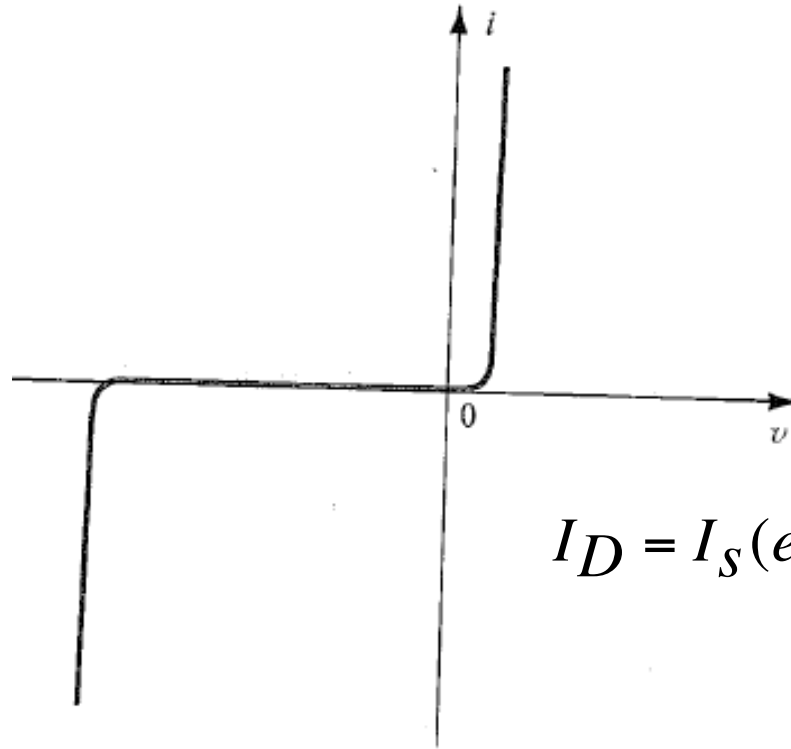


# DIODOS REALES

## RELACIÓN CORRIENTE-VOLTAJE DE LA JUNTURA PN

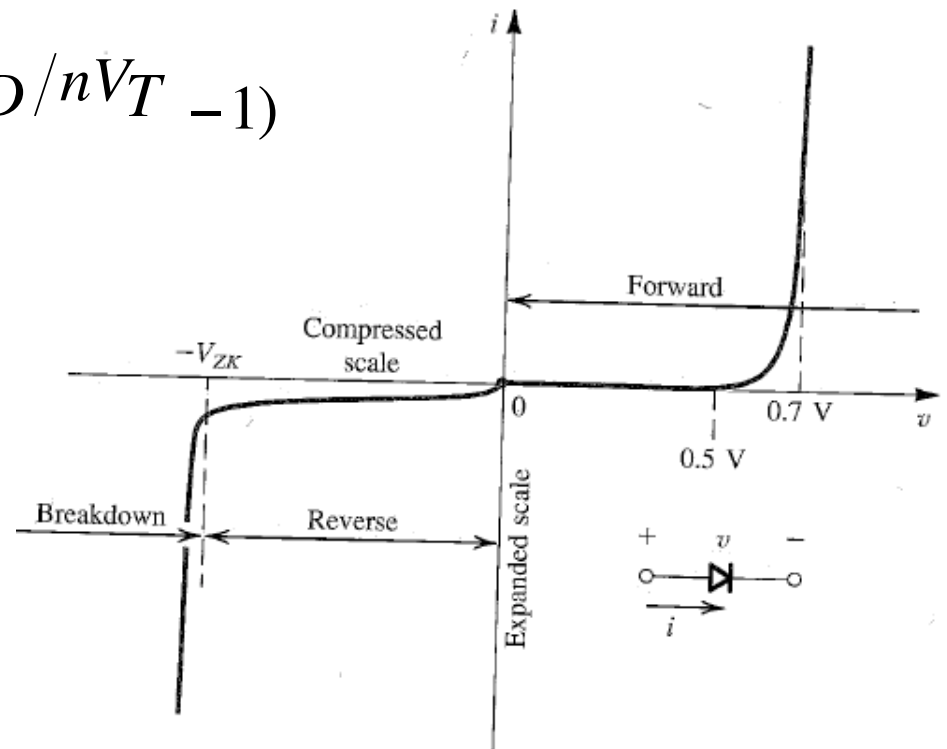


$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

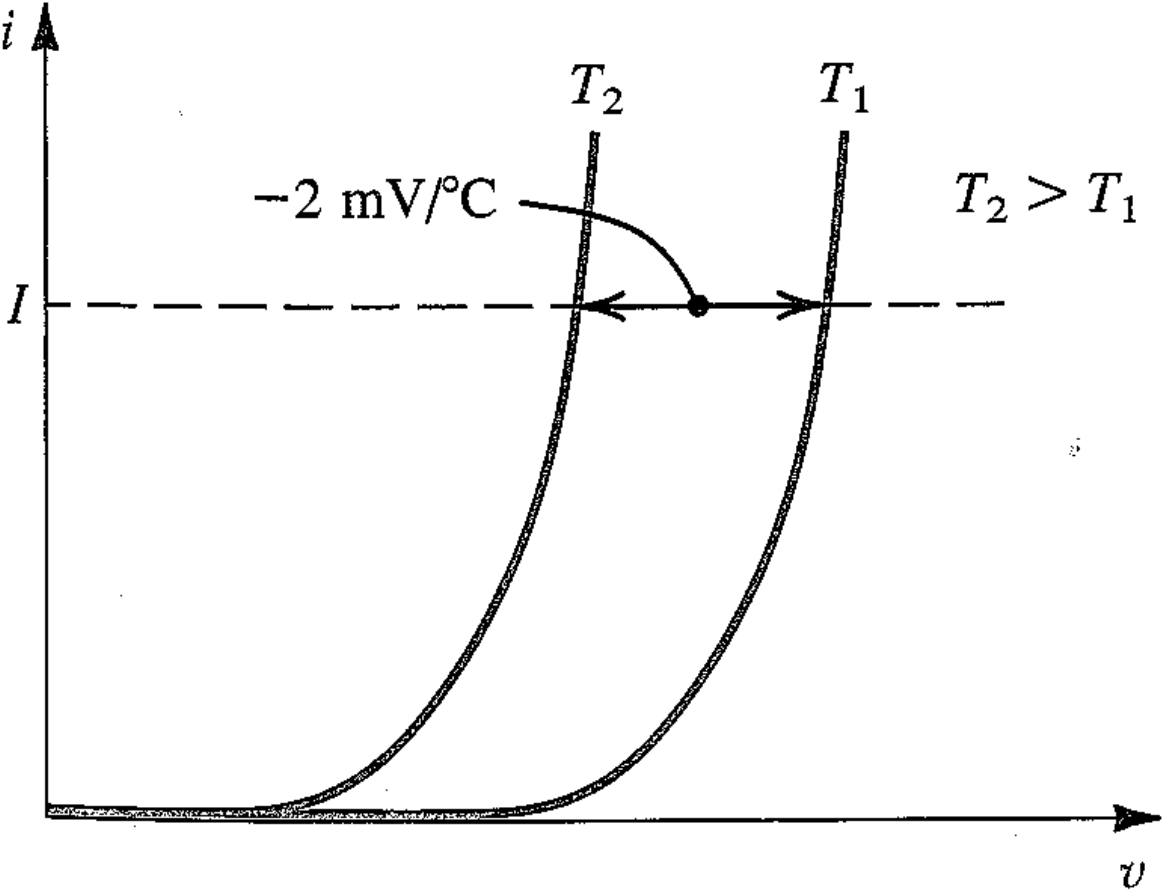
