

Electrónica General y Aplicada

Industrial - Mecatrónica

1-a Introducción: La Electrónica en los procesos industriales

Este primer tema tiene por objetivo brindar una visión general de las ramas de la Electrónica que intervienen en las distintas etapas de la automatización e informatización de procesos industriales. La mayoría de ellas serán abordadas en las distintas unidades de la asignatura.

ESPECIALIDADES DE LA ELECTRÓNICA EN LA INDUSTRIA

| | | |
|-------------------------------|--|----|
| Electrónica Analógica y mixta | Diodos-Transistores | U1 |
| | Amplificadores operacionales | U5 |
| | Conversión A/D y D/A | U6 |
| Electrónica Digital | Compuertas digitales | U3 |
| | Combinacionales | |
| | Secuenciales | |
| | Memorias | |
| | Microprocesadores – microcontroladores | U4 |
| Electrónica de Potencia | Dispositivos de potencia | U2 |
| | Circuitos de regulación de potencia | |
| | Cálculos térmicos | |
| Electrónica de Comunicaciones | Medio físico | U7 |
| | Sistemas de modulación - codificación | |
| | Protocolos de comunicación | U8 |

Ejemplo de planta industrial: Planta de envasado en industria vitivinícola



Planta de envasado en industria vitivinícola



Cada etapa del proceso (llenado, etiquetado, capsulado) es realizado en “islas automatizadas”. Cada isla está controlada por equipos electrónicos (PLC, PID etc).

Un sistema de comunicación entre estos equipos permite una supervisión integral de los procesos.

Ejemplo de planta industrial: Industria láctea

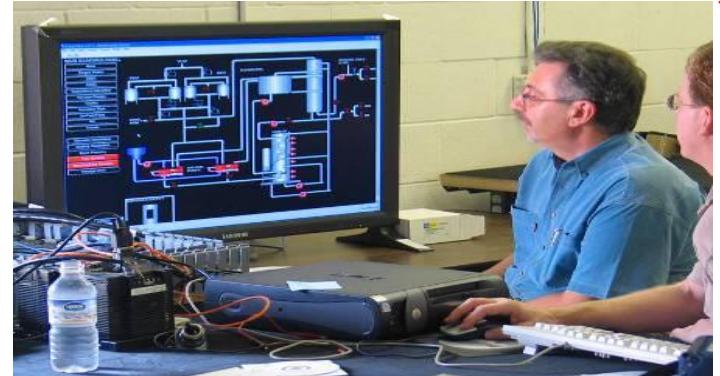


En cada cuba se automatiza la agitación y el calentamiento controlando la velocidad, la temperatura y el tiempo. Habrá elementos de medición o “sensores” (de temperatura, de velocidad etc) y elementos de accionamiento o “actuadores” (motores, resistencias de calentamiento eléctrico o válvulas de paso de gas etc)

Nivel de proceso y nivel de supervisión



Nivel de supervisión

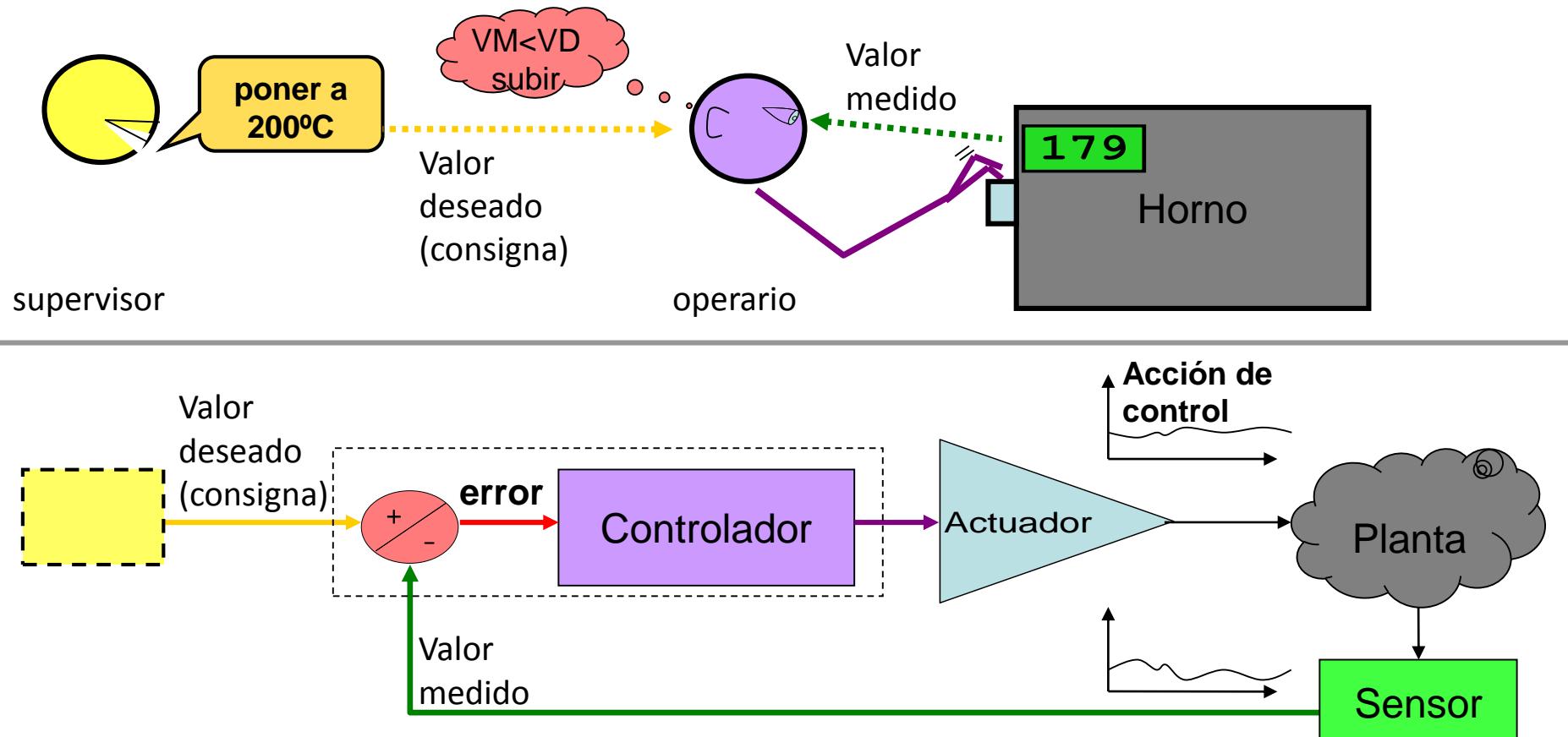


Nivel de proceso



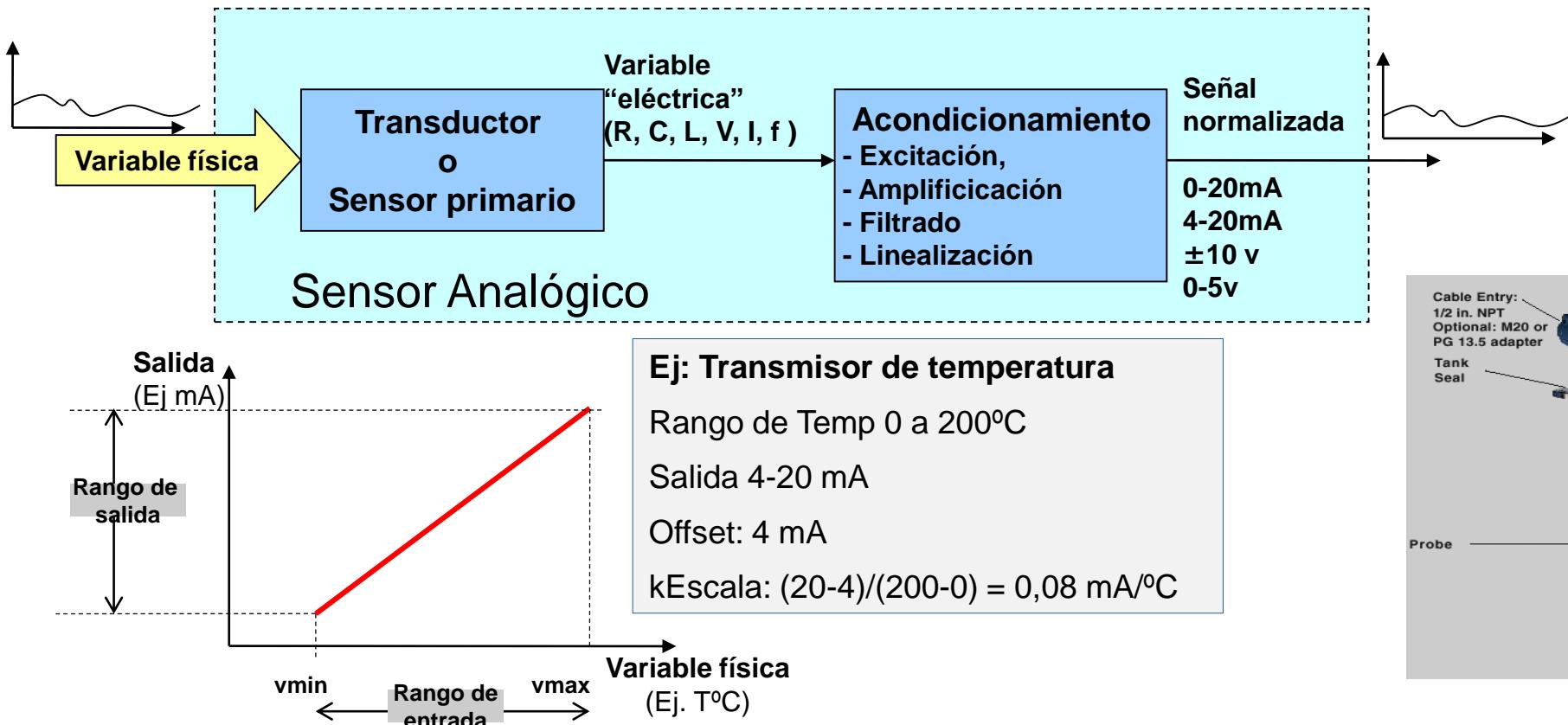
Para la supervisión integral de los procesos se requiere que los controladores de cada proceso estén comunicados con un equipo supervisor, normalmente una o más computadoras ejecutando un software de supervisión (SCADA). Esta comunicación se realiza mediante una red de datos.

Automatización de un proceso...



Semejanzas entre un proceso manual y un proceso automatizado. Los elementos homólogos se muestran en el mismo color

Sensor analógico



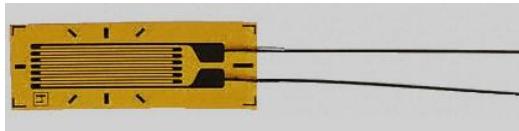
El **sensor analógico** es el elemento que produce una variable eléctrica (corriente, voltaje) **análoga** (proporcional) a una variable física (temperatura, presión, caudal etc). Consta de un transductor (sensor primario) y un circuito electrónico de **acondicionamiento**.

Transductor

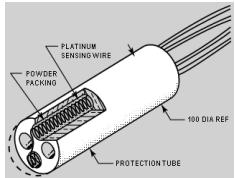
Acondicionamiento

→ Sensor

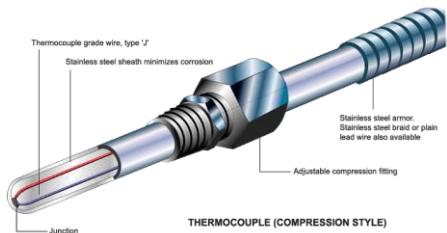
Fuerza-presión



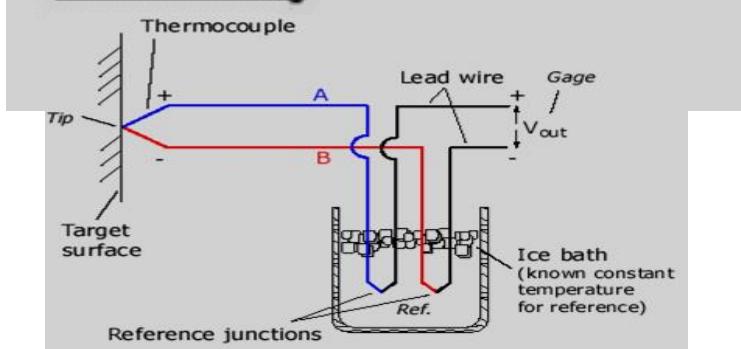
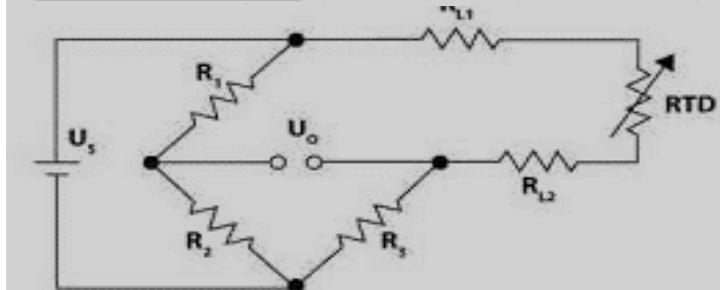
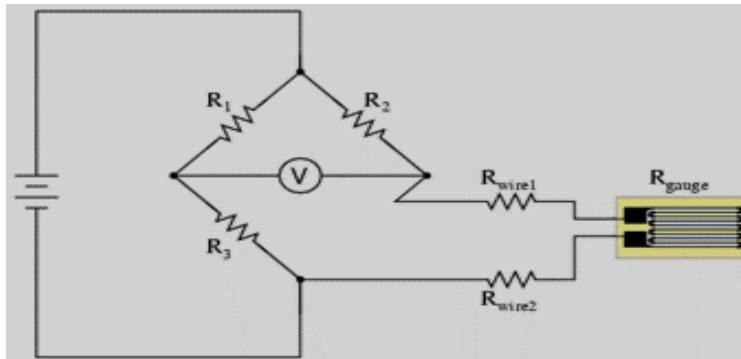
Strain gauge
(120 ohm,
350 ohm)



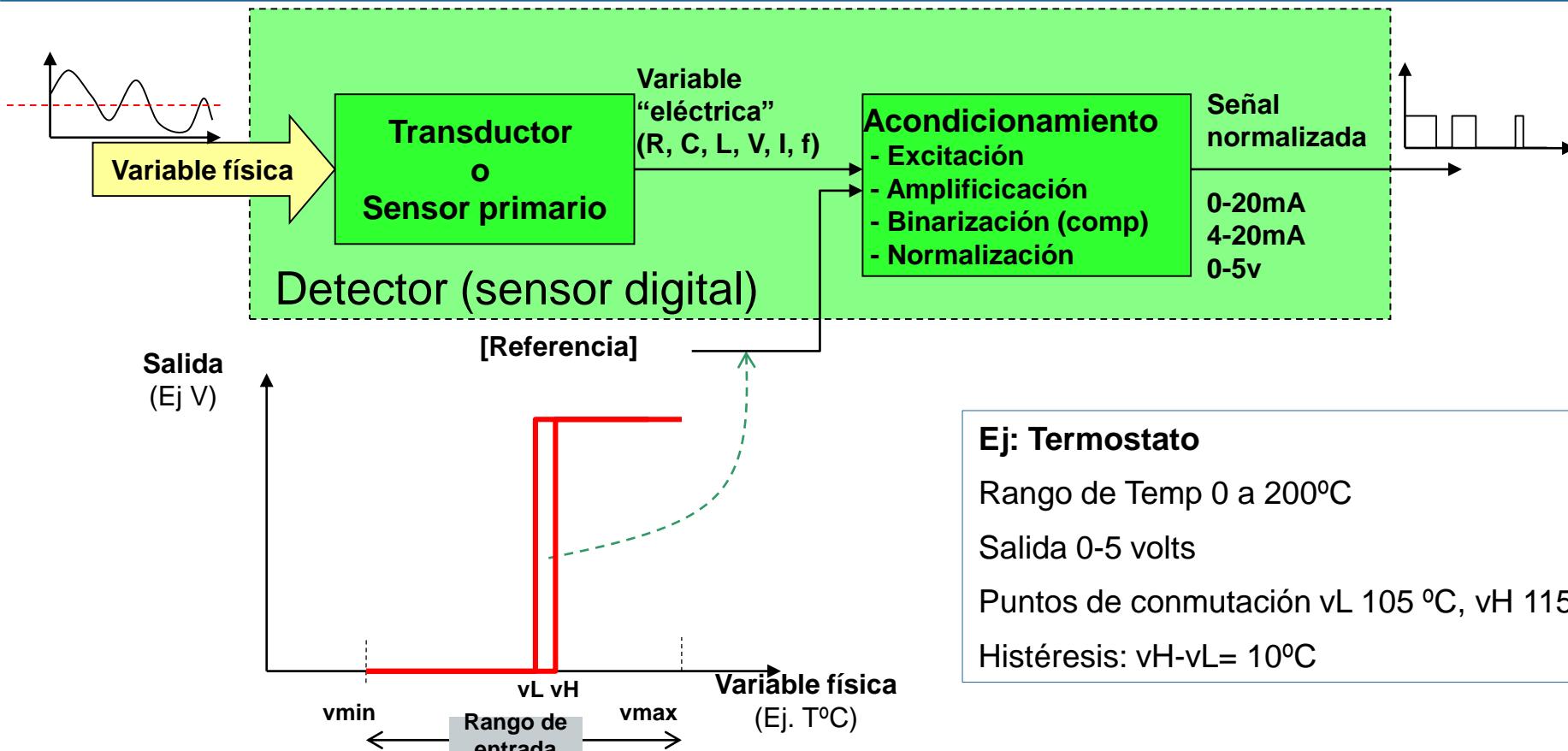
RTD (PT100)



Termocupla



Sensor digital



El **sensor digital o detector** produce una variable eléctrica digital (voltaje alto-bajo, contacto abierto-cerrado) según la variable física de entrada sea superior o inferior a un valor de **referencia**.
Ej: termostato, presóstato, sensores de proximidad etc.

