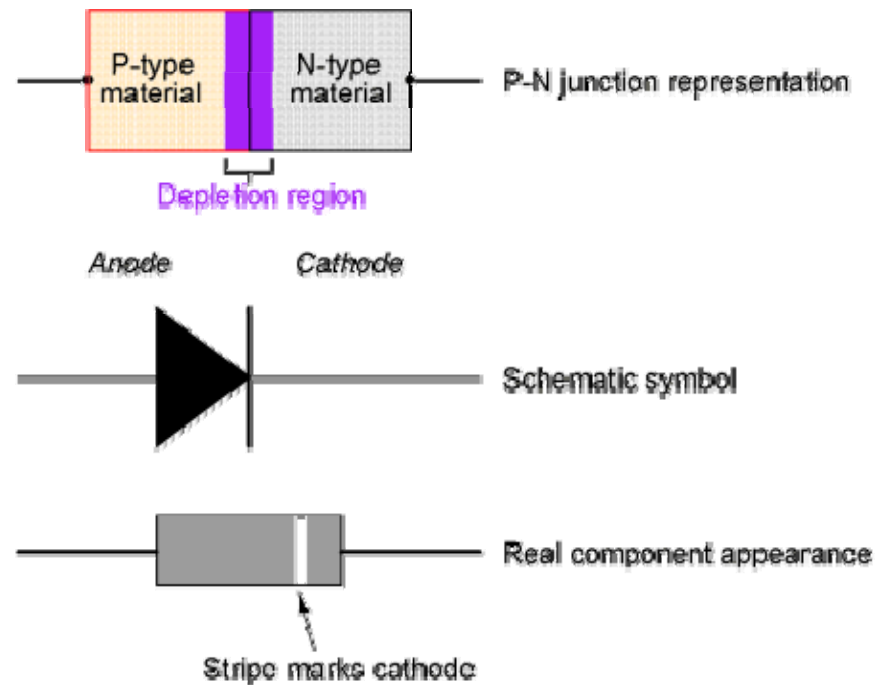
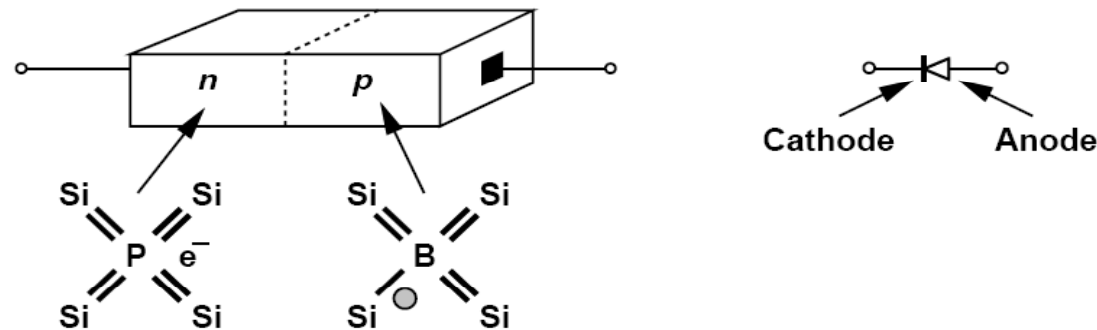


Juntura P-N



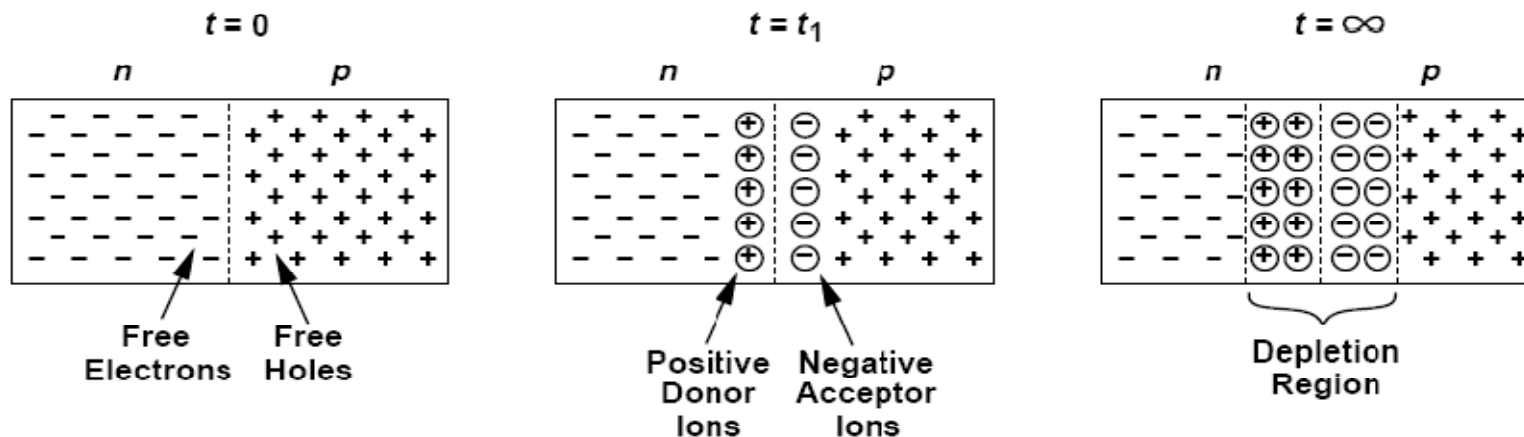
Unión P-N

- El material semiconductor dopado con impurezas Aceptoras o Donantes no tiene mayores aplicaciones, salvo la implementación de resistencias, fijas o dependientes de la temperatura (PTC, NTC).
- Las uniones de materiales semiconductores con distinto tipo de dopado forman lo que se conoce como junturas P-N.
- Sobre un mismo trozo de semiconductor, se efectúa a través de máscaras dopados del tipo N y tipo P en diferentes zonas, estableciendo así una zona de contacto o unión entre ambos.



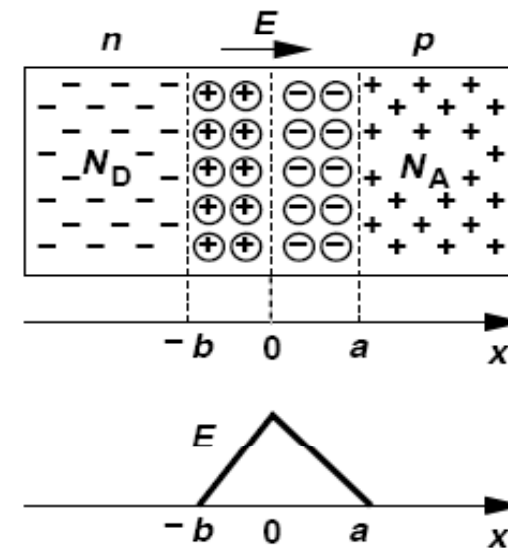
Juntura P-N en equilibrio

- El movimiento por difusión de portadores n hacia el material P forma una zona de carga con iones positivos cerca del borde. Lo mismo sucede con los huecos que se mueven hacia el material N, formando en este caso una zona de cargas con iones negativos \rightarrow “Zona de Vaciamiento”.
- Esta concentración de cargas en la unión da como resultado la aparición de un campo eléctrico, el cual irá en aumento a medida que se produzca la difusión.



Juntura P-N en equilibrio

- Durante la difusión, el campo eléctrico se opone al movimiento de las cargas.
- Se alcanza el equilibrio cuando el campo eléctrico “frena” la difusión; es decir que se igualan las corrientes de desplazamiento y difusión.



$$|I_{\text{drift},p} + I_{\text{drift},n}| = |I_{\text{diff},p} + I_{\text{diff},n}|$$

$$|I_{\text{drift},p}| = |I_{\text{diff},p}|$$

$$|I_{\text{drift},n}| = |I_{\text{diff},n}|$$

Juntura P-N en equilibrio

- Reemplazando en ambos miembros, se obtiene para el caso de huecos:

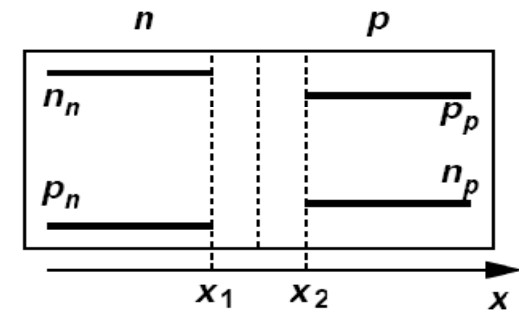
$$q\mu_p p E = qD_p \frac{dp}{dx}$$

- Sabiendo además que $E = -dV/dx$, se obtiene:

$$-\mu_p p \frac{dV}{dx} = D_p \frac{dp}{dx}$$

- Dividiendo por la concentración de huecos e integrando:

$$-\mu_p \int_{x_1}^{x_2} dV = D_p \int_{p_n}^{p_p} \frac{dp}{p}$$



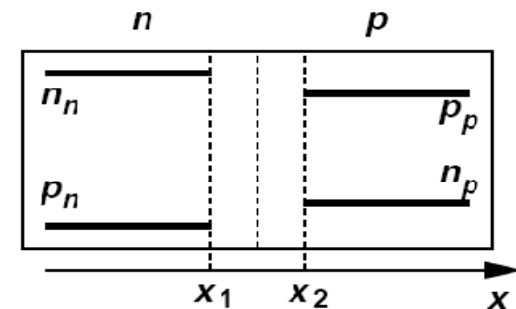
Juntura P-N en equilibrio

- Resolviendo: $V(x_2) - V(x_1) = -\frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_p}{p_n}$

- Aplicando la relación de Einstein:

$$|V_0| = \frac{kT}{q} \ln \frac{p_p}{p_n}$$

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$



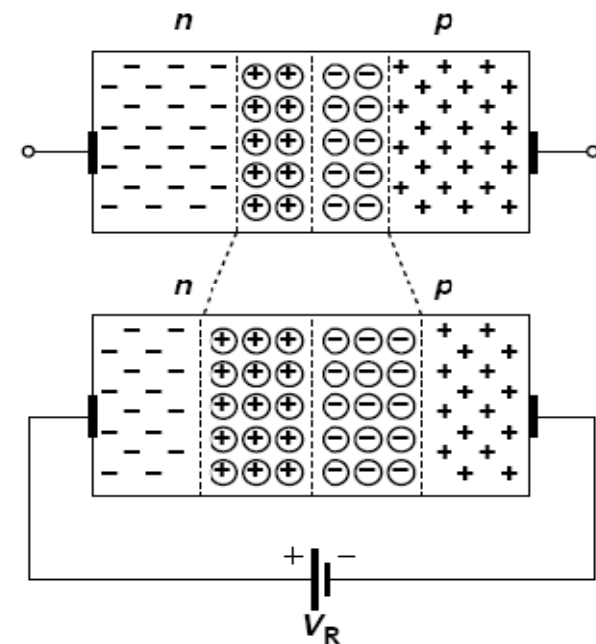
- Ejemplo: Si $N_A = 4 \times 10^{16}$ [1/cm³] y $N_D = 2 \times 10^{16}$ [1/cm³], obtenemos:

$$V_0 \approx 750 \text{mV}$$

- A V_0 se lo conoce como **Barrera de Potencial** o **Potencial Interno**.

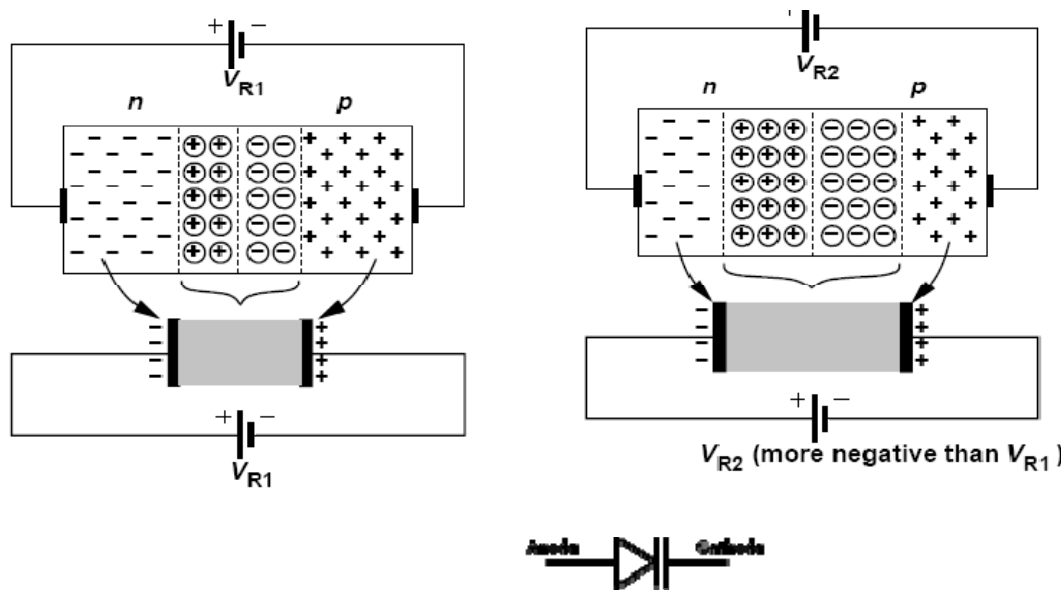
Juntura P-N en polarización inversa

- Se aplica potencial eléctrico externo de manera de hacer más positiva la zona N y más negativa la zona P.
- El campo eléctrico en la unión se ve incrementado, aumentando también la concentración de iones.
- La barrera de potencial aumenta. No hay circulación de corriente.
- Con la tensión inversa se maneja el ancho de la zona de vaciamiento.

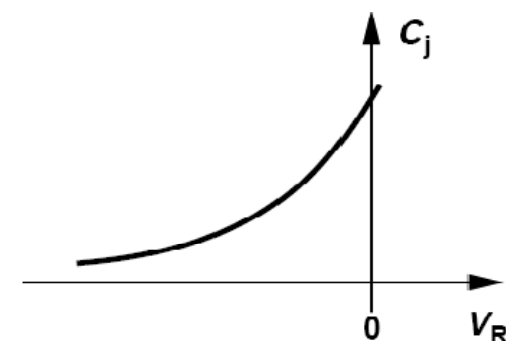


Juntura P-N en polarización inversa

- La juntura con polarización inversa se comporta como un capacitor variable con la tensión, dando origen al dispositivo conocido como “Varicap”, usado ampliamente en RF.



$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_R}{V_0}}}$$



Juntura P-N en polarización directa

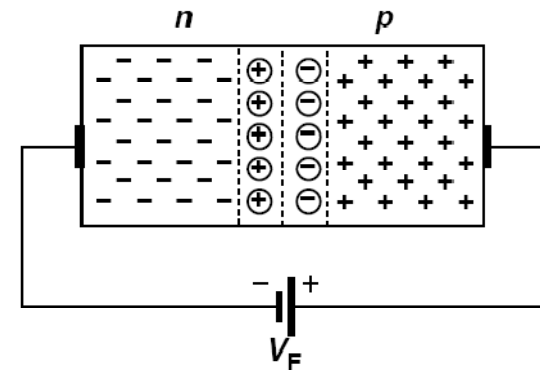
- Si se aplica un potencial externo, de manera que la parte P sea más positiva que la N, el campo eléctrico en la unión va a decrecer → menor zona de vaciamiento → Aumento en la corriente de difusión

- Partiendo de la ecuación antes vista:

$$|V_0| = \frac{kT}{q} \ln \frac{p_p}{p_n}$$

- llegamos a:
$$p_{n,e} = \frac{p_{p,e}}{\exp \frac{V_0}{V_T}}$$

- Que indica como es la concentración de portadores minoritarios en función del potencial interno en equilibrio.
- Una ecuación similar aplica para el lado N.