$$V_T = \frac{KT}{q}$$

$$V_T = 25,2 \text{ mV a } 300^\circ\text{K}$$

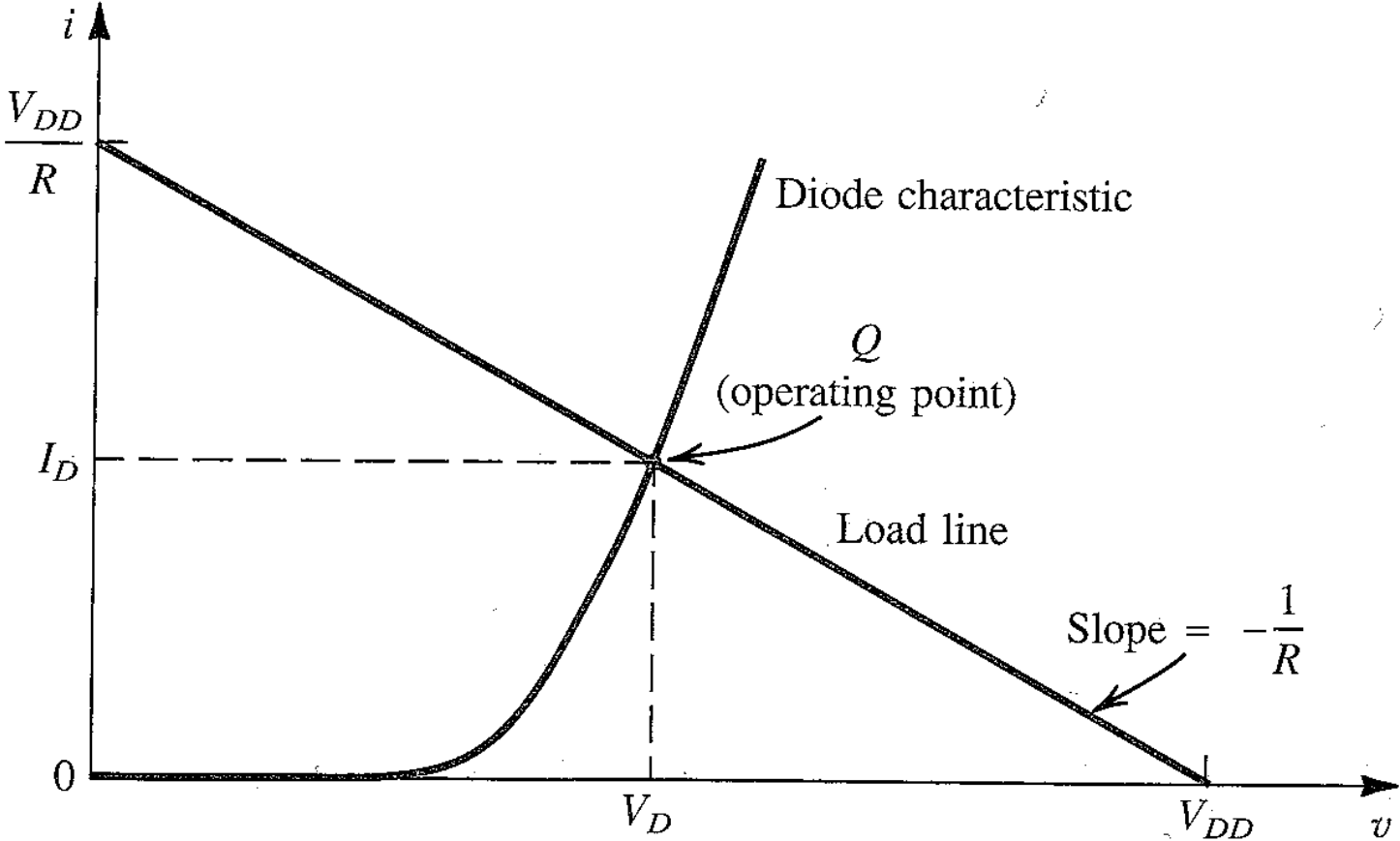
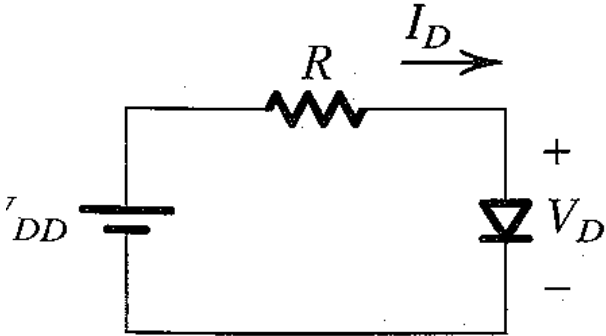
Escalas expandidas o comprimidas para ver mas detalles



# DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA



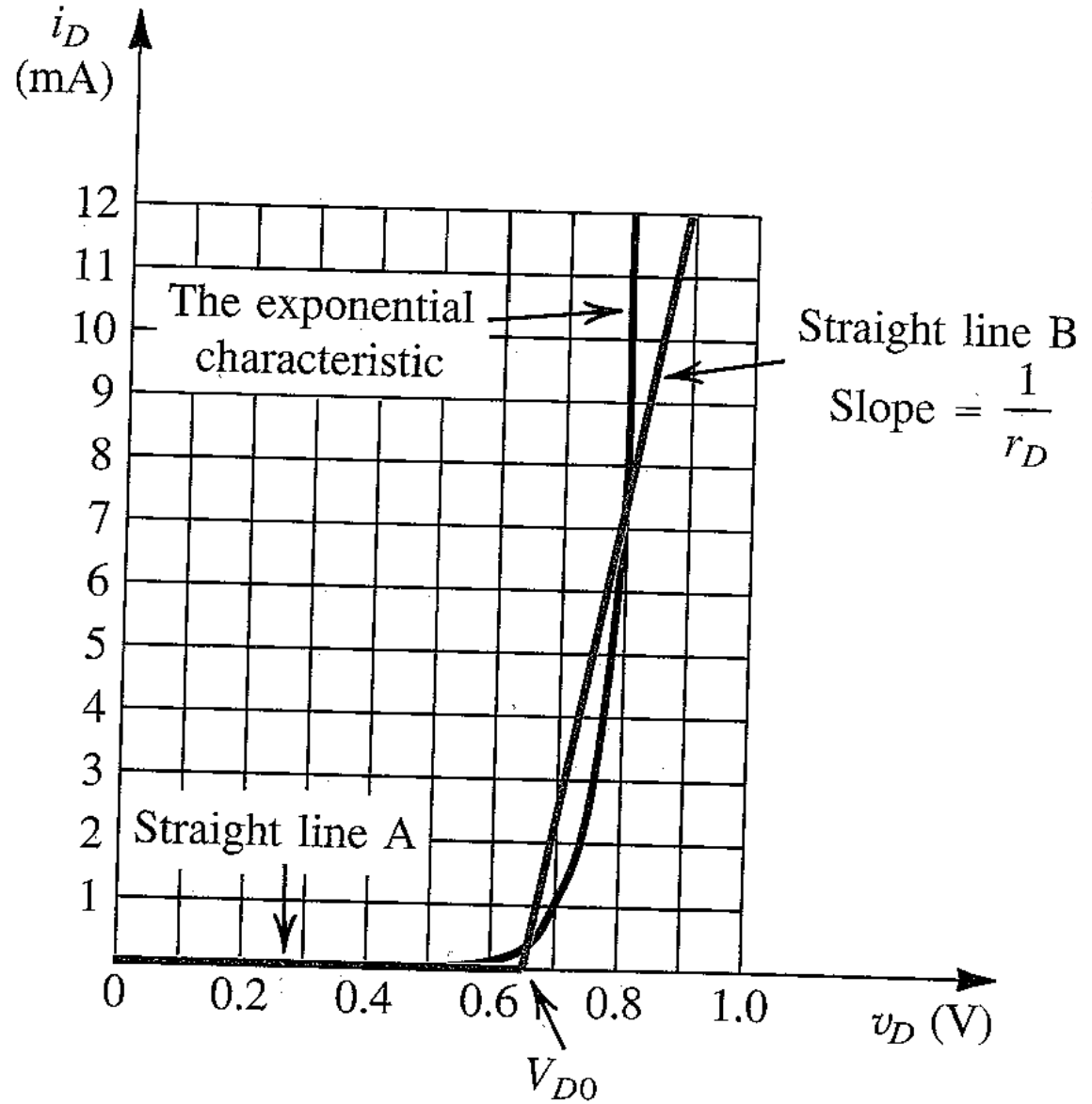
# MODELO EXPONENCIAL



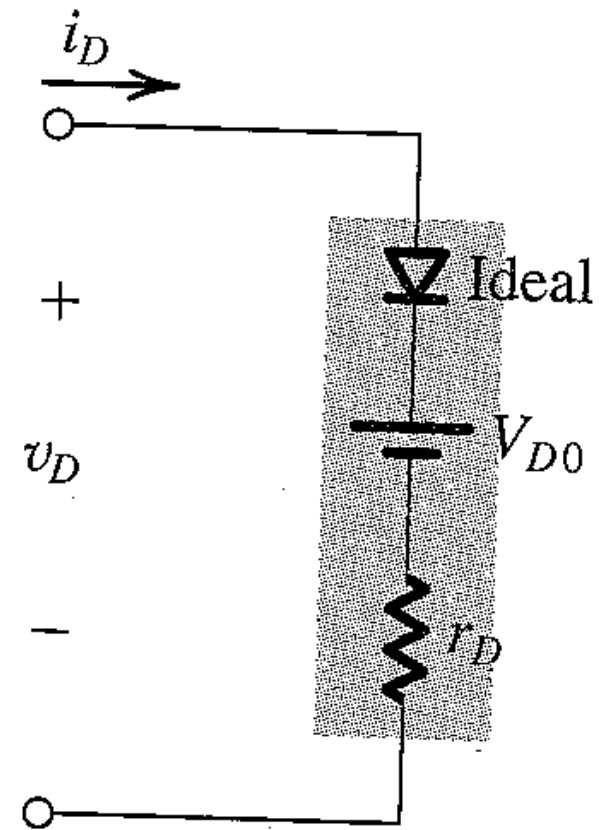
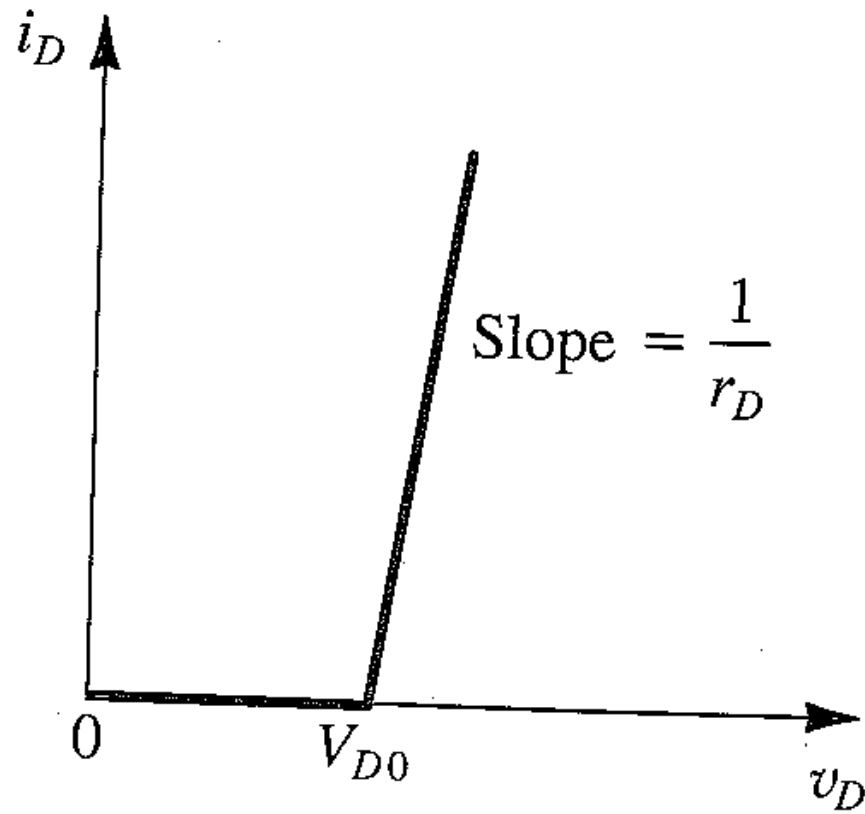
# MODELO LINEAL POR SEGMENTOS

$$V_{D0} = 0,65 \text{ V}$$

$$r_D = 20 \Omega$$



# REPRESENTACIÓN CIRCITAL DEL MODELO LINEAL POR SEGMENTOS



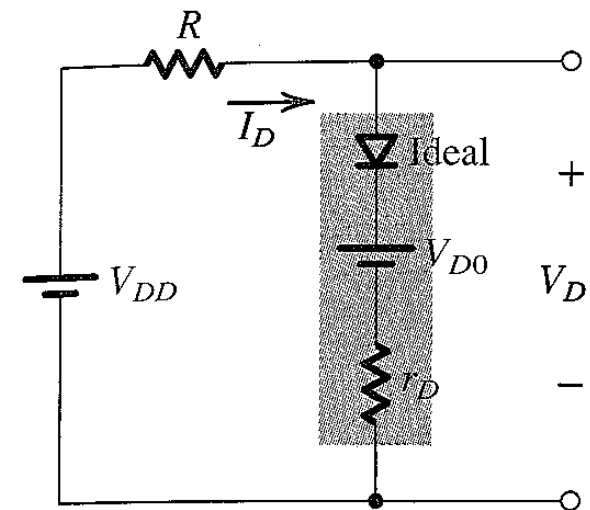
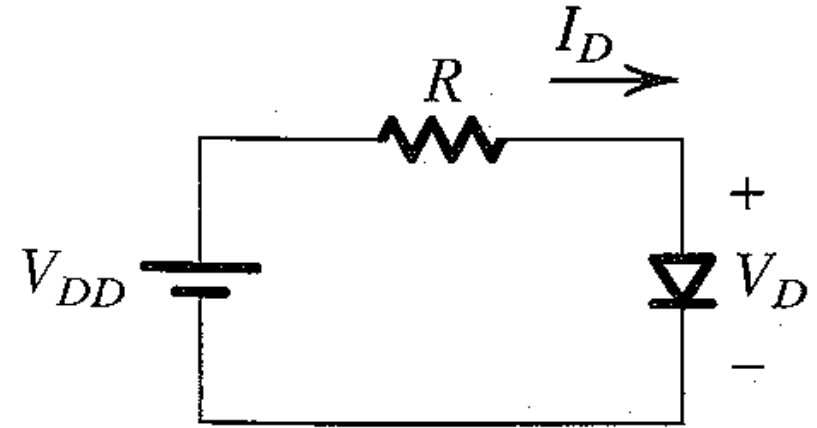
## EJEMPLO

En el siguiente circuito determine el voltaje y la corriente en el diodo si el voltaje de fuente  $V_{DD} = 5 \text{ V}$  y  $R = 1 \text{ k}\Omega$ , utilizando el modelo lineal por segmentos con  $V_{D0} = 0,65 \text{ V}$  y  $r_D = 20 \Omega$ .