Sensores y Transmisores industriales



Transmisor de Temperatura



Transmisor de Presión



Transmisor de Nivel



Caudalímetro por ultrasonido



Caudalímetro por electromagnetismo

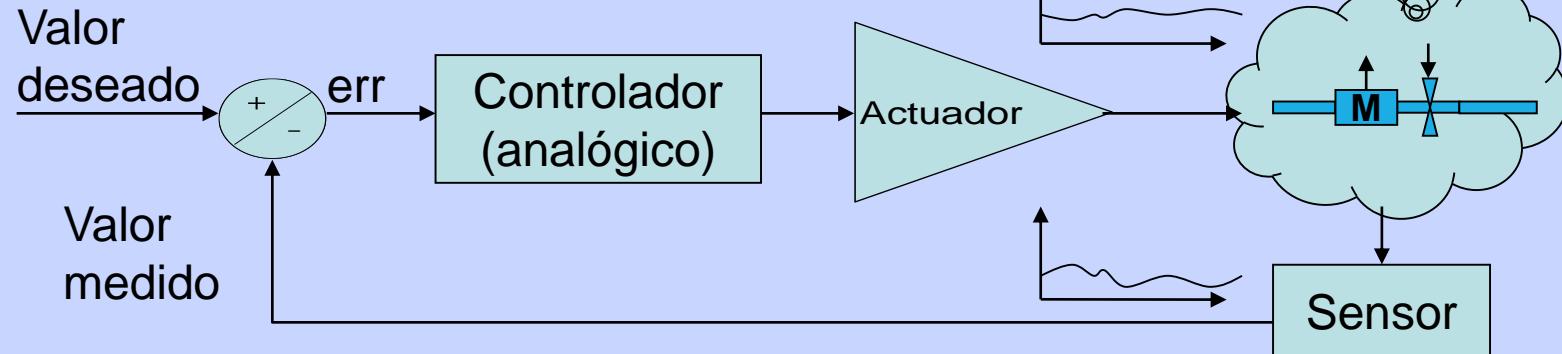


Caudalímetro másico

Se llaman transmisores (de temperatura, presión, caudal, nivel etc) a los sensores que producen como salida una corriente normalizada (0-20mA ó 4-20mA). La señal en **corriente** es más inmune que la señal de voltaje a los ruidos inducidos y a las caídas de tensión en los conductores.

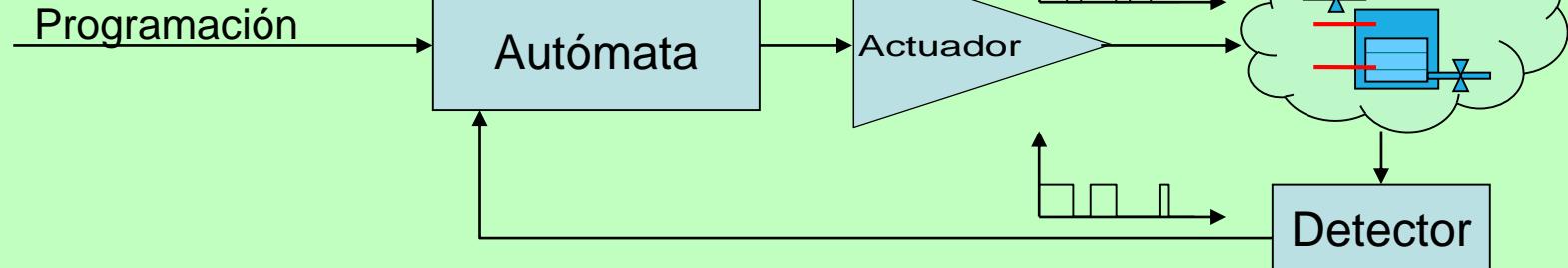
Automatización de un proceso...

Proceso de variable continua



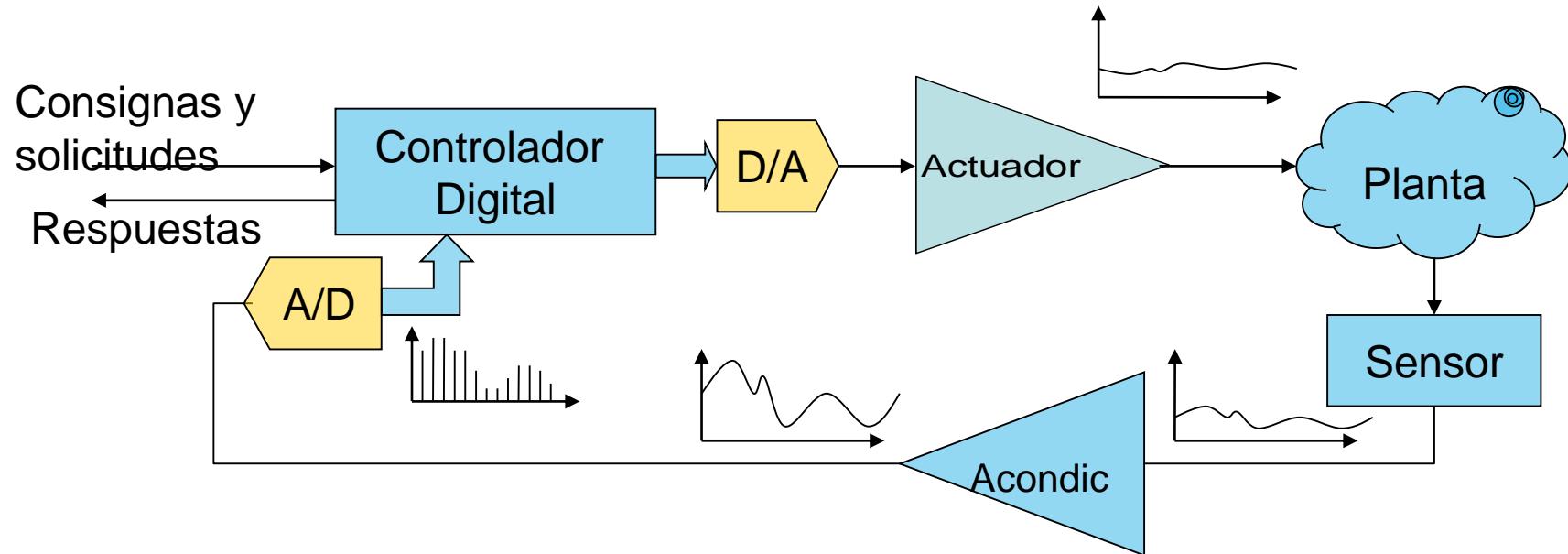
Para controlar los procesos de **variable continua o analógica**, antes del auge de los sistemas digitales, se utilizaban circuitos analógicos (amplificadores, sumadores, restadores filtros etc).

Proceso todo-nada



El control de proceso Todo-Nada (también llamado ON-OFF) es más simple. Se utilizan detectores, y un circuito lógico. Antes se implementaba con lógica de llaves (relés). Actualmente con microprocesadores.

Automatización digital de un proceso de variable continua



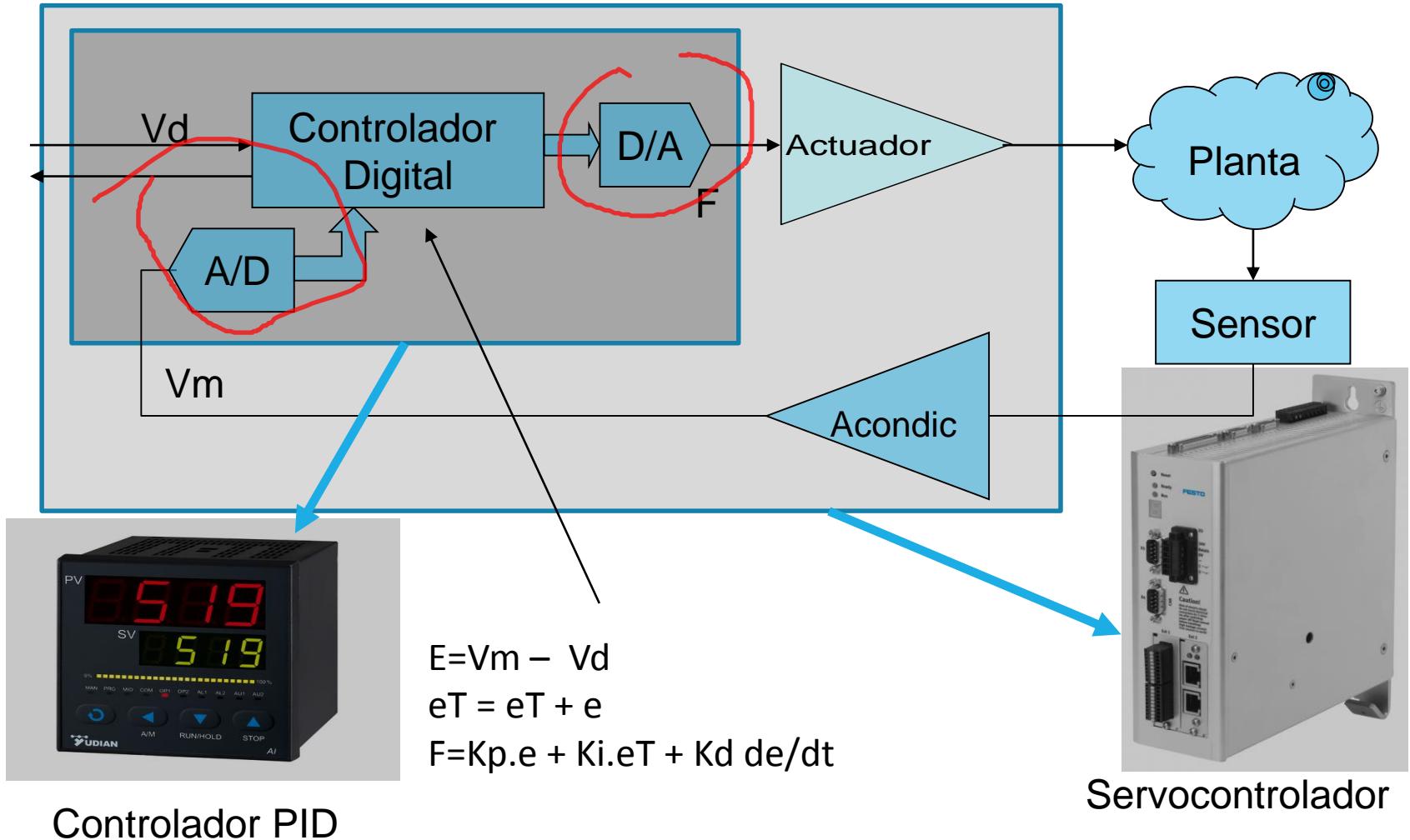
A/D: Conversor analógico-digital. Convierte un voltaje en un número binario proporcional.

D/A: Conversor digital-analógico. Convierte un número binario en un voltaje proporcional

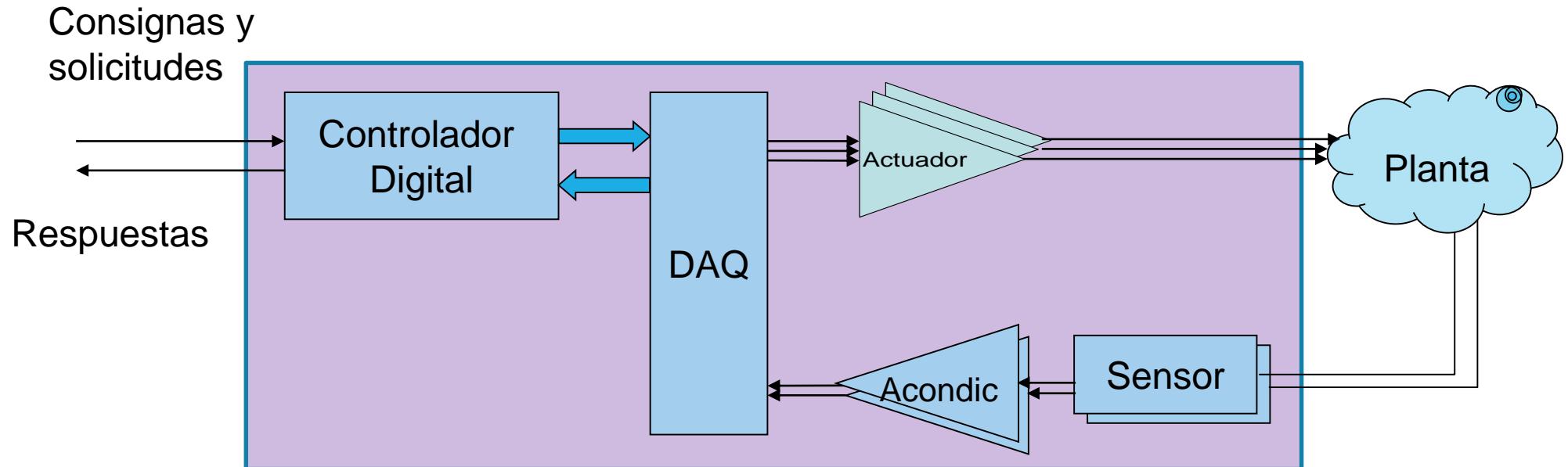
Proceso de 1 variable continua o analógica (temperatura, presión, caudal, nivel, velocidad, posición etc)

El controlador digital es normalmente un microprocesador que ejecuta algoritmos de control. A diferencia del controlador analógico, no se desajusta, puede ser reprogramado y puede comunicarse con otros equipos.

Automatización digital de un proceso de variable continua



Automatización digital de procesos de múltiples variables



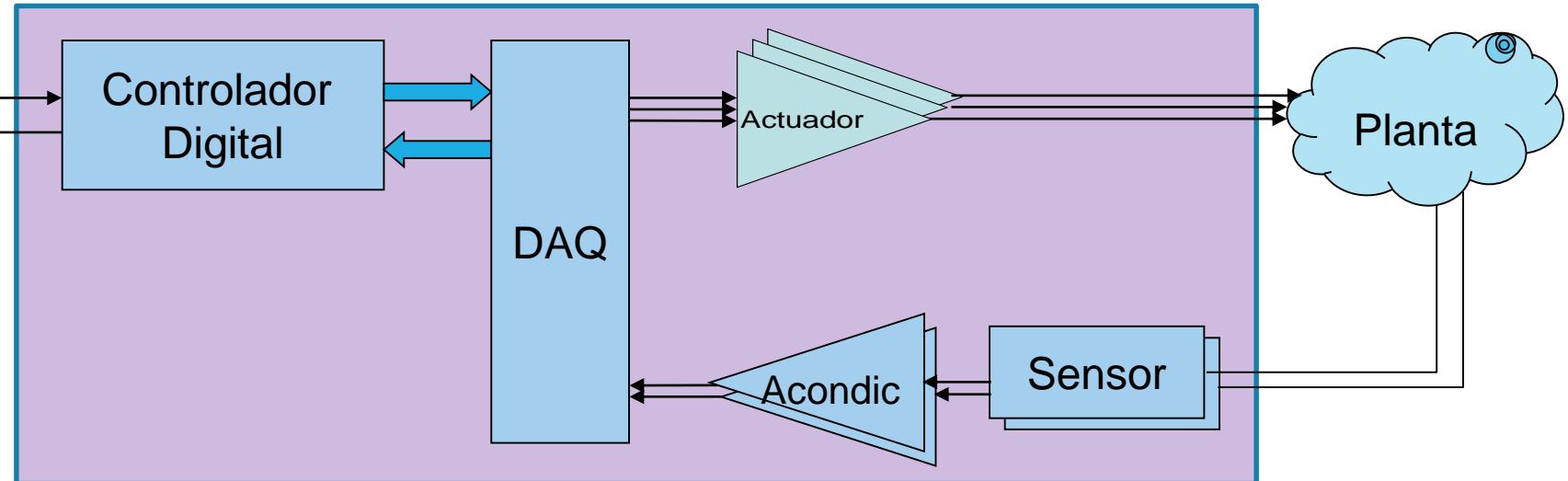
DAQ: *Data Acquisition*. Sistema de adquisición de datos de múltiples entradas y salidas, analógicas (mediante AD y DA) y tipo *todo-nada*.

Muchos procesos son multi-variables, y éstas están interrelacionadas (Por ejemplo la cuba de agitación y calentamiento vista antes, una caldera etc). El controlador digital (microprocesador o microcontrolador) facilita el control de este tipo de procesos.