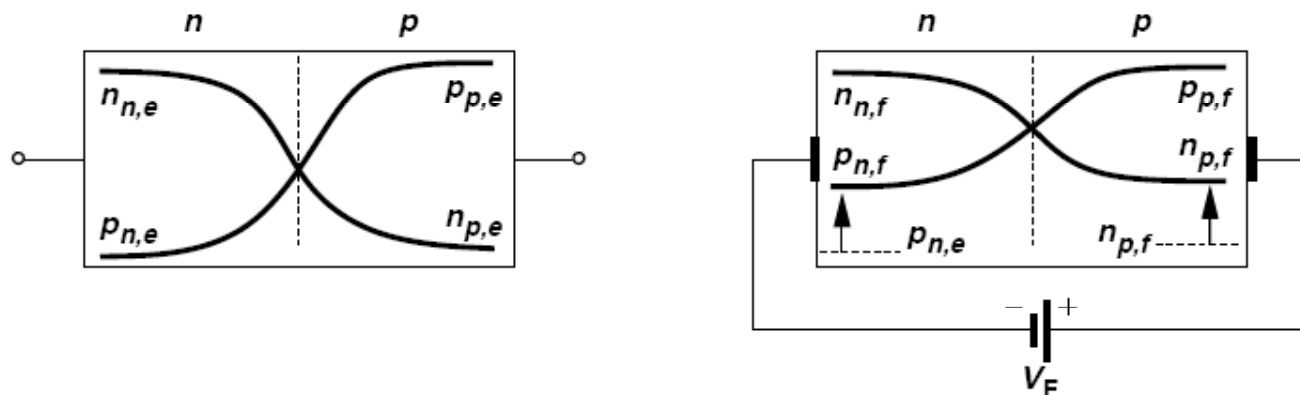


Juntura P-N en polarización directa

- Al aplicar un potencial externo, la barrera disminuye en el mismo valor, con lo que resulta:

$$p_{n,f} = \frac{p_{p,f}}{\exp \frac{V_0 - V_F}{V_T}}$$

- La concentración de portadores minoritarios crece a medida que aumenta V_F .
- La variación en la concentración de huecos en la zona n entre la situación de equilibrio y la aplicación de un potencial externo será: $\Delta p_n = p_{n,f} - p_{n,e}$



Juntura P-N en polarización directa

$$= \frac{p_{p,f}}{\exp \frac{V_0 - V_F}{V_T}} - \frac{p_{p,e}}{\exp \frac{V_0}{V_T}} \approx \frac{N_A}{\exp \frac{V_0}{V_T}} (\exp \frac{V_F}{V_T} - 1)$$

- Similarmente para electrones:

$$\Delta n_p \approx \frac{N_D}{\exp \frac{V_0}{V_T}} (\exp \frac{V_F}{V_T} - 1)$$

- La corriente de difusión será proporcional a la variación de la concentración de portadores

$$I_{tot} \propto \frac{N_A}{\exp \frac{V_0}{V_T}} (\exp \frac{V_F}{V_T} - 1) + \frac{N_D}{\exp \frac{V_0}{V_T}} (\exp \frac{V_F}{V_T} - 1)$$

$$I_{tot} = I_S (\exp \frac{V_F}{V_T} - 1)$$

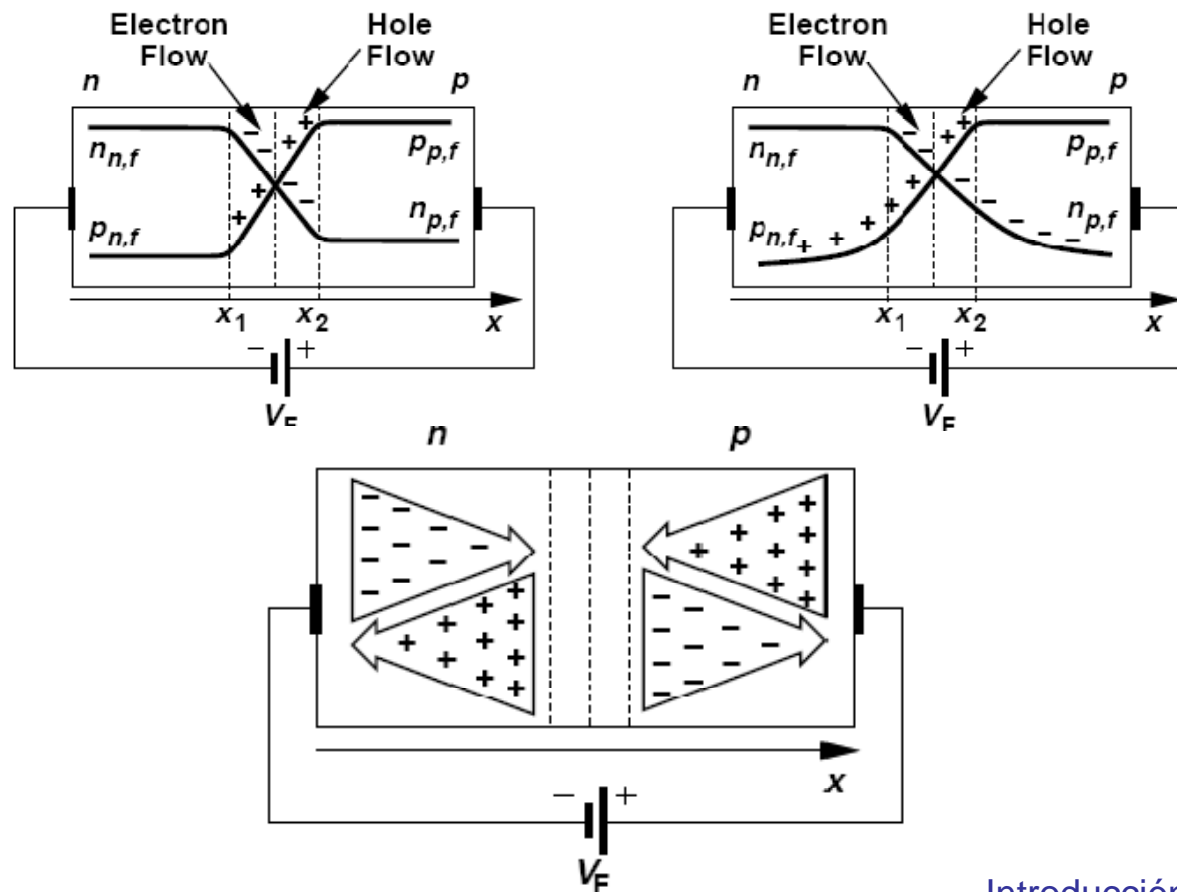
Juntura P-N en polarización directa

- A I_S se la llama corriente de saturación, y viene dada por:

$$I_S = Aqn_i^2 \left(\frac{D_n}{N_A L_n} + \frac{D_p}{N_D L_p} \right)$$

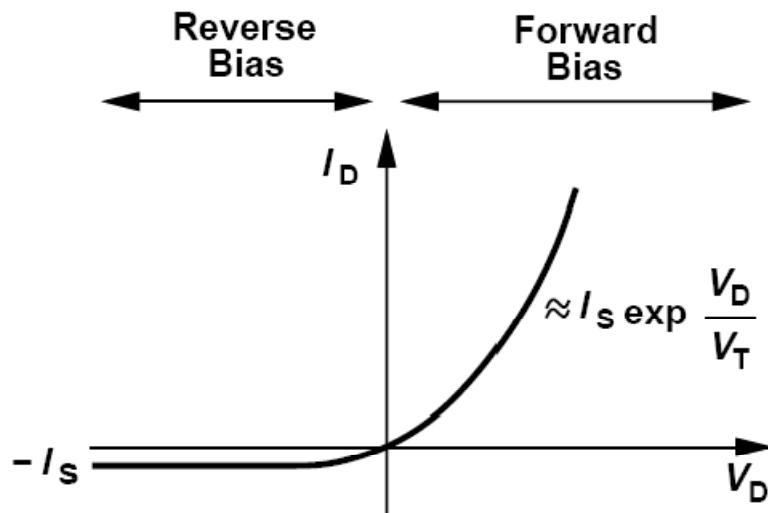
- A es el área transversal del dispositivo y L_n , L_p se los denomina “Longitud de difusión”, que se encuentran en el orden de los $10\mu\text{m}$
 - La corriente de saturación tiene valores entre 10^{-15} y 10^{-17} [A]
 - I_S depende de la temperatura. Se duplica cada 10°C
- En la juntura polarizada de manera directa se establece una circulación de corriente de un extremo a otro. En las zonas cercanas a la unión, la corriente está mayormente definida por los portadores minoritarios, mientras que en los extremos son los portadores mayoritarios los que conducen la corriente.

Juntura P-N en polarización directa



Curva juntura P-N

- Curva característica: $I_D = I_S(\exp \frac{V_D}{V_T} - 1)$
- Para valores de $V_D < 0$, la I_D tiende a $-I_S$
- Para valores grandes de $V_D \rightarrow I_D \approx I_S \exp(V_D/V_T)$



Diodo



Diferentes tipos y formatos



Electrostática

- Ley de Gauss: $\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon}$
 - ρ = Densidad de carga eléctrica [Coulomb]
 - ϵ = Permitividad del medio [F/m]
 - ϵ_0 = Permitividad del vacío: 8.85×10^{-12} [F/m]
 - $\epsilon_{SI} = 11.7 \epsilon_0$

- Ecuación de Poisson: $E(x) = -\frac{d\phi(x)}{dx}$
 $\frac{d^2\phi(x)}{dx^2} = -\frac{dE(x)}{dx} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon}$

Potencial del Si dopado

- Equilibrio difusión-transporte: $0 = qn_o\mu_n E_o + qD_n \frac{dn_o}{dx}$

$$\frac{dn_o}{dx} = \left(-\frac{\mu_n}{D_n}\right)n_o E_o = \left(-\frac{q}{kT}\right)n_o \left(-\frac{d\phi_o}{dx}\right)$$

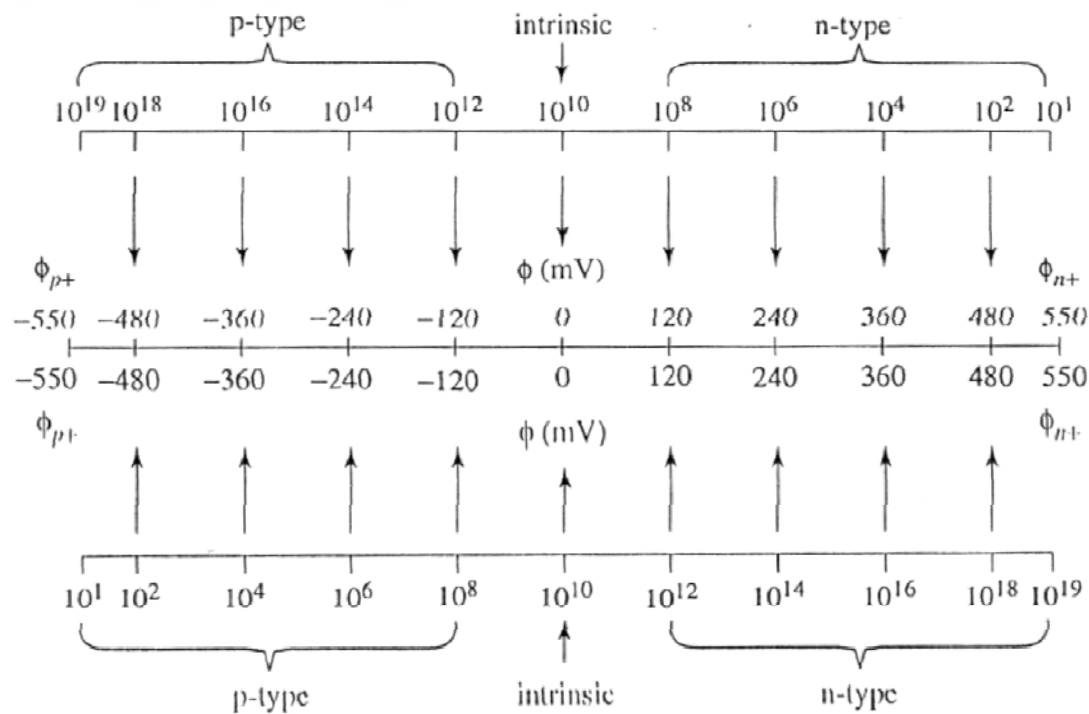
$$d\phi_o = \left(\frac{kT}{q}\right)\frac{dn_o}{n_o} = V_{th} \frac{dn_o}{n_o}$$

$$\phi_o(x) - \phi_o(x_o) = V_{th} \ln\left(\frac{n_o(x)}{n_o(x_o)}\right) \quad \phi_o(x_o) = 0 \text{ when } n_o(x_o) = n_i$$

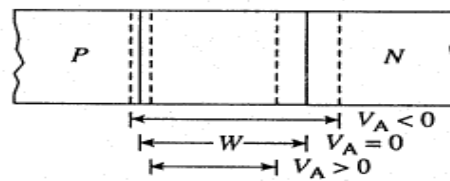
$$\phi_o(x) = V_{th} \ln\left(\frac{n_o(x)}{n_i}\right)$$

Regla de los 60mV

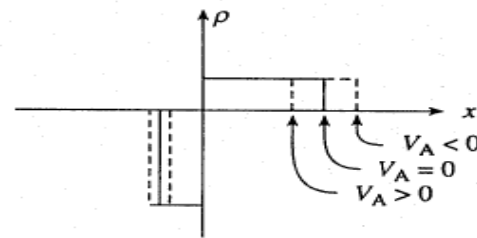
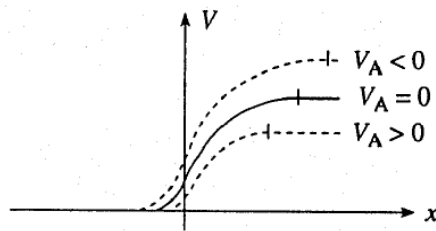
$$\phi_o(x) = (26\text{mV}) \ln(10) \log\left(\frac{n_o(x)}{10^{10}}\right) = (60\text{mV}) \log\left(\frac{n_o(x)}{10^{10}}\right)$$



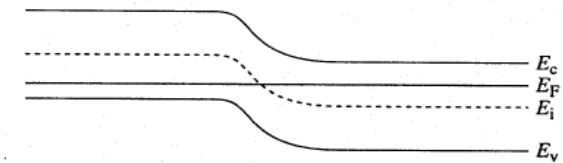
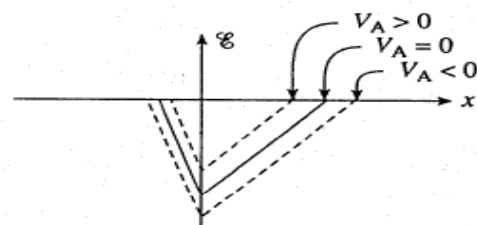
Electrostática del Diodo



