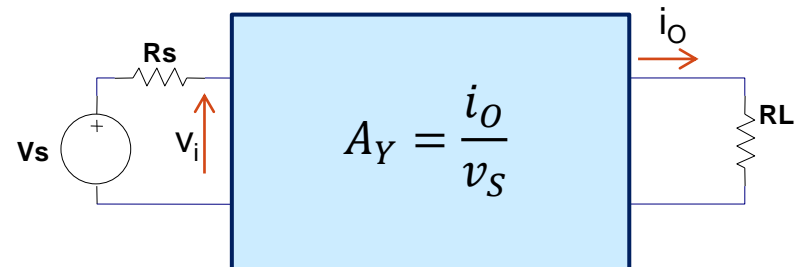
El amplificador de corriente real



El amplificador de transimpedancia real



El amplificador de transadmitancia real

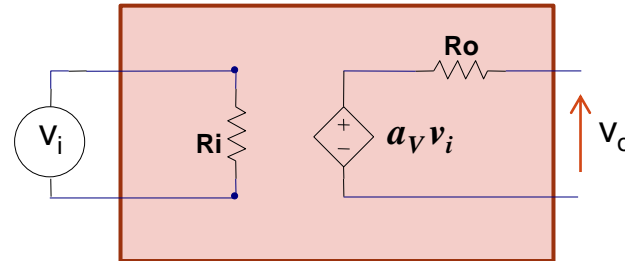


LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

El amplificador de tensión

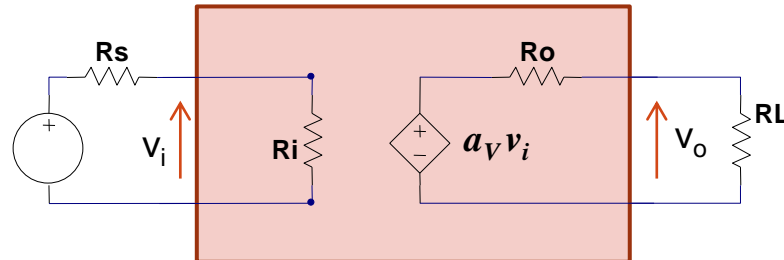
El amplificador de tensión sin carga

$$\frac{v_o}{v_i} = a_v$$



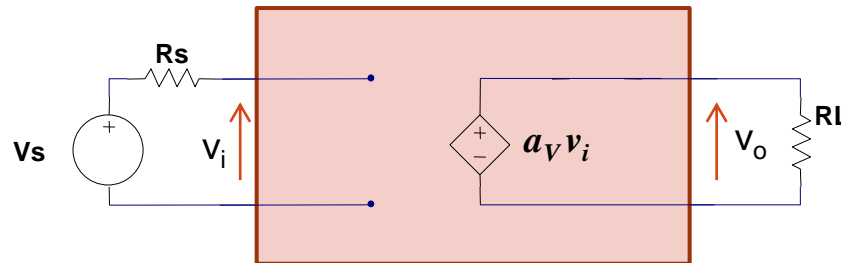
El amplificador de tensión cargado

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times a_v \times \frac{R_L}{R_o + R_L} v_s$$



El amplificador de tensión ideal

$$\left. \begin{array}{l} R_i = \infty \\ R_o = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_s} = a_v$$

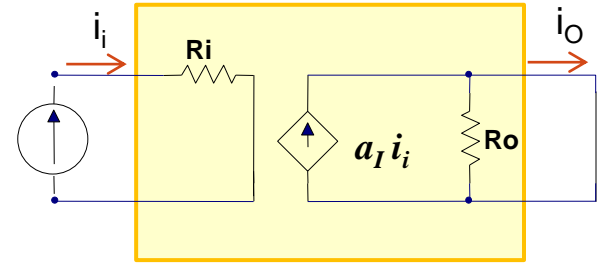


LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

El amplificador de corriente

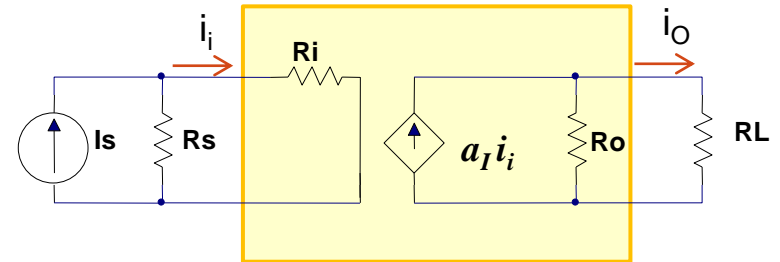
El amplificador de corriente sin carga

$$\frac{i_o}{i_i} = a_I$$



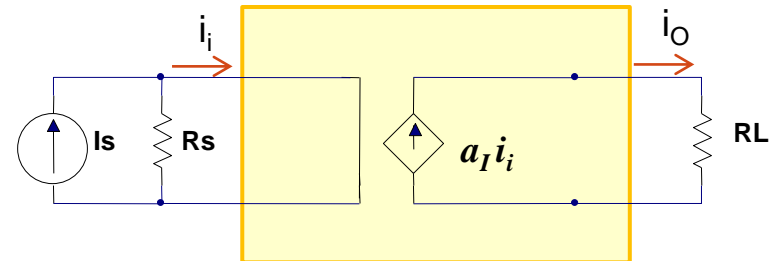
El amplificador de corriente cargado

$$A_I = \frac{i_o}{i_s} = \frac{R_s}{R_s + R_i} \times a_I \times \frac{R_o}{R_o + R_L}$$