Automatización digital de procesos de múltiples variables

Consignas y solicitudes

Respuestas



PLC

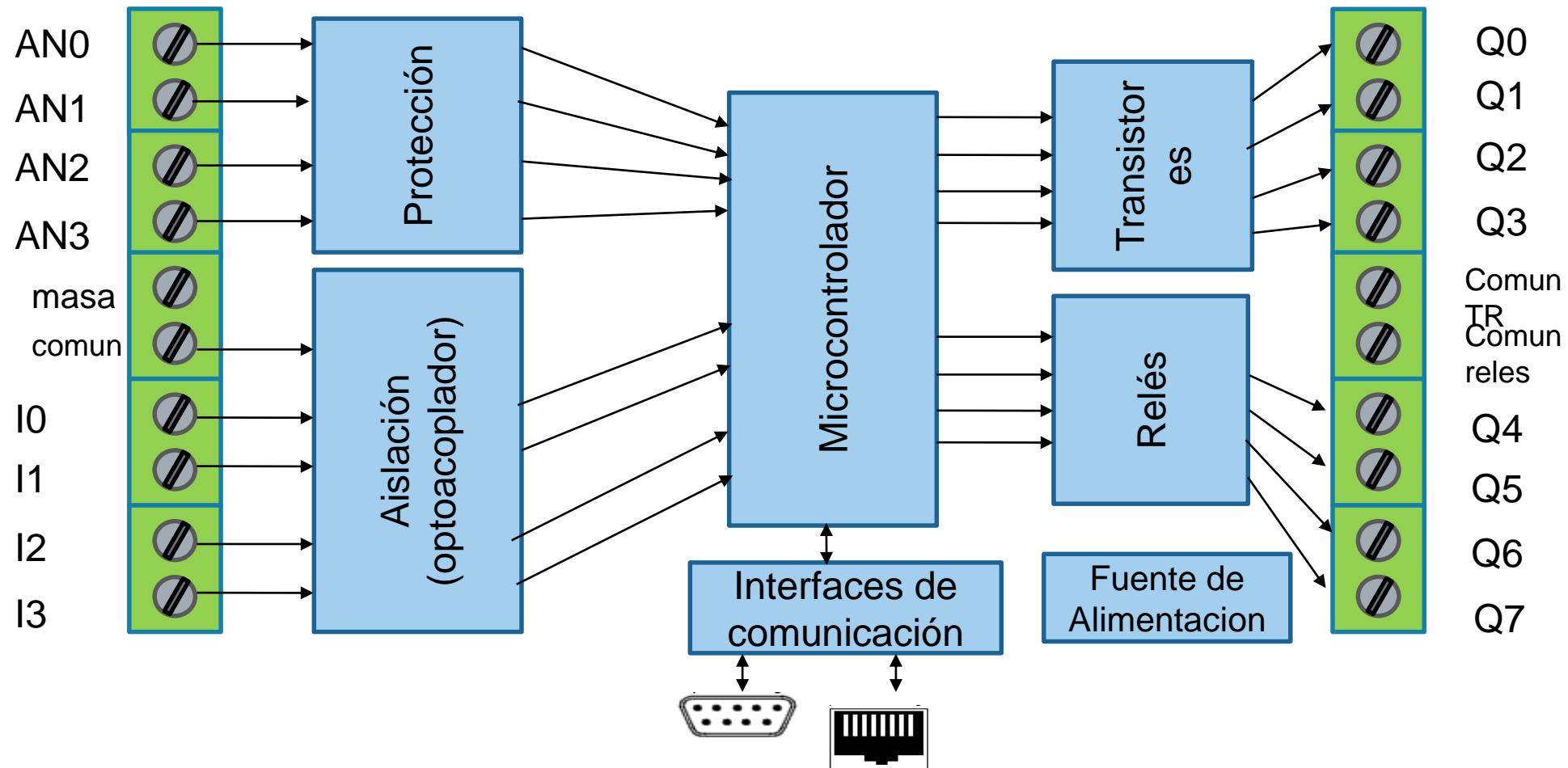


Relé inteligente



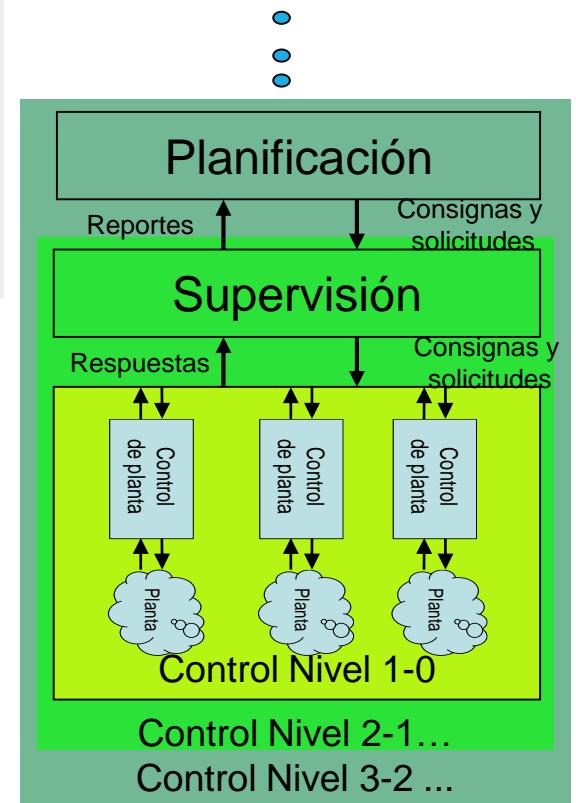
Panel táctil-PC industrial

Estructura interna de un controlador industrial típico



Control integral

Gerencia
Planificación
Supervisión
Control de procesos
Campo



Los controladores digitales pueden ser conectados en red para tener un control integral de los procesos (supervisión). El supervisor será comúnmente una computadora ejecutando una aplicación de Supervisión, Control y Adquisición de datos (SCADA).

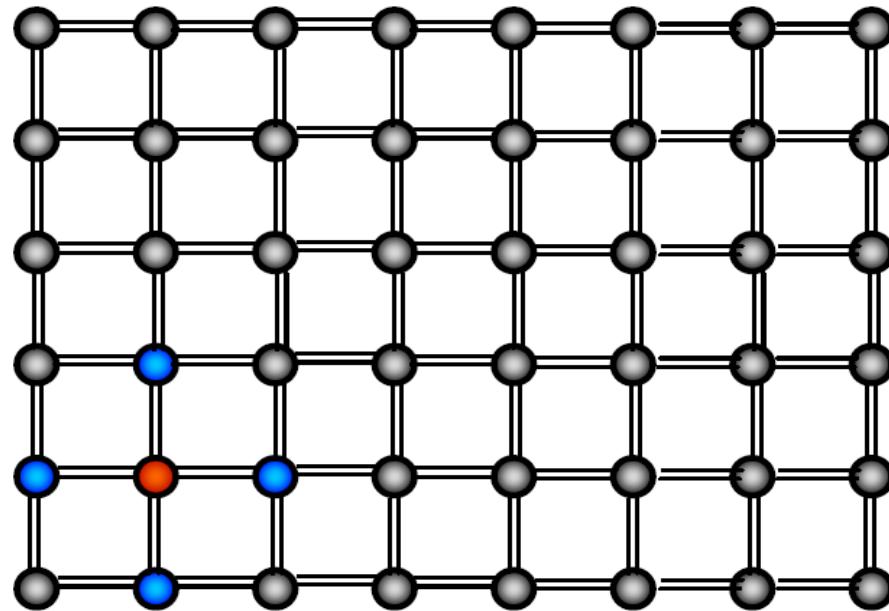
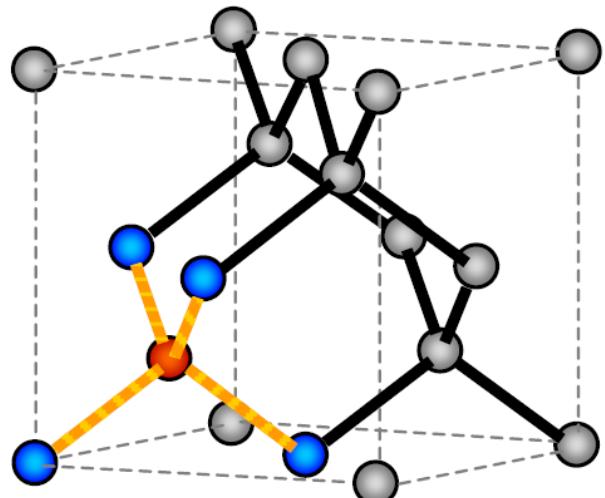
Resumen: Elementos electrónicos en la automatización industrial

| | | | |
|--------------------|-----------------------------|---|-------|
| Control de proceso | Sensor | Transductor | |
| | | Acondicionamiento | U1-U5 |
| | | Transmisión analógica o digital (ON-OFF) | U7 |
| | Controlador | Entrada analógica o digital | U6 |
| | | Muestreo/Digitalización (A/D) | U6 |
| | | Procesamiento (algoritmos de control) | U3-U4 |
| | | Salida analógica o digital (D/A) | U6 |
| | | Comunicación con supervisor u otros controladores | U7-U8 |
| | Actuador | Aislación | U6 |
| | | Amplificación de potencia | U2 |
| | | Actuador primario | |
| Supervisión | Comunicación | Medio físico, protocolos | U7-U8 |
| | Software | SCADA, otras aplicaciones | U9 |
| | Interfaz H-M | | |
| Otras tareas | Planificación, Gerencia etc | | |

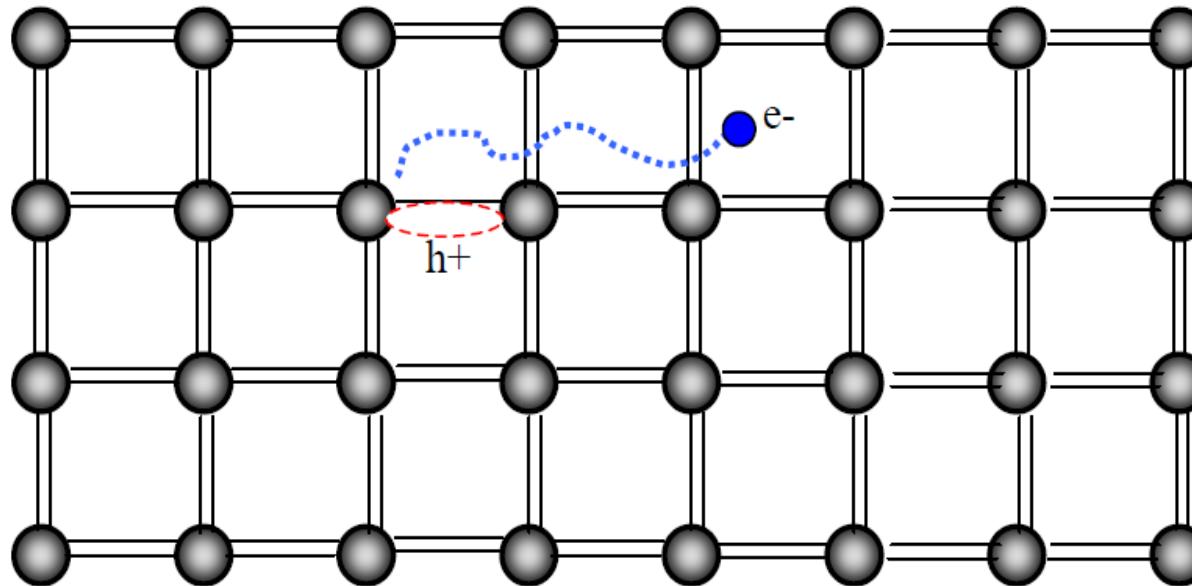
1.B Física de semiconductores

El objetivo de este tema es conceptualizar los procesos físicos fundamentales que permiten explicar correctamente el funcionamiento de los principales dispositivos electrónicos

ESTRUCTURA CRISTALINA DE C, Si y Ge



Electrones y Huecos - Generación y recombinación



$$\text{Generación térmica } G = K_G \cdot T$$

[portadores/(cm³.segundo)]

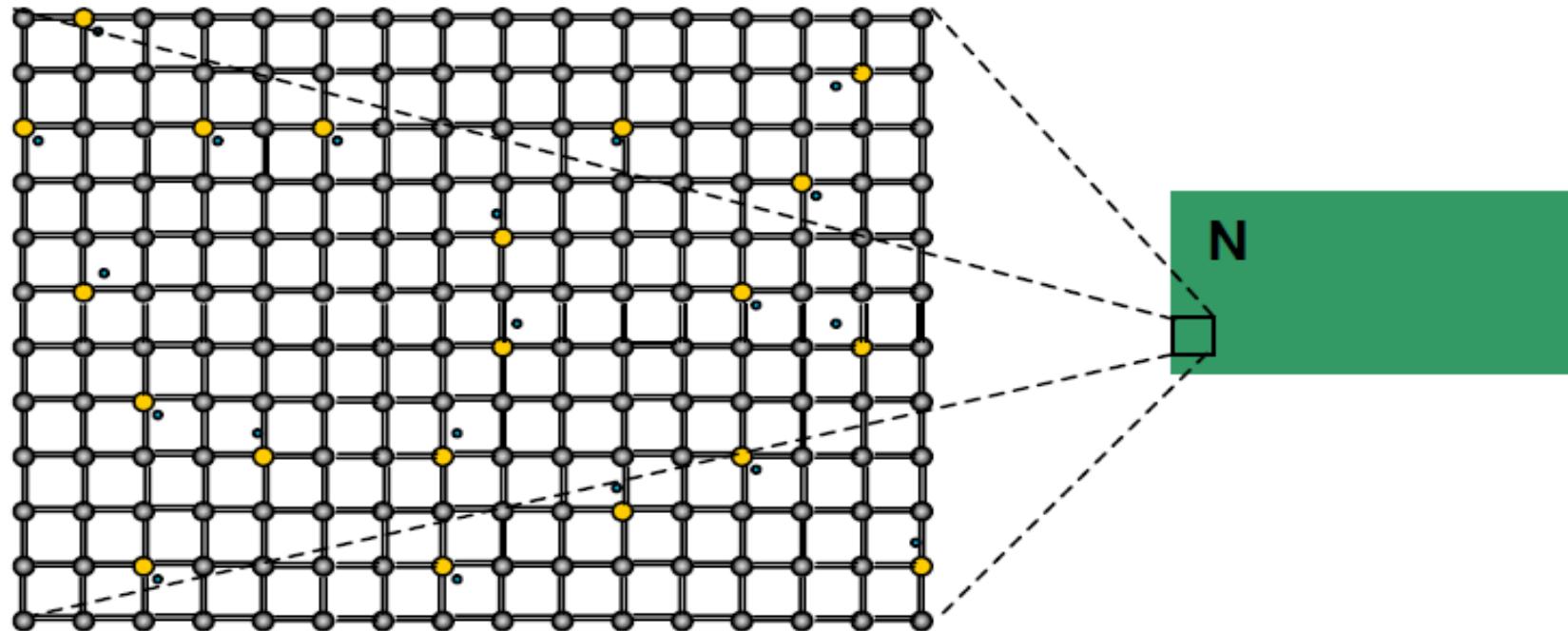
$$\text{Recombinación } R = K_R \cdot n_i \cdot p_i$$

[portadores/(cm³.segundo)]

$$\text{En el equilibrio } G=R \quad K_G \cdot T = K_R \cdot n_i \cdot p_i \quad n_i = p_i \cong 10^{-12} (\text{Si})$$

Semiconductor tipo N

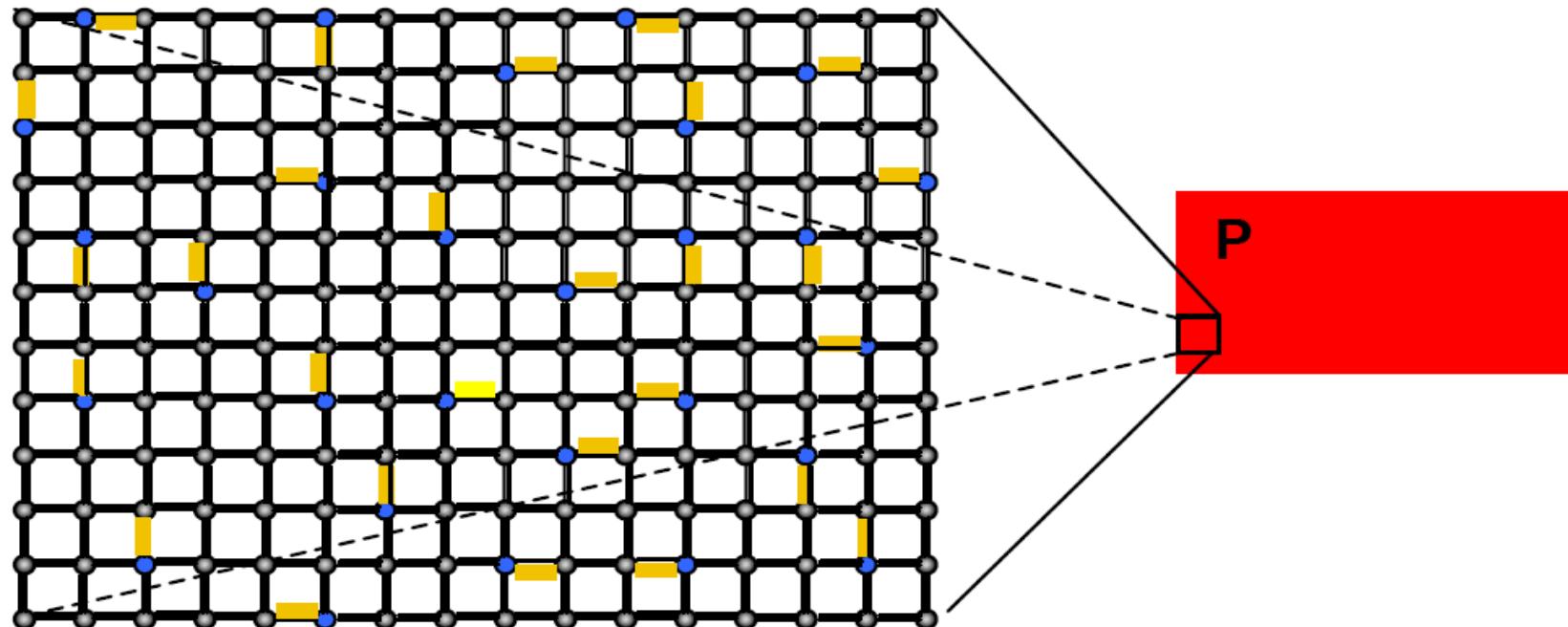
Si (G IV) por P, As (GV)



$$K_G \cdot T / K_R = \mathbf{n} \cdot \mathbf{p} = n_i \cdot p_i = 10^{-24} \text{ si } \mathbf{n} = 10^{-6} \text{ será } \mathbf{p} = 10^{-18}$$