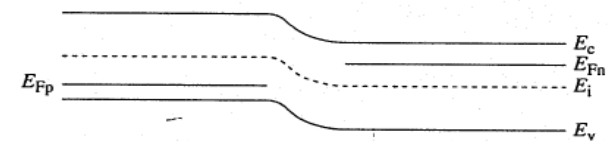
(a)



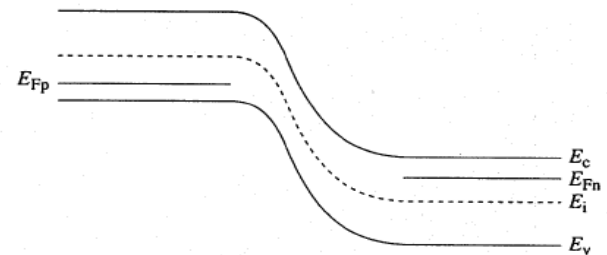
(b)



(a) Equilibrium ($V_A = 0$)



(b) Forward bias ($V_A > 0$)



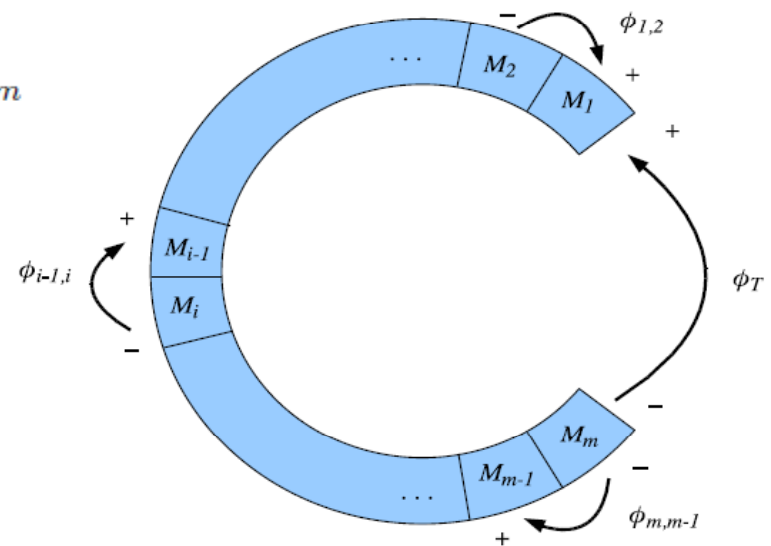
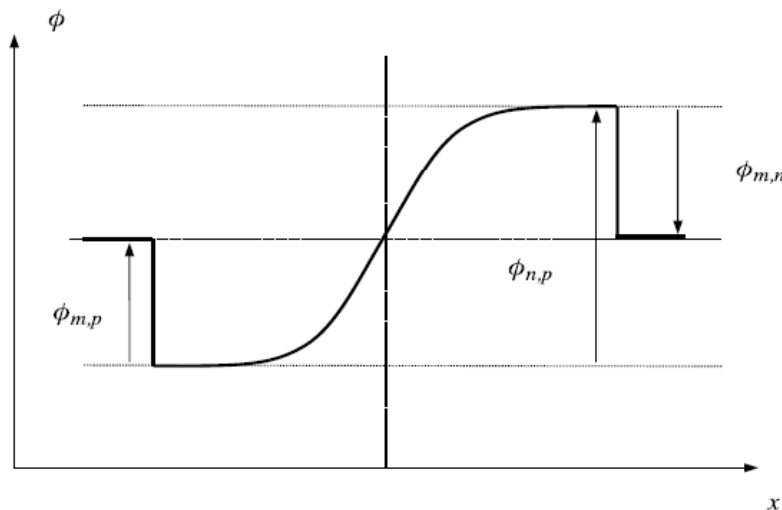
(c) Reverse bias ($V_A < 0$)

Observar el ancho de la zona de vaciamiento

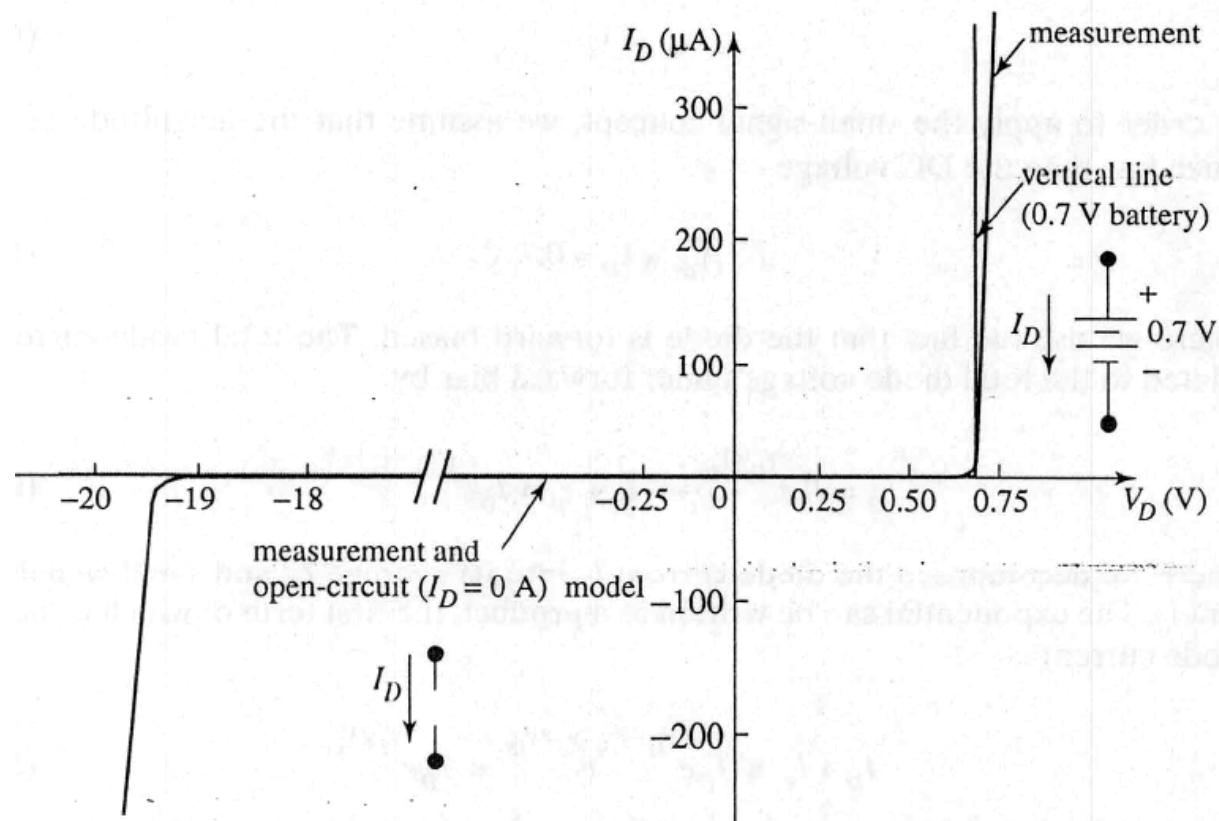
Potenciales de contacto

- Los potenciales de contacto o potenciales intrínsecos no pueden medirse externamente con un voltímetro.

$$\begin{aligned}\phi_T &= \phi_{1,2} + \phi_{2,3} + \dots + \phi_{m-1,m} \\ &= \phi_1 - \phi_2 + \phi_2 - \phi_3 + \dots + \phi_{m-1} - \phi_m \\ &= \phi_1 - \phi_m \\ &= \phi_{1,m}\end{aligned}$$



Curva real Diodo

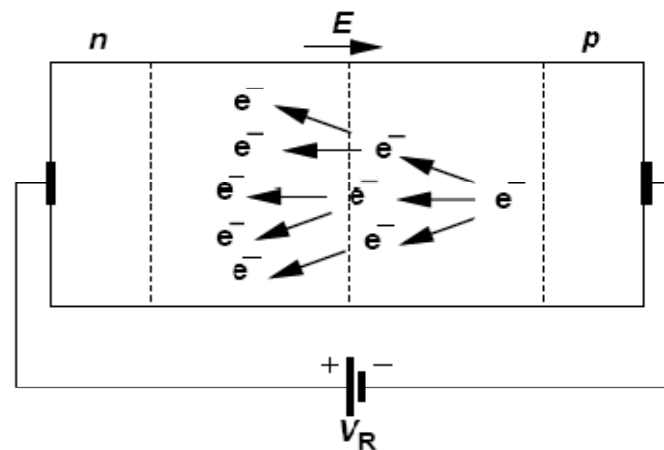


Efecto Zener

- El efecto zener se origina en semiconductores altamente dopados, donde el gran campo eléctrico presente en la zona de vaciamiento hace que los portadores puedan atravesar la barrera de potencial.
- Por el hecho de estar altamente dopado, el efecto zener se produce con valores bajos de tensión, de entre 2 y 5V
- Campo eléctrico en la juntura:
 - $E = V/L$
 - En semiconductores muy dopados, el ancho de la zona de vaciamiento es pequeño (L chico) y por ende el campo eléctrico a ambos lados es grande.

Efecto Avalancha

- El efecto avalancha se presenta con campos eléctricos más intensos en semiconductores de bajo dopaje. Los portadores en movimiento debido a la corriente de saturación I_S son acelerados fuertemente al pasar por la zona de vaciamiento, provocando colisiones con los átomos circundantes, y produciendo también una nueva liberación de electrones. Estos últimos a su vez son acelerados, provocando nuevas colisiones y liberación de electrones; y así sucesivamente. Este fenómeno se multiplica generando una “avalancha” de electrones.

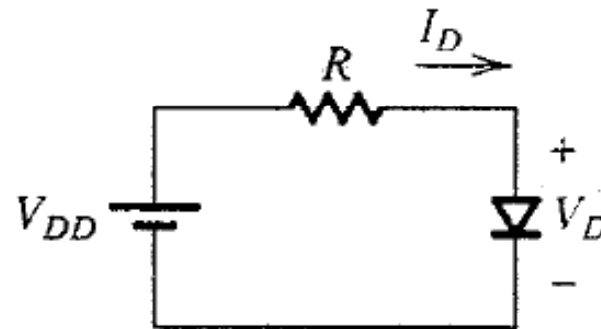


Características

- La región de zener se utiliza ampliamente para el diseño de fuentes de alimentación, debido a lo abrupta que es su curva en esa zona.
- El efecto zener para altos dopajes tiene como característica principal, presentar un coeficiente de temperatura negativo; es decir que la tensión de ruptura disminuye con el aumento de la temperatura.
- El efecto avalancha tiene un coeficiente positivo; es decir que la tensión aumenta con la temperatura.
- En los diodos zener se presentan los dos principios de funcionamiento. En base al valor de tensión del mismo, prevalecerá un efecto sobre el otro.
- Existen diodos zener cuya tensión se encuentra alrededor de 6V, y que presentan coeficiente de temperatura nulo. Son los preferidos para las referencias de tensión.



Resolución Circuitos con Diodos.

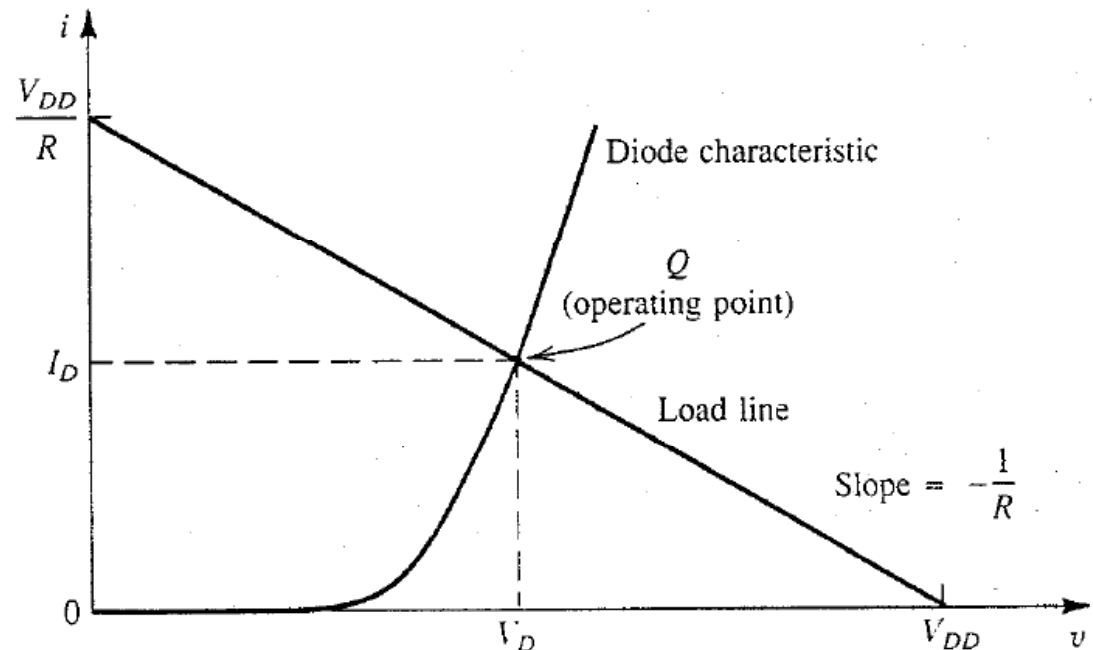
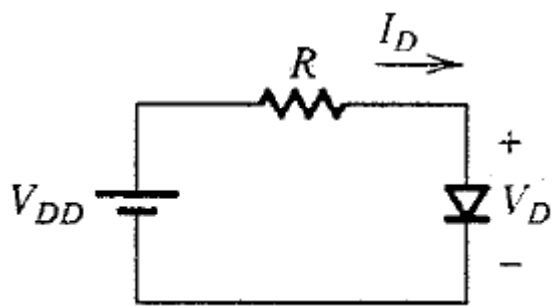


$$V_D = V_{DD} - RI_D \quad I_D = I_s e^{V_D/V_{Th}}$$

$$e^{V_D/V_{Th}} = 492 * 10^9 \text{ para } V_D = 0.7V$$

Solución gráfica

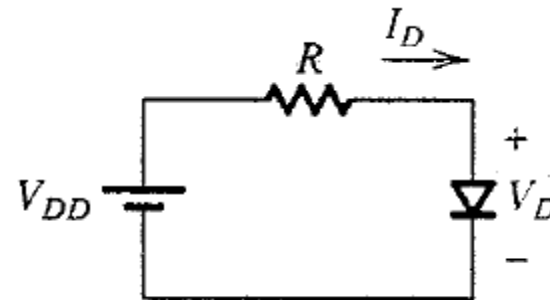
$$V_D = V_{DD} - RI_D \quad I_D = I_S e^{V_D/V_{Th}}$$



