



Electrónica Analógica

Tema 1: Fundamentos de amplificación

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Índice

1. Introducción. Principios de modelado
2. Amplificación
 1. Generalidades
 2. Tipos de amplificadores
 3. Ganancias
3. Amplificadores reales: efectos de carga
4. Amplificadores ideales
5. Otras limitaciones
6. Amplificadores multietapa
7. Amplificadores diferenciales

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

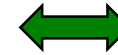
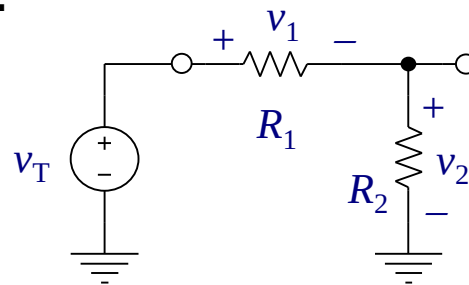


Previo: análisis de circuitos

❑ Conocimientos previos necesarios:

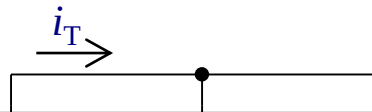
- Circuitos en DC y AC: tensiones, corrientes y potencias
- Teoremas: Thévenin, Norton y superposición
- Un par de trucos: estructuras muy repetidas en circuitos...

➔ Divisor de tensión:



$$\begin{cases} v_1 = v_T \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ v_2 = v_T \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

➔ Divisor de corriente:



$$i_1 = i_T \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

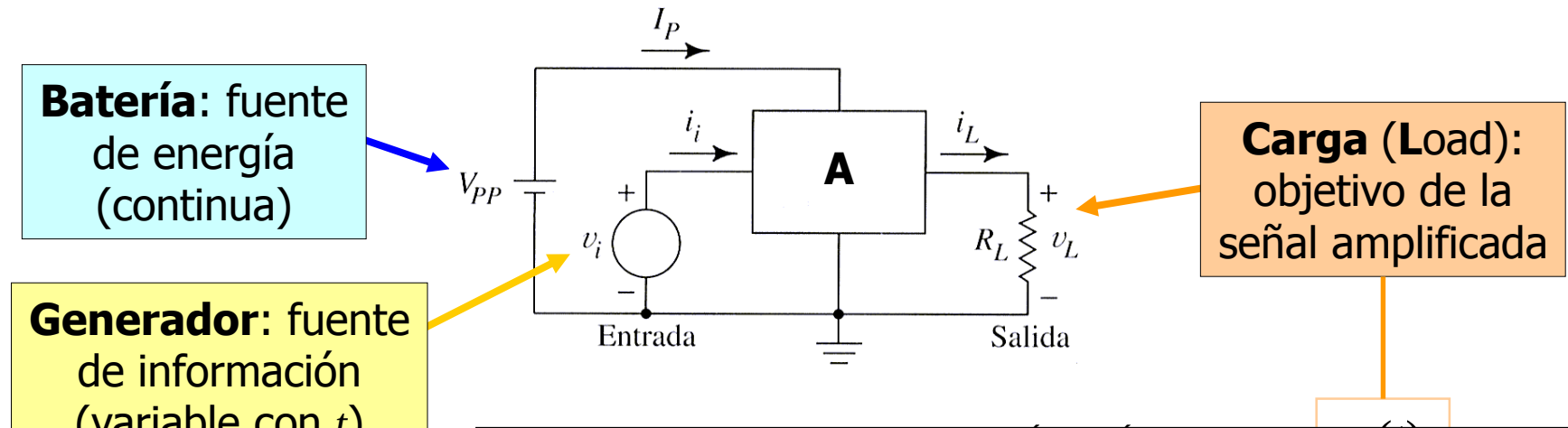
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



1.-Principios de modelado: definiciones

❑ Nomenclatura de las señales eléctricas

- Tomaremos como ejemplo un amplificador de señal analógica
- Diferenciamos las partes continuas y las variables
 - *normalmente, la fuente de energía es de c. continua (batería)*
 - *normalmente, la información reside en las variaciones de la señal*



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

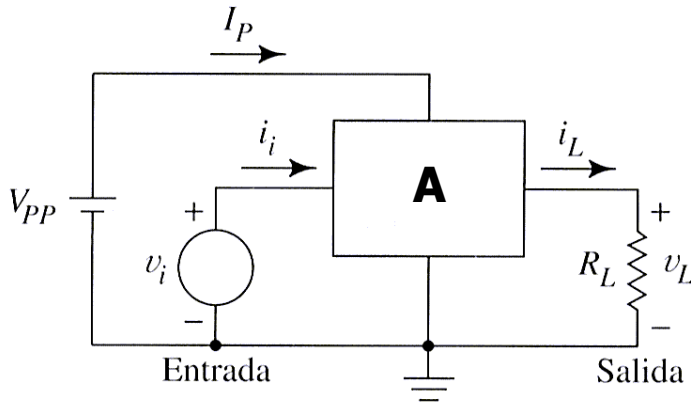
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

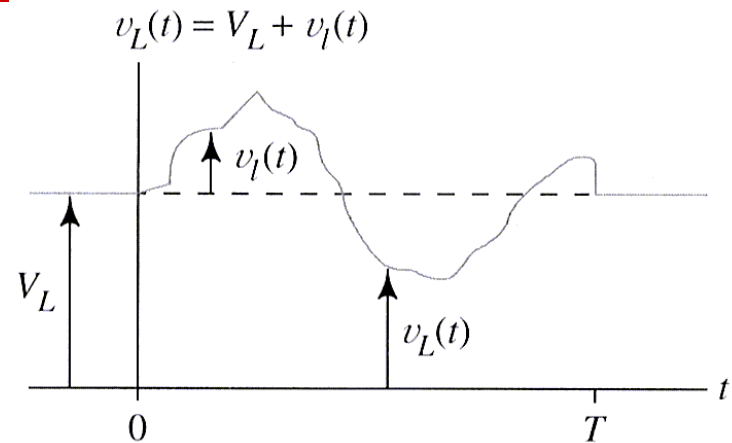


1.-Principios de modelado: definiciones

❑ Gráficamente...

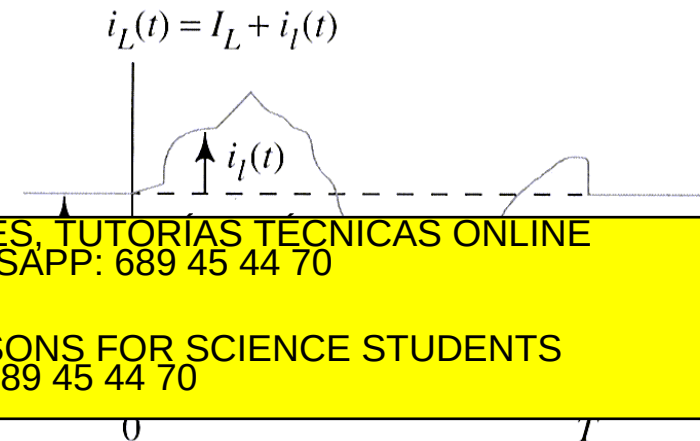


Según esta nomenclatura para la definición de las señales:
¡Mucho ojo al uso de mayúsculas, minúsculas y subíndices!



$$v_L(t) = V_L + v_l(t) = \text{continua} + \text{info } f(t)$$

$$i_L(t) = I_L + i_l(t) = \text{continua} + \text{info } f(t)$$



➔ En posteriores lecciones veremos

Cartagena99

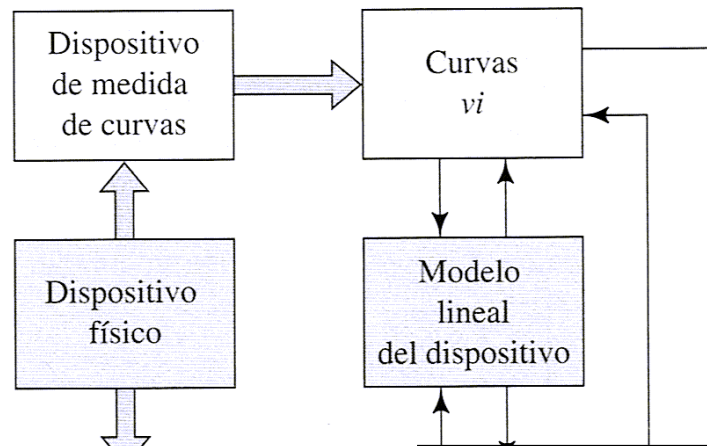
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



1.-Modelos de dispositivos electrónicos

- ❑ Para analizar/diseñar SSEE usamos análisis de circuitos lineales.
 - Pero muchos dispositivos reales son NO-LINEALES ($v \neq k \cdot i$)
 - Usamos modelos lineales para poder trabajar con ellos (ver Anexo)
 - **Podemos aplicar** las técnicas de análisis de Circuitos Lineales.
 - Hay que ser conscientes de los **límites** de tales modelos.



A lo largo de esta asignatura se estudiarán los **dispositivos físicos**, sus curvas, las ecuaciones que describen su funcionamiento y sus **modelos**.