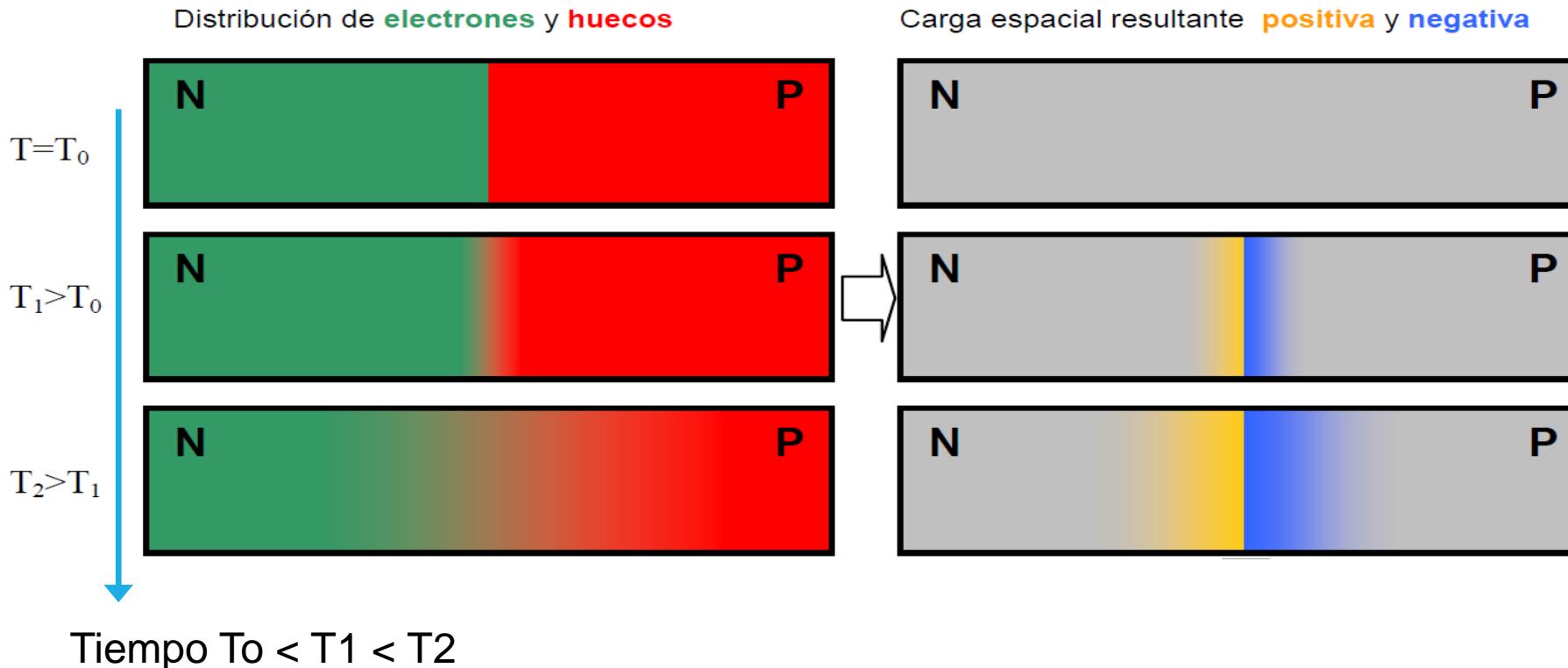
Semiconductor tipo P

Si (G IV) por B, Al, Ga, In (G III)

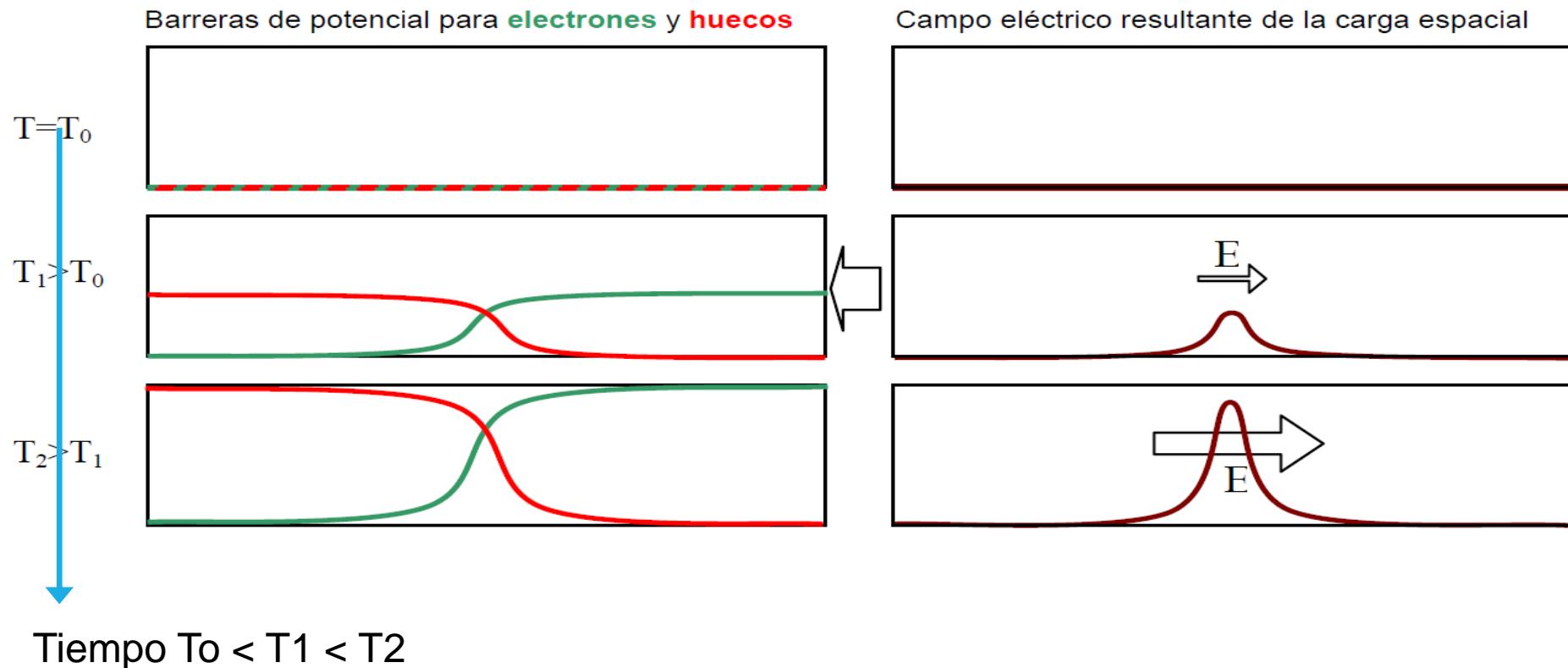


$$K_G \cdot T / K_R = \mathbf{n} \cdot \mathbf{p} = n_i \cdot p_i = 10^{-24} \text{ si } p = 10^{-6} \text{ será } \mathbf{n} = 10^{18}$$

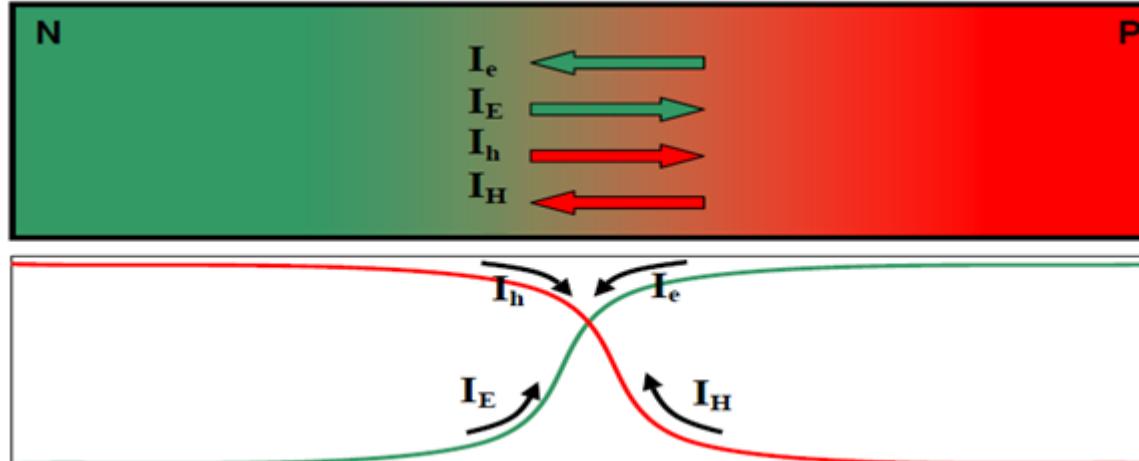
Juntura P-N – portadores y carga espacial



Juntura P-N – campo eléctrico y barreras de potencial



Juntura P-N – corrientes



- 1) **Electrones minoritarios** de la zona P, generados térmicamente en la vecindad o dentro de la zona de deplexión, son impulsados hacia la zona N, donde transitarán libremente. A nivel macroscópico forman la I_e
- 2) **Electrones mayoritarios** de la zona N con suficiente energía para remontar el campo eléctrico adverso y llegar a la zona P, se recombinarán con uno de los tantos huecos que hay en la región P más allá de la desértica zona de deplexión. A nivel macroscópico forman una corriente I_E
- 3) **Huecos minoritarios** de la zona N, generados térmicamente en la vecindad o dentro de la zona de deplexión son atraídos hacia la zona P, donde transitarán libremente. A nivel macroscópico forman una corriente I_h
- 4) **Huecos mayoritarios** de la zona P con suficiente energía para remontar el campo eléctrico adverso y llegar a la zona N, se recombinarán con uno de los tantos electrones que hay en la región N más allá de la zona de deplexión. A nivel macroscópico constituyen una corriente I_H

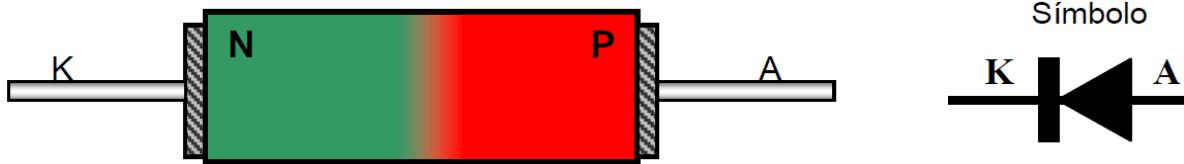
$$I_e + I_h = I_s \quad \text{I de saturación}$$

$$I_E + I_H = I_R \quad \text{I de recombinación}$$

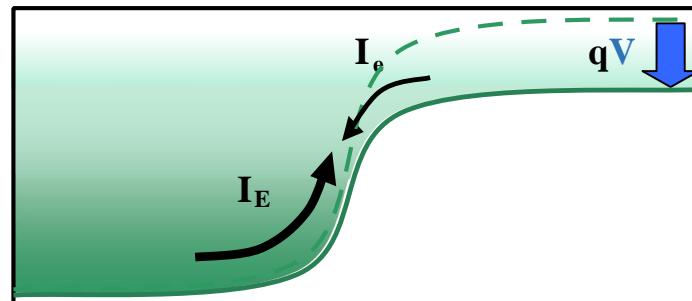
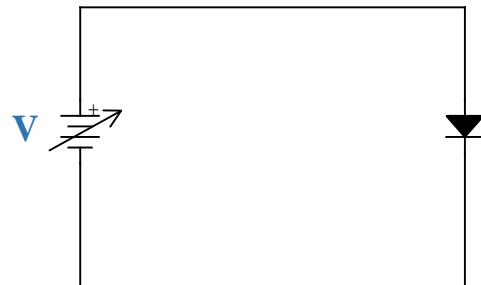
$$\begin{aligned} |I_{R0}| &= |I_s| \\ I &= |I_{R0}| - |I_s| = 0 \end{aligned}$$

1.C Diodo. Rectificadores monofásicos

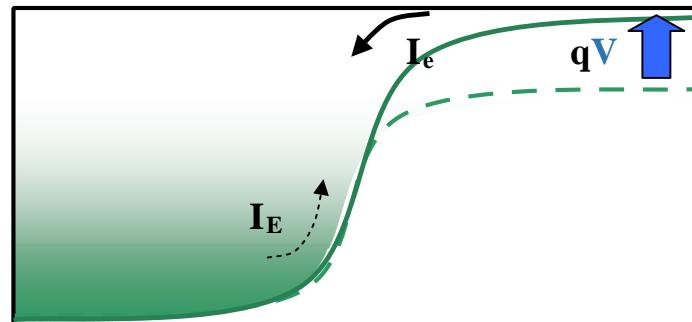
Diodo P-N: Polarización



polarización directa



polarización inversa



Diodo P-N – Curva V-I

$$I_R = I_{R0} \cdot e^{q \cdot V / K \cdot T}$$

$$I = I_R - I_S = I_{R0} \cdot e^{q \cdot V / K \cdot T} - I_S = I_S \cdot (e^{q \cdot V / K \cdot T} - 1)$$

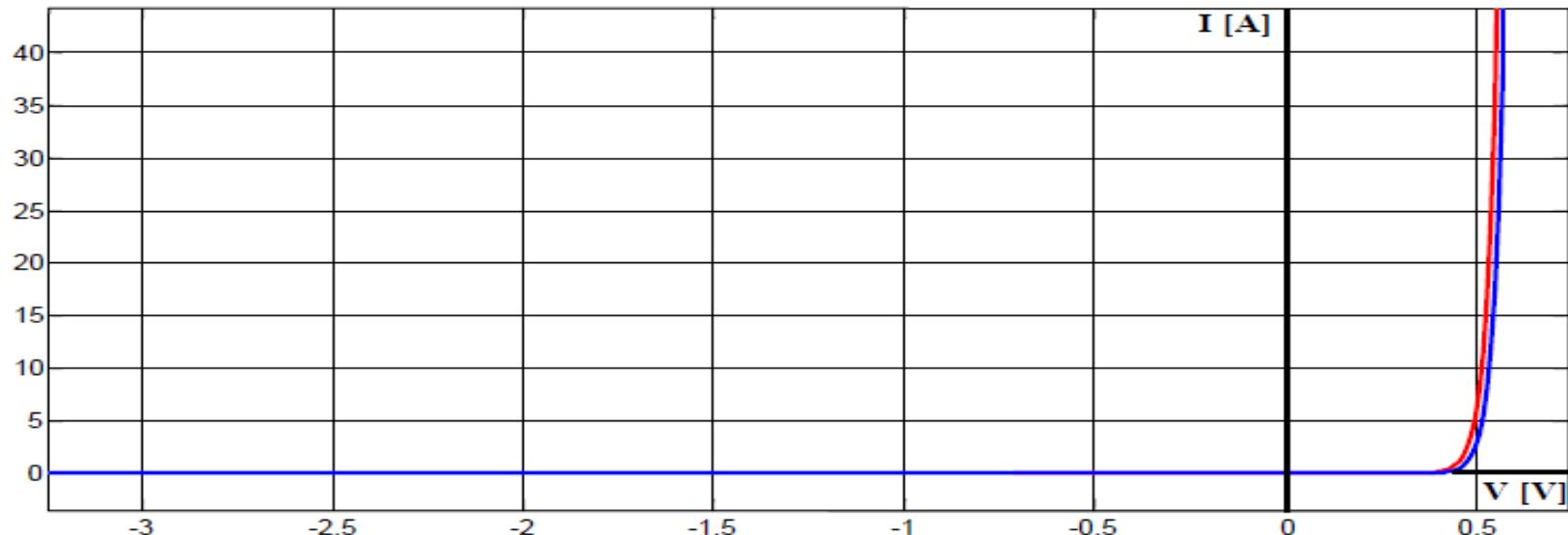


Figura 11: Corriente del diodo en función de la tensión aplicada,
con $T=300^\circ\text{K}$ (azul) y $T=310^\circ\text{K}$ (rojo)