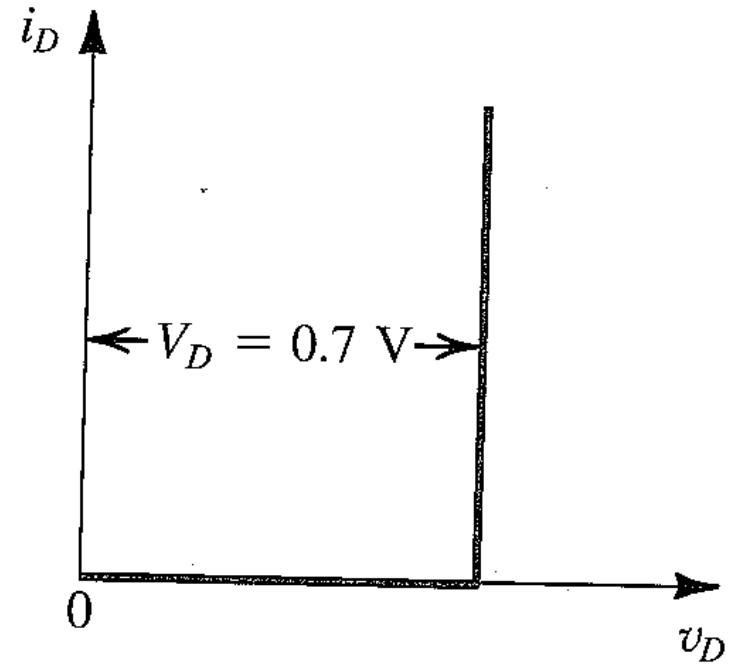
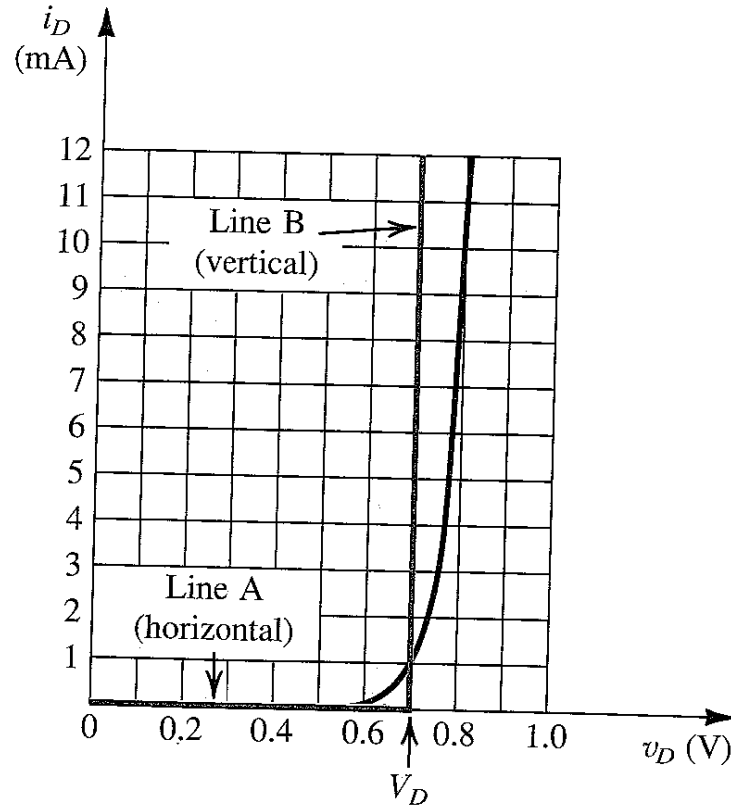
$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{D0}}{R + r_D}$$

$$I_D = \frac{5 - 0.65}{1 + 0.02} = 4.26 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_D &= V_{D0} + I_D r_D \\ &= 0.65 + 4.26 \times 0.02 = 0.735 \text{ V} \end{aligned}$$

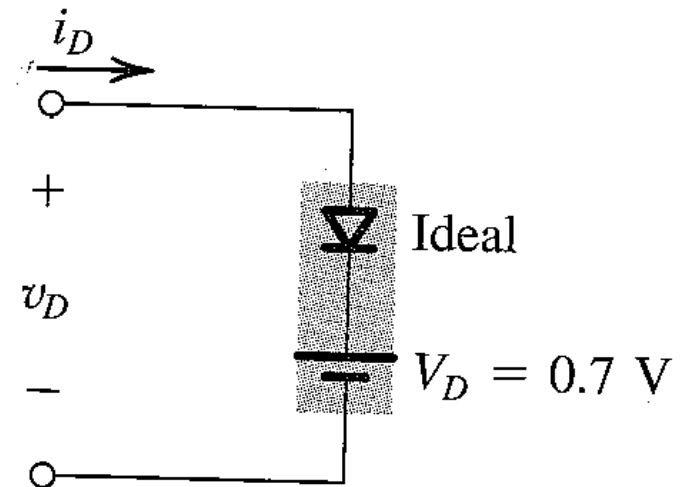


## EL MODELO DE VOLTAJE CONSTANTE

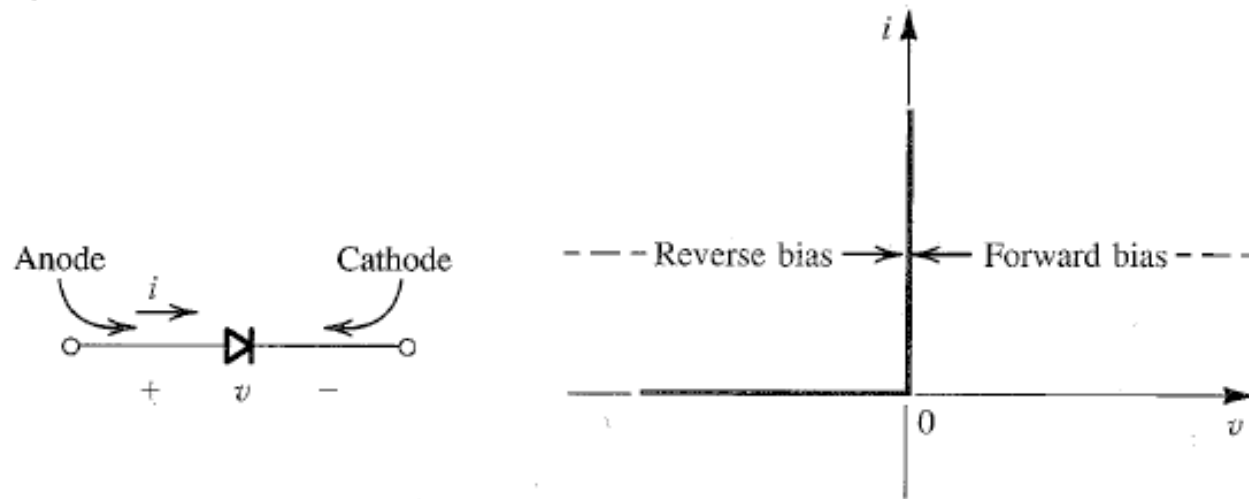


Con este modelo  $V_D = 0,7$  V

$$I_D = \frac{V_{DD} - 0.7}{R} = \frac{5 - 0.7}{1} = 4.3 \text{ mA}$$



## MODELO IDEAL DEL DIODO



Con este modelo el análisis anterior queda:

$$V_D = 0 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{5 - 0}{1} = 5 \text{ mA}$$