El amplificador de corriente ideal

$$\left. \begin{array}{l} R_i = 0 \\ R_o = \infty \end{array} \right\} \Rightarrow A_I = \frac{i_o}{i_s} = a_I$$

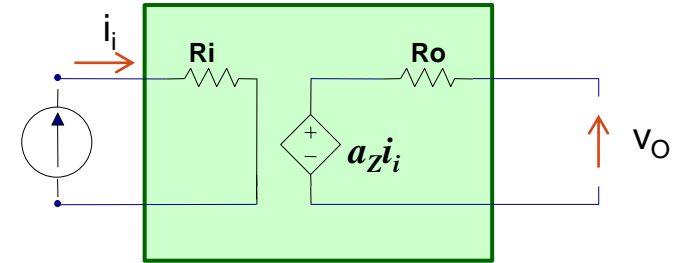


LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

El amplificador de transimpedancia

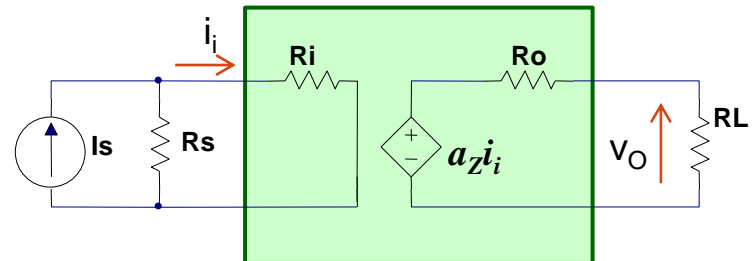
El amplificador de transimpedancia sin carga

$$\frac{v_o}{i_i} = a_z$$



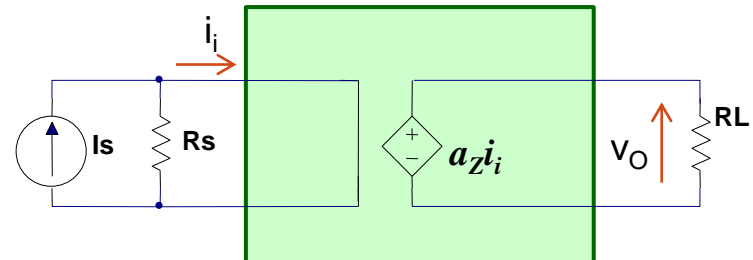
El amplificador de transimpedancia cargado

$$A_z = \frac{v_o}{i_s} = \frac{R_s}{R_s + R_i} \times a_z \times \frac{R_L}{R_o + R_L}$$



El amplificador de transimpedancia ideal

$$\left. \begin{array}{l} R_i = 0 \\ R_o = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow A_z = \frac{v_o}{i_s} = a_z$$

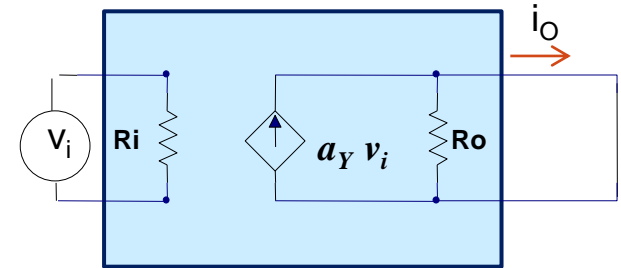


LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

El amplificador de transadmitancia

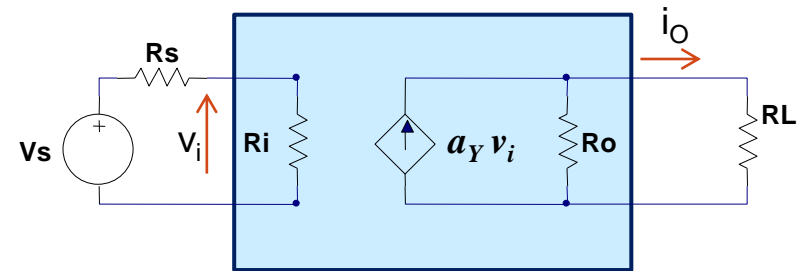
El amplificador de transadmitancia sin carga