Diodo P-N – Modelos aproximados

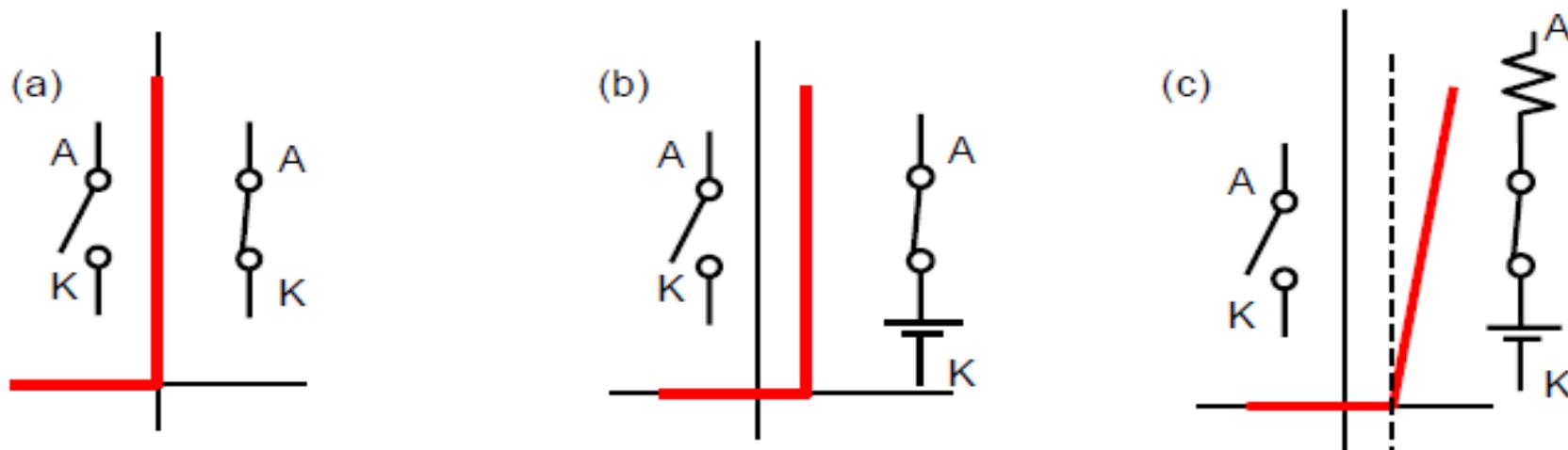
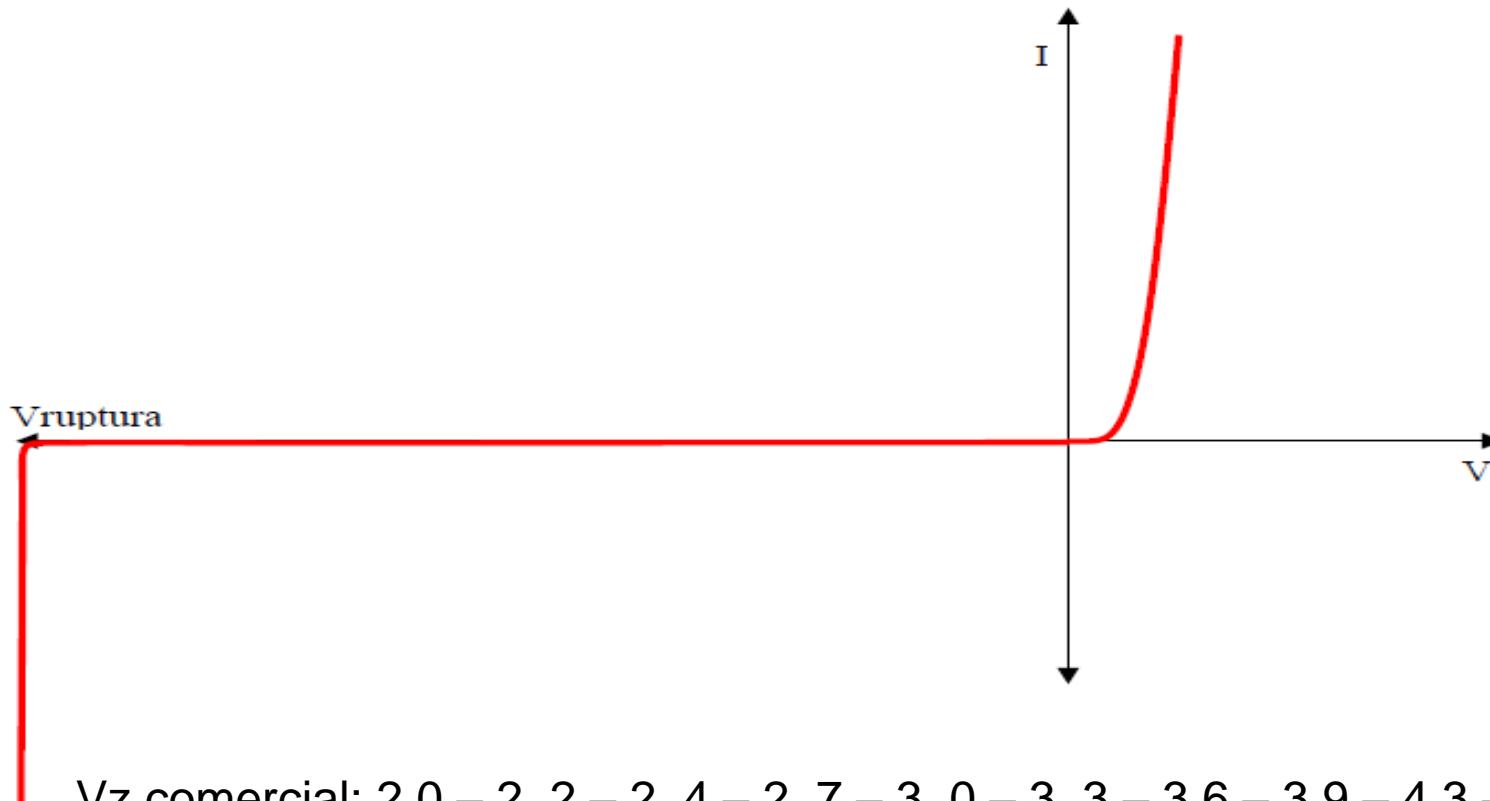


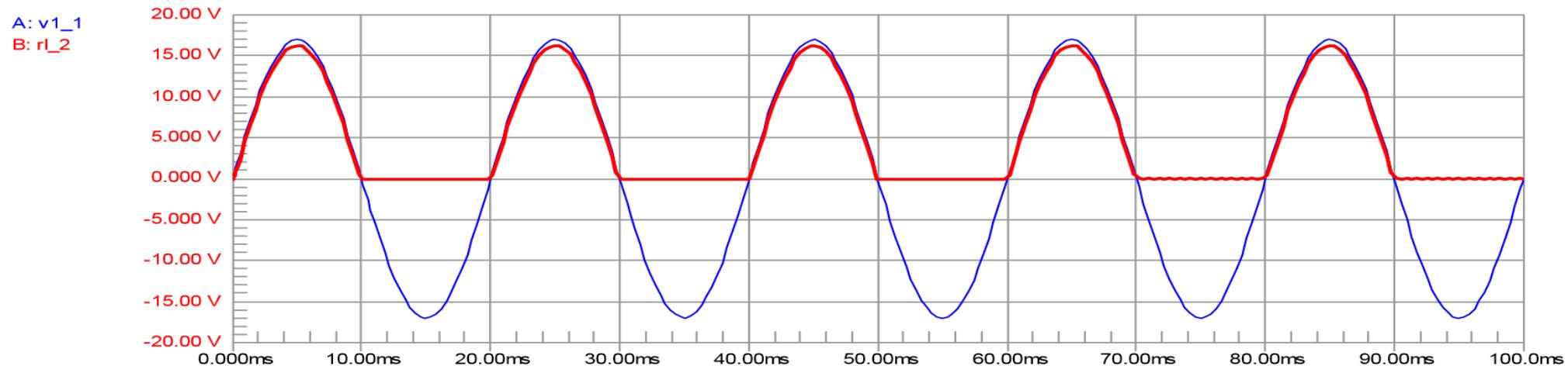
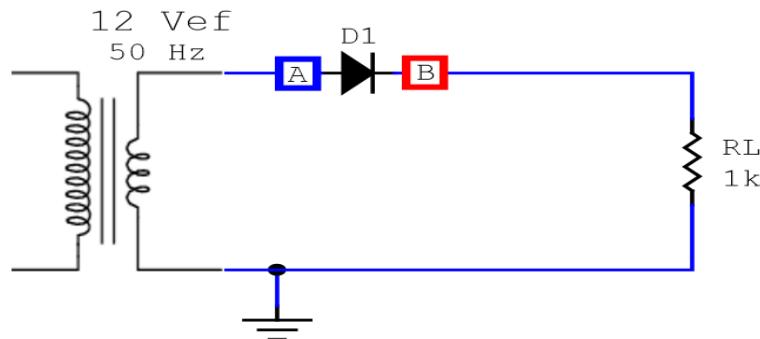
Figura 12: Modelos aproximados del diodo. (a) Primera aproximación, (b) Segunda aproximación (considerando V_{ON}), (c) Tercera aproximación (considerando V_{ON} y R_{ON})

Efecto Zener y efecto avalancha

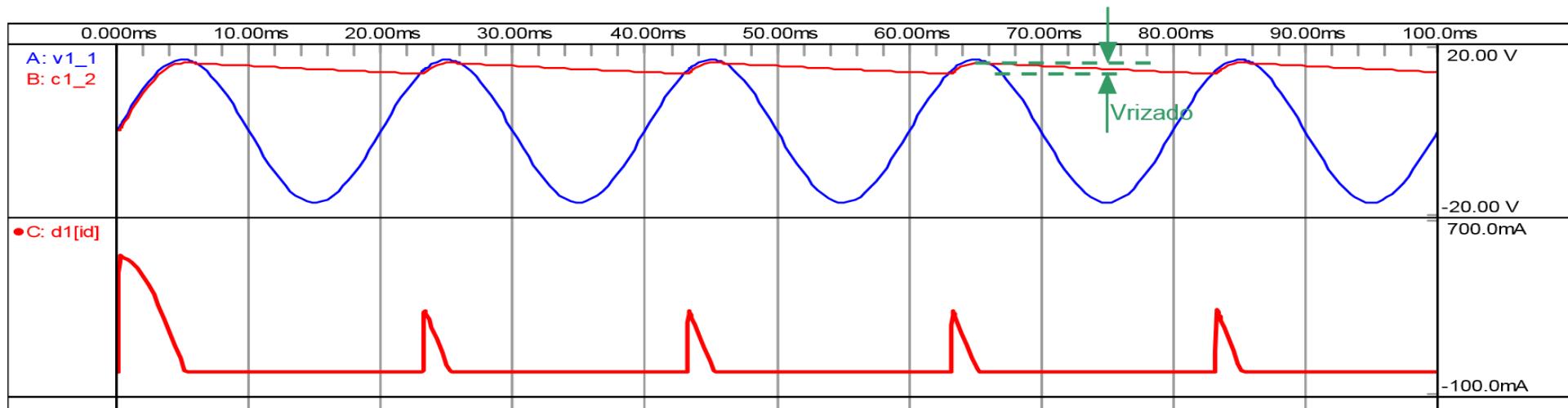
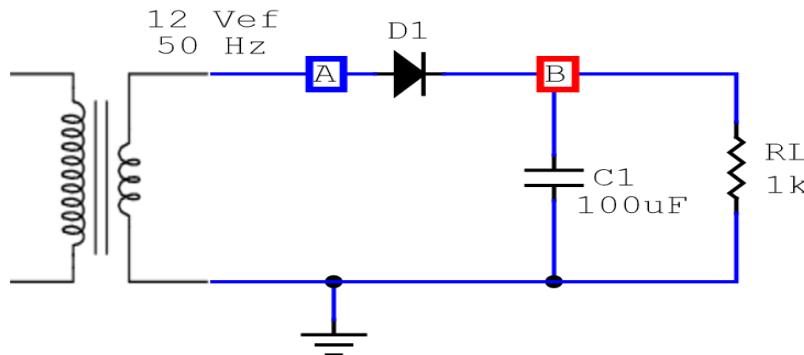


V_z comercial: 2,0 – 2,2 – 2,4 – 2,7 – 3,0 – 3,3 – 3,6 – 3,9 – 4,3 – 4,7 – 5,1 – 5,6 –.... 27 – 30 – 33 ... 200.

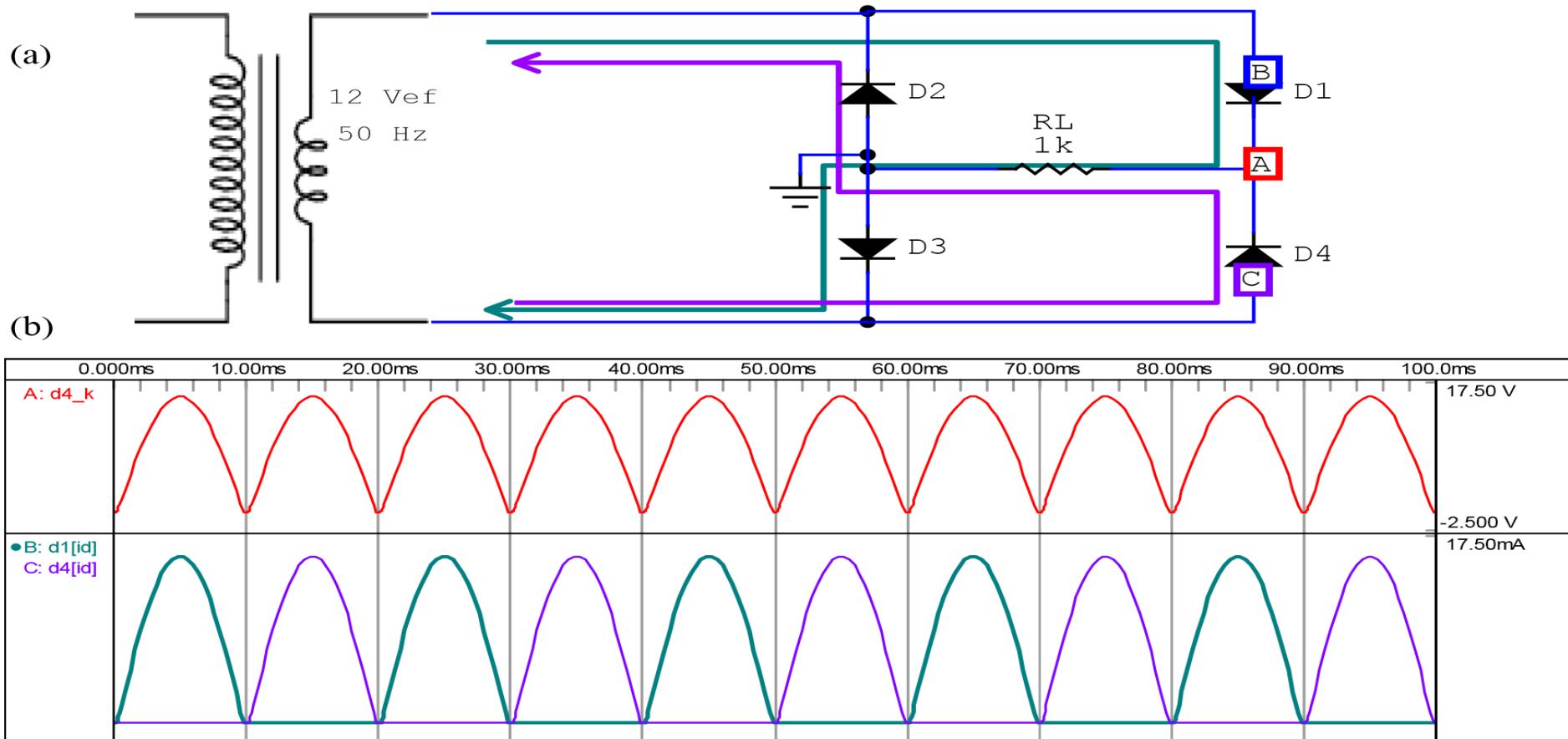
Rectificador de Media Onda



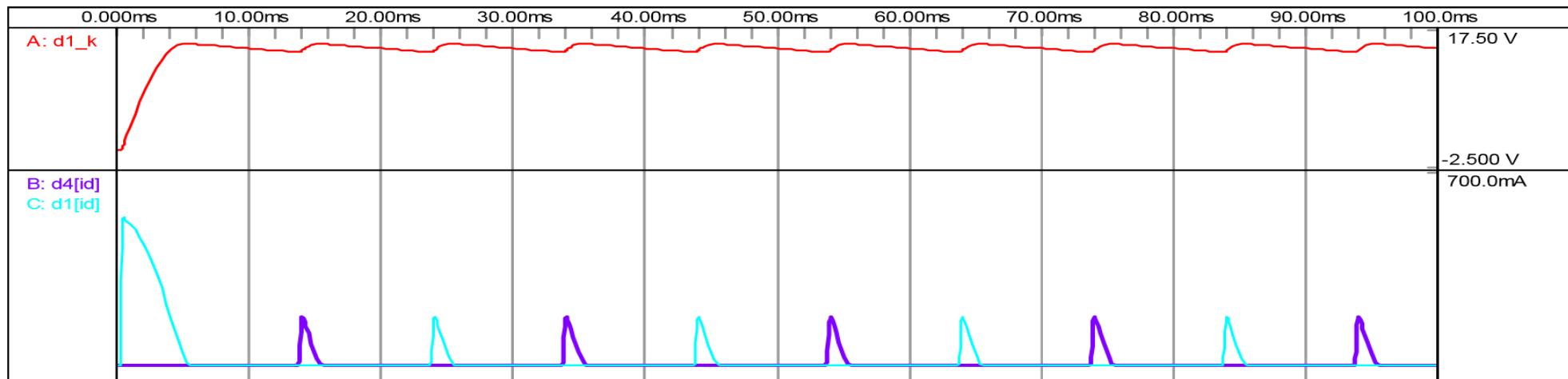
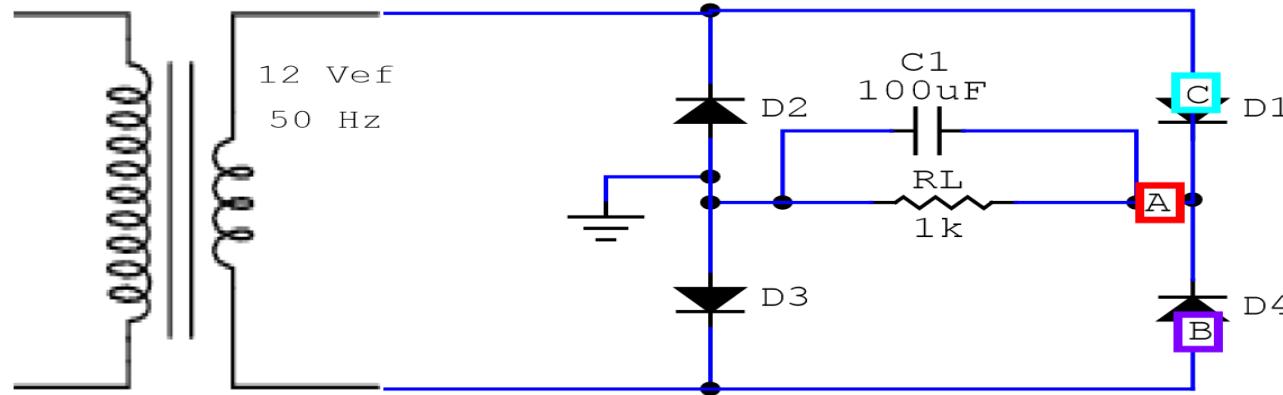
Rectificador de Media Onda – con capacitor