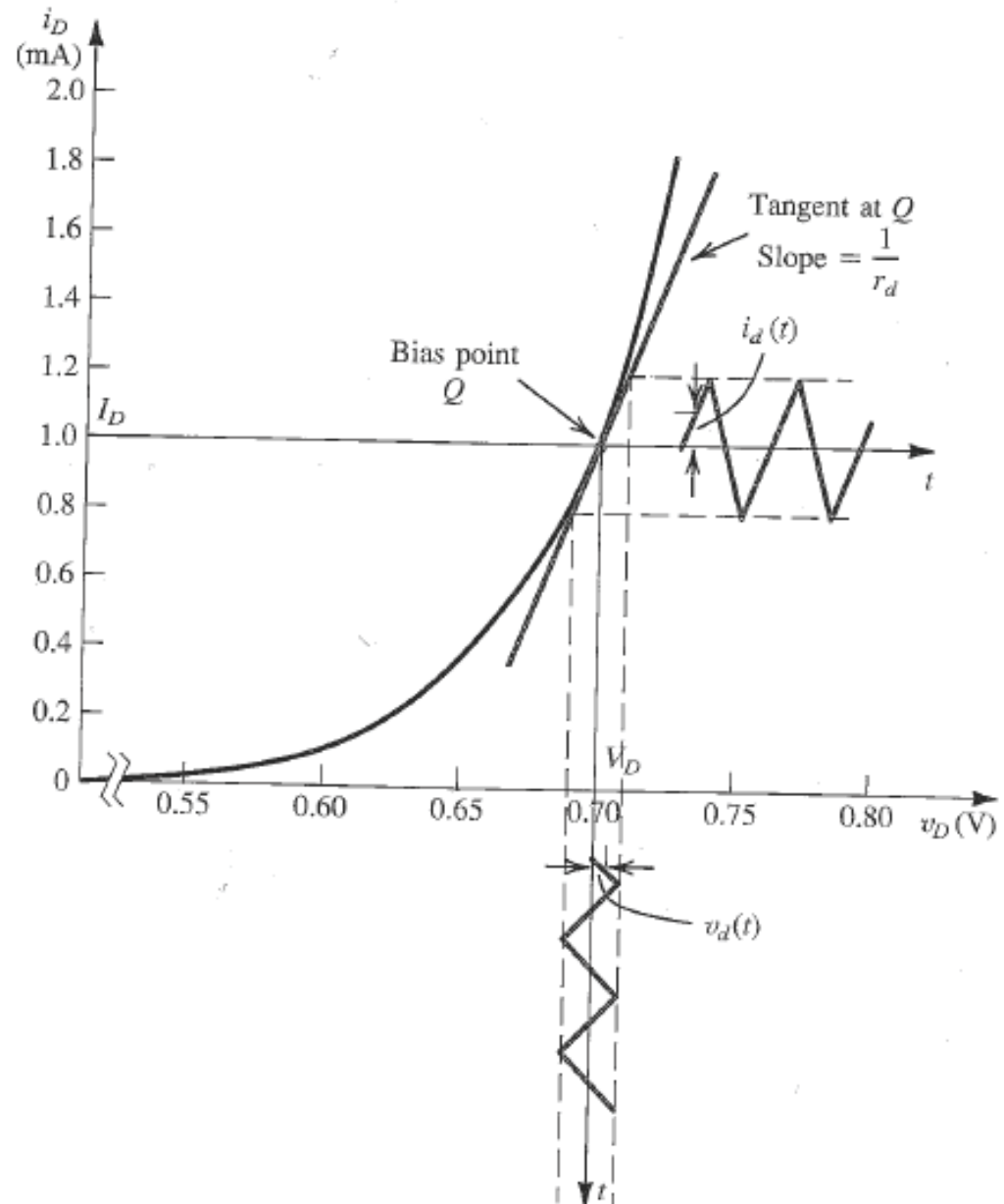


## EL MODELO DE PEQUEÑA SEÑAL

Q: Punto de operación, definido por el voltaje en el diodo  $V_D$  y la corriente en el diodo  $I_D$ . (Valores en DC).

Las variaciones (señales AC) van a ocurrir alrededor del punto de operación, siguiendo la curva.

Como las variaciones son pequeñas, puede aproximarse la curva a una recta, tangente a la curva en el punto Q.



## ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL

Solo con la fuente DC y despreciando el término  $-1$   $I_D = I_S e^{V_D/nV_T}$   
Las variables se escriben en mayúscula con el subíndice en mayúscula.

Al aplicar simultáneamente una señal DC y una señal AC la variable total se escribe en minúscula con el subíndice en mayúscula, y está formada por la componente DC (ambas letras en mayúscula) mas la componente AC (ambas letras en minúscula).

El voltaje total al aplicar una componente AC es:  $v_D(t) = V_D + v_d(t)$

La corriente :  $i_D(t) = I_S e^{v_D/nV_T} = I_S e^{V_D/nV_T} e^{v_d/nV_T} = I_D e^{v_d/nV_T}$

El voltaje  $v_d$  es pequeño (pequeña señal), por lo que:  $\frac{v_d}{nV_T} \ll 1$

La serie de Taylor  $f(x) = e^x$  es:

$$f(x) = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Por lo tanto, la corriente total es

$$i_D(t) \approx I_D \left(1 + \frac{v_d}{nV_T}\right) = I_D + i_d(t)$$

De donde se deduce que la componente AC de pequeña señal de la corriente del diodo  $i_d(t)$  es:

$$i_d(t) = \frac{I_D}{nV_T} v_d(t)$$

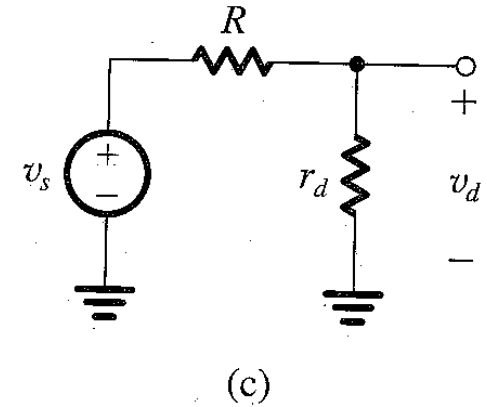
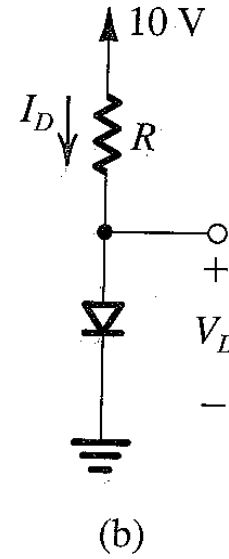
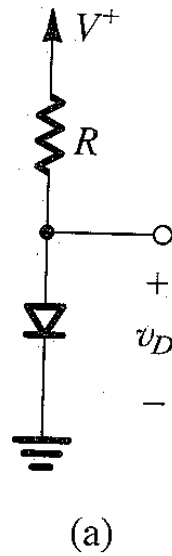
Por lo tanto la resistencia dinámica del diodo en el punto Q, que corresponde a la tangente en Q es:

$$r_d = \frac{v_d}{i_d} = \frac{nV_T}{I_D}$$

El análisis completo de un circuito con un diodo que incluye fuentes DC y AC (pequeña señal) se realiza aplicando primero la fuente DC y calculando el punto de operación Q ( $I_D, V_D$ ) con alguno de los modelos del diodo (voltaje constante, lineal por segmentos) utilizando los parámetros correspondientes, y luego elaborando un circuito solo con la fuente AC, las resistencias externas y sustituyendo el diodo por su modelo de pequeña señal (únicamente  $r_d$ ).

## EJEMPLO

En el circuito (a),  $R = 10\text{k}\Omega$  y la fuente  $V^+$  incluye un voltaje DC de  $10\text{ V}$  sobre el que hay una señal de  $60\text{ Hz}$  y amplitud  $V_p=1\text{V}$  (rizado). Calcule la corriente DC en el diodo y la amplitud de la señal sinusoidal entre sus terminales si  $V_D=0,7\text{V}$  y  $n=2$ .