Solución iterativa

Si: $V_{DD} = 10V$
 $R = 100 \Omega$
 $V_{th} = 25mV$
 $I_S = 10^{-15} A$

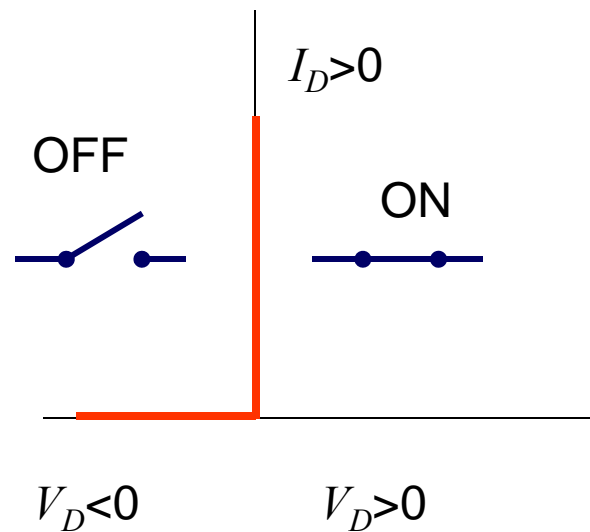
- 1) Asumimos $V_D = 0.65V$
 $I_D = (10 - 0.65) / 100 = 93.5 \text{ mA}$
- 2) $V_D = V_{th} \ln(I_D / I_S) = 0.8042V$
- 3) Recalculamos I_D
 $I_D = (10 - 0.8042) / 100 = 91.95 \text{ mA}$
- 4) Recalculamos V_D
 $V_D = 0.8038V$
- 5)



$$I_D = I_S e^{V_D / V_{Th}}$$

Modelo Diodo ideal

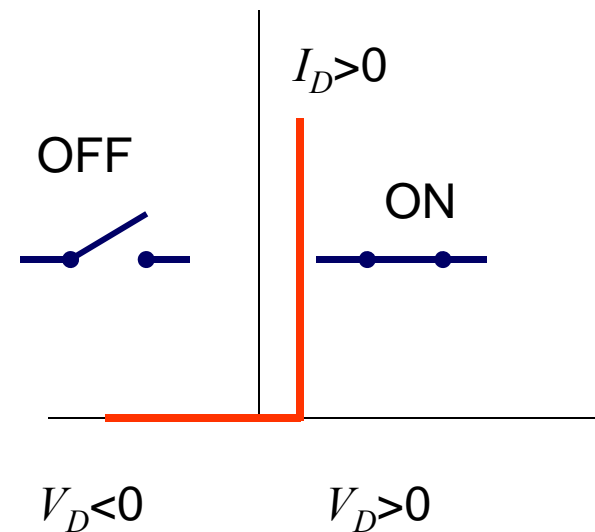
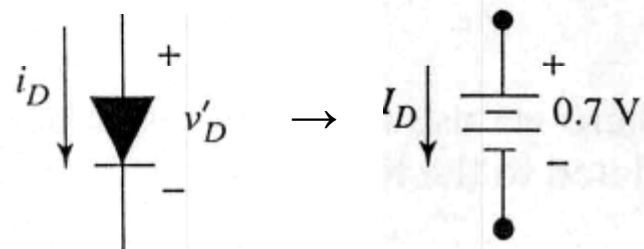
- Cuando $V_D > 0V$ – resistencia cero (llave ON)
- Cuando $V_D \leq 0V$ – resistencia infinita (llave OFF)



Modelo simple Diodo

- Cuando $V_D \geq 0.7V$ – resistencia cero (llave ON)
- Cuando $V_D < 0.7V$ – resistencia infinita (llave OFF)

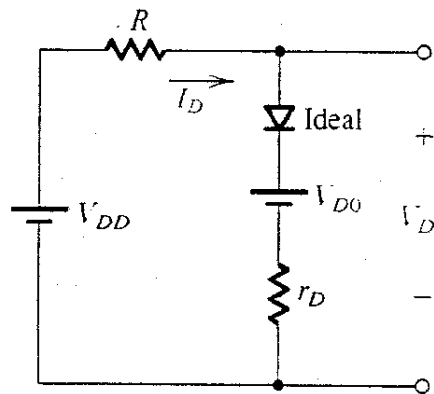
Diode “on” — $V_D = 0.7V$	$(I_D > 0)$
Diode “off” — $I_D = 0$	$(V_D < 0.7V)$



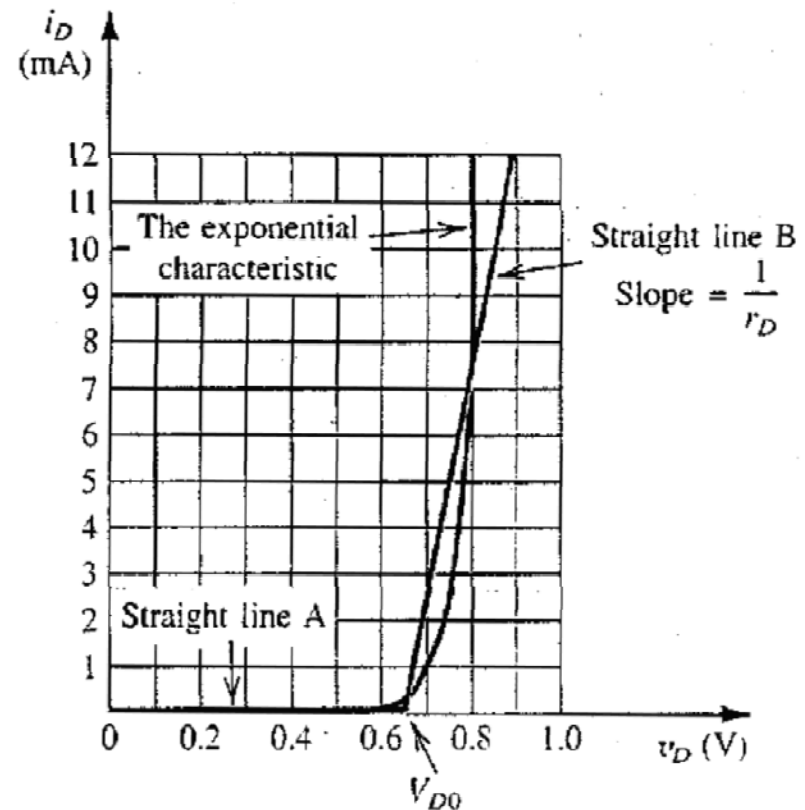
Modelo lineal a tramos

$$i_D = 0, \quad v_D \leq V_{D0}$$
$$i_D = (v_D - V_{D0})/r_D, \quad v_D \geq V_{D0}$$

- r_D = resistencia dinámica del diodo



- Para el gráfico mostrado
 - $r_D = 20\Omega$
 - $V_{D0} = 0.65V$



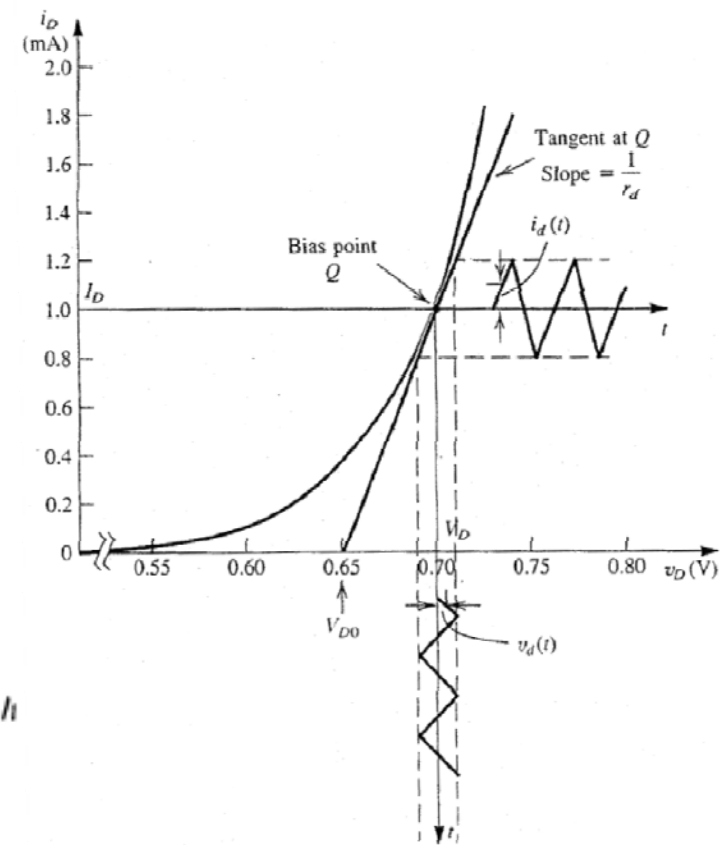
Modelo de pequeña señal

- Se puede hacer una aproximación lineal de los parámetros sin cometer un error excesivo, siempre y cuando el apartamiento sea pequeño.
- Podemos suponer que los parámetros del diodo están formados por una componente de DC + una componente de AC:

$$v_D = V_D + v_d$$

$$i_D = I_D + i_d$$

$$i_D = I_0 e^{v_D/V_{th}} \rightarrow I_D + i_d = I_0 e^{(V_D + v_d)/V_{th}}$$



Modelo de pequeña señal

- La ecuación anterior se puede reescribir:

$$I_D + i_d = I_0 e^{V_D/V_{th}} e^{v_d/V_{th}} = I_D e^{v_d/V_{th}}$$

- Expandiendo en serie de potencias:

$$I_D + i_d = I_D \left(1 + \frac{v_d}{V_{th}} + \frac{1}{2} \left(\frac{v_d}{V_{th}} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{v_d}{V_{th}} \right)^3 + \dots \right)$$

- Nos quedamos solamente con la parte lineal

$$i_d \cong \left(\frac{I_D}{V_{th}} \right) v_d = g_d v_d$$

- Esto nos indica que la corriente en pequeña señal puede hallarse a partir de una resistencia equivalente

$$r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{V_{th}}{I_D}$$

Error del modelo

- Para estimar el error cometido al tomar solamente el término lineal, incorporamos el término cuadrático también (es el más predominante que sigue) y analizamos la diferencia entre ambos resultados.

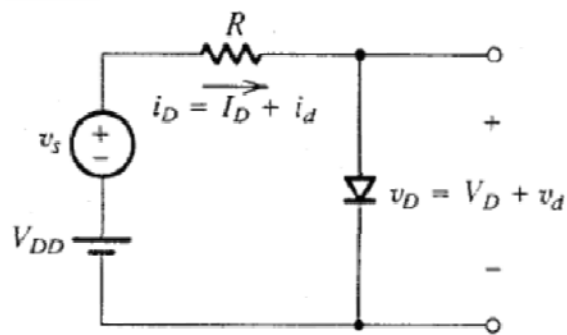
$$i_d = g_d v_d \left(1 + \frac{(I_D / (2V_{th}^2))}{I_D / V_{th}} v_d \right) = g_d v_d \left(1 + \frac{v_d}{2V_{th}} \right) = g_d v_d (1 + \varepsilon)$$

- Si acotamos el error máximo en 10%, el máximo desvío permitido para la tensión v_d será:

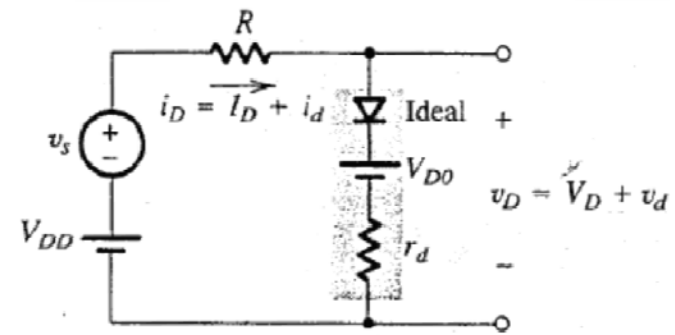
$$\varepsilon = \frac{v_d}{2V_{th}} \leq 0.1 \rightarrow v_d \leq 0.2 \cdot V_{th} = 5\text{mV}$$

Esto nos da un indicio de lo que se denomina pequeña señal.

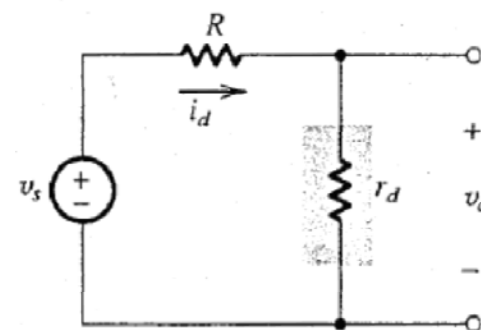
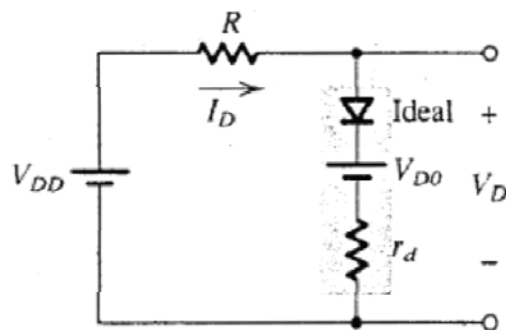
Ejemplo 1



(a)

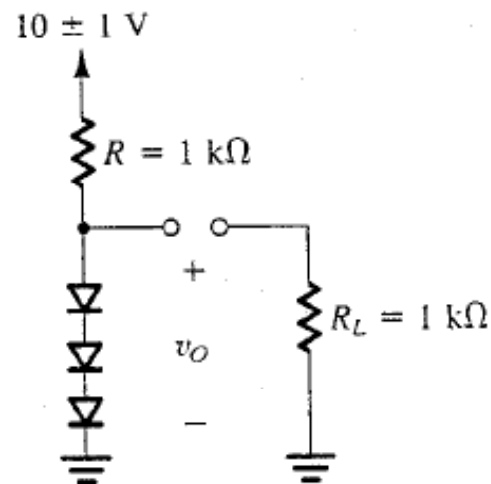


(b)



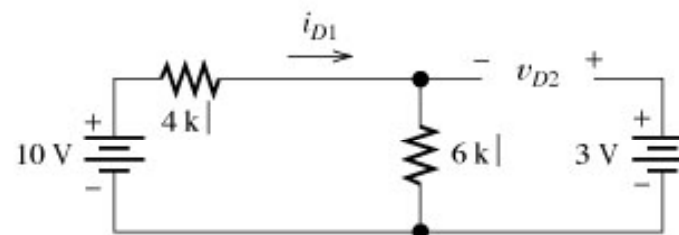
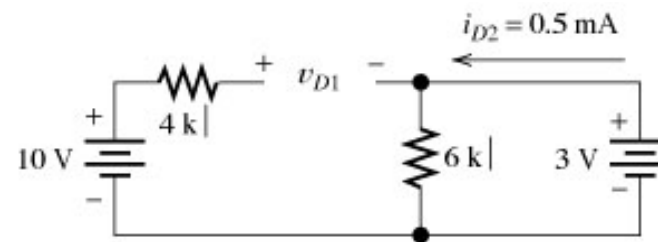
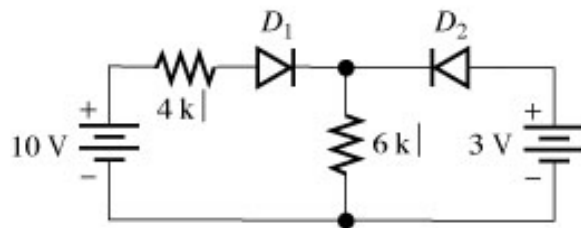
Ejemplo 2

- Hallar la variación en v_o para un corrimiento de V_{DD} en un 10%.
- Analizar el agregado de R_L



Ejemplo 3

- Cuál de los 2 diodos conduce ?