Igualmente, si se sabe **modelar**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

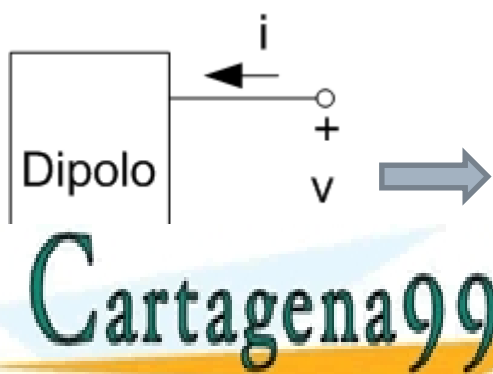


1.-Modelado: dipolos

❑ Modelo:

- Descripción matemática del comportamiento de un dispositivo o circuito en el rango o margen de actuación especificado.
 - *Los modelos eléctricos más simples establecen las relaciones de corriente-tensión entre sus extremos o conexiones.*
 - *Si estas relaciones se muestran de forma gráfica, se conocen como curvas (v-i)*

❑ Si se trata de un dipolo:



Se pueden dar varios casos:

$$\left. \begin{array}{l} v = Z \cdot i \\ v = K_1, \forall i \\ i = K_2, \forall v \end{array} \right\} \text{relaciones básicas}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

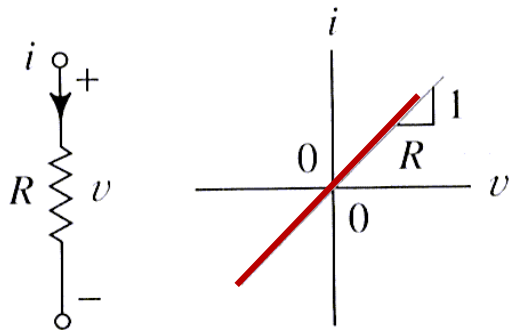
Cartagena99



1.-Modelado: dipolos

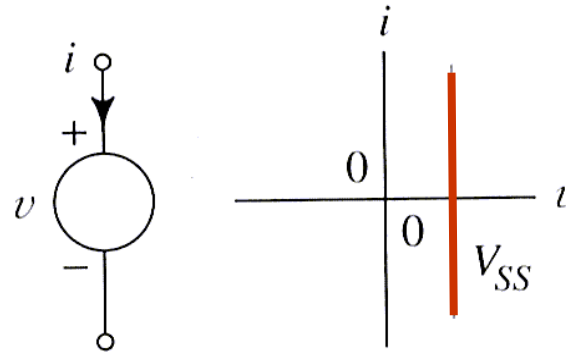
■ Ejemplos de dipolos elementales:

Resistor



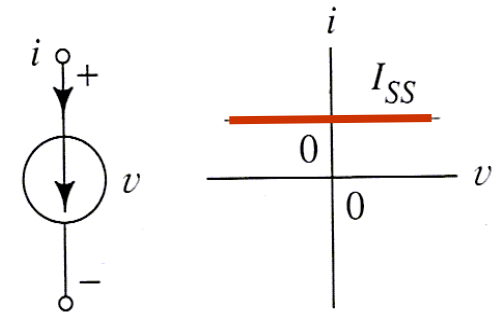
$$v = i \cdot R$$

Generador de tensión ideal



$$v = V_{SS} \quad \forall i$$

Generador de corriente ideal



$$i = I_{SS} \quad \forall v$$

Cartagena99

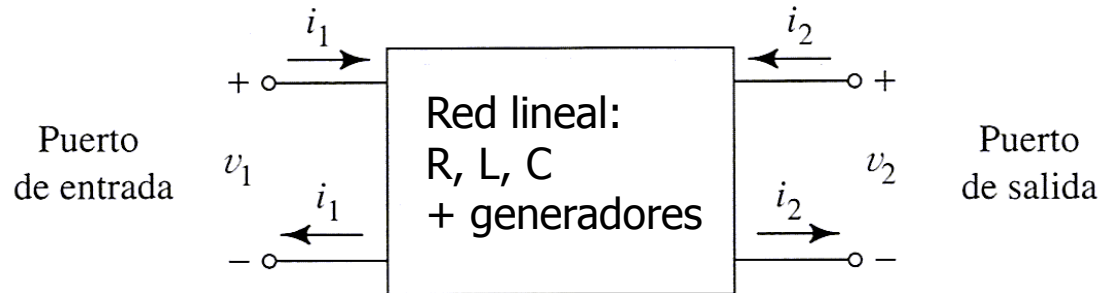
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

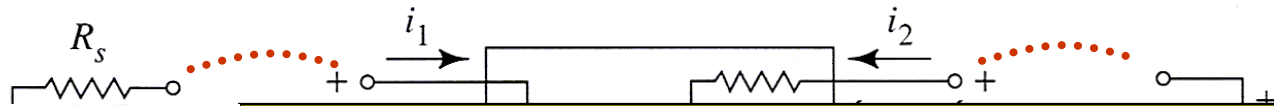


1.-Modelado: cuadripolos

- ❑ Cuadripolo: tienen cuatro terminales (o polos)
 - Dos terminales de **entrada** y dos de **salida** (puertos).



- Hay cuatro variables eléctricas por conocer: v_1, i_1, v_2, i_2
- La estructura interna del cuadripolo define relaciones entre ellas
- Todas las variables quedan fijadas una vez se conocen el **generador** y la **carga**, como se comprueba en el ejemplo siguiente:



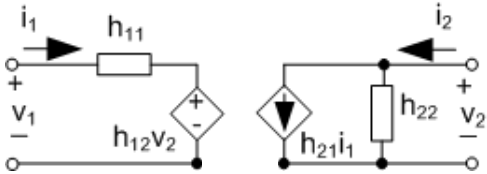
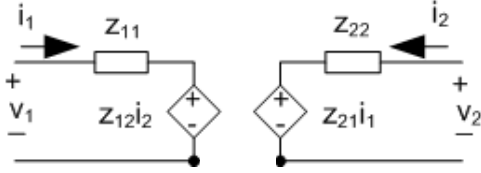
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



1.-Modelado: cuadripolos básicos

Modelo “h”, híbrido: Serie(v_1) – Paralelo(i_2)		Modelo “z”: solo Serie (v_x en 1 y 2)	
Circuito completo	Ecuaciones	Circuito completo	Ecuaciones
	$v_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot v_2$ $i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot v_2$		$v_1 = z_{11} \cdot i_1 + z_{12} \cdot i_2$ $v_2 = z_{21} \cdot i_1 + z_{22} \cdot i_2$

Modelo “g”, híbrido: Paralelo(i_1) – Serie(v_2)		Modelo “y”: solo Paralelo (i_x en 1 y 2)	
Circuito completo	Ecuaciones	Circuito completo	Ecuaciones
			

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

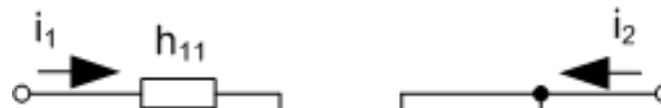
Cartagena99



1.-Interpretación de los parámetros

- ❑ Es muy útil comprender el significado y función de los parámetros que describen a un cuadripolo:
 - Parámetros con subíndices iguales: **impedancias terminales**
 - $X_{11} \rightarrow$ impedancia (admitancia) de **entrada**.
 - $X_{22} \rightarrow$ impedancia (admitancia) de **salida**.
 - Parámetros con subíndices diferentes: **de transferencia de** señal
 - $X_{12} \rightarrow$ transferencia **inversa**: señal en la **entrada**, debida a la **salida**.
 - $X_{22} \rightarrow$ transferencia **directa**: señal en **salida**, debida a la **entrada**.
 - Las ecuaciones, en V (serie) o en I (paralelo) nos indican además la **forma** del circuito en ese puerto. Veamos los híbridos [**h**]:

En entrada, v_1 :



En salida, i_2 :

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

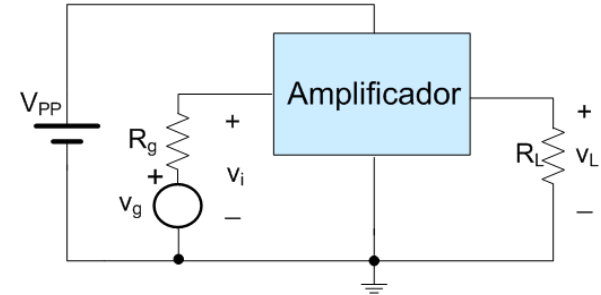
Cartagena99



1.-Modelado: amplificadores y cuadripolos

❑ El **Amplificador** como **Cuadripolo**:

- Entrada → generador de señal (fuente)
- Salida → carga (destino)
 - *En muchos casos, hay un terminal común a entrada y salida (masa)*
 - *El efecto de la alimentación (batería), se estudiará en su momento.*



❑ Son muy útiles las relaciones gráficas → curvas ($v-i$)

- Las curvas de **entrada**, **salida** y la **función de transferencia**, visualizan las dependencias entre tensiones y corrientes:
 - **Curvas de entrada**: relacionan corriente y tensión en entrada ($v_1 ; i_1$)
 - **Curvas de salida**: relacionan corriente y tensión en salida ($v_2 ; i_2$)

Cartagena99

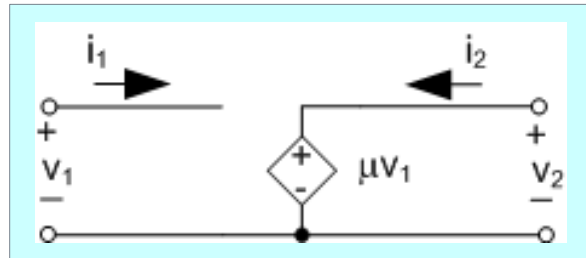
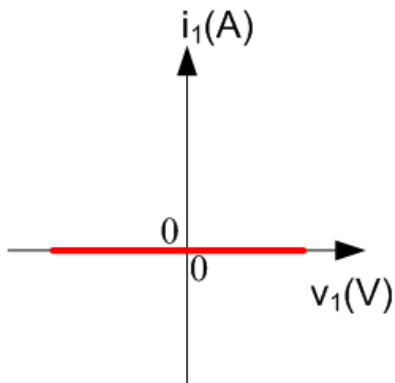
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

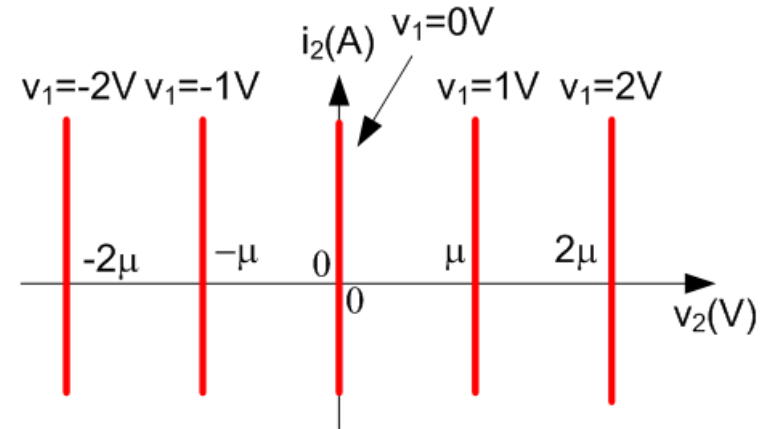


1.-Ejemplos: el VCVS.