$$\frac{i_o}{v_i} = a_Y$$



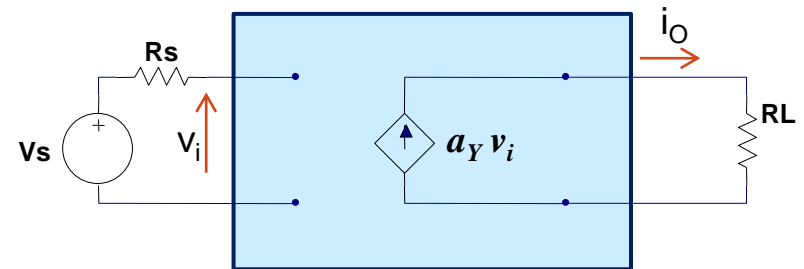
El amplificador de transadmitancia cargado

$$A_Y = \frac{i_o}{v_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times a_Y \times \frac{R_o}{R_o + R_L}$$



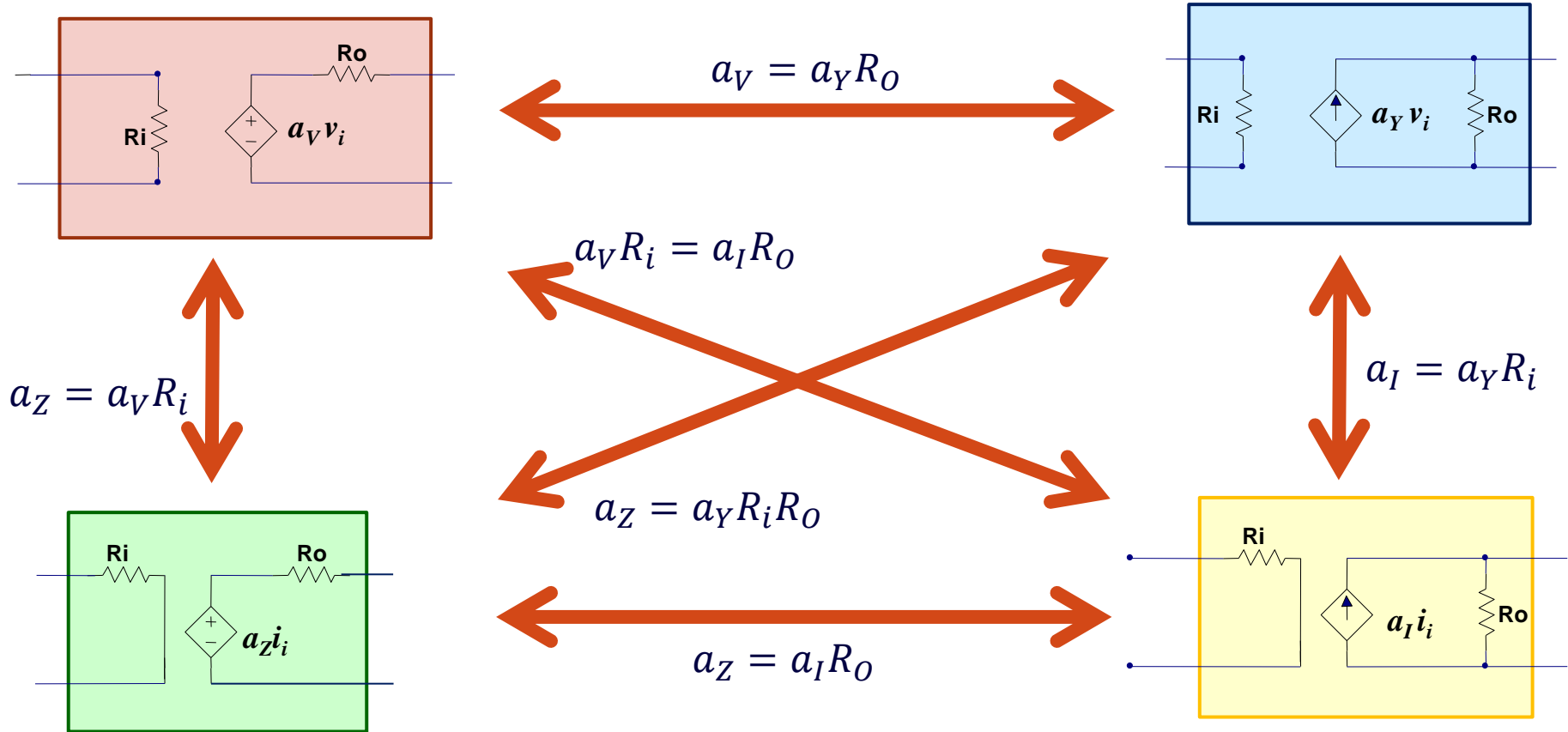
El amplificador de transadmitancia ideal

$$\left. \begin{array}{l} R_i = \infty \\ R_o = \infty \end{array} \right\} \Rightarrow A_Y = \frac{i_o}{v_s} = a_Y$$



LOS AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS: TOPOLOGÍAS

Mediante ley de Ohm (en el circuito de entrada) y equivalente Norton/Thevenin del circuito de salida, pueden obtenerse todas las demás topologías:



En realidad, estas topologías son distintas representaciones del mismo amplificador

Las cargas externas determinarán cuál de las ganancias se mantiene más inalterada, y en definitiva qué representación se aproxima más a un amplificador ideal

AMPLIFICADORES MULTITETAPA

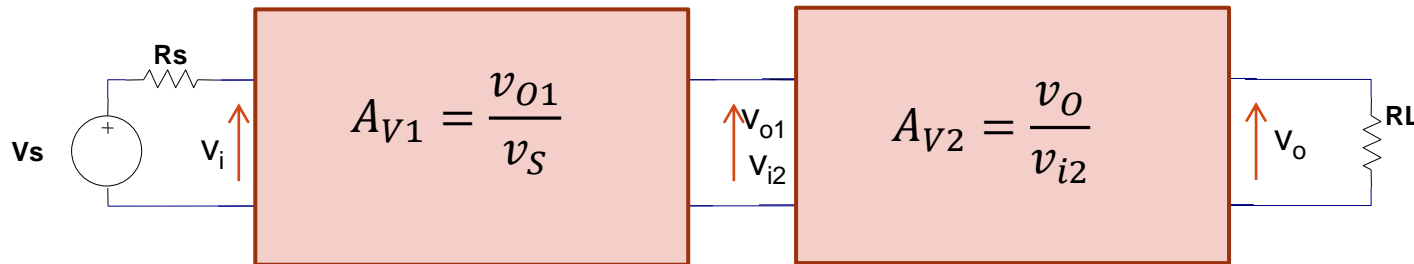
Las especificaciones más importante que suelen darse para el diseño de amplificadores son:

- Ganancia
- Impedancias de entrada y salida
- Ancho de banda
- ...

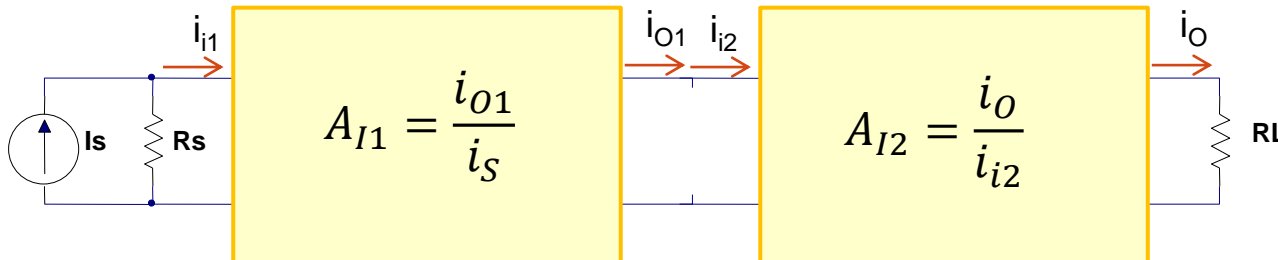
En muchos casos, estas especificaciones no pueden ser cumplidas simultáneamente con una sola etapa de amplificación.

Una solución posible es interconectar dos o más etapas amplificadores:

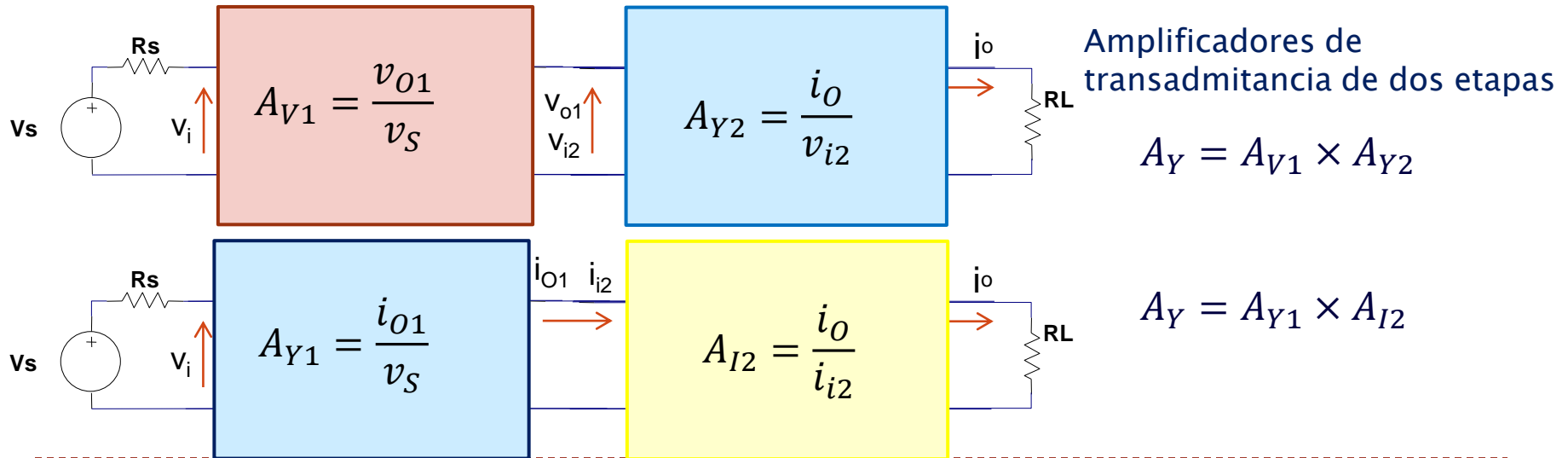
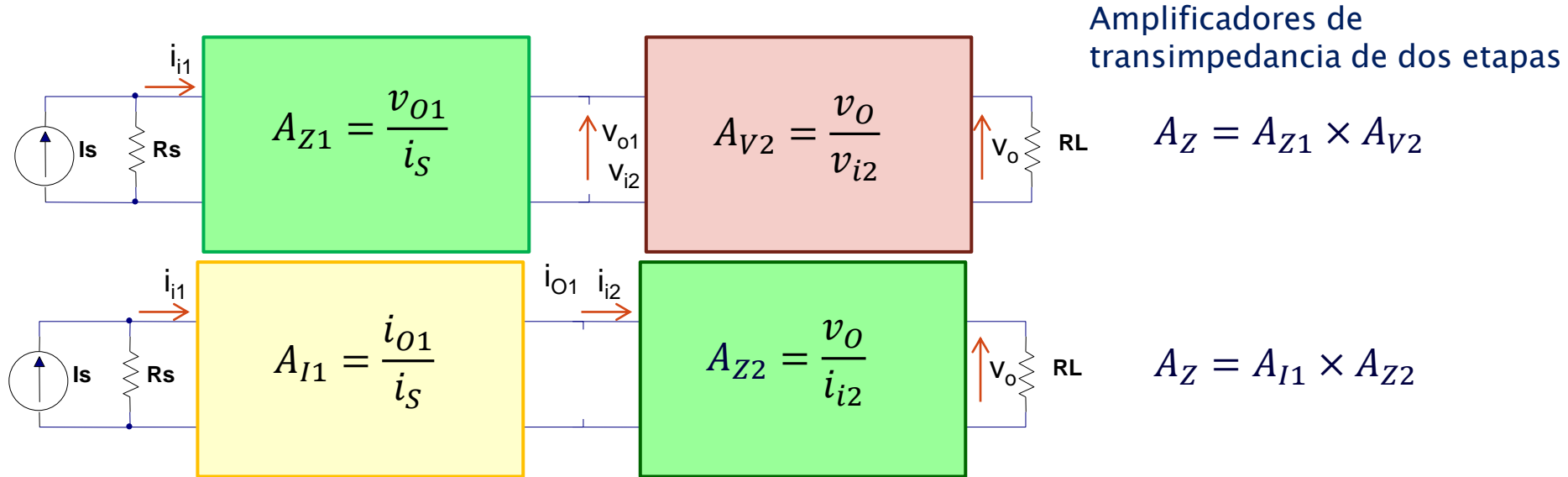
El amplificador de tensión de dos etapas $A_V = A_{V1} \times A_{V2}$



El amplificador de corriente de dos etapas $A_I = A_{I1} \times A_{I2}$

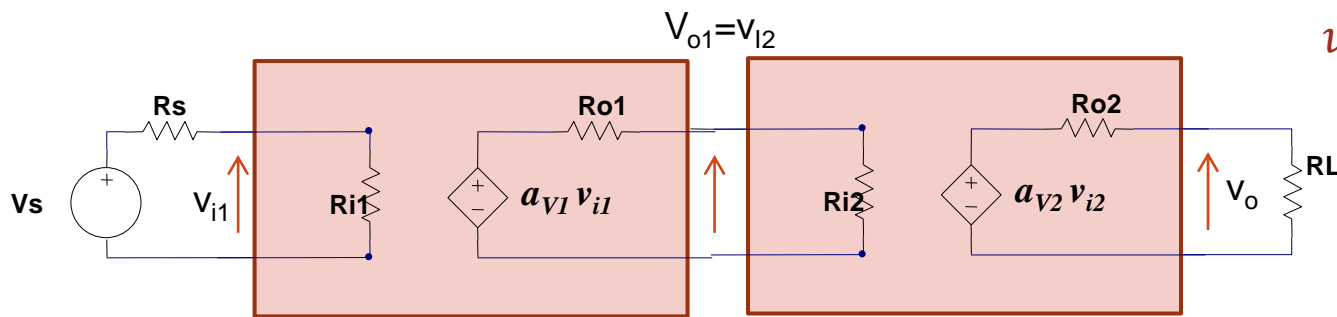


AMPLIFICADORES MULTIETAPA



AMPLIFICADORES MULTITETAPA: EFECTOS de CARGA

Amplificador de tensión multitapa:



$$v_{i2} = \frac{R_{i2}}{R_{o1} + R_{i2}} \times (a_{V1} v_{i1})$$

División de tensión entre etapas

$$A_V = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_{i1}}{R_s + R_{i1}} \times a_{V1} \times \frac{R_{i2}}{R_{o1} + R_{i2}} \times a_{V2} \times \frac{R_L}{R_{o2} + R_L}$$