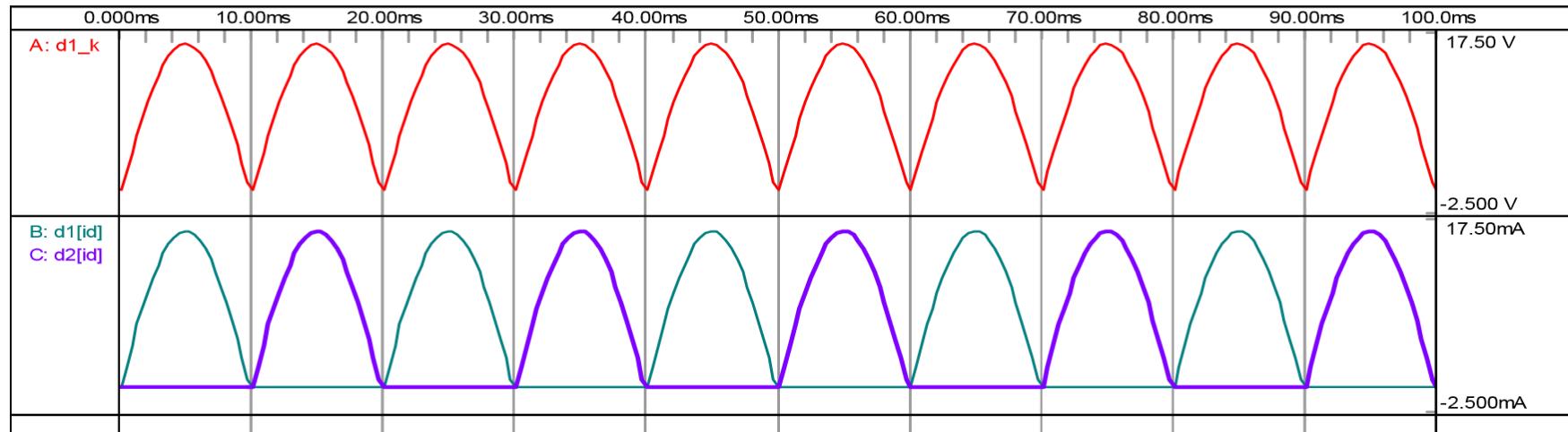
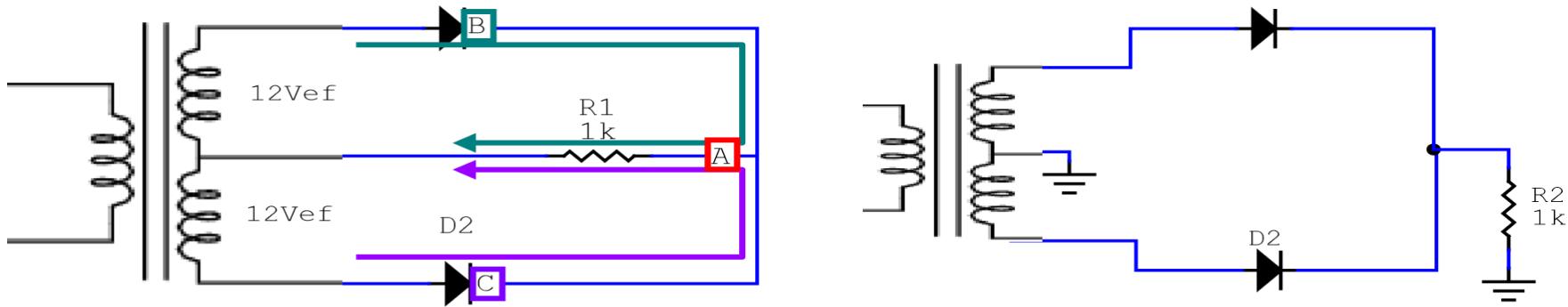
Rectificador de Onda Completa tipo Puente



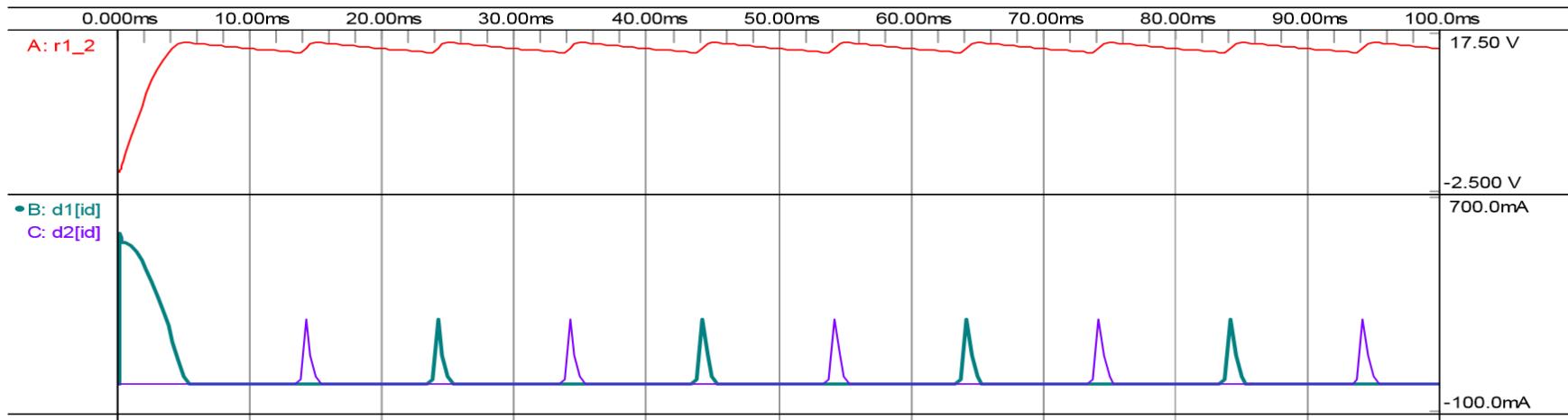
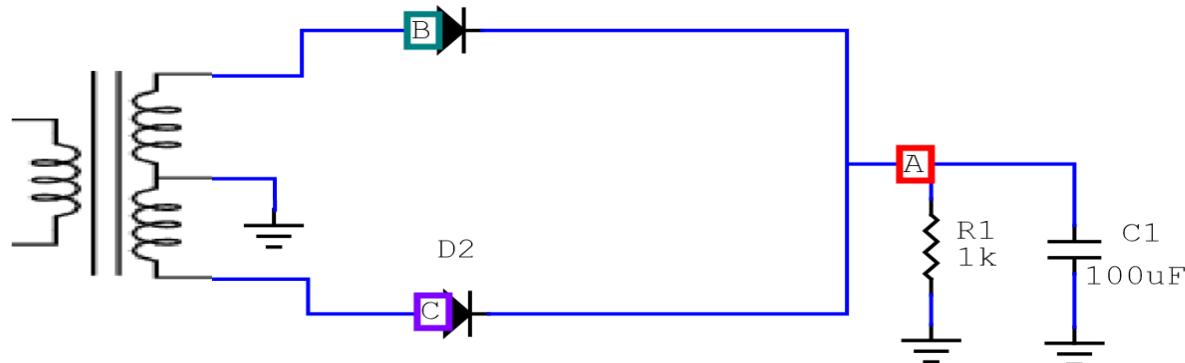
Rectificador de Onda Completa- Puente – con capacitor



Rectificador de Onda Completa-Con Transformador punto medio



R.O.C con transformador de punto medio – Con capacitor



1.D Transistor Bipolar

Dos junturas PN

Distribución de **electrones** y **huecos**



Carga espacial resultante **positiva** y **negativa**



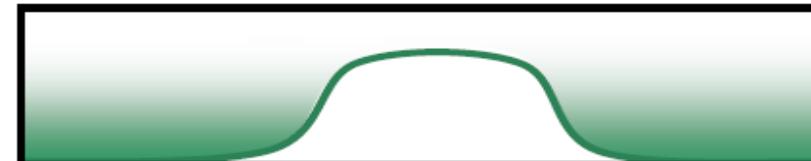
Campo eléctrico debido a la carga espacial



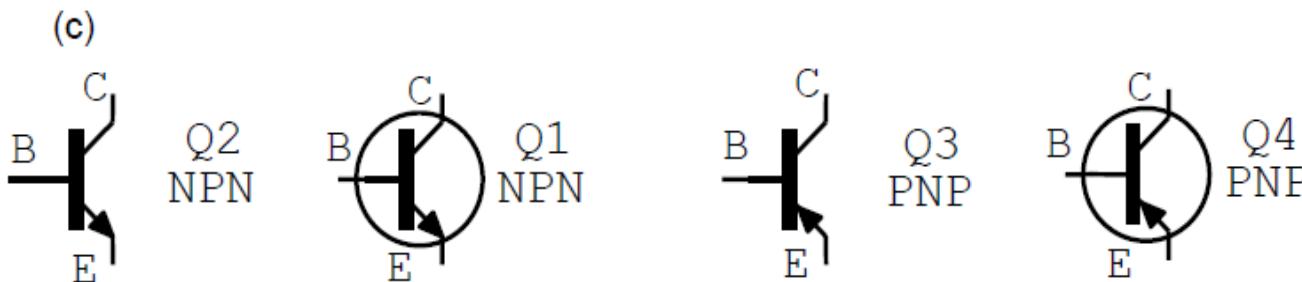
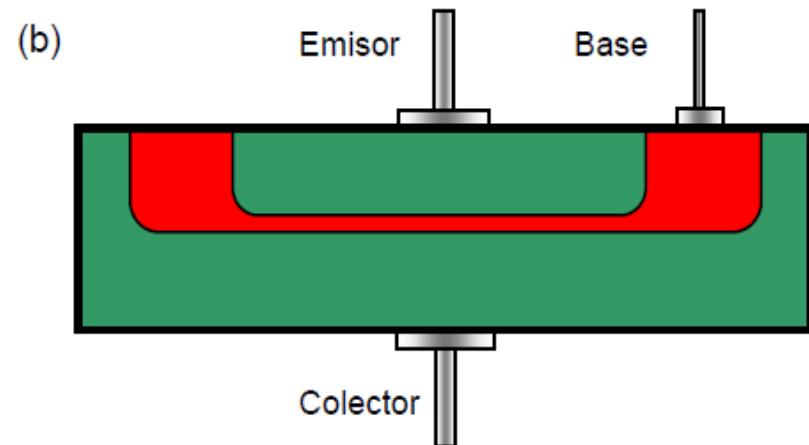
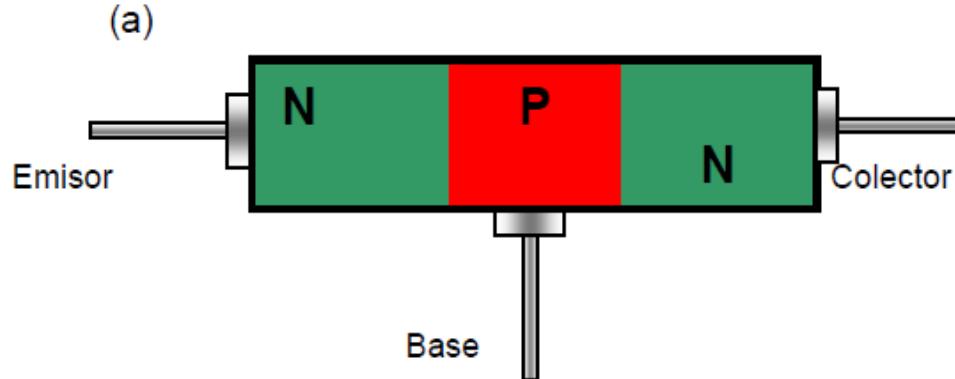
Barrera de potencial para electrones y huecos
Para los electrones de las zonas N la barrera es una especie de loma o compuerta de paso.



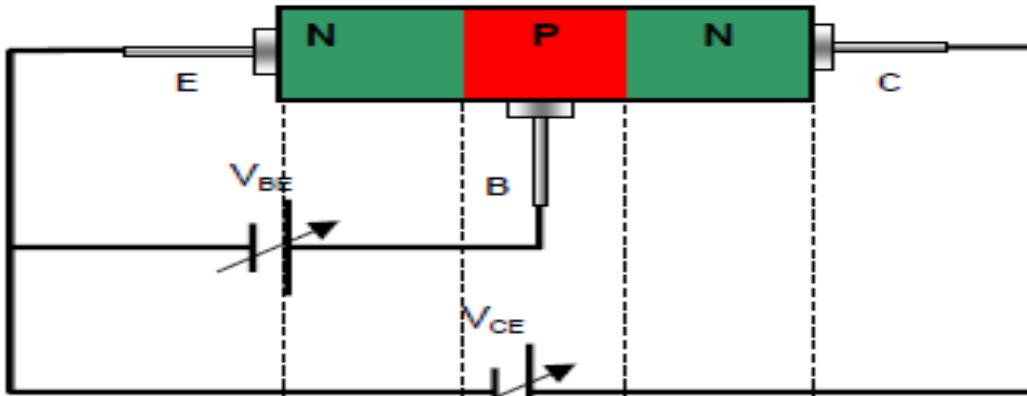
Regulando la altura de esta compuerta se logaría comunicar ambas zonas N, y los electrones pasarían hacia uno y otro lado.



Transistor bipolar

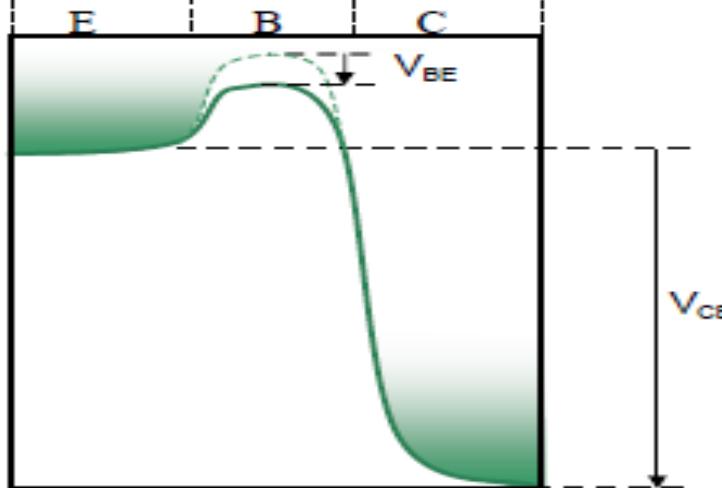


Polarización del transistor bipolar



$$I_E = I_C + I_B$$
$$\beta = I_C / I_B$$

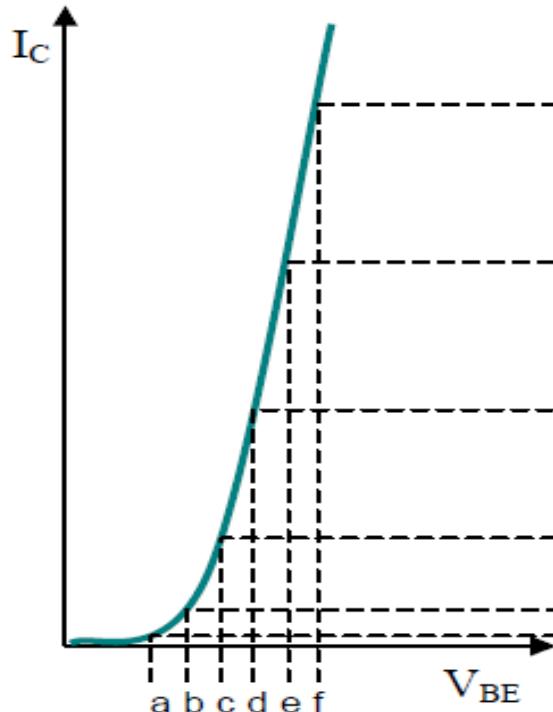
2 - El voltaje aplicado a la juntura B-E regulará el paso de portadores