- El **VCVS** (Voltage Controlled Voltage Source), ideal:



Parámetro de
transferencia: μ

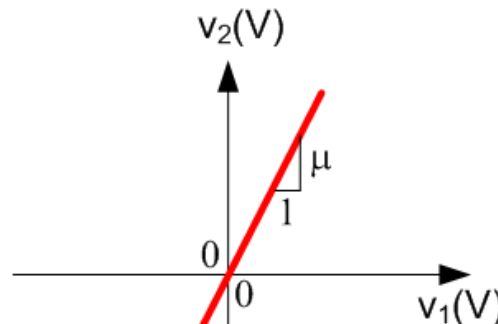


curva de entrada:

$$i_1 = f(v_1) \Rightarrow i_1 = 0, \forall v_1$$

curvas de salida:

$$v_2 = f(i_2) \Rightarrow v_2 = \mu \cdot v_1, \forall i_2$$



En la salida tenemos, en realidad, **una familia de curvas** que dependen (según μ) del valor de la

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

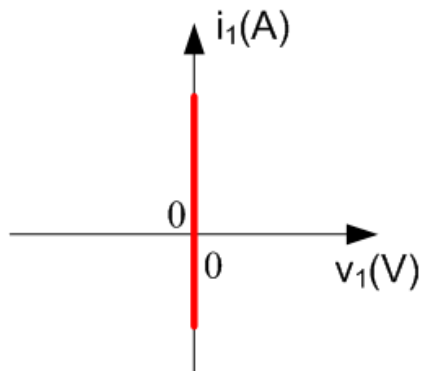
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



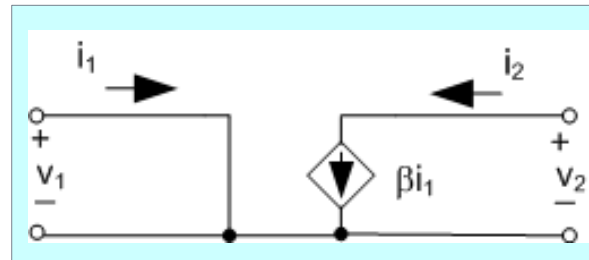
1.- Ejemplos de modelado: el CCCS.

- el **CCCS** (Current Controlled Current Source), ideal:

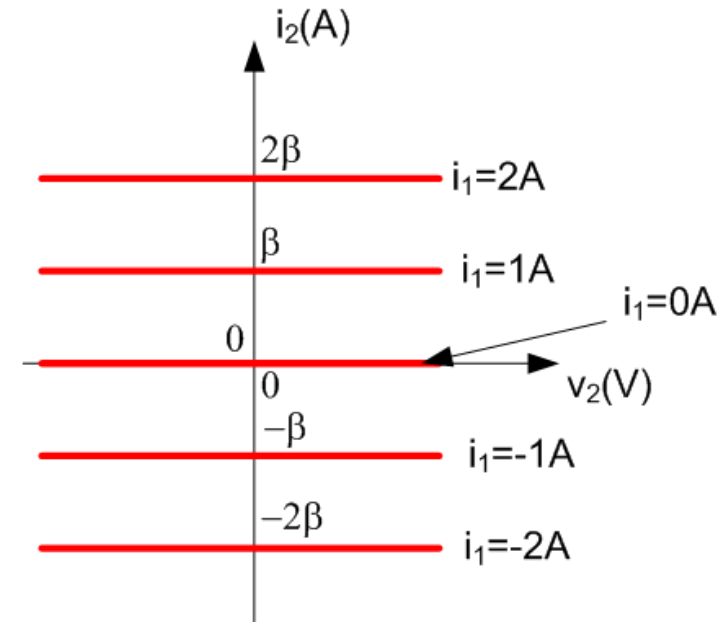
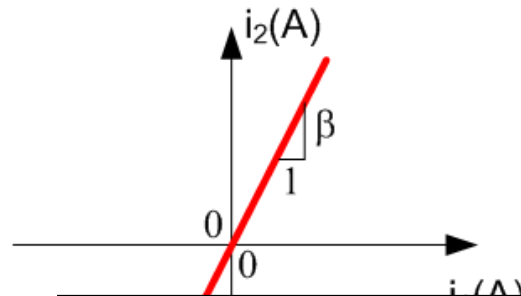


curva de entrada:

$$i_1 = f(v_1) \Rightarrow v_1 = 0, \forall i_1$$



Parámetro de
transferencia: β



curvas de salida:

$$i_2 = f(v_2) \Rightarrow i_2 = \beta \cdot i_1, \forall v_2$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2 1 1 2 1 1



2.1.-Amplificación: generalidades

❑ Recordatorio de definiciones sobre potencia y tensiones:

- **Potencia** (valor instantáneo): $P(t) = v(t) \cdot i(t)$
- **Potencia media** (señales periódicas)

Matemáticamente, valor medio: Proporcional al área encerrada: $P_m = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T P(t) \cdot dt$

▪ Señal senoidal:
$$\begin{cases} v(t) = V_0 \sen(\omega t) \\ i(t) = I_0 \sen(\omega t) \end{cases} \quad P_m = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt = \frac{1}{2} V_0 \cdot I_0$$

Otro modo de expresar la potencia media: en función de valores eficaces

Valor eficaz: raíz cuadrada del valor cuadrático medio (root mean square o rms)

$$V_{ef} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_0 \sen \omega t)^2 \cdot dt} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \Rightarrow P_m = \frac{V_0 \cdot I_0}{2} = V_{ef} \cdot I_{ef}$$

Cartagena99

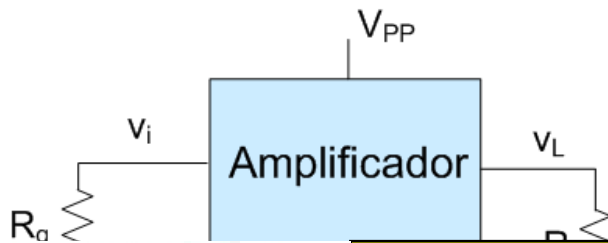
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.1.-Amplificación: generalidades

- ❑ Un **amplificador** es un circuito electrónico cuya función es proporcionar en su **salida** una **copia de la señal de entrada** en las condiciones de **nivel** y **calidad** requeridas.
 - Normalmente se especifica el nivel necesario de un parámetro eléctrico: **tensión**, **corriente** o **potencia**.
 - Los parámetros necesarios dependen de la aplicación.
 - *Por ejemplo, para escuchar una TV a volumen normal se necesita alrededor de 1 W en el altavoz (una carga R_L de unos 8 Ω).*
 - *Pero en una actuación en público, los amplificadores rondan los kW.*



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

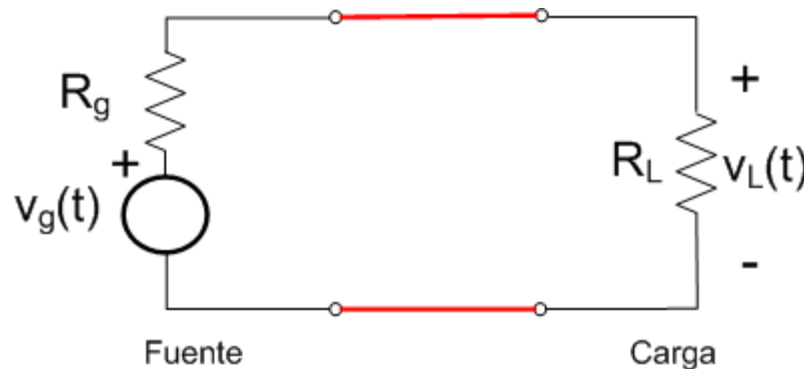
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.1.-Amplificación: generalidades

□ Un ejemplo:

- Se dispone de un lector de cintas de música (fuente) que da una tensión en circuito abierto de 100mV rms y tiene una impedancia interna de 22k Ω . Para poder oír la señal en el altavoz (carga) que es de 8 Ω , se necesitan unos 100mW. ¿Se podría oír música conectando la fuente de tensión y carga directamente?
- Solución:



Cartagena99

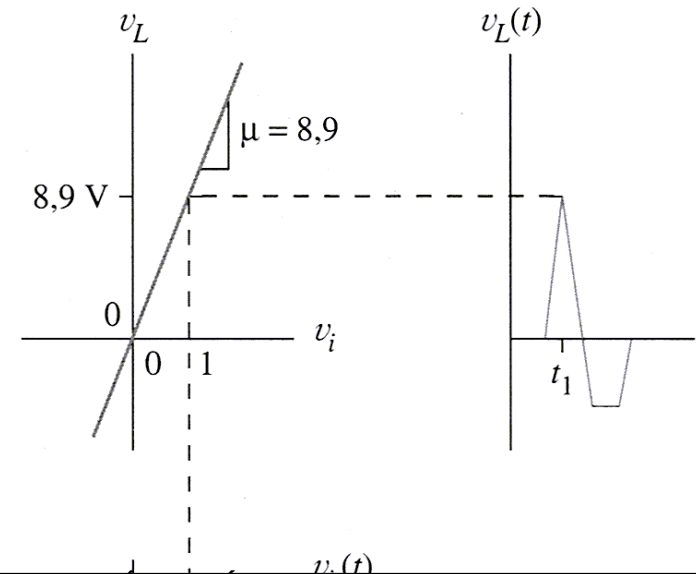
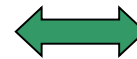
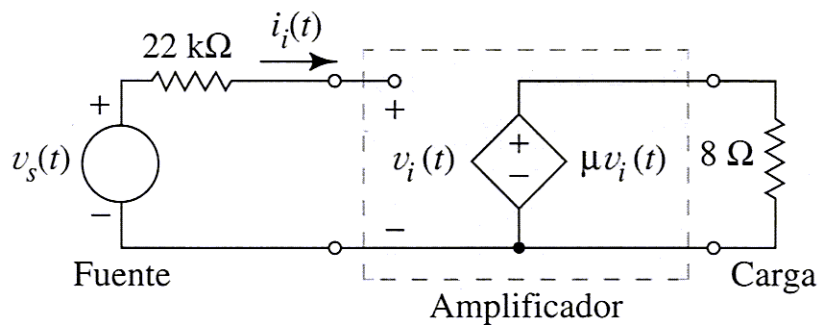
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.1.-Amplificación: generalidades

- ❑ Evidentemente necesitaremos un amplificador que nos permita llegar a la potencia requerida.
- ❑ Para **transferir** la señal de fuente a carga con el **nivel de potencia** requerido podemos usar, p. e. este **VCVS**:



La salida la podemos evaluar analíticamente...

V^2 V^2

Cartagena99

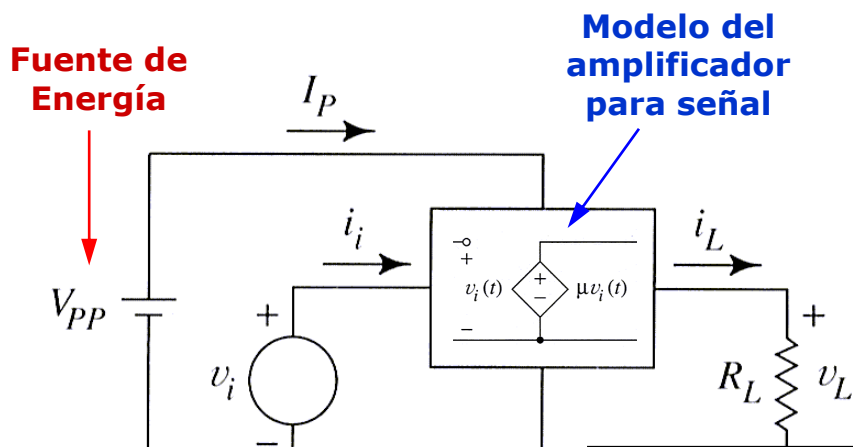
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.1.-Amplificación: generalidades

- ❑ En el ejemplo anterior, la carga recibe 100mW pero el generador no entrega potencia alguna ($P_s = 0W$), pues $i_i = 0$.
 - Si el **VCVS** es pasivo (un gen. dependiente)...
...¿**de dónde sale la potencia** que recibe la carga?
 - La respuesta es clara: **de la fuente de energía** (batería, f. de a.)



✓ El modelo del amplificador recoge el modo en el que la señal **se transfiere** de entrada a salida:

➔ La fuente de energía está implícita en el modelo a través de la **cte.** del gen. dependiente.

✓ Los terminales de alimentación de energía **son diferentes** a los de entrada y salida de señal.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

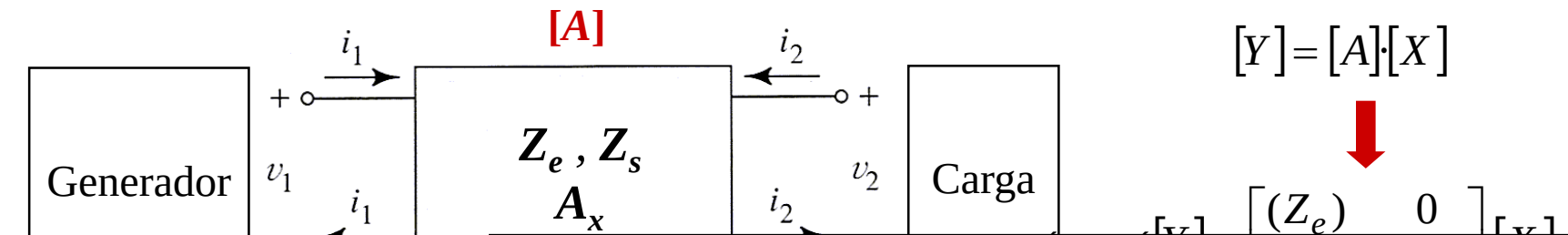
Cartagena99



2.1.-Amplificación: generalidades

□ Modelo básico de un amplificador lineal, A :

- Se define como un **Cuadripolo**, Q , con parámetros adecuados para las componentes de señal variable. Por eso:
 - Los dispositivos internos **deben** ser lineales o **estar en una zona lineal**.
- El amplificador básico tiene sólo tres parámetros:
 - Las dos impedancias terminales (parámetros 11 y 22): Z_e y Z_s
 - El parámetro de transferencia directa (transmitancia, 21): A_x
 - Con solo tres parámetros las ecuaciones **se simplifican mucho**



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



2.2.-Tipos de amplificadores:

- Según el tipo de generador y de carga se tienen las variables entrada/salida más adecuadas:

- Generadores (entradas **X_e**)

- de tensión (v_e), como micrófonos:



- de corriente (i_e), como los fotodetectores:



- Cargas (salidas **X_s**)

- que necesitan tensión (v_s), como los altavoces:



- que necesitan corriente (i_s), como dispositivos bobinados:



- En consecuencia, se tienen cuatro combinaciones posibles de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

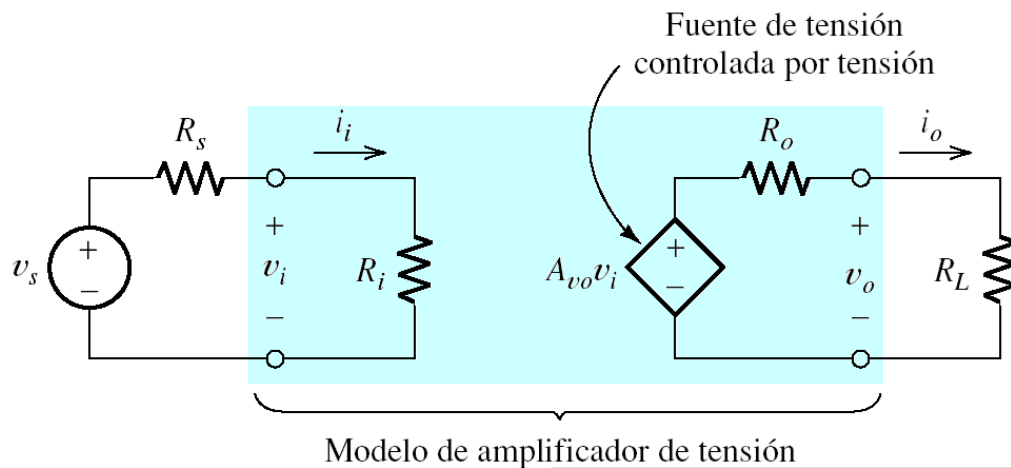
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.2.-Tipos de amplificadores: A. de tensión

❑ Características:

- Las variables preferentes en entrada y salida son **tensiones**
- Por eso, el generador de salida del amplificador tiene un VCVS
- Las medidas "en circuito" son sencillas de hacer
 - *En paralelo con los terminales: con voltímetro, osciloscopio o similar*



Ecuaciones en el amplificador:

$$\begin{cases} v_i = R_i \cdot i_i \\ v_o = A_{vo} \cdot v_i - R_o \cdot i_o \end{cases}$$

En generador y carga:

$$\begin{cases} v_i = v_s - R_s \cdot i_i \\ v_o = R_L \cdot i_o \end{cases}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

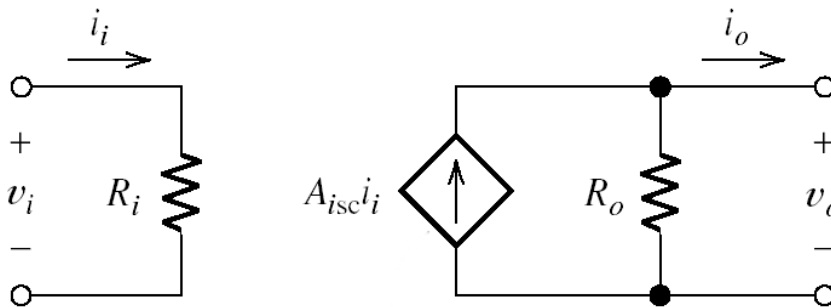
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.2.-Otros amplificadores: de corriente

❑ Características:

- Las variables preferentes en entrada y salida son corrientes
- El generador de salida del amplificador tiene un CCCS
- Las medidas "en circuito" son más complicadas (como un amperímetro)



Medida de la transmitancia:

$$A_{isc} = \left. \frac{i_o}{i_i} \right|_{R_L=0} = G_I \big|_{\text{salida en c.c.}} \quad \left(\frac{A}{A} \right)$$

✓ En esencia, la salida de un amplificador de **corriente** se modela a partir de un **equivalente Norton** de todo el circuito.

