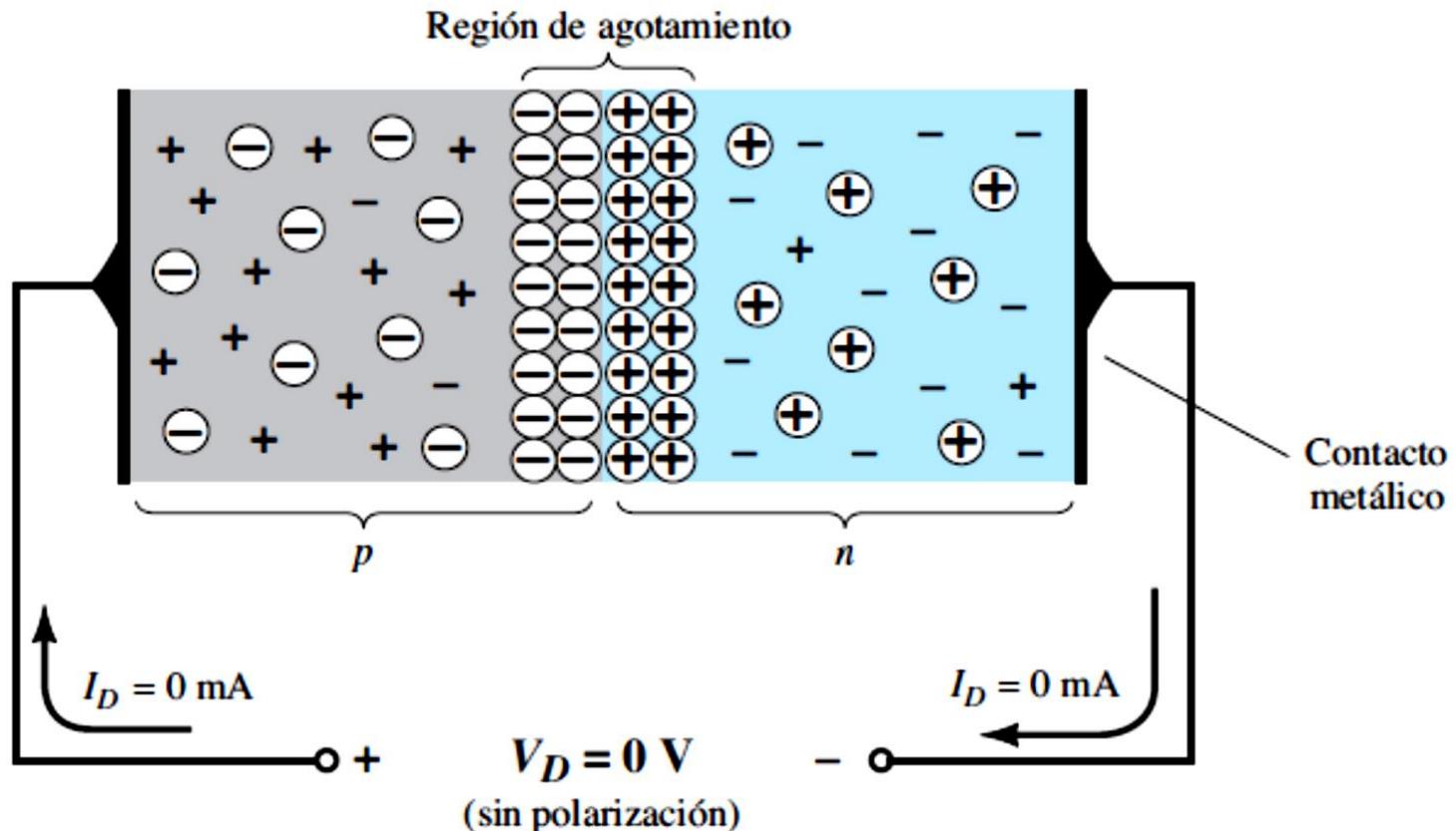


# Diodo semiconductor