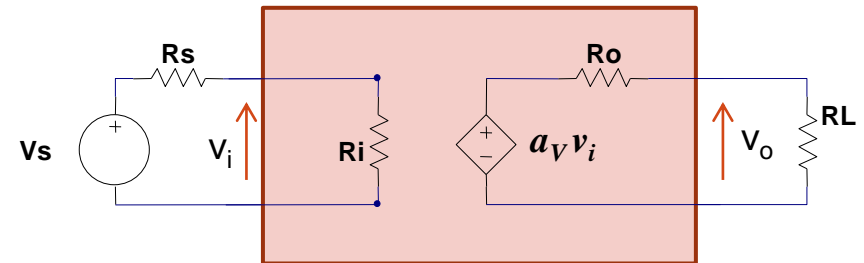
Puedo considerar que A2 carga a A1 o viceversa
($R_{L1} = R_{i2}$ o $R_{S2} = R_{o1}$)

$$A_V = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times a_v \times \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

$$a_v = a_{V1} \times \frac{R_{i2}}{R_{o1} + R_{i2}} \times a_{V2}$$

$$R_i = R_{i1}$$

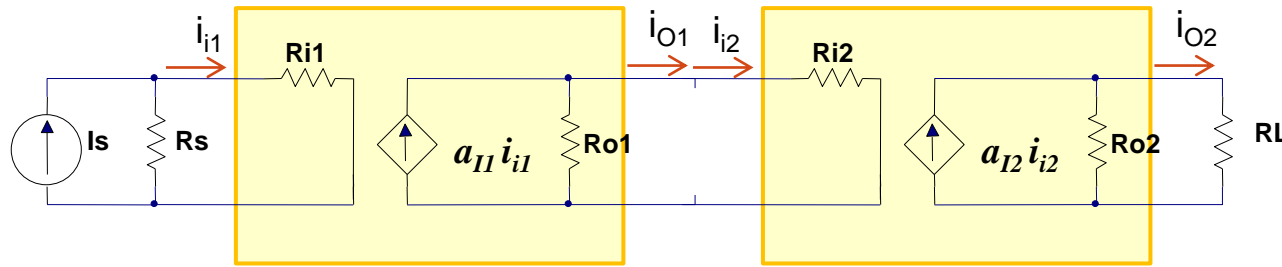
$$R_o = R_{o2}$$



El mismo efecto de carga (división de tensión) se produce en los amplificadores Az-Av y Av-Ay

AMPLIFICADORES MULTIETAPA: EFECTOS de CARGA

Amplificador de corriente multietapa:



$$i_{i2} = \frac{R_{O1}}{R_{O1} + R_{i2}} \times (a_{I1} i_{i1})$$

División de corriente entre etapas

$$A_I = \frac{i_o}{i_s} = \frac{R_S}{R_S + R_{i1}} \times a_{I1} \times \frac{R_{O1}}{R_{O1} + R_{i2}} \times a_{I2} \times \frac{R_{O2}}{R_{O2} + R_L}$$

Puedo considerar que A2 carga a A1 o viceversa

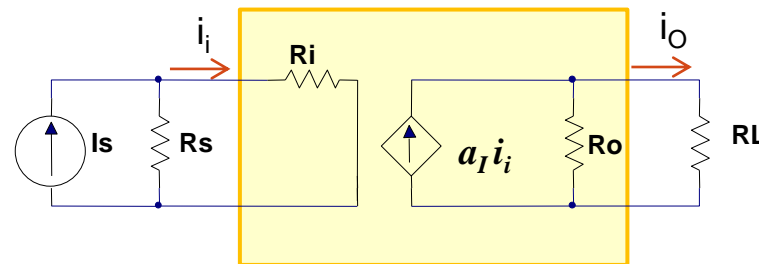
$$A_I = \frac{i_o}{i_s} = \frac{R_S}{R_S + R_i} \times a_I \times \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

$$(R_{L1} = R_{i2} \text{ o } R_{S2} = R_{o1})$$

$$a_I = a_{I1} \times \frac{R_{O1}}{R_{O1} + R_{i2}} \times a_{I2}$$

$$R_i = R_{i1}$$

$$R_o = R_{o2}$$

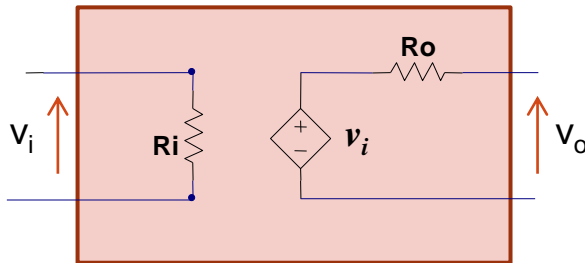


El mismo efecto de carga (división de tensión) se produce en los amplificadores Ay-Ai y Ai-Az