✓ De igual manera, el amp. de **tensión** es un **equivalente Thévenin**.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

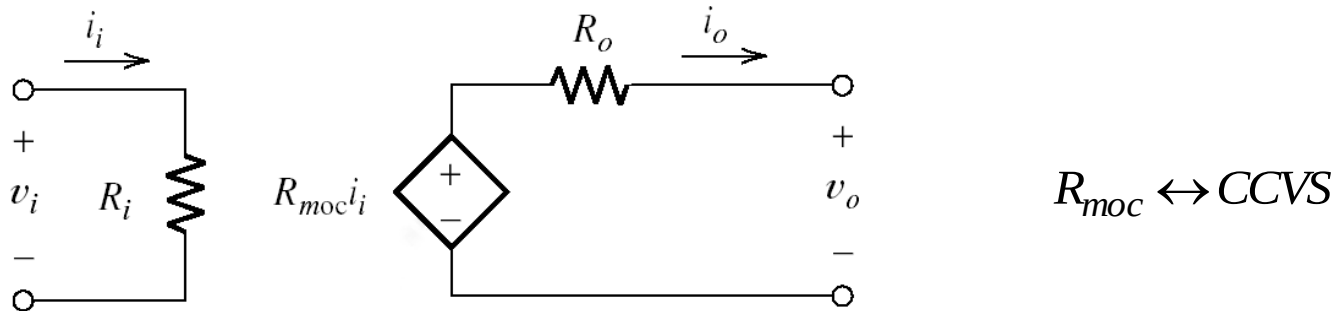
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.2.-Otros amplificadores: A_Z y A_Y

❑ Amplificador de **trans-impedancia**, A_Z :

- La transmitancia tiene unidades de Z (salida, v_o ; entrada, i_i)



❑ Amplificador de **trans-admitancia**, A_Y :

- La transmitancia tiene unidades de Y (salida, i_o ; entrada, v_i)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.3.-Ganancias

- Es la relación existente entre las variables eléctricas consideradas en entrada y salida del amplificador.
 - dan una medida de la **transferencia real** de señal de entrada a salida.
 - en general, pueden ser **números complejos** (módulo-fase).
- Cinco definiciones básicas, en función de las variables tomadas:

X_{salida}	X_{entrada}	Ganancia	Unidades	Nomenclatura
P_o	P_i	(P_o / P_i)	(W/W)	Ganancia de Potencia
v_o	v_i	(v_o / v_i)	(V/V)	de (trans)- tensión
i_o	i_i	(i_o / i_i)	(A/A)	de (trans)- corriente
v_o	i_i	(v_o / i_i)	Ω	de transimpedancia (compleja) o de transresistencia (si es real)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



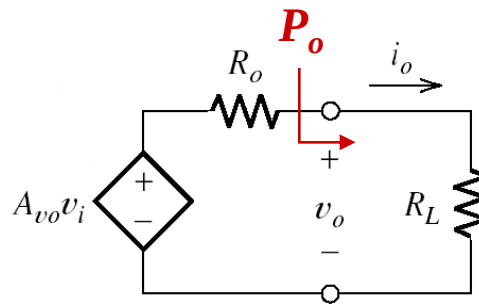
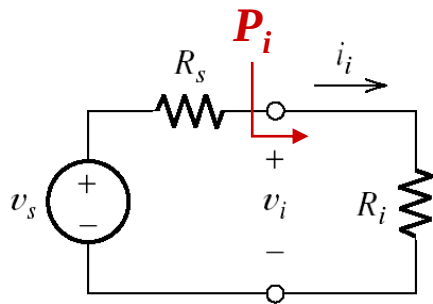
2.3.-Ganancia de potencia

❑ Un caso interesante es la Ganancia de Potencia.

■ Se define como:

$$G_P = \frac{P_o}{P_i} = \frac{\text{Potencia entregada a la carga}}{\text{Potencia en la entrada del Amp.}} \quad \left(\frac{W}{W}\right)$$

■ En el amp. de la figura se tiene...



$$\begin{cases} P_o = v_o i_o = \frac{v_o^2}{R_L} = i_o^2 R_L \\ P_i = v_i i_i = \frac{v_i^2}{R_i} = i_i^2 R_i \end{cases}$$

$$G_P = \frac{P_o}{P_i} = \frac{v_o i_o}{v_i i_i} = G_v G_i = G_v^2 \frac{R_i}{R_L} = G_i^2 \frac{R_L}{R_i} = \dots \quad \left(\frac{W}{W}\right)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.3.-Ganancia de potencia: el deciBelio

- ❑ Es habitual manejar las ganancias en unidades logarítmicas.
 - Las ganancias prácticas se dan en un rango muy amplio.
 - Muchos efectos se modelan u operan mejor con logaritmos
 - *percepción humana: octavas en música; intensidad sonora; ...*
 - *los productos se transforman en sumas; las exp. en productos; ...*

❑ Definición

- Sobre la relación de potencias:

$$G_{PdB} = 10 \cdot \log G_P \text{ (dB)}$$

← el dB es adimensional

- Por extensión, se puede aplicar al resto de ganancias, pero...
 - *...iojo con las **dimensiones** y los valores **complejos**!*

$$G_{VdB} = 20 \cdot \log |G_V| \text{ (dB)}$$

$$G_{ZdB} = 20 \cdot \log \left| \frac{G_Z}{\Omega} \right| \text{ (dB}\Omega\text{)}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

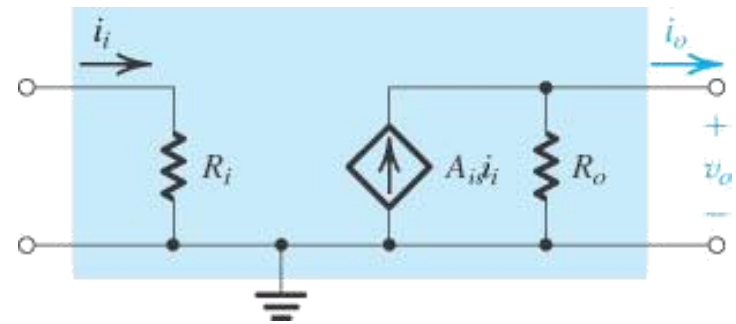
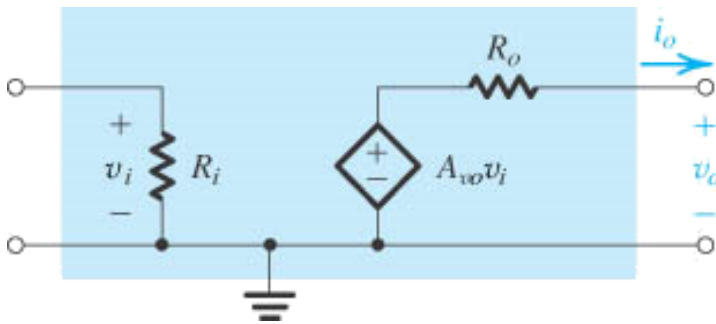
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70





3.-Amplificadores reales: efectos de carga

- ❑ En general, un amplificador real presenta impedancias en sus terminales de entrada y salida:
 - En entrada Z_e es distinta de cero o infinito (c.c. o c.a.)
 - En salida, el generador no es ideal (Z_s distinta de cero o infinito)



Cartagena99

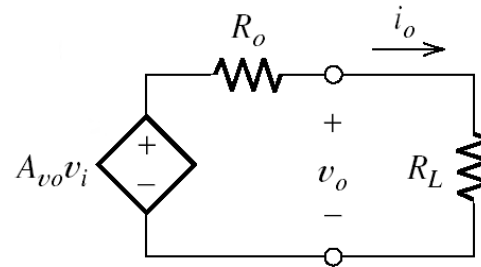
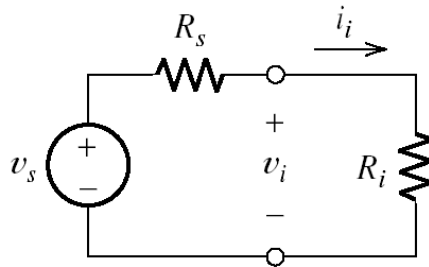
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3.-Amplificadores reales: efecto de carga

- Las impedancias terminales provocan una disminución de la señal que puede transferirse a la salida.
- Veámoslo en este ejemplo: calculemos todas las ganancias...



Sobre el cto. se tiene:

$$G_V = \frac{v_o}{v_i} = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o} \quad \left(\frac{V}{V} \right)$$

$$G_I = \frac{i_o}{i_i} = \frac{(A_{vo} \cdot v_i) / (R_o + R_L)}{v_i / R_i} = \frac{A_{vo} R_i}{(R_o + R_L)} \quad \left(\frac{A}{A} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_o = R_L \cdot i_o = (A_{vo} v_i) \frac{R_L}{R_L + R_o} \\ v_i = v_s \frac{R_i}{R_i + R_s} \end{array} \right\} \rightarrow$$

Cartagena99

$$G = \frac{v_o}{v_s} = (A_{vo} \cdot v_i) \frac{R_L}{R_L + R_o} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_s} = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{R_i}{R_i + R_s} \quad (V/V)$$

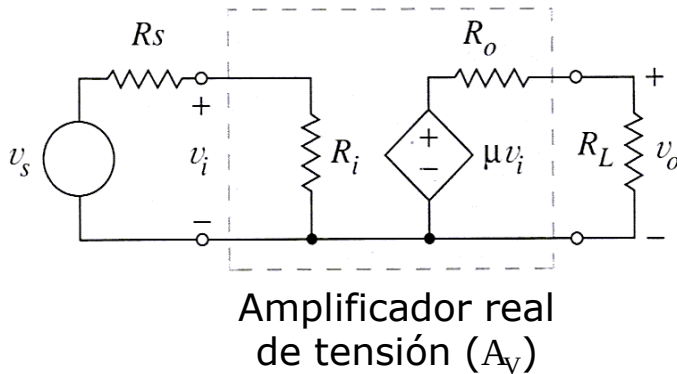
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3.-Amplificadores reales: efectos de carga