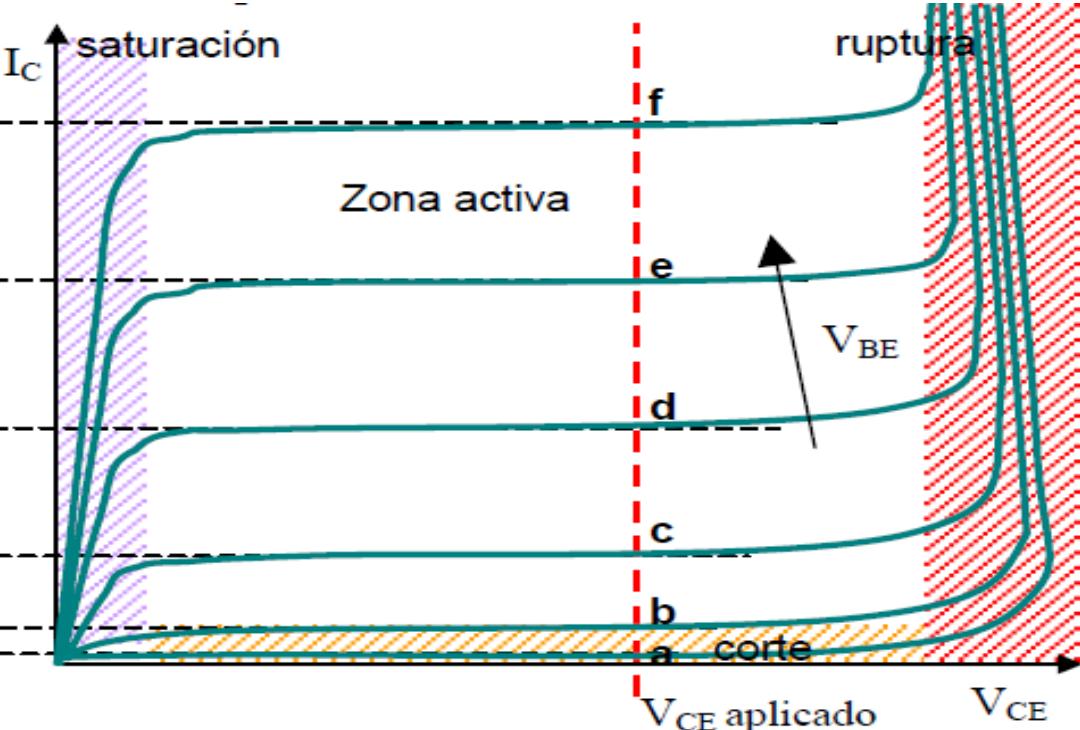
Ganancia de corriente en EC

1- La juntura C-B se polariza en inverso para crear un “desnivel” entre E y C que permita el flujo de portadores. Puede ser aplicando una VCB o una VCE (como en este caso)

Curvas del transistor bipolar



Curva de transferencia
(con V_{CE} aplicado)

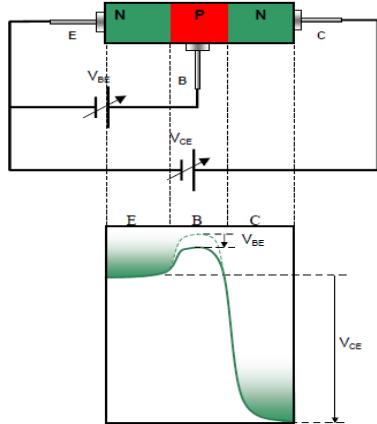


Curvas de salida con V_{BE} como parámetro

1.E El transistor en régimen lineal

Amplificación. Configuraciones EC, BC y CC

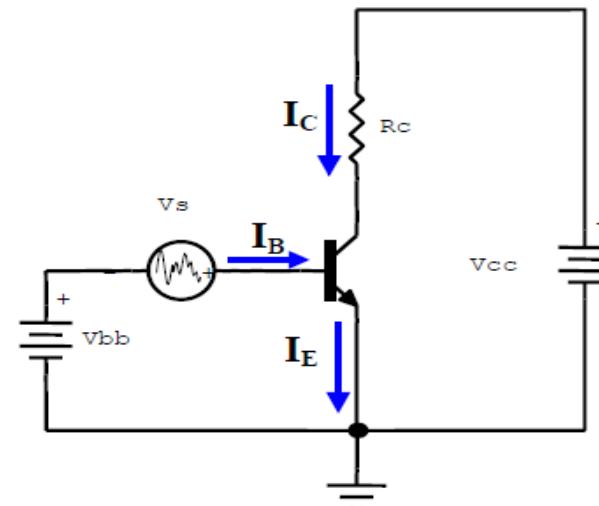
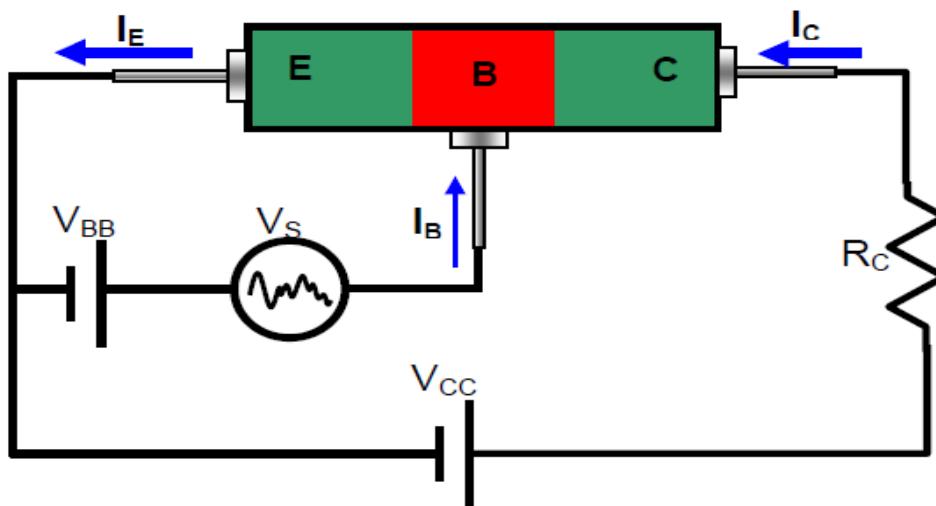
El transistor como amplificador de tensión



¿Qué es lo que ocurre al agregar la señal V_s y la carga R_C a este circuito?

- La barrera de potencial disminuye cuando V_s aumenta, y aumenta cuando V_s disminuye. Luego
- I_C aumenta cuando V_s aumenta, y disminuye si V_s disminuye. Es decir, I_C está en fase con V_s .
- Dado que el voltaje en R_C es $I_C \cdot R_C$, dicho voltaje también está en fase con V_s .

¿Qué ocurre con V_{CE} ? Observe que $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$

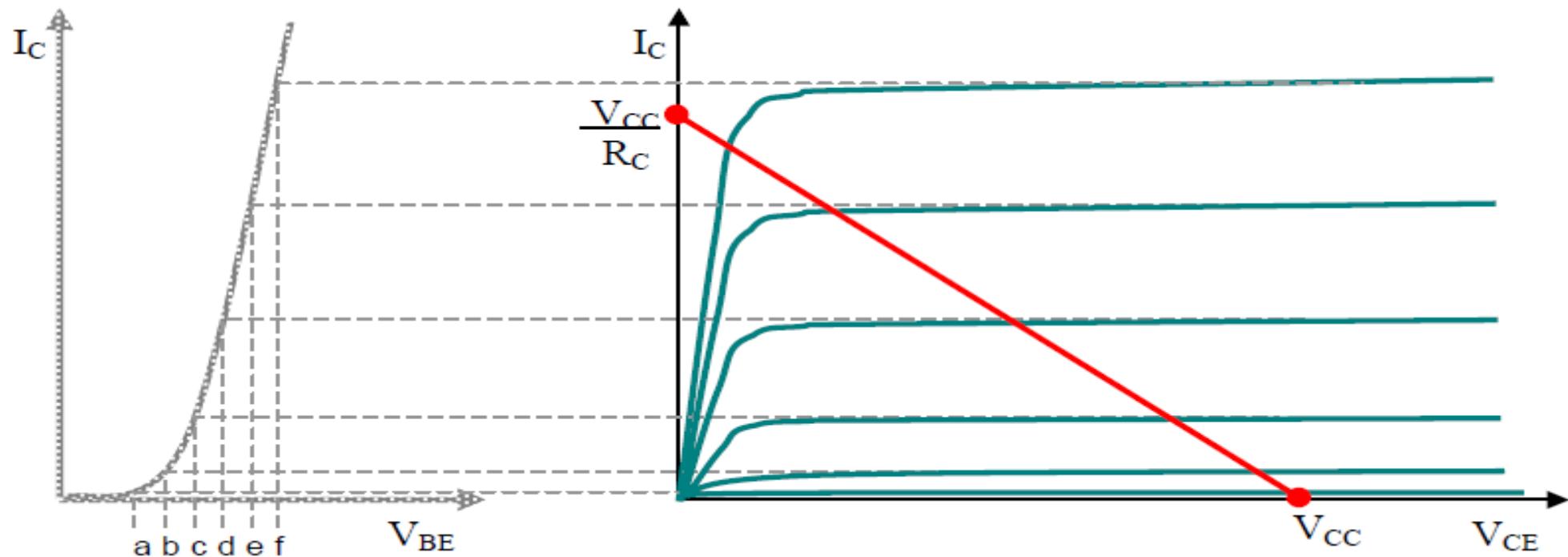


Recta de carga

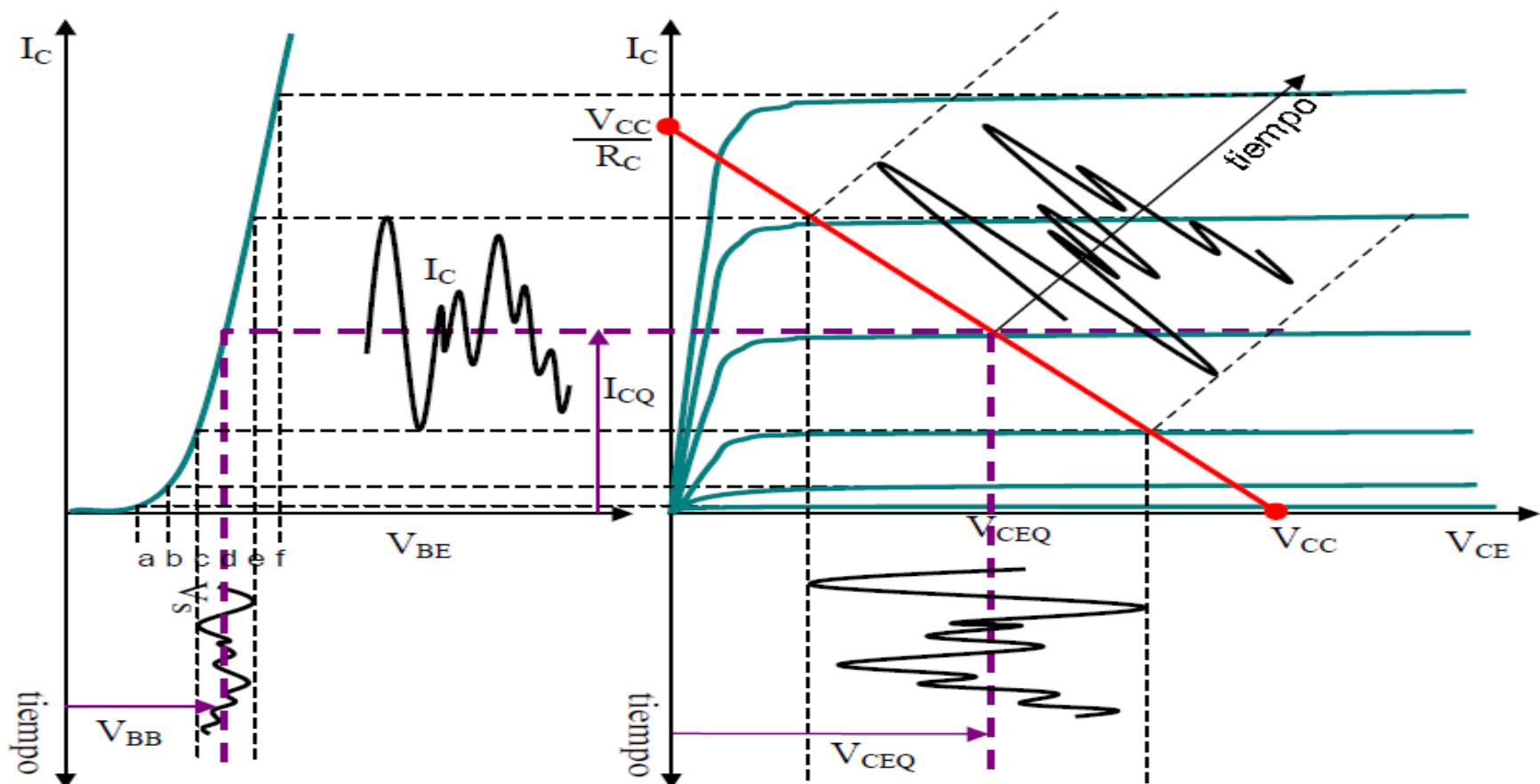
$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC}$$

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = V_{CC}/R_C$$

punto sobre eje V_{CE}
punto sobre eje I_C

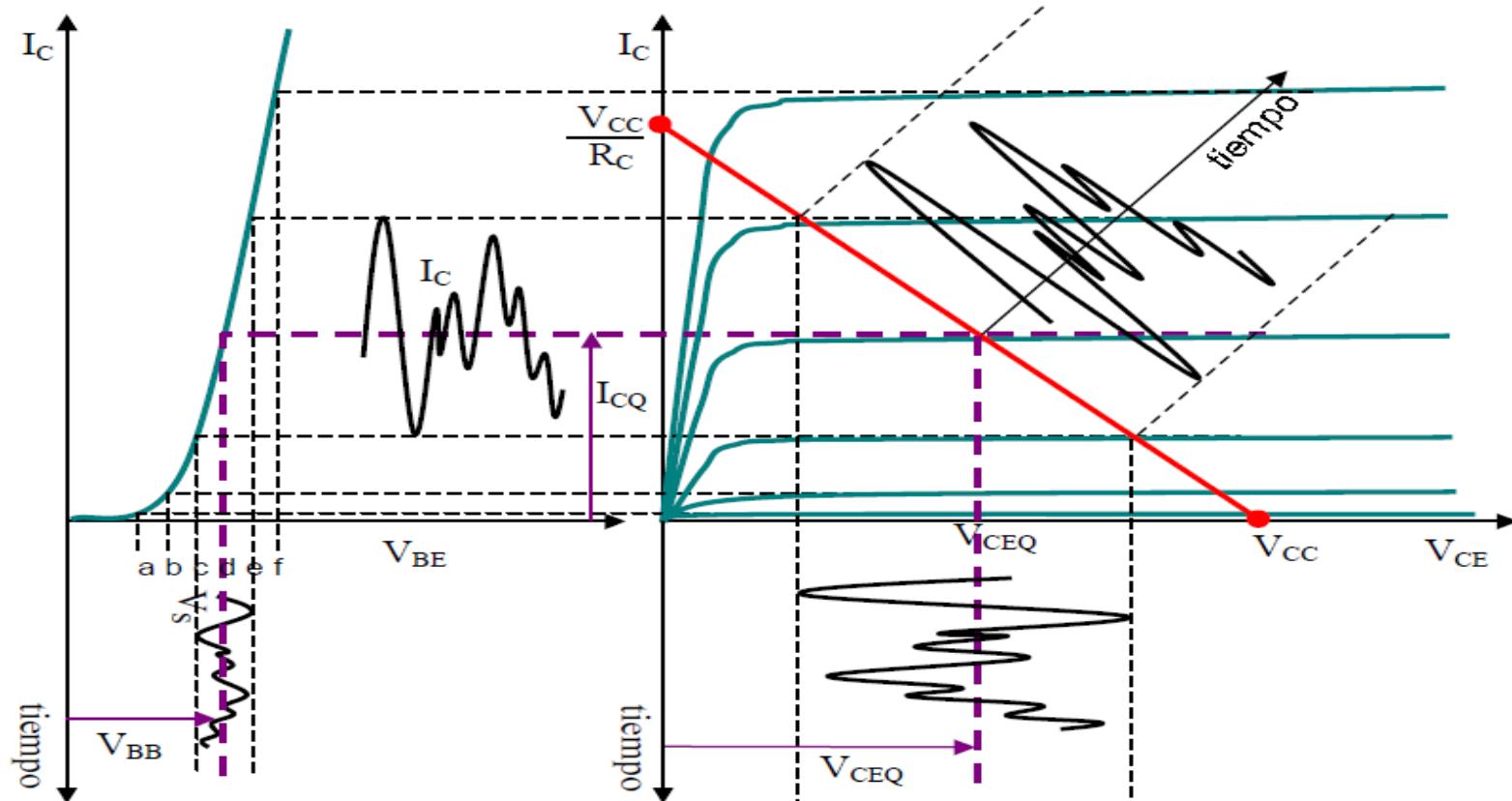


Amplificación de tensión



$$A_v = \Delta V_{\text{salida}} / \Delta V_{\text{Entrada}} = \Delta V_{CE} / V_s$$