Modelo de Alta Frecuencia

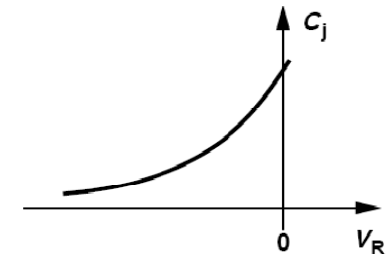
- El modelo antes visto puede emplearse solamente con señales de baja frecuencia. Para obtener un modelo que sirva también en altas frecuencias es necesario incluir las capacidades asociadas al diodo.
- Dentro de la unión P-N se observan dos capacidades que son consecuencia de fenómenos diferentes:
 - Capacidad de Vaciamiento.
 - Capacidad de Difusión.

Capacidad de Vaciamiento

- El hecho de modificar la tensión aplicada externamente a la juntura pn, modula el ancho total de la zona de vaciamiento. Esta variación, redundante en una variación de la carga y por ende puede asociarse a una capacidad. El valor que toma esta capacidad es:

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - V_D/\phi_B}}$$

$$C_{j0} = A \sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a N_d}{2(N_a + N_d)\phi_B}}$$



- Esta capacidad tiene mucha implicancia para tensiones inversas. En el caso de polarización directa se adopta un valor de $V_D/\phi_B = 0,5$

$$C_j \cong \sqrt{2}C_{j0}$$

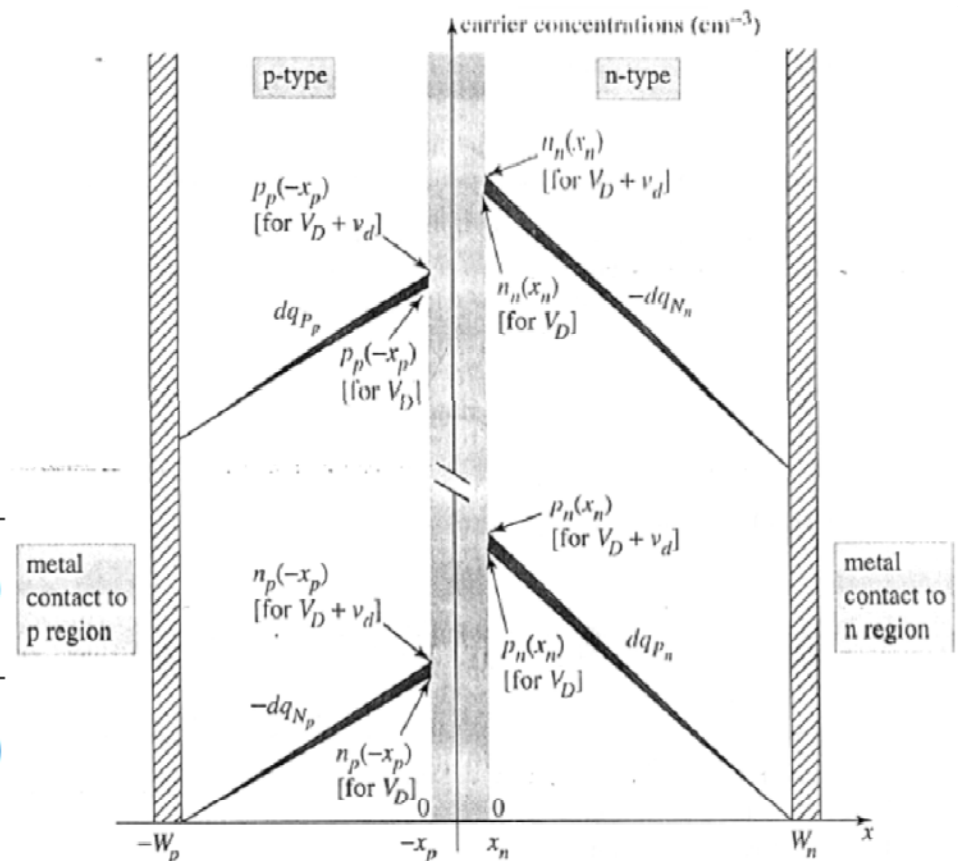
Capacidad de Difusión

- Las variaciones de V_D provocan variaciones de carga en la zona de vaciamiento debido a los cambios en la concentración de portadores. Una variación de Q sobre un lado de la juntura está acompañada del mismo cambio y con signo contrario del otro lado, comportándose como un capacitor

$$x_n(V_A) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \epsilon_i N_a \phi_B}{q N_d (N_a + N_d)} \left(1 - \frac{V_A}{\phi_B}\right)}$$

$$x_p(V_A) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s \epsilon_i N_d \phi_B}{q N_a (N_a + N_d)} \left(1 - \frac{V_A}{\phi_B}\right)}$$

$$V_A = V_D$$



Capacidad de Difusión

- Para mantener la neutralidad eléctrica en la zona de vaciamiento:

$$dq_{p_p} = -dq_{N_p} \text{ and } dq_{p_n} = -dq_{N_n}$$

- Expresión de la carga de portadores minoritarios que entran en juego ante variaciones de v_d :

$$n'_p(x) = n_p(x) - n_{p0} \text{ and } p'_n(x) = p_n(x) - p_{n0}$$

- La variación de carga en la zona de vaciamiento está dada por ambas corrientes de portadores minoritarios. La capacidad asociada será:

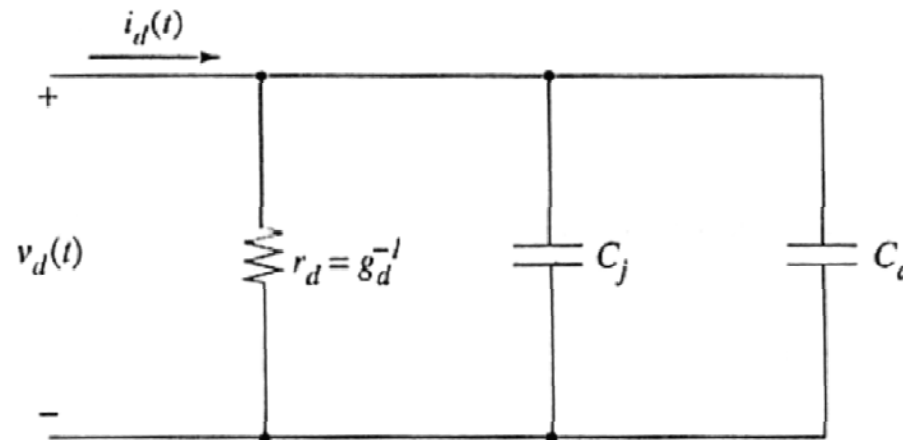
$$C_d = \left. \frac{-dq_{N_p}}{dv_D} \right|_{v_D} + \left. \frac{dq_{p_n}}{dv_D} \right|_{v_D}$$

- Resolviendo llegamos a:

$$C_d = \frac{qA}{2V_{th}} \left((W_p - x_p) n_{p0} + (W_n - x_n) p_{n0} \right) e^{v_D/V_{th}}$$

Modelo de Diodo de AF

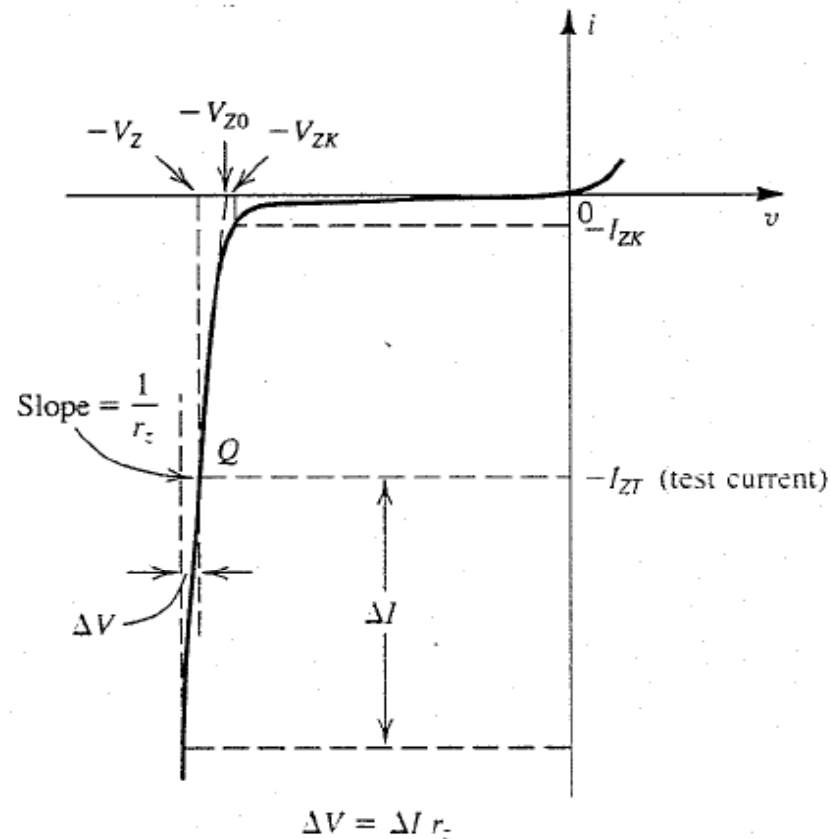
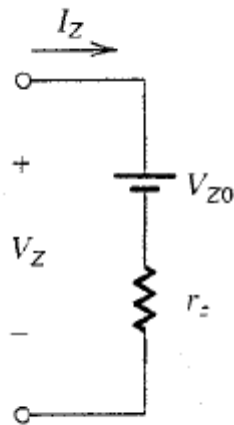
- Agregando las capacidades recién vistas, el modelo de pequeña señal (AC) queda:



- Con polarización directa, la C_j permanece constante, mientras que la C_d crece exponencialmente con V_D .
- Generalmente domina la C_d por sobre la C_j .

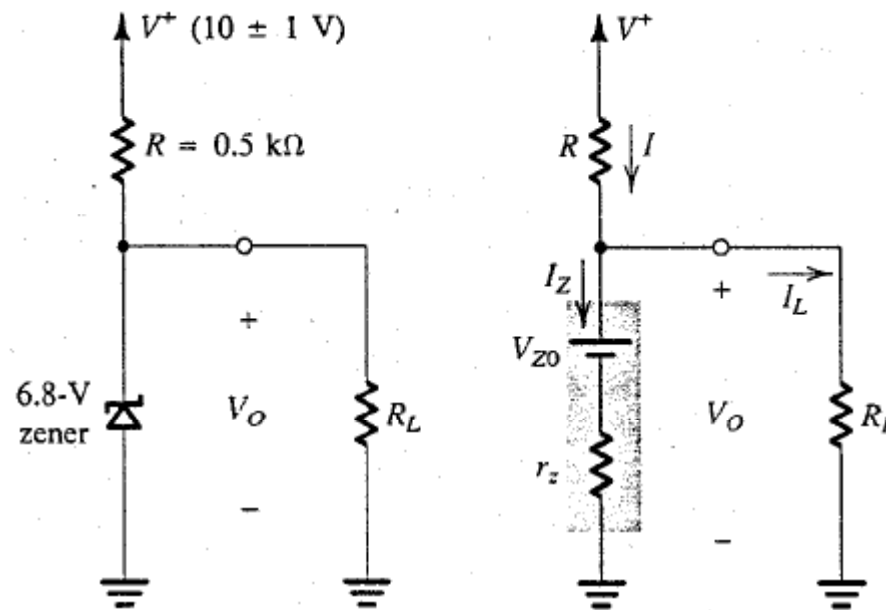
Modelo de Diodo Zener

- El fabricante publica el par de valores $\{V_Z, I_{ZT}\}$, como así también el valor de la resistencia dinámica (r_Z).
- Se lo modela de manera similar a un diodo.



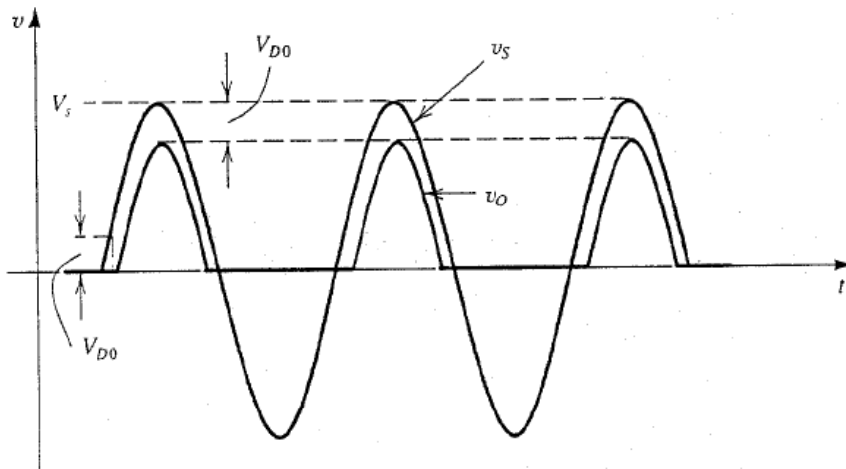
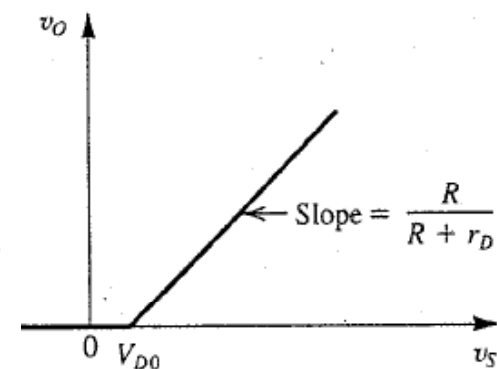
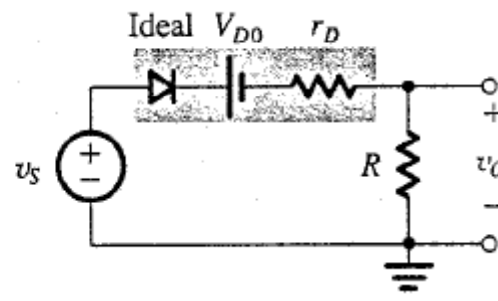
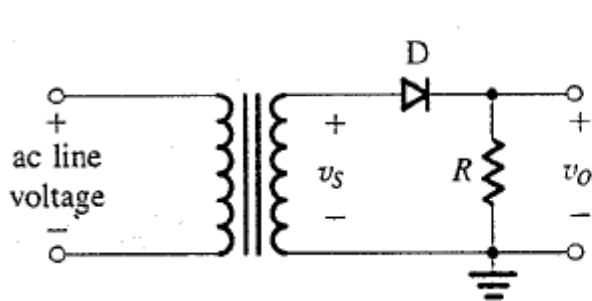
Ejemplo Zener

- Calcular las variaciones en V_O ante variaciones de V^+ y R_L .