- ❑ Vemos diferentes términos interesantes en cada expresión:



➔ la ganancia salida/entrada, A_v , vale:

$$v_o = (\mu v_i) \frac{R_L}{R_L + R_o} \Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = \mu \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

➔ y si definimos otra ganancia referida al generador v_s , se tiene entonces:

$$A'_v = \frac{v_o}{v_s} \Rightarrow A'_v = \frac{R_i}{R_i + R_s} \mu \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

aparecen dos términos, en impedancias, que hacen que la nueva ganancia sea siempre inferior a la transmitancia, μ :

- son los **factores de carga de entrada y salida**:

■ alejan al **amplificador real** de la situación **ideal** ➔ **máxima ganancia** = μ

Cartagena99

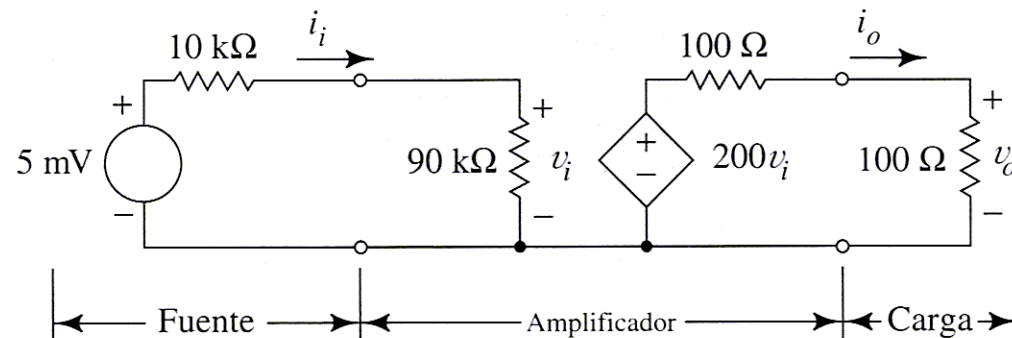
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3.-Amplificadores reales: efectos de carga

- ❑ Ejercicio 2.1. Sobre el amplificador de la figura adjunta:
1. Determine las ganancias de corriente y potencia.
 2. ¿Qué tensión habría en la carga si ésta se conectase directamente al generador?
 3. Admitiendo un error de aproximación de alrededor del 10% ¿qué valores debieran tener las impedancias terminales del amplificador (Z_e y Z_s) para considerarle ideal?



- ❑ Ejercicio 2.2.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4.-Amplificadores ideales

- ❑ Todo amplificador puede ser descrito con cualquiera de las cinco ganancias básicas, G_X . Si bien:
 - El **tipo de ganancia** más **conveniente** para modelar un amplificador real viene definido frecuentemente por la aplicación:
 - *En audio, se prefiere la Ganancia de Tensión, pues generador y carga se caracterizan mejor de esa manera y además es más fácil de medir.*
 - *En otros casos, el tipo de generador y carga **definen** el tipo de señal de entrada, salida y la ganancia preferente para modelar el problema.*
- ❑ Caso especial, los **Amplificadores Ideales**:
 - Sus impedancias terminales son **ideales** (según el caso: **cero** o ∞)
 - *La señal entregada en la salida no depende del valor de la carga, R_L*
 - *No extraen potencia alguna del generador de señal $P_{in} = 0$*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4.-Amplificadores ideales

- ❑ Los **cuatro** A. ideales se corresponden con:

X_{salida}	X_{entrada}	Nombre	Modelo	Z terminales y Transmitancia
V_s	V_e	VCVS, A_V		$Z_e \rightarrow \infty \quad Z_s = 0$ $\mu = (\text{trans})\text{-tensión (V/V)}$ nombre genérico: A_V
i_s	i_e	CCCS, A_I		$Z_e = 0 \quad Z_s \rightarrow \infty$ $\beta = (\text{trans})\text{-corriente (A/A)}$ nombre genérico: A_I
V_s	i_e	CCVS, A_Z		$Z_e = 0 \quad Z_s = 0$ $r_m = \text{transresistencia } (\Omega)$ nombre genérico: A_Z

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

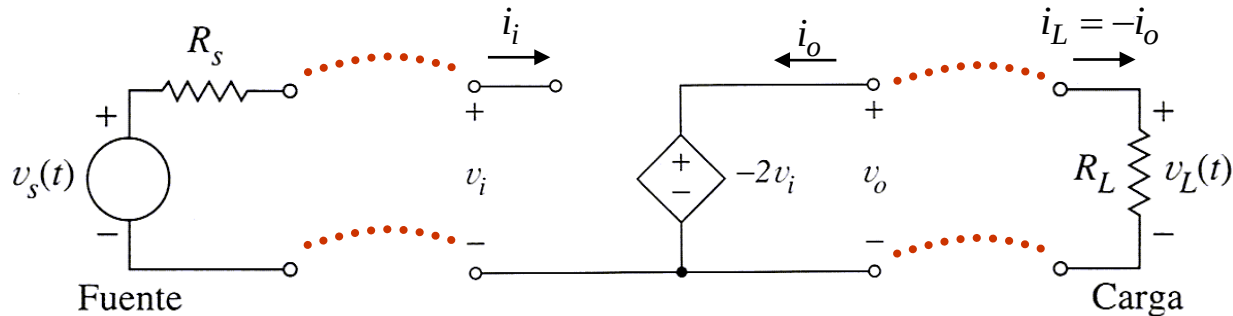
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4.-Amplificadores ideales

❑ Ejemplo:

■ Amplificador **ideal de tensión, (inversor)**.



✓ Ecuaciones:

$$v_L = v_o = \mu \cdot v_i = -2 \cdot v_i = -2 \cdot v_s$$

✓ Ganancias para el A_v ideal:

$$G_V = \frac{v_o}{v_i} = -2 = \mu \neq f(R_L)$$

$$G_P = \frac{P_L}{P_i} = \frac{v_L \cdot i_L}{v_i \cdot i_i} = \frac{X}{0} \rightarrow \infty$$

Cartagena99

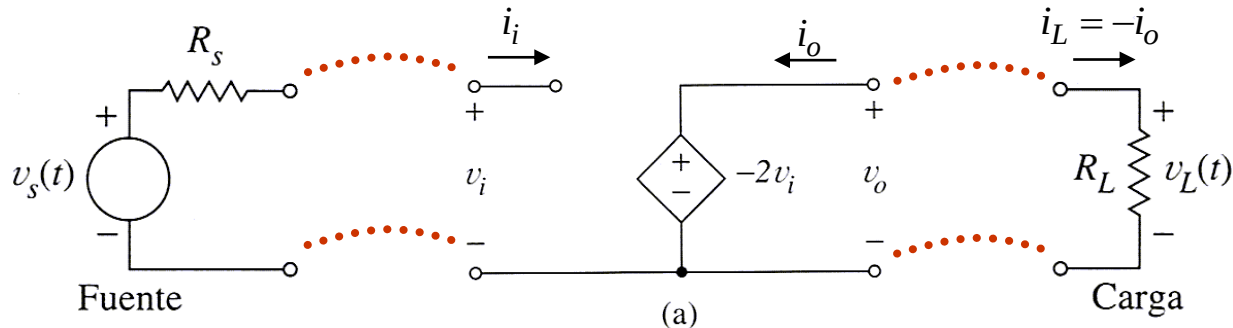
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

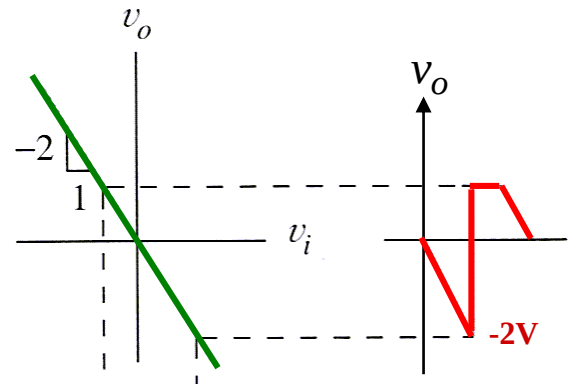


4.-Amplificadores ideales

- ❑ El nombre de **Amplificador inversor**, deriva del hecho de que la señal de salida está invertida respecto a la de entrada:



- ➔ Conocida la señal de entrada se puede obtener la salida gráficamente, mediante la **función de transferencia**.
- ➔ Note que la **transmitancia** es la **derivada** de la **función de**



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



5.-Otras características

- ❑ Los modelos generales de los amplificadores muestran los efectos más importantes:
 - Impedancias terminales y transmitancia.
- ❑ En una primera aproximación los parámetros se han considerado como constantes.
 - ...pero esto no permite considerar otras características.
- ❑ Es necesario completar la definición de los amplificadores añadiendo otras características que modelen:
 - Limitaciones
 - Dependencias con otros parámetros externos o internos
 - Errores

Cartagena99

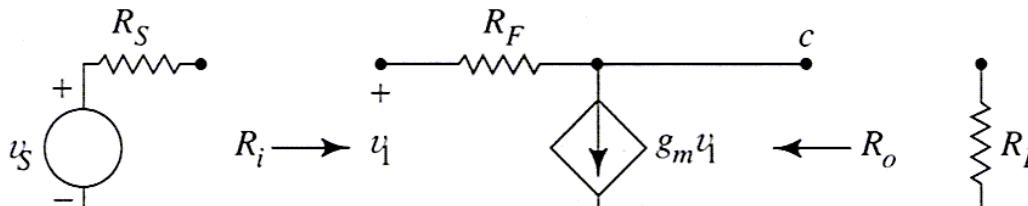
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



5.-Limitaciones: dependencias en $Z_{e,s}$

- ❑ Las impedancias terminales son las vistas en las conexiones de entrada y salida.
 - En análisis, su valor se obtiene según lo establecido en la teoría de cuadripolos.
- ❑ En ocasiones, ambas impedancias se ven afectadas por las existentes en generador y carga.
 - Ejemplo: obtener las impedancias terminales del amplificador cuya estructura interna se muestra en la figura.