Amplificación de tensión



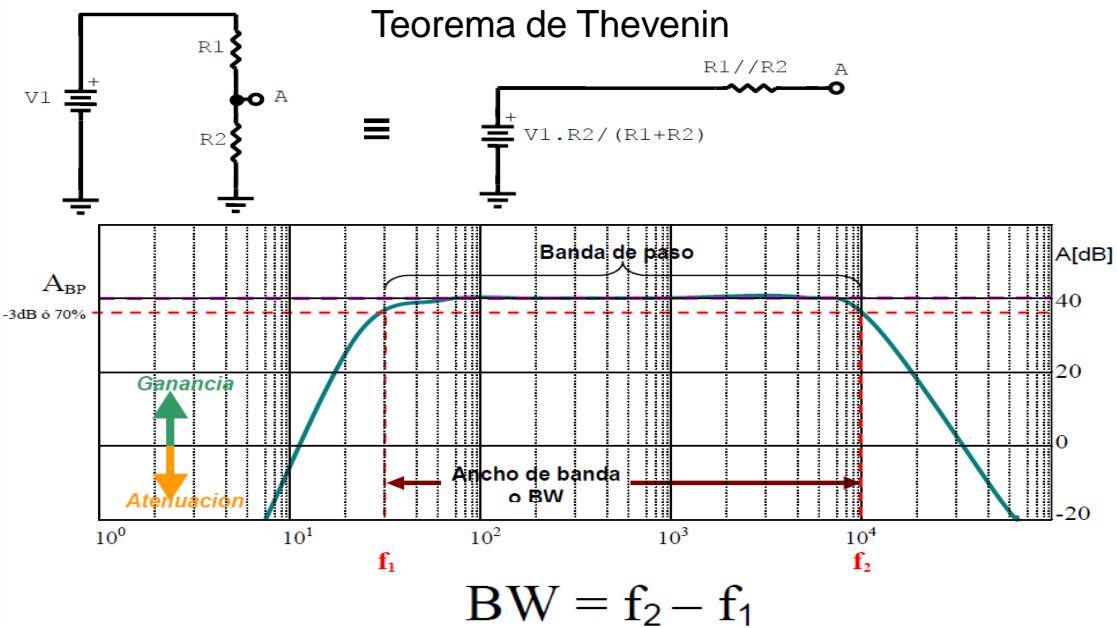
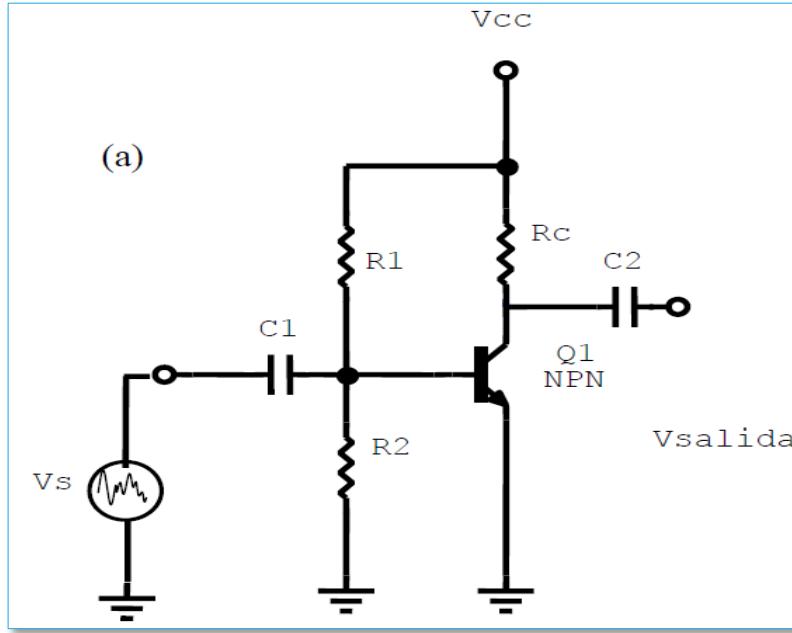
¿Qué pasaría si V_{BB} fuera menor, por ejemplo que estuviera en el punto a?

¿Qué pasaría si V_{BB} fuera mayor, por ejemplo que estuviera en el punto e o f ?

¿Qué pasaría si R_c fuera de la mitad del valor que la utilizada? ¿Y si fuera el doble?

¿Cómo se puede aumentar A_v al doble?. ¿Cómo evitaría aquí que se “recorte” la señal?

Círcuito práctico: Amplificador acoplado en CA

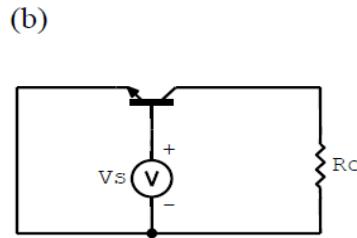
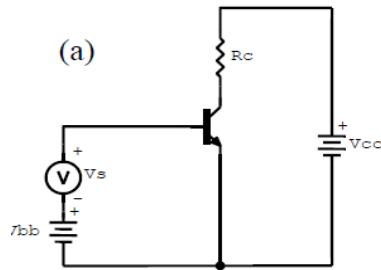


Un voltaje equivalente a la V_{BB} se obtiene de la misma V_{CC} , y se puede calcular o establecer mediante el teorema de Thevenin.

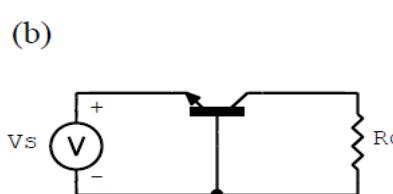
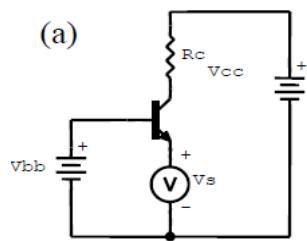
La señal V_S , en vez de intercalarla en serie con la V_{BB} se obtiene acoplándola a la base a través de un capacitor C1. La componente continua de salida se bloquea con C2. Estos capatitores obstaculizan las señales de baja frecuencia por lo que el amplificador disminuye su factor de amplificación.

Las tres configuraciones básicas. EC. BC . CC

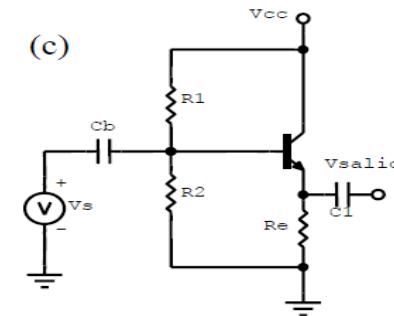
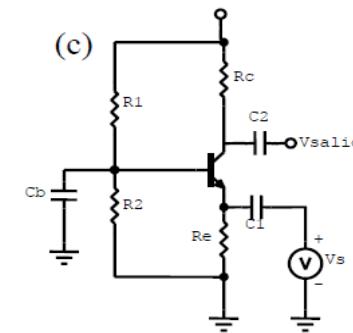
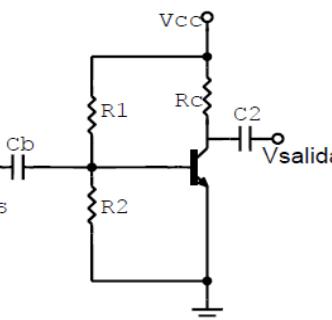
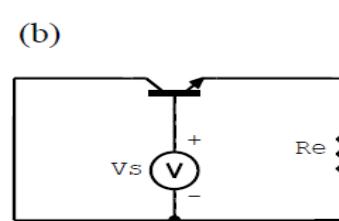
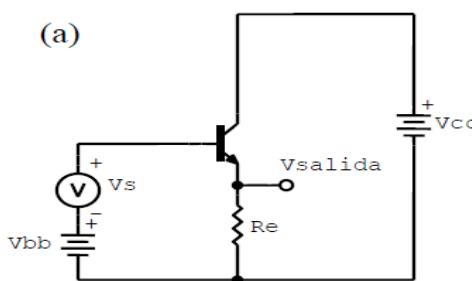
EC



BC



CC

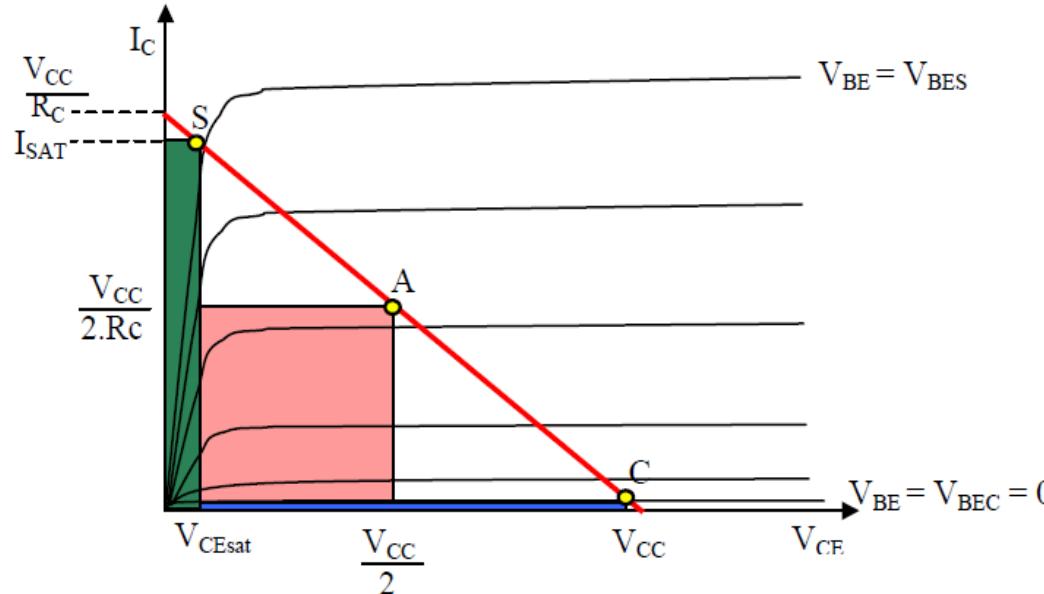


Las tres configuraciones básicas. EC. BC . CC

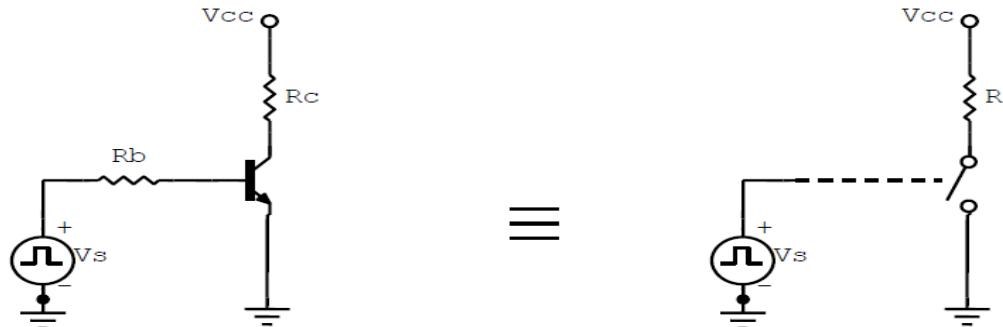
| | Emisor Común | Base Común | Colector Común o “Seguidor de Emisor” |
|-------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Ganancia de tensión | $>>1$ (proporcional a R_C) | $>>1$ (proporcional a R_C) | $=1$ |
| Ganancia de corriente | $>>1$ (aproximadamente β) | <1 ($\alpha = I_C/I_E$) | $>>1$ (aproximadamente β) |
| Impedancia de entrada | Media | Baja | Alta |
| Respuesta en frecuencia | Limitada por transistor a f_T/β | Muy buena f_T (frecuencia de transición) | Muy buena f_T (frecuencia de transición) |
| Aplicación | General | Alta frecuencia | Alta frecuencia y adaptación de impedancias |

Tabla 1. Resumen de las configuraciones básicas del amplificadores a transistor

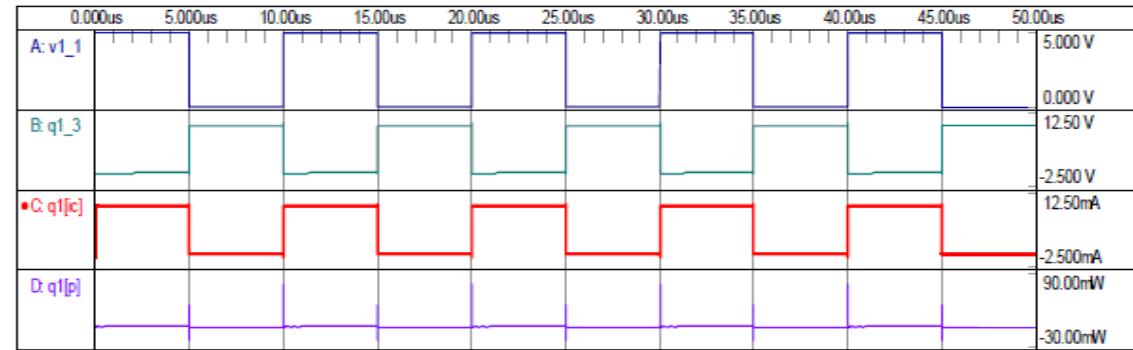
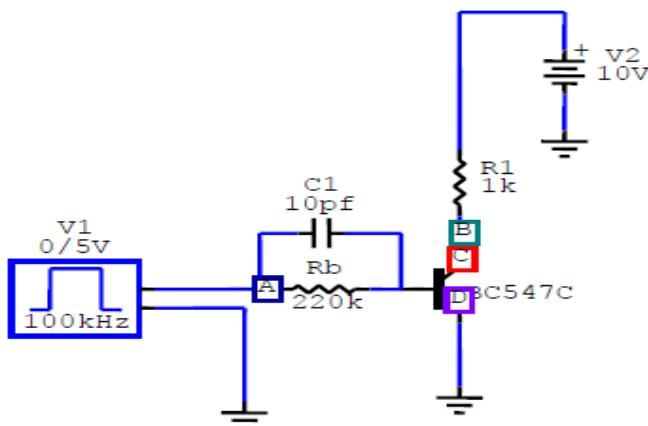
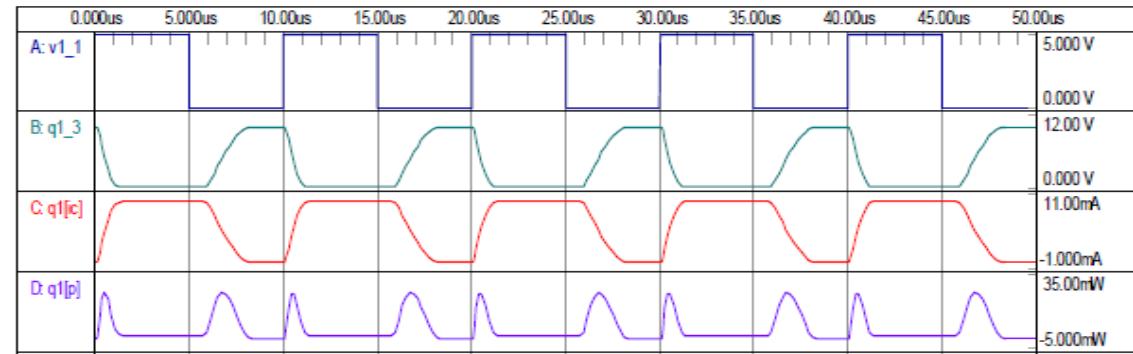
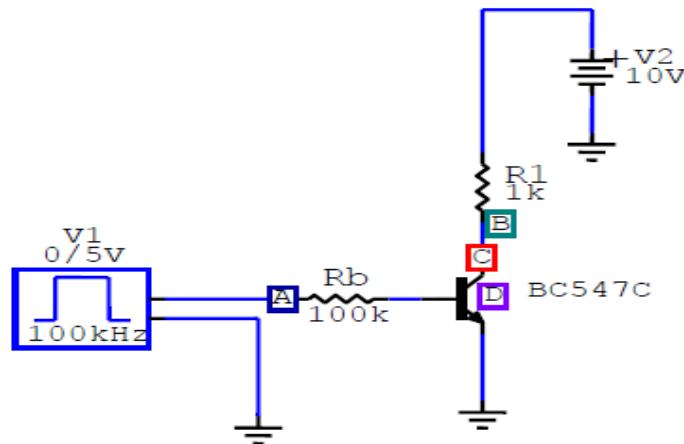
El transistor como llave: régimen de conmutación



Potencia disipada por el transistor en los puntos de saturación (S), Corte (C) y de máxima dissipación (A), representada por las áreas de los rectángulos respectivos.



El transistor como llave: régimen de conmutación



Transistor bipolar – Resumen

- 2 modos básicos de funcionamiento: régimen lineal y régimen de conmutación. Lineal para sistemas analógicos de baja y media potencia, el de conmutación en sistemas digitales y en sistemas de media y alta potencia.
- En ambos casos se utiliza el transistor, trabajando de manera diferente:
- En **régimen lineal trabaja como una fuente de corriente controlada**. Se polariza la juntura Base-Emisor, para colocar el punto de trabajo en una zona conveniente que permita reproducir la forma de la señal a amplificar y evitar las distorsiones por saturación o corte.
- La polarización se realiza con una única fuente Vcc y resistencias formando un divisor de tensión, aplicando el teorema de Thevenin. Para acoplar señal y carga se han utilizado capacitores, que producen un efecto pasa-alto en bajas frecuencias. Si se precisa amplificar señales muy lentas debe recurrirse a otro tipo de montajes que se verán en la unidad 5. En la zona de alta frecuencia las capacidades propias del transistor producen un efecto pasa-bajo.
- Las otras configuraciones vistas además de la de Emisor Común, esto es las de Base Común y Colector Común, aunque no parecen ventajosas desde el punto de vista de la ganancia de corriente o tensión, tienen mejor respuesta en alta frecuencia, y utilizadas en conjunto pueden reemplazar con ventaja a una única etapa de Emisor Común.
- Para **régimen de conmutación** no se polariza, y la señal es tipo rectangular. El transistor trabaja como llave abierta o cerrada y la disipación es menor, pero por los retardos propios del transistor puede producirse una disipación importante durante la conmutación.
- Puede utilizarse un capacitor de bajo valor en paralelo con la resistencia de base