En (b) está el circuito DC. Con el modelo de la fuente DC de  $0,7\text{ V}$  se calcula el valor de la corriente DC en el diodo:

$$I_D = \frac{10\text{V} - 0,7\text{V}}{10\text{K}\Omega} = 0,93\text{mA}$$

Con este dato se calcula la resistencia dinámica  $r_d$ :

$$r_d = \frac{nV_T}{I_D} = \frac{2 \times 25mV}{0,93mA} = 53,8\Omega$$

En el circuito de la figura (c), la fuente alterna es la de 60 Hz y amplitud  $V_p=1V$  (rizado), la resistencia  $R$  sigue siendo  $10K\Omega$  y el diodo se sustituye por su equivalente AC constituido solo por la resistencia  $r_d$  de  $53,8\Omega$ . Aplicando divisor de voltaje entre los terminales del diodo (esto es, sobre  $r_d$ ) se obtiene:

$$v_d = V_{pico} \frac{r_d}{r_d + R} = 1V \frac{0,0538K\Omega}{0,0538K\Omega + 10K\Omega} = 51,05mV$$

## USO DEL DIODO POLARIZADO EN DIRECTO EN REGULACIÓN DE VOLTAJE

Con  $V_D = 0,7V$   $V_O = 2,1V$

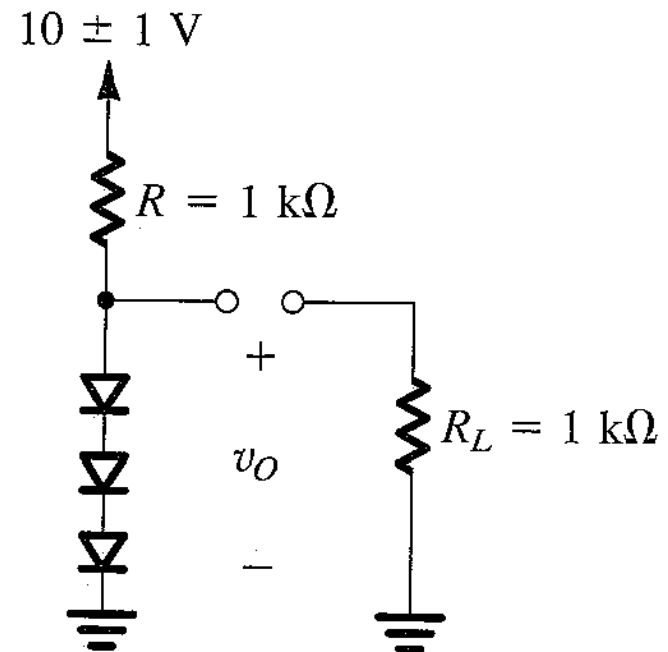
$$I = \frac{10 - 2.1}{1} = 7.9 \text{ mA}$$

$$r_d = \frac{nV_T}{I} \quad r_d = \frac{2 \times 25}{7.9} = 6.3 \text{ } \Omega$$

$$r = 3r_d = 18.9 \text{ } \Omega$$

Variación de voltaje pico a pico: 2 V

$$\Delta v_O = 2 \frac{r}{r + R} = 2 \frac{0.0189}{0.0189 + 1} = 37.1 \text{ mV}$$



### **En porcentajes:**

Cuando la variación del voltaje pico en la fuente es de 1V, lo cual representa un 10% del voltaje DC, la variación del voltaje pico en los diodos es de  $37.1 \text{ mV}/2 = 18.55 \text{ mV}$ , lo cual representa un 0,9% del voltaje DC en los diodos.

### **Cuando se conecta la resistencia $R_L$ :**

Suponiendo que los diodos mantienen  $V_D = 0,7\text{V}$  y  $V_o = 2,1\text{V}$

Corriente por  $R_L$  en DC:  $I_L = 2,1\text{V}/1\text{k}\Omega = 2,1 \text{ mA}$

Corriente por R en DC:  $I = (10\text{V}-2,1\text{V}) /1 \text{ k}\Omega = 7,9 \text{ mA}$

Corriente por los diodos en DC :  $7,9 \text{ mA} - 2,1,\text{mA} = 5,8 \text{ mA}$

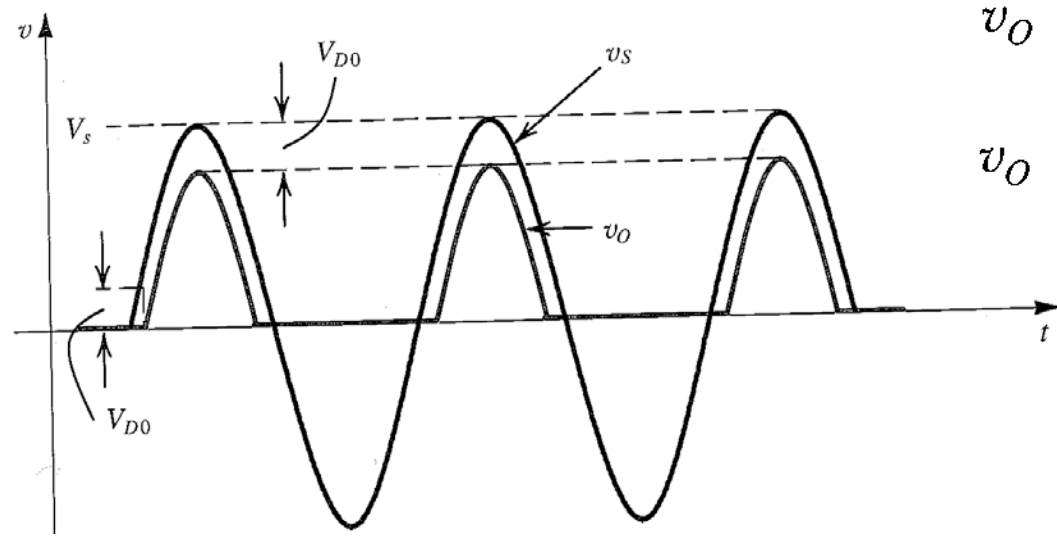
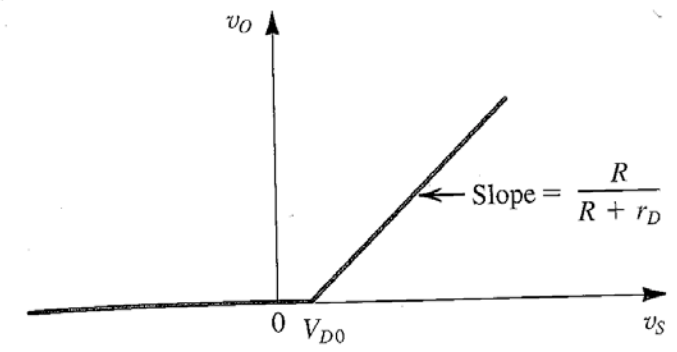
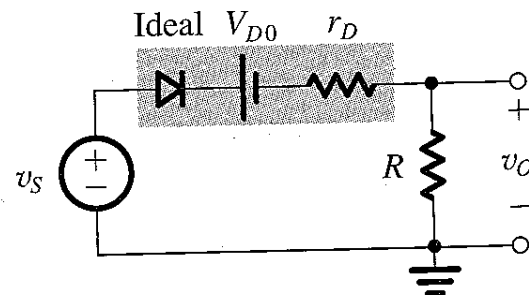
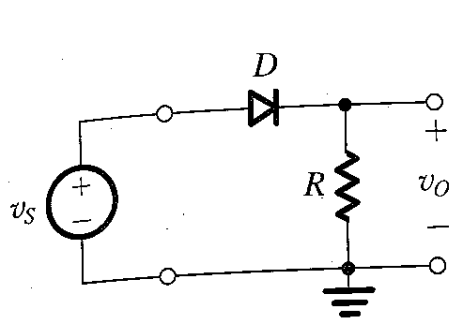
$r_d = 2 \times 25 \text{ mV}/5,8 \text{ mA} = 8,62 \Omega$     $r = 3r_d = 25,86 \Omega$