AMPLIFICADORES MULTITETAPA: BUFFERS

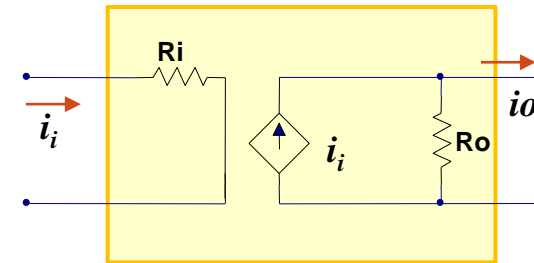
Los buffers son amplificadores de **ganancia unitaria** (de tensión o de corriente) que funcionan como adaptadores de impedancia

Buffer de tensión



Buffer de tensión ideal $R_i = \infty$
 $R_o = 0$

Buffer de corriente



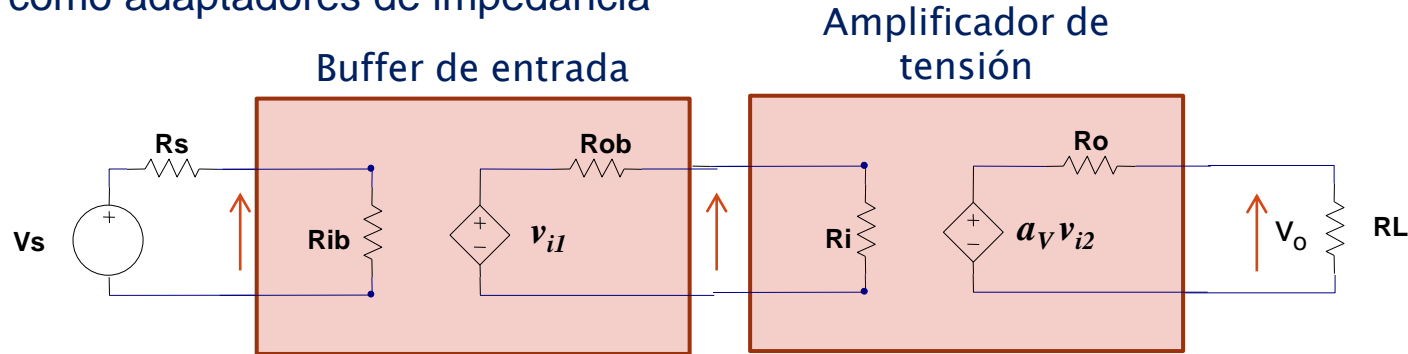
Buffer de corriente ideal $R_i = 0$
 $R_o = \infty$

Los buffers se conectan a la entrada y/o salida de amplificadores para reducir los efectos de las cargas externas.

También se utilizan entre etapas amplificadoras para reducir los efectos de carga entre ellas

AMPLIFICADORES MULTITETAPA: BUFFERS

Los buffers son amplificadores de **ganancia unitaria** (de tensión o de corriente) que funcionan como adaptadores de impedancia



$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times a_V \times \frac{R_L}{R_O + R_L} \quad \text{Sin buffer}$$

$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_{ib}}{R_S + R_{ib}} \times 1 \times \frac{R_i}{R_{Ob} + R_i} \times a_V \times \frac{R_L}{R_O + R_L} \quad \text{Con buffer de entrada}$$

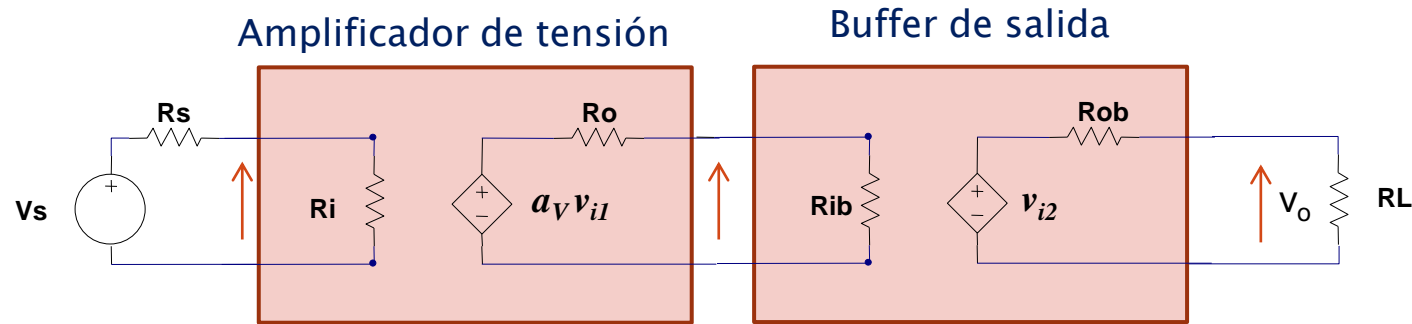
$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = a_V \times \frac{R_L}{R_O + R_L} \quad \text{Con buffer ideal se elimina el efecto de carga a la entrada}$$

El buffer transforma la impedancia de entrada R_i en R_{ib} Condición de buen buffer:

También podemos ver como que transforma la fuente R_s en R_{ob}

AMPLIFICADORES MULTITETAPA: BUFFERS

Los buffers son amplificadores de **ganancia unitaria** (de tensión o de corriente) que funcionan como adaptadores de impedancia



$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times a_V \times \frac{R_L}{R_O + R_L} \quad \text{Sin buffer}$$

$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times a_V \times \frac{R_{ib}}{R_O + R_{ib}} \times 1 \times \frac{R_L}{R_{Ob} + R_L} \quad \text{Con buffer de salida}$$

$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times a_V \quad \text{Con buffer ideal se elimina el efecto de carga a la salida}$$

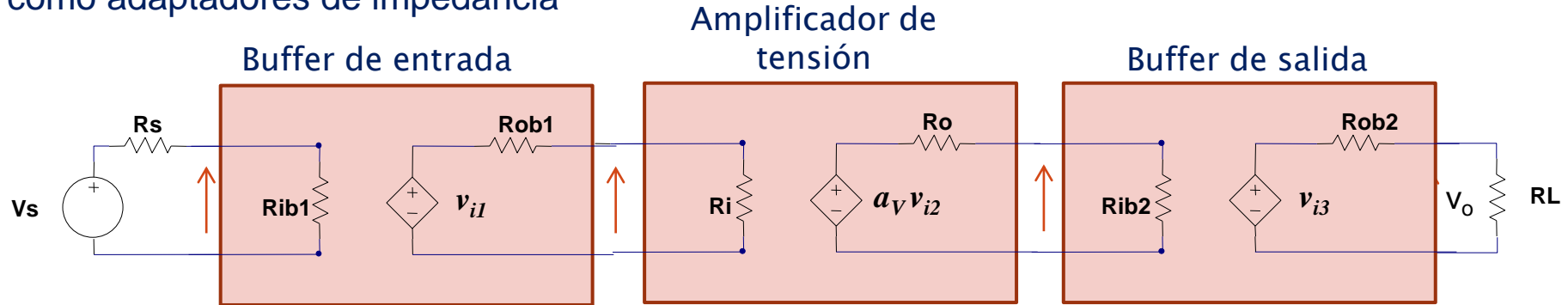
El buffer transforma la impedancia de salida R_O en R_{Ob} Condición de buen buffer:

$$R_{ib} \gg R_O \gg R_{Ob}$$

También podemos ver como que transforma la carga R_L en R_{ib}

AMPLIFICADORES MULTITAPAS: BUFFERS

Los buffers son amplificadores de **ganancia unitaria** (de tensión o de corriente) que funcionan como adaptadores de impedancia



$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times a_V \times \frac{R_L}{R_O + R_L}$$

$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = \frac{R_{ib1}}{R_S + R_{ib1}} \times 1 \times \frac{R_i}{R_{Ob1} + R_i} \times a_V \times \frac{R_{ib2}}{R_O + R_{ib2}} \times 1 \times \frac{R_L}{R_{Ob2} + R_L} \text{ Con buffers}$$

$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = a_V$$

Con buffers ideales se eliminan los efectos de carga
Condiciones de buen buffer:

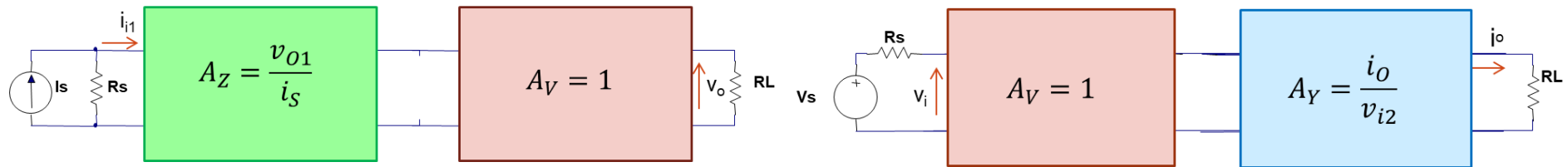
$$R_{ib} \gg R_i \gg R_{Ob}$$

$$R_{ib} \gg R_O \gg R_{Ob}$$

AMPLIFICADORES MULTITETAPA: BUFFERS

Los buffers son amplificadores de **ganancia unitaria** (de tensión o de corriente) que funcionan como adaptadores de impedancia

Los buffers de tensión se pueden utilizar con semejantes propósitos a la entrada de un amplificador de transadmitancia A_Y o a la salida de un amplificador de transimpedancia



El mismo análisis puede realizarse para los buffers de corriente