Rectificador

- Rectificador de media onda



$$v_o = 0, \quad v_s < V_{D0}$$

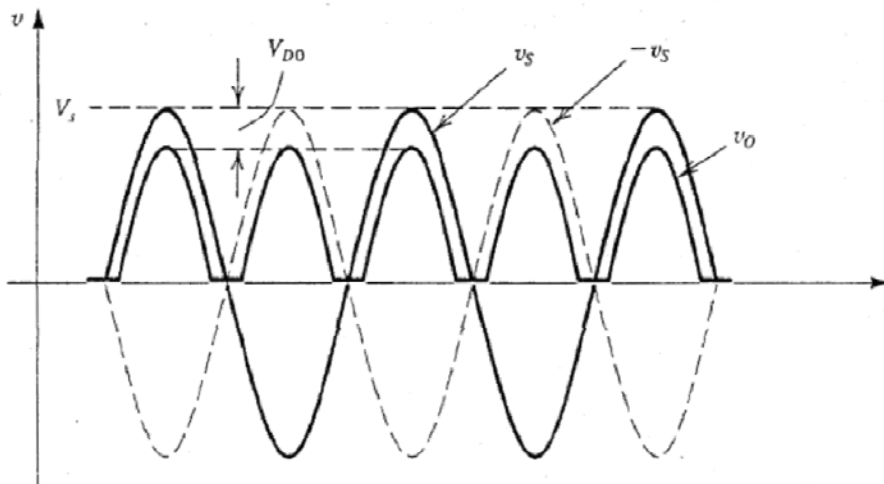
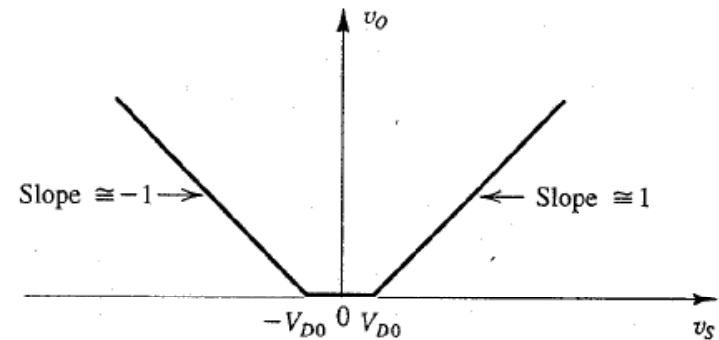
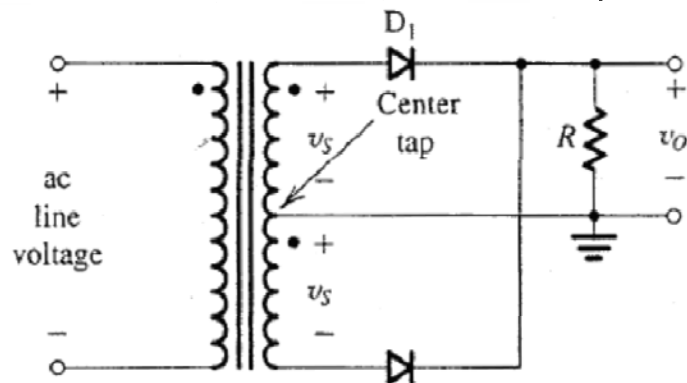
$$v_o = \frac{R}{R + r_D} v_s - V_{D0} \frac{R}{R + r_D}, \quad v_s \geq V_{D0}$$

$$\text{PIV} = V_s$$

Qué ocurre si $V_s < V_{D0}$?

Rectificador

- Rectificador de onda completa con punto medio

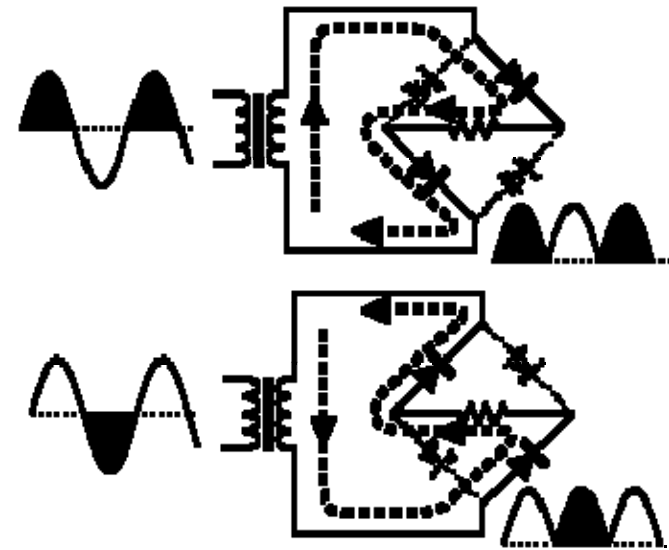
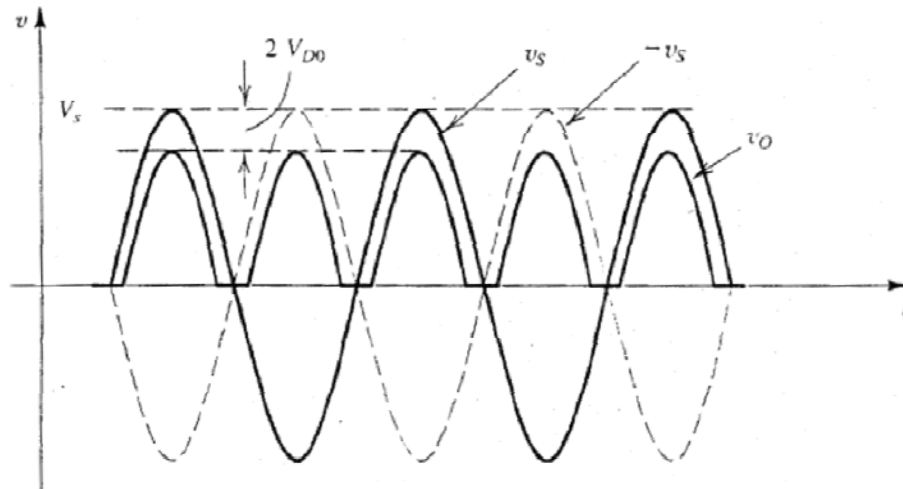
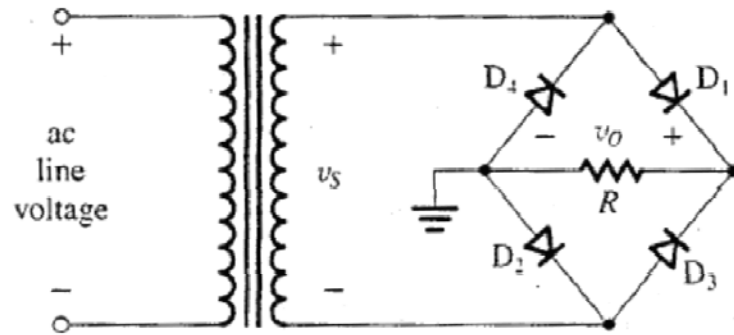


Valor medio: $V_O \approx (2/\pi)V_S - V_{D0}$.

$$PIV = 2V_S - V_{D0}$$

Rectificador

- Rectificador puente

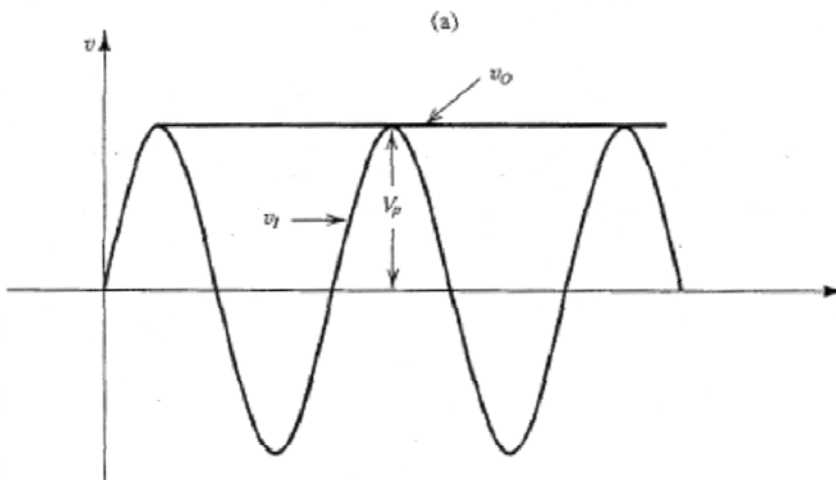
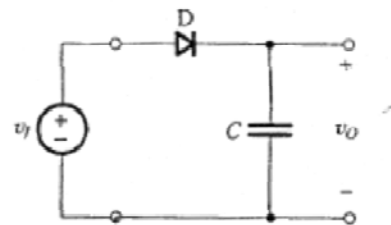


Valor medio: $V_O \approx (2/\pi) V_s - 2 V_{D0}$

PIV = $V_s - 2 V_{D0} + V_{D0} = V_s - V_{D0}$

Rectificador

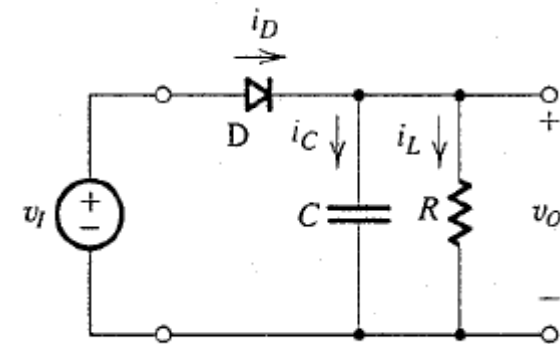
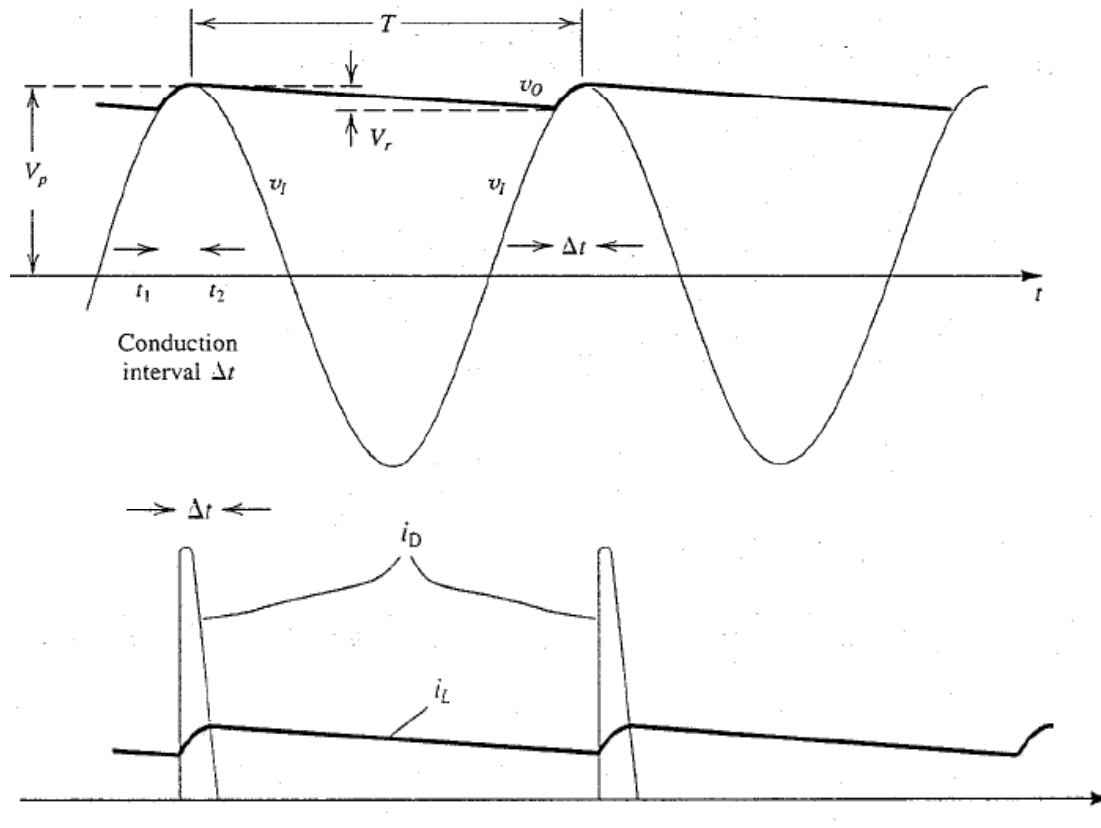
- Rectificador media onda con capacitor de filtrado



Situación ideal: Sin carga conectada al rectificador, el capacitor se cargará al valor pico de la tensión.

Rectificador

- Rectificador media onda con capacitor de filtrado



$$i_L = v_o/R$$

$$i_D = i_C + i_L$$

Rectificador

- Si consideramos que $RC \gg T$ $V_O = V_p - \frac{1}{2}V_r$
- Durante el intervalo de descarga de C, tendremos: $v_O = V_p e^{-t/CR}$
- Sobre el final del intervalo de descarga: $V_p - V_r \approx V_p e^{-T/CR}$
- Usando la aproximación $e^{-T/CR} \approx 1 - T/CR$ llegamos a: $V_r \approx V_p \frac{T}{CR}$
- Si $V_r \ll V_p$ es válido: $V_r \approx \frac{I_L T}{C} = \frac{I_L}{Cf}$
- De esta forma puede calcularse el capacitor en función del ripple admitido.