En el circuito de pequeña señal se tiene  $R_{Lp} = R_L // r = 25,21 \Omega$

El divisor de voltaje para la variación pico a pico de  $v_o$  cuando la fuente presenta una variación pico a pico de 2 V es:

$\Delta v_o = 2 \times 25,21 / (1000 + 25,21) = 49,18 \text{ mV}$    Porcentaje 2,45%

# RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON EL DIODO REAL



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

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

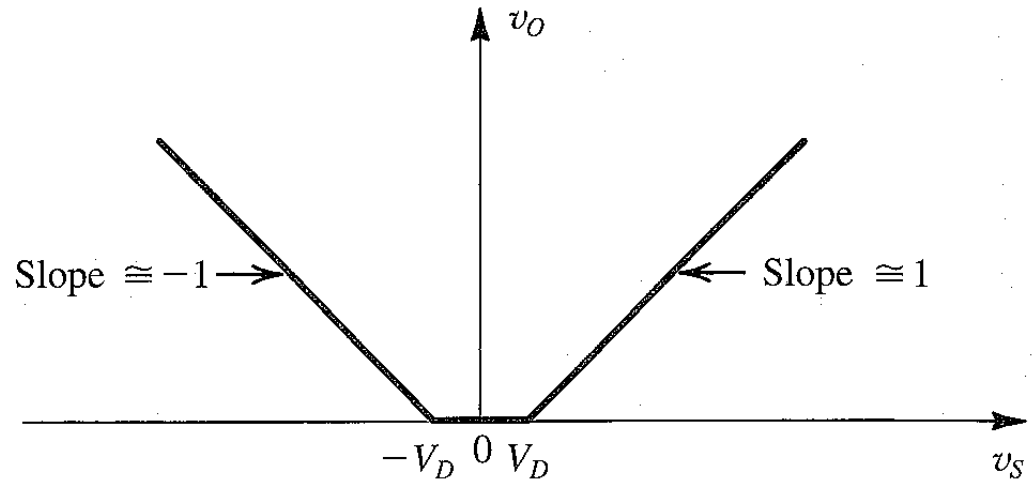
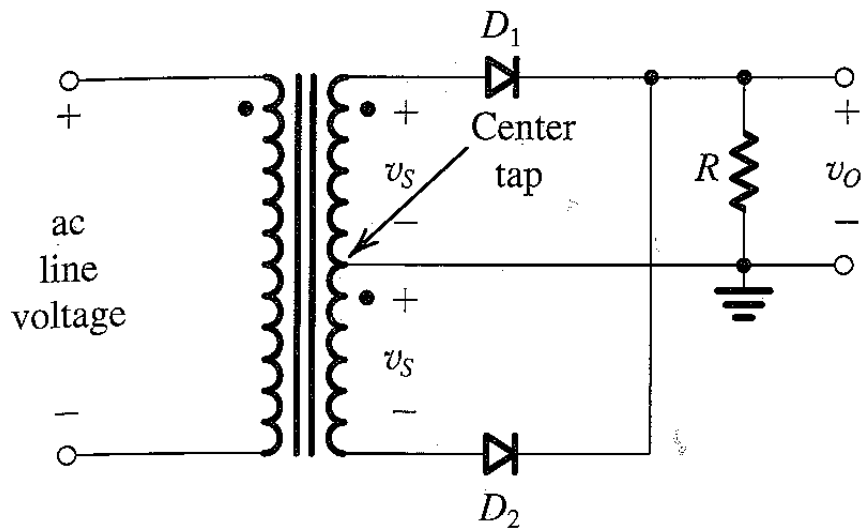
$$r_D \ll R$$

$$v_o \approx v_s - V_{D0}$$

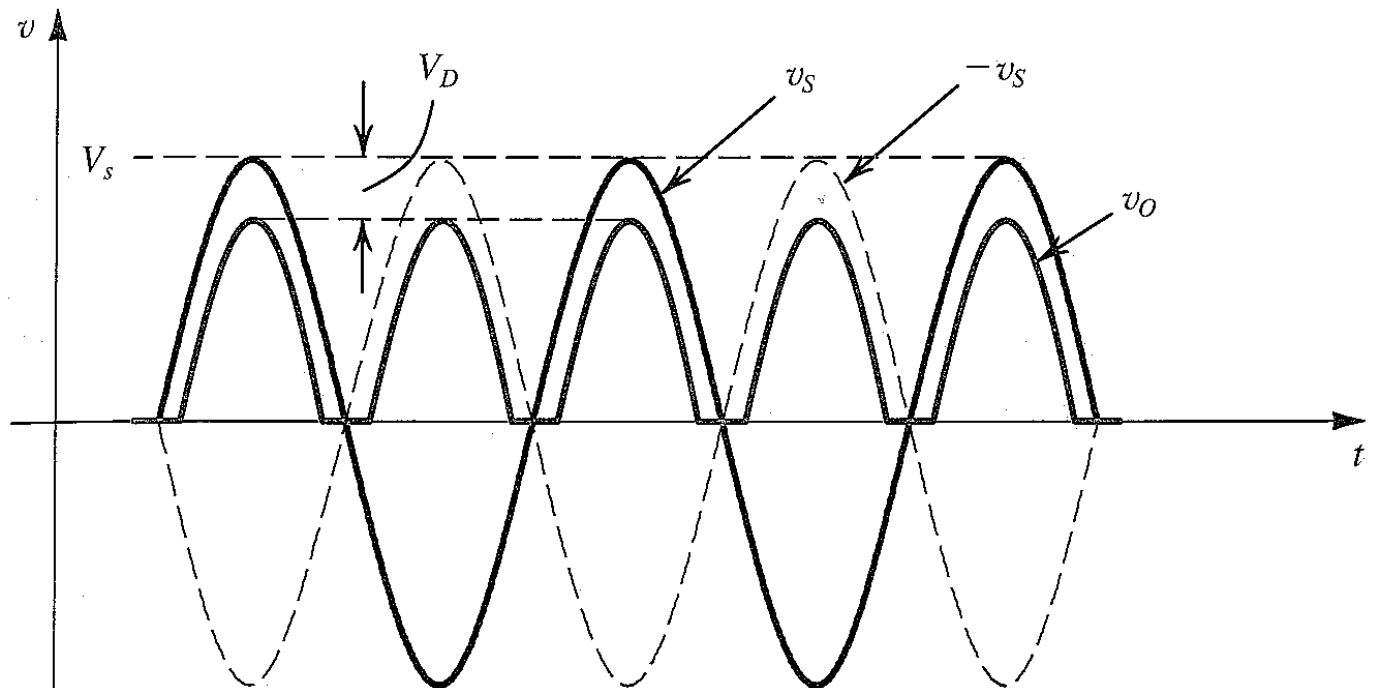
Selección del diodo: Voltaje Pico Inverso (PIV) y corriente pico