Cartagena99

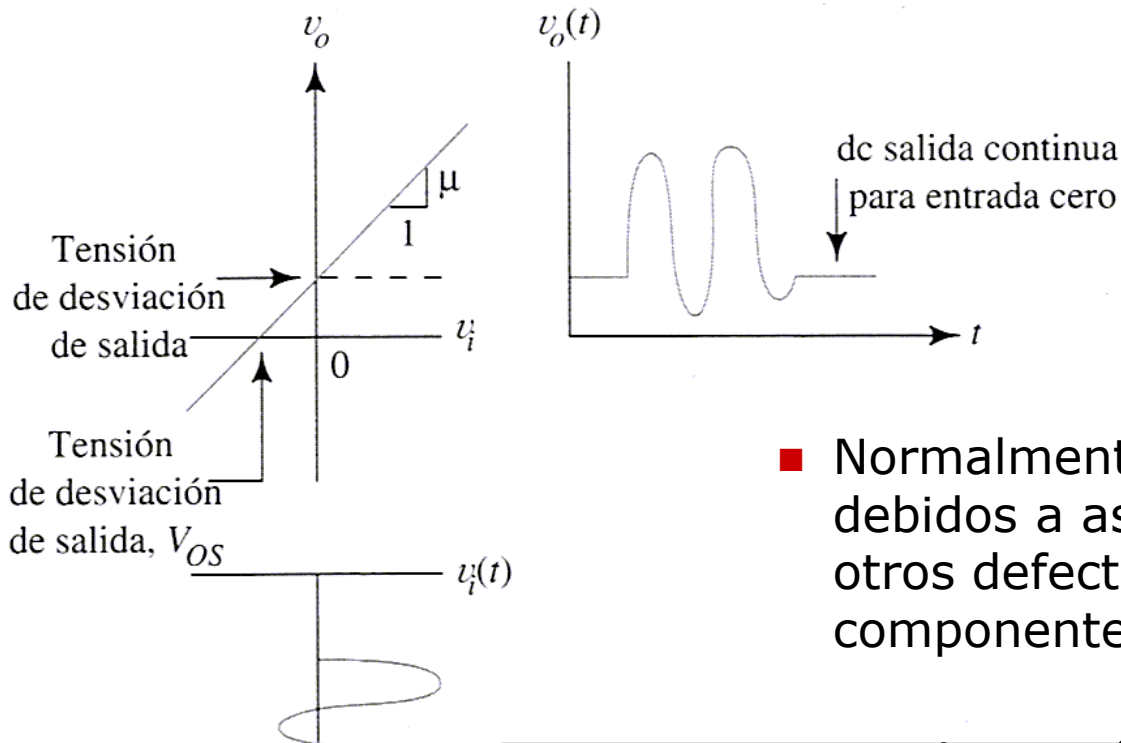
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



5.-Tensión de desviación

- ❑ La tensión de desviación (*offset*) modela desplazamientos en la curva de transferencia.



- Normalmente, son valores en DC debidos a asimetrías, impurezas u otros defectos similares en los componentes.

Cartagena99

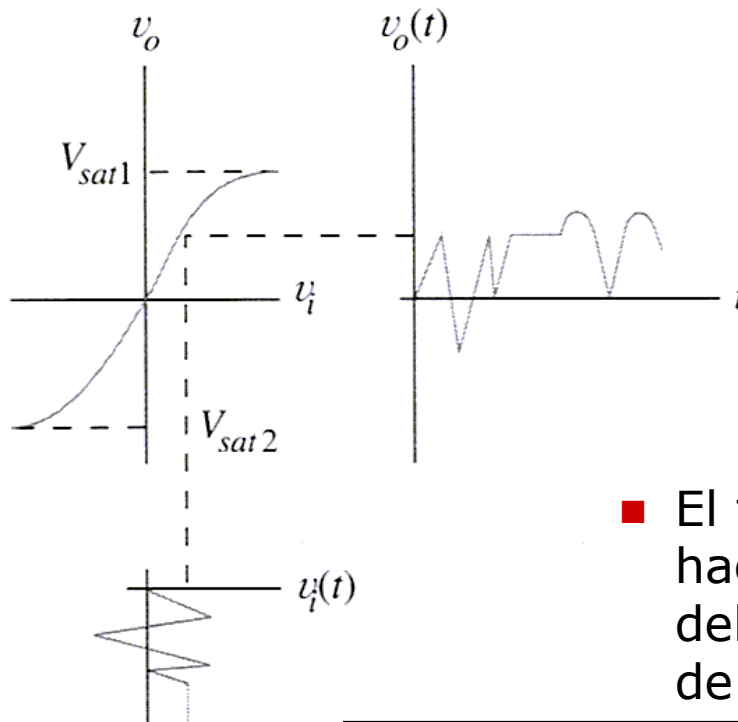
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



5.-Distorsión no lineal

- ❑ **Distorsión** es toda deformación de la forma de onda de salida del amplificador, respecto a la señal de entrada.



- El término **distorsión no-lineal** hace referencia a la deformación debida a la curvatura de la función de transferencia.

Cartagena99

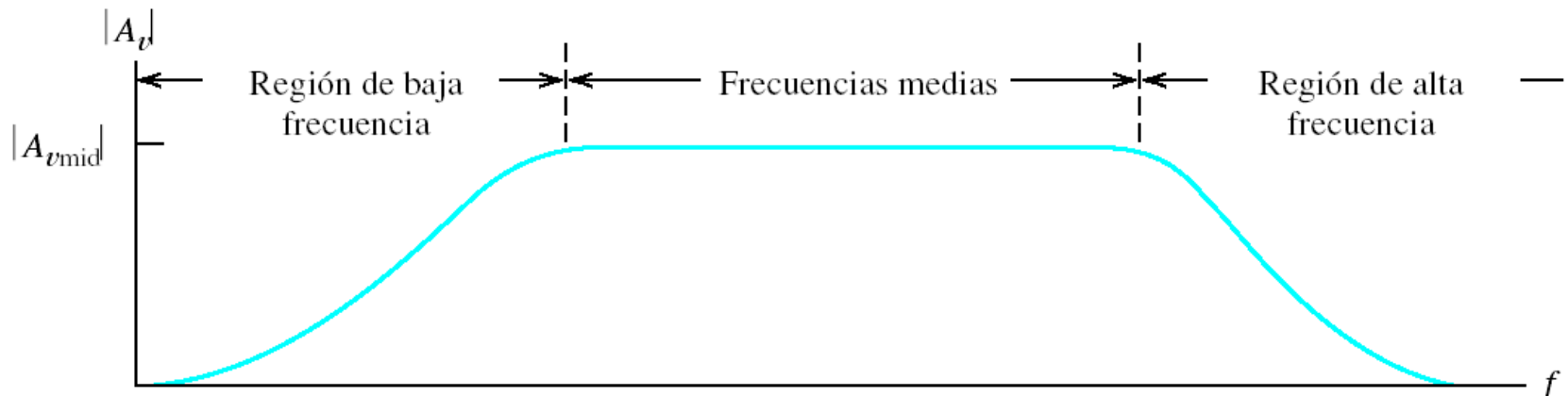
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



5.-Respuesta frecuencial

- ❑ La **respuesta frecuencial** de un amplificador modela la **dependencia con la frecuencia** de sus parámetros.
 - Todas las características varían con ω : impedancias, ganancias...
 - Afectan en módulo y fase a parámetros y señales.
- ❑ Pueden reconocerse zonas o **bandas** de frecuencia con comportamientos similares:



Cartagena99

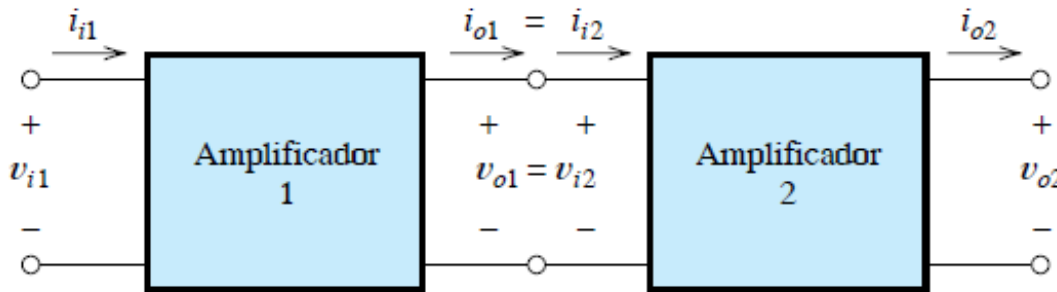
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



6.-Amplificadores multietapa.