Rectificador

- Intervalo de conducción del diodo: $V_p \cos(\omega \Delta t) = V_p - V_r$
- Como $\omega \Delta t$ es chico, usamos la aproximación: $\cos(\omega \Delta t) \approx 1 - \frac{1}{2}(\omega \Delta t)^2$

$$\omega \Delta t \approx \sqrt{2V_r/V_p}$$

- Para estimar la corriente media por el diodo, igualamos la carga Q en el capacitor durante el proceso de carga y descarga:

$$Q_{\text{supplied}} = i_{C_{\text{av}}} \Delta t \quad Q_{\text{lost}} = CV_r$$

$$i_{D_{\text{av}}} = I_L + I_C = I_L + \frac{CV_r}{\Delta t} = I_L + \frac{2\pi f CV_r}{\sqrt{2V_r/V_p}} \quad V_r \approx \frac{I_L}{Cf}$$

$$i_{D_{\text{av}}} = I_L + \frac{2\pi I_L}{\sqrt{2V_r/V_p}} = I_L \left(1 + \pi \sqrt{2V_p/V_r}\right) \quad i_{D_{\text{max}}} = I_L (1 + 2\pi \sqrt{2V_p/V_r})$$

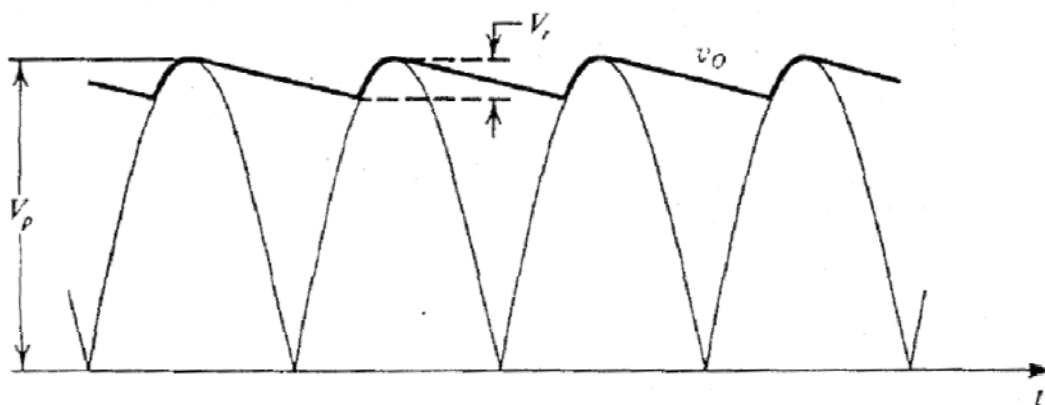
Rectificador

- Haciendo el mismo análisis para el rectificador de onda completa, resulta:

$$V_r = \frac{V_p}{2fCR}$$

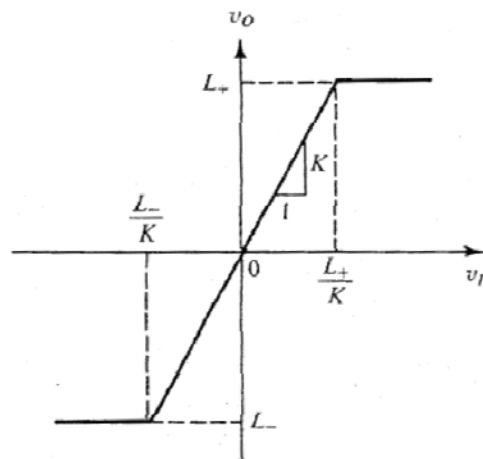
$$i_{D\text{av}} = I_L(1 + \pi\sqrt{V_p/2V_r})$$

$$i_{D\text{max}} = I_L(1 + 2\pi\sqrt{V_p/2V_r})$$

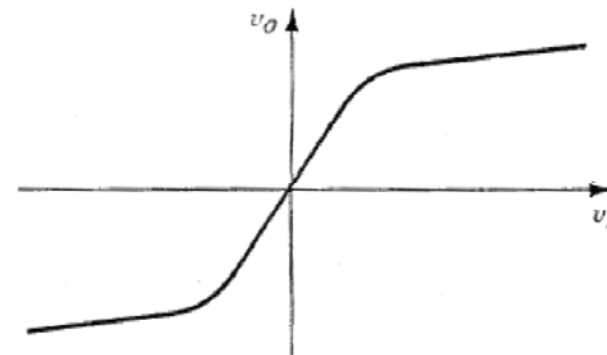


Limitadores

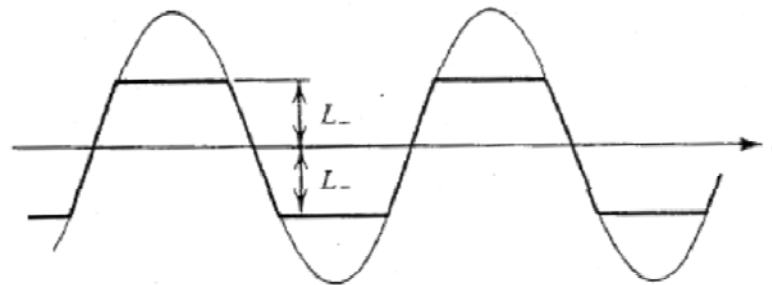
- Circuitos empleados para limitar el valor de una señal, ya sea en un sentido o en ambos.



Hard

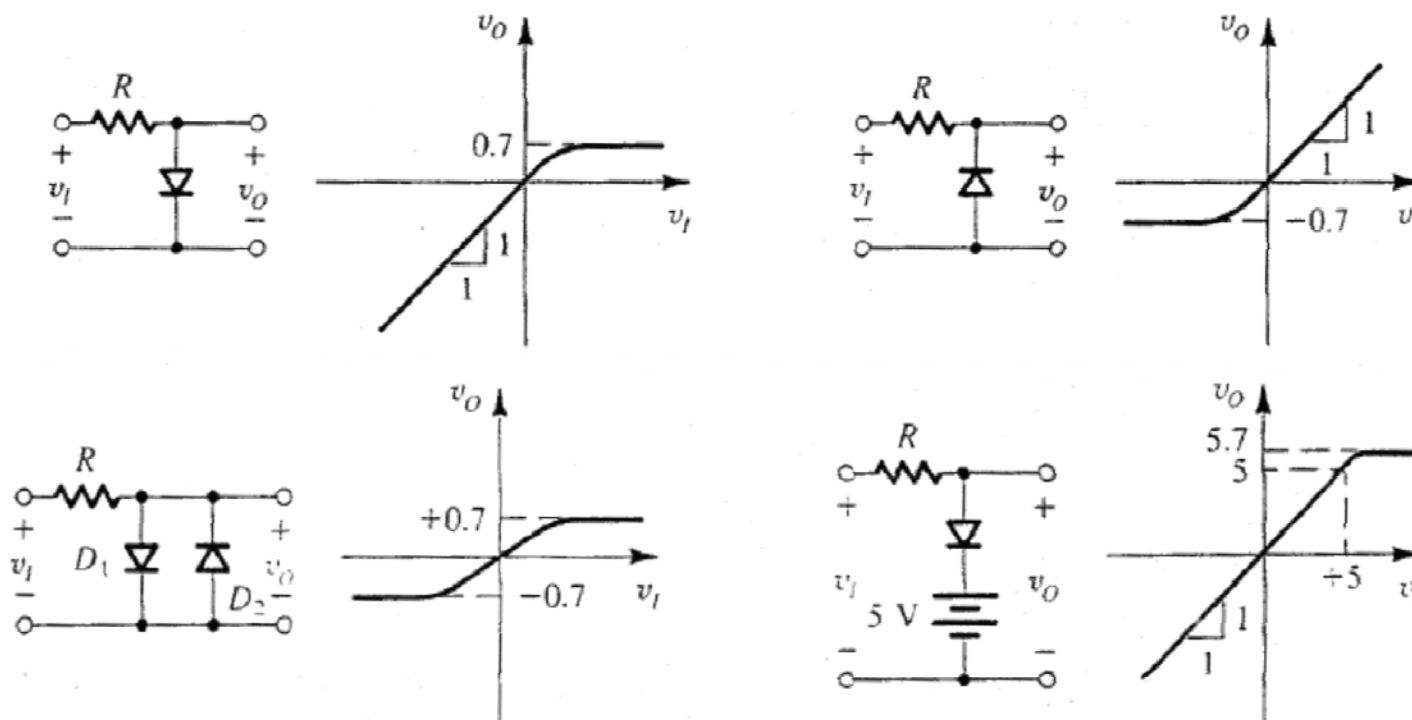


Soft



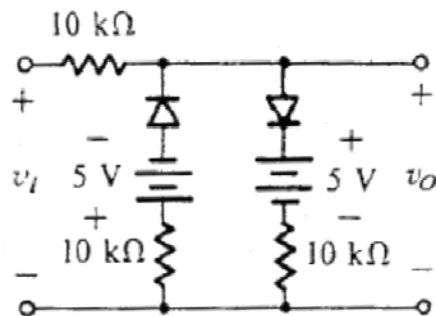
Limitadores

- Ejemplos de limitadores básicos.



Limitadores

- Ejemplo:



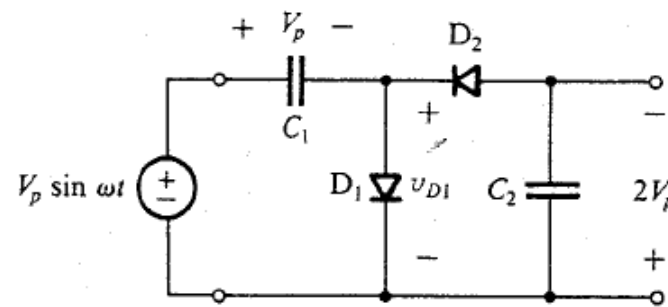
Despreciando la caída en los diodos:

$$v_o = v_t \quad \text{para } -5V \leq v_t \leq +5V$$

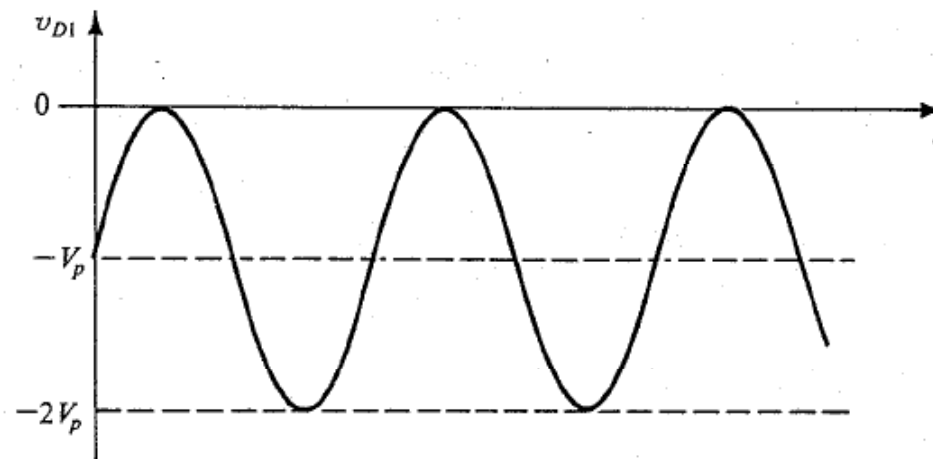
$$v_o = v_t / 2 - 2.5V \quad \text{para } v_t \leq -5V$$

$$v_o = v_t / 2 + 2.5V \quad \text{para } v_t \geq +5V$$

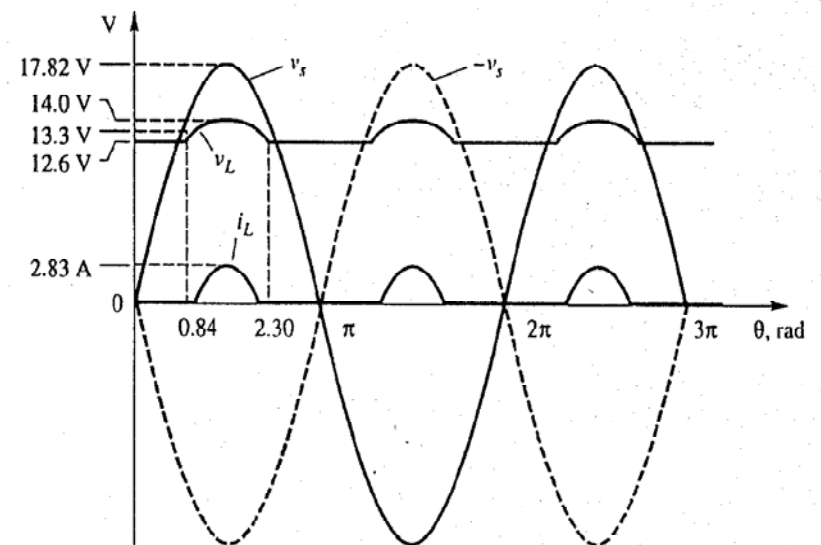
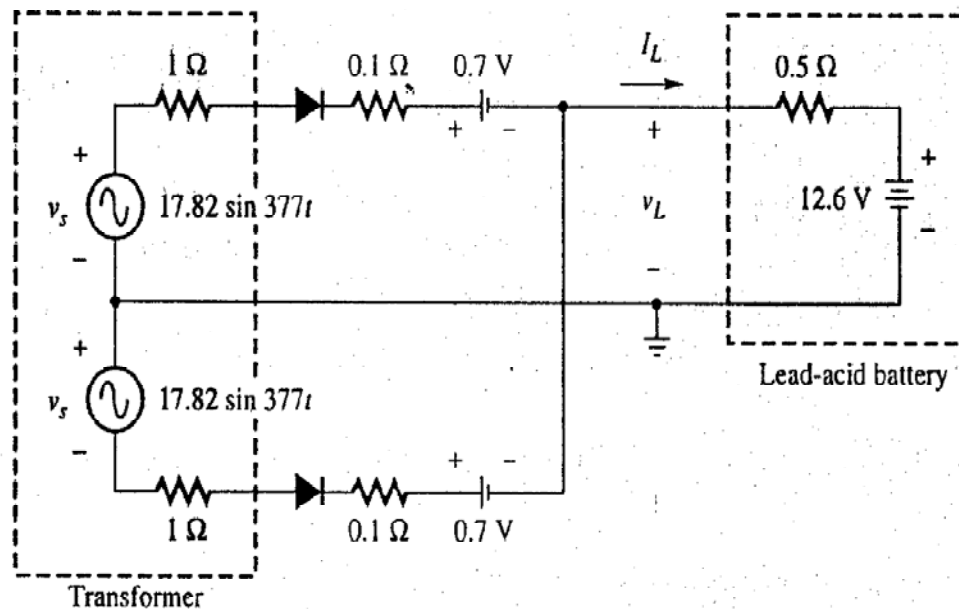
Multiplicador de tensión



(a)



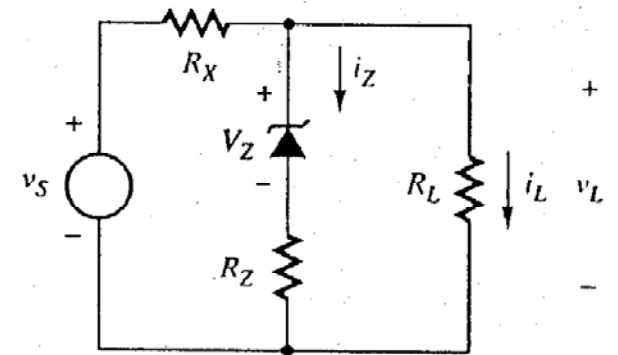
Cargador de baterías



Fuente regulada

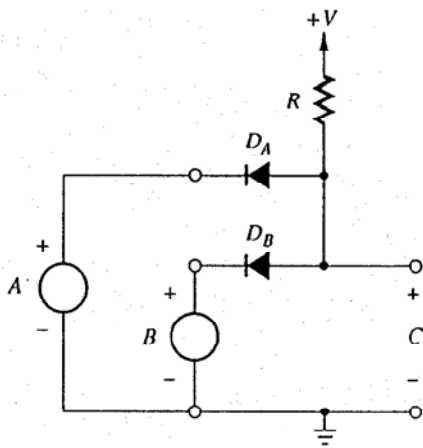
- En base a la tensión V_L necesaria, se especifica la tensión del diodo zener. $V_Z = V_L$.
- Despreciando R_Z :
$$i_Z = \frac{(v_S - V_Z)}{R_X} - \frac{V_Z}{R_L}$$
- Con R_L máxima y R_L mínima se debe calcular R_X , de forma tal de mantener una corriente mínima por el zener, asegurando un buen punto de trabajo; y por otro lado mantener la disipación de potencia por debajo del valor nominal.
- La regulación ante variaciones de v_S está dada por:

$$\Delta V_L = \frac{(R_Z // R_L)}{(R_Z // R_L) + R_X} \Delta v_S$$

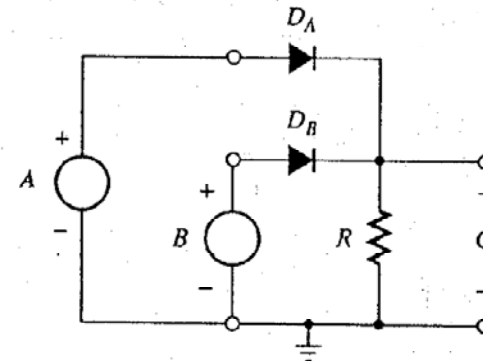


Lógica con diodos

- Una de las primeras familias lógicas que existieron fue la DTL, basada en compuertas fabricadas a partir de diodos.



AND



OR

Diodos Especiales

- Existe una serie de diodos con aplicaciones específicas:
 - Varactores o Varicaps.
 - Diodos de juntura metal-semiconductor Schottky.
 - Diodos lumínicos LED (Light Emitting Diode).
 - Fotodiodos.
 - Optoacopladores

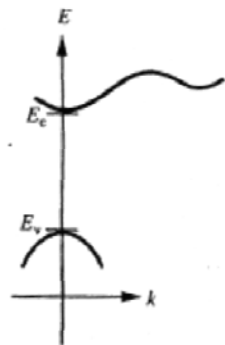
Diodo Schottky

- Poseen una juntura Metal-Semiconductor, donde este último se encuentra moderadamente dopado tipo N.
- El ánodo está compuesto por la parte metálica, mientras que el cátodo lo forma el semiconductor.
- La conducción de corriente en la unión se logra mediante los portadores mayoritarios, en lugar de los minoritarios como en la juntura clásica.
- No adolece del problema de almacenaje de cargas en la zona de la unión como la juntura clásica; por ese motivo tiene una velocidad de operación mayor y logra funcionar a altas frecuencias.
- La caída de tensión se encuentra típicamente entre 0.2 y 0.4V, comparado con los 0.6 a 0.8V en la juntura clásica.

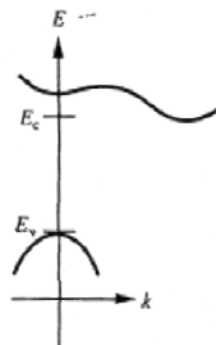


Diodos LED

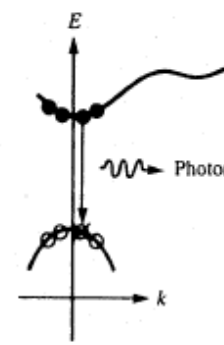
- **Semiconductores Directos e Indirectos**
 - Está relacionado con la coincidencia o no de los valores mínimo y máximo de los niveles energéticos de la banda de conducción y valencia respectivamente.
 - El Si es un material indirecto, por lo cual las propiedades fotoeléctricas no son buenas
 - GaAs y materiales similares sí lo son



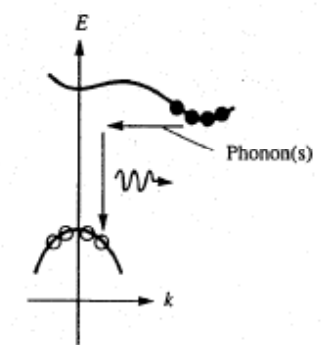
(a) Direct semiconductor



(b) Indirect semiconductor



(a) Direct semiconductor



(b) Indirect semiconductor

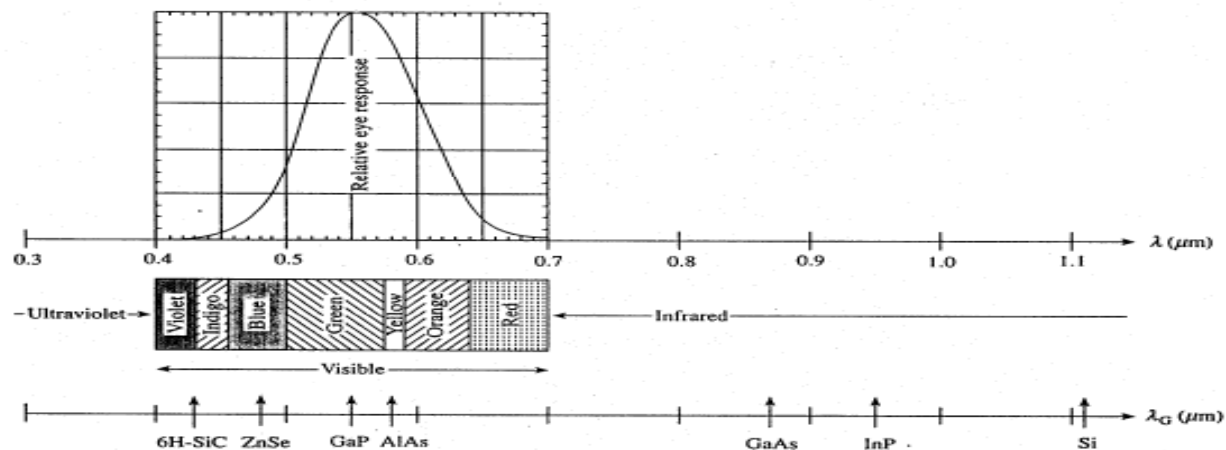
Relación Fotón-Gap

- La energía de un fotón viene dada por:

$$E_{ph} = h\nu \quad h = \text{Cte Planck} = 6.626 \times 10^{-34} [J.s]$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{h\nu} = \frac{hc}{E_{ph}} \quad \dots c = \text{speed of light}$$

$$\lambda = \frac{1.24}{E_{ph}} \quad \lambda = [\mu m] \quad E_{ph} = [eV]$$



Diodos LED

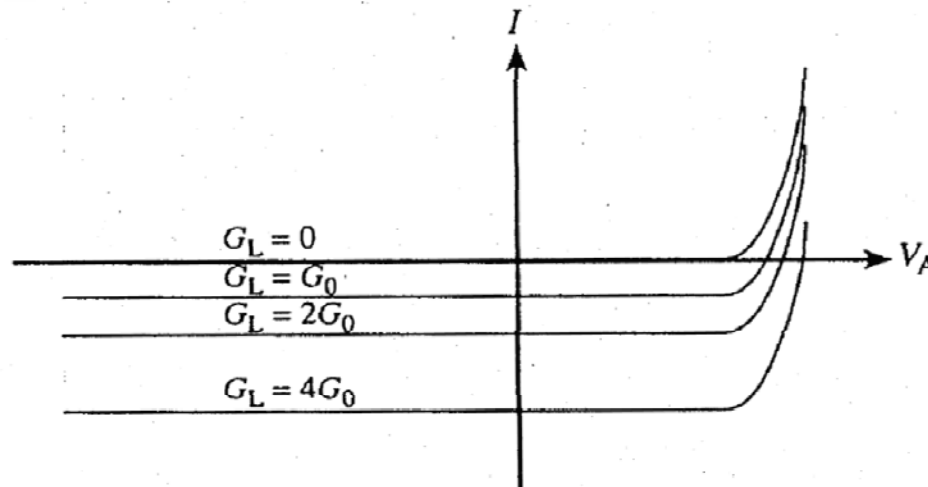
- Parte de los portadores en la zona de vaciamiento en la juntura P-N se recombinan “perdiendo” energía durante ese proceso.
- En materiales como el Si, la recombinación resulta mayormente en calor, mientras que en otros como el $G_A A_S$, la recombinación produce emisión de fotones.
- La polarización de la juntura es directa para que se produzca el fenómeno de generación y recombinación.
- Para que el flujo de fotones generados sea visible, es necesario que:
$$0.4\mu\text{m} < \lambda < 0.7\mu\text{m}$$
- Para esto, la energía en juego en el proceso de recombinación debe estar comprendida entre:
$$1.77\text{eV} < E < 3.1\text{eV}$$
- El $G_A A_S$ tiene un Gap de 1.4eV, por lo cual no emite fotones “visibles”.

Diodos LED

<i>Semiconductor</i>	<i>Color</i>	<i>Peak $\lambda(\mu\text{m})$</i>	<i>External Efficiency η (%)</i>	<i>Performance (lumens/watt)[†]</i>
<i>Established Materials</i>				
GaAs _{0.6} P _{0.4}	Red	0.650	0.2	0.15
GaAs _{0.35} P _{0.65} :N	Orange-Red	0.630	0.7	1
GaAs _{0.14} P _{0.86} :N	Yellow	0.585	0.2	1
GaP:N	Green	0.565	0.4	2.5
GaP:Zn-O	Red	0.700	2	0.40
<i>Recent Additions</i>				
AlGaAs	Red	0.650	4–16	2–8
AlInGaP	Orange	0.620	6	20
AlInGaP	Yellow	0.585	5	20
AlInGaP	Green	0.570	1	6
SiC	Blue	0.470	0.02	0.04
GaN	Blue	0.450	2	0.6

Fotodiodos

- Es un dispositivo con una unión P-N, sobre la que se permite el ingreso de luz.
- La absorción de luz dentro del diodo permite liberar electrones en la banda de valencia, pasando a la banda de conducción.
- Los fotodiodos funcionan polarizados en inversa, pues la tasa de generación óptica de portadores modifica la corriente de fuga I_S .
- En la zona de polarización directa funcionan como un diodo clásico.

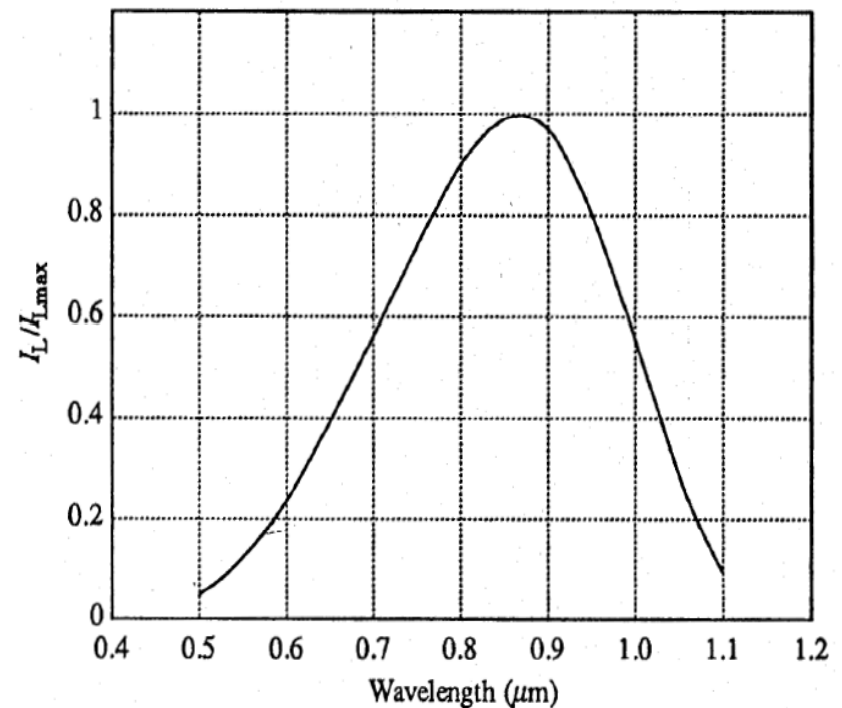


Fotodiodos

- El límite del máximo λ viene dado por la separación (Gap) de las bandas de valencia y conducción del Silicio en este caso:

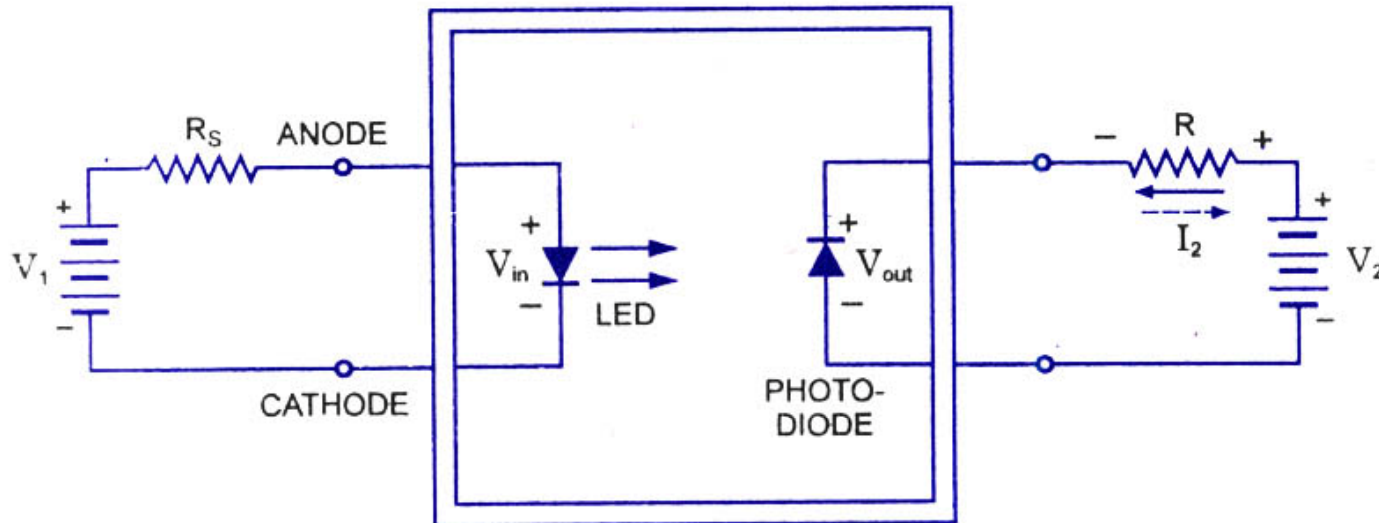
$$\text{Gap}_{\text{SI}} = 1.12\text{eV} \rightarrow \lambda_{\text{MAX}} = 1.1\mu\text{m}$$

- El límite de λ_{MIN} viene dado por dos razones diferentes; por un lado se supone para la traza de la curva una densidad de energía constante, por lo cual la tasa de fotones de alta frecuencia es menor. Por otro lado la penetración de fotones de alta frecuencia es menor, por lo cual colisionan más cerca de la superficie y se vuelven a recombinar.



Optoacopladores

- Se utilizan para proveer aislación galvánica entre dos circuitos eléctricos diferentes.



Optoacopladores

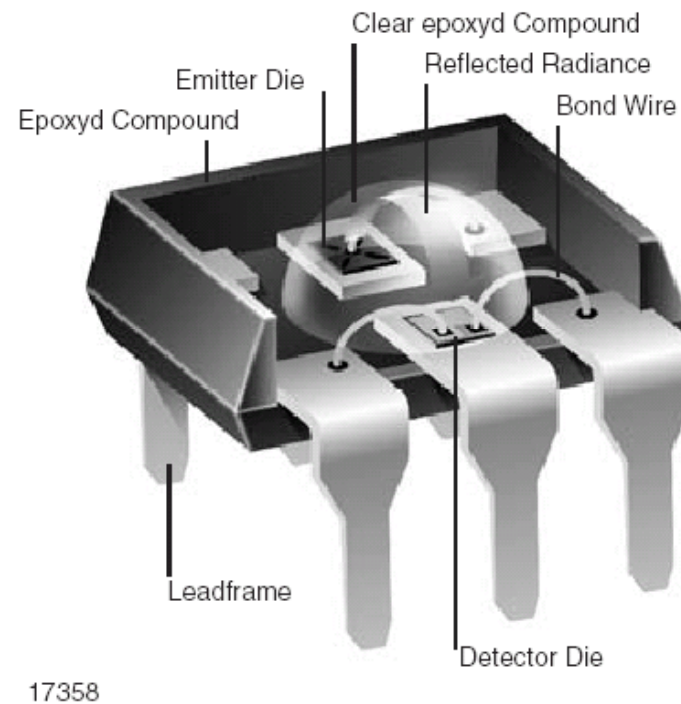


Figure 1. Coplanar Construction Principle