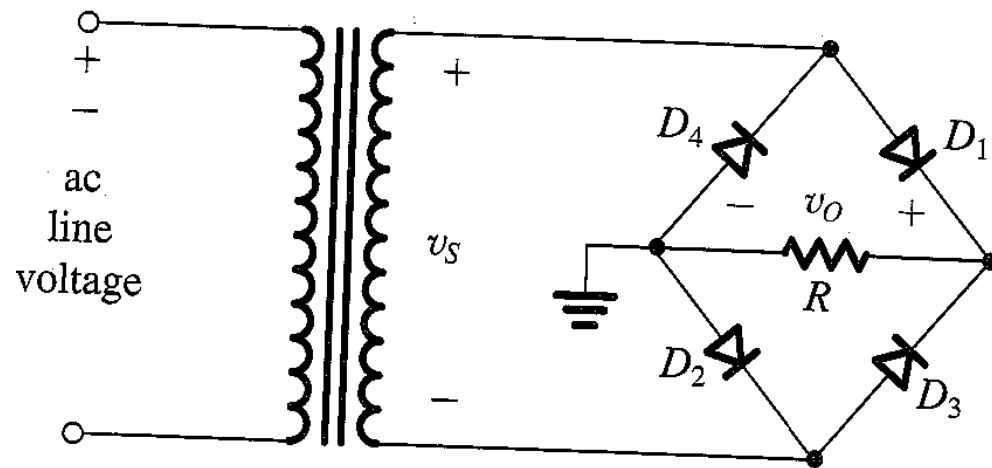
# RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL CON EL DIODO REAL



$$PIV = 2V_s - V_D$$

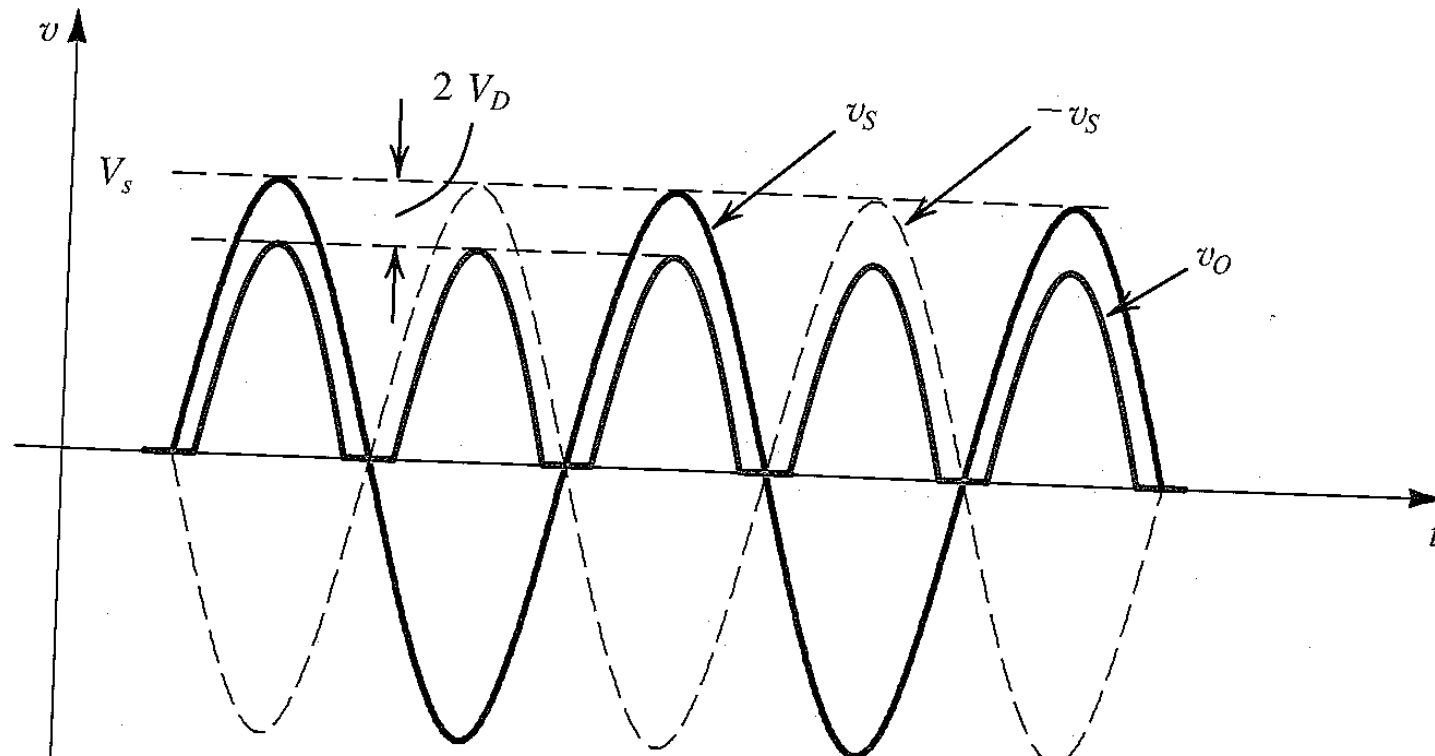


## RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE CON EL DIODO REAL



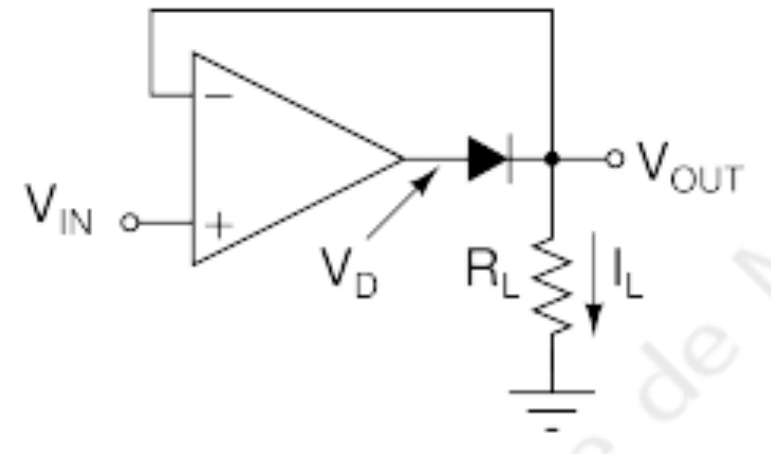
En el lazo  $D_3$ - $R$ - $D_2$ :

$$\text{PIV} = V_s - 2V_D + V_D = V_s - V_D$$

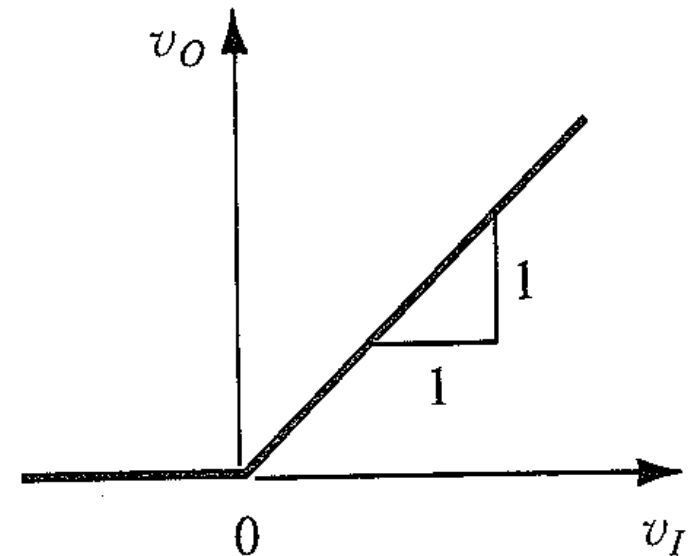


## EL SUPERDIODO: RECTIFICADOR DE PRECISIÓN DE MEDIA ONDA

Si  $V_{IN}$  es positivo, la salida del operacional es positiva y el diodo conduce, estableciendo un lazo de realimentación negativa, por lo que el voltaje en la entrada positiva es igual al de la entrada negativa y  $V_{OUT} = V_{IN}$ .



Si  $V_{IN}$  es negativo, la salida del operacional es negativa y el diodo no conduce, dejando al operacional en lazo abierto. La salida del operacional va a saturar en el valor negativo. No hay circulación de la corriente  $I_L$ , por lo que  $V_{OUT} = 0$ .



# EL RECTIFICADOR DE PRECISI3N DE MEDIA ONDA CON REALIMENTACI3N