- ❑ Un amplificador práctico suele estar formado por varios amplificadores elementales combinados:
 - La combinación más común es la serie o **cascada**
 - En este caso, cada amplificador elemental es una **etapa**
 - La figura adjunta es un **amplificador en cascada de dos etapas**:



- ❑ De este modo, se simplifica el trabajo...
 - Cada etapa se analiza/diseña por separado

Cartagena99

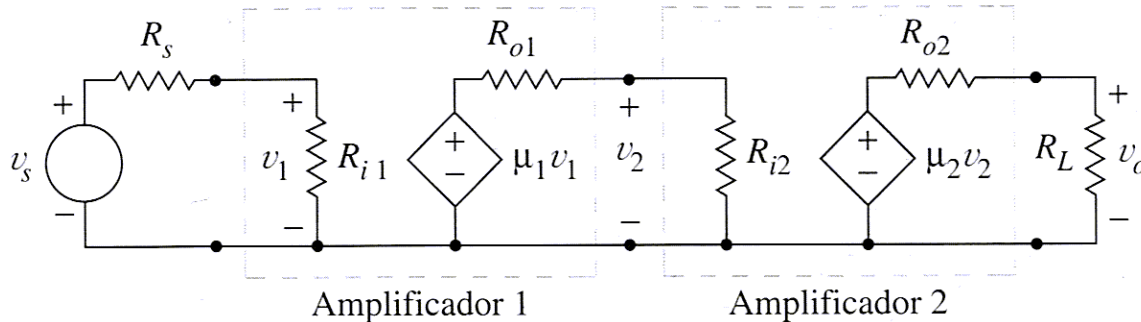
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



6.-Amplificadores multietapa.

- Un ejemplo: dos A_v en cascada.



Las ganancias de cada etapa son:

$$A_{v1} = \frac{v_2}{v_1} = \mu_1 \frac{R_{i2}}{R_{i2} + R_{o1}}$$

$$\frac{v_o}{v_2} = A_{v2} = \mu_2 \frac{R_L}{R_L + R_{o2}}$$



La ganancia total del amplificador es el producto de ambas ganancias:

$$\frac{v_o}{v_1} = A_v = \frac{v_2}{v_1} \times \frac{v_o}{v_2} = A_{v1} \times A_{v2}$$

$$A_v = \mu_1 \frac{R_{i2}}{R_{i2} + R_{o1}} \mu_2 \frac{R_L}{R_L + R_{o2}}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



8.-Bibliografía

□ Referencias del Tema 1:

- Electrónica. *Allan R. Hambley*. Ed. Pearson Education, Madrid 2001. ISBN: 84-205-2999-0
 - *Capítulo 1, completo: páginas 2 a 56.*
- Circuitos Electrónicos. Análisis diseño y simulación. *Norbert R. Malik*, Ed. Prentice Hall, Madrid 1996. ISBN: 84-89660-03-4.
 - *Capítulo 1, salvo secciones 1.5.5, 1.5.4, 1.6.7 y 1.6.8.*
- Otros materiales de los profesores de la asignatura

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Análisis, diseño y modelado de SSEE

1. Modelado: para qué y cómo
2. Análisis manual vs. Simulaciones
3. El computador como herramienta
4. Un factor esencial: la Documentación

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



A.-Análisis, diseño y modelado de SSEE

❑ Conocimientos y destrezas necesarios:

■ De los **circuitos** (bloques):

- *Funciones a realizar, configuraciones posibles, los parámetros que las definen, sus propiedades y los **modelos** aplicables.*

■ De los **dispositivos**:

- *Estructura y propiedades, aplicaciones y configuraciones típicas (funciones que pueden realizar), y los **modelos** aplicables.*

■ **Técnicas** de Análisis y Diseño:

- *Teoría de circuitos, análisis de redes lineales, **modelos...***

❑ Importancia del **modelado** de dispositivos y circuitos

- Necesitamos **saber** y poder **predecir**, con la **suficiente precisión**, el comportamiento real de un circuito, **sin necesidad de montarlo**.

Cartagena99

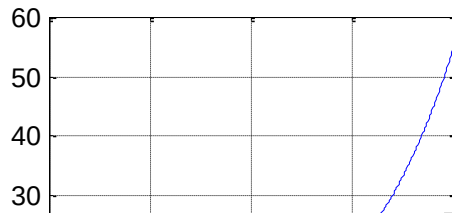
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



A.1.-Modelado: para qué y como...

- ❑ El **Modelo** de un dispositivo o circuito permite operar con él de manera virtual, usando técnicas de análisis de circuitos lineales:
 - R, L, C, generadores (dependientes o no), etc.:
 - Las ecuaciones son 'rectas': $i = k_1 \cdot v + k_2 \iff v = R \cdot i$
 - Si los dispositivos son **no-lineales** (p.e. $i = k_1 \cdot e^{V \cdot k_2}$), no se podría operar con ellos de forma sencilla...
 - ... entonces ¿no podríamos utilizar las técnicas estudiadas hasta ahora?
- ❑ La solución es **linealizar**: **que las curvas se consideren rectas...**



La curva original, $i = e^V$, **no lineal**...

...en este **tramo**... ...es esta **recta**.

La **linealización** es **válida**, en un **tramo dado** v con

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



A.1.-Modelado: para qué y cómo...

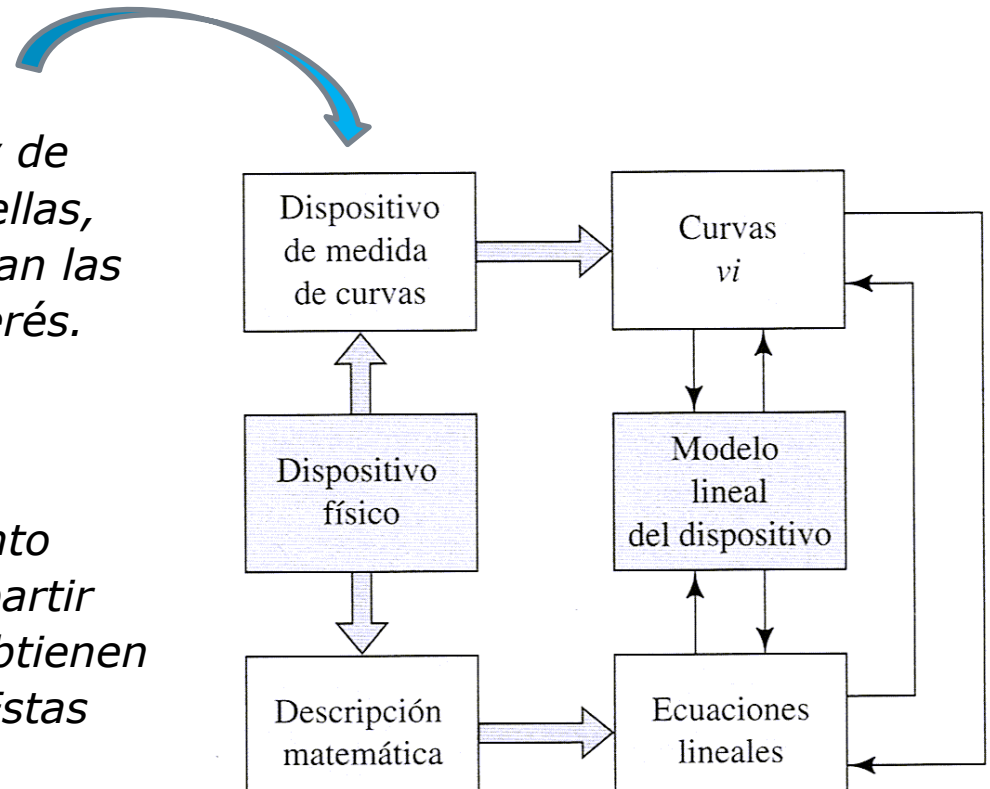
❑ ¿Cómo obtener un modelo a partir del dispositivo/circuito físico?

■ Método gráfico:

- *Se miden las curvas ($v-i$) y de transferencia. A partir de ellas, de forma gráfica, se estiman las rectas en las zonas de interés.*

■ Método analítico:

- *Se estudia el funcionamiento interno (a nivel físico). A partir de este conocimiento se obtienen una serie de ecuaciones. Estas curvas se analizan para*



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



A.2.-Análisis manual vs. simulaciones

- ❑ El análisis manual (con modelos simplificados) es vital para que el diseñador obtenga una solución inicial al problema.
 - *Trabajaremos estas habilidades a lo largo de las sesiones teórico-prácticas del curso.*
- ❑ La **simulación** y diseño asistido por ordenador **ayuda** a completar el proceso de diseño hasta llegar al prototipo final.
 - Programas como **SPICE** (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) permiten realizar pruebas sobre circuitos usando modelos complejos y ensayos sin riesgo de destrucción.
 - *Podemos probar **rápidamente** efectos de segundo orden, tolerancias, variaciones con T , niveles de señal, potencias, etc.*
 - *Este trabajo es **complementario** con el del Laboratorio.*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



A.3.-El computador como herramienta

❑ Sinergia Hombre-Computador

- El computador descarga de trabajo al ingeniero de diseño
 - *Velocidad y precisión de **cálculo**, capacidad de **memoria** y almacenamiento de datos...*
- Pero (por fortuna) el hombre sigue siendo superior a la máquina
 - *Capacidad de **decisión**, **comprensión** e **interpretación** de resultados.*

❑ El diseñador **complementa** su tarea con ayuda del ordenador:

- El diseñador se centra en los **principios básicos** y en su aplicación.
 - *El uso que haremos de **modelos simplificados** ayuda en esta labor y permite que el diseñador se centre en lo fundamental de su diseño.*
- El diseñador debe aprovechar el ordenador para **extender** su

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



A.4.-Un factor esencial: la Documentación

❑ La importancia de la **Documentación**

- Un SE consta de muchos bloques, interconectados entre sí.
- El trabajo en cada bloque puede ser independiente, extenderse durante un periodo de tiempo largo (o discontinuo) e implicar a distintas personas:
 - *Cada bloque debe estar perfectamente caracterizado y documentado, tanto en lo que atañe a dicho bloque como en su relación con el resto del SE.*
- La principal tarea del ingeniero es producir la documentación necesaria para que otras personas puedan construir y mantener el sistema completo:
 - *Diagramas de circuito, listas de componentes, parámetros de diseño, formas de onda o medidas en puntos clave, procedimientos de prueba,*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Control de revisiones

- 2014-11-06: versión inicial

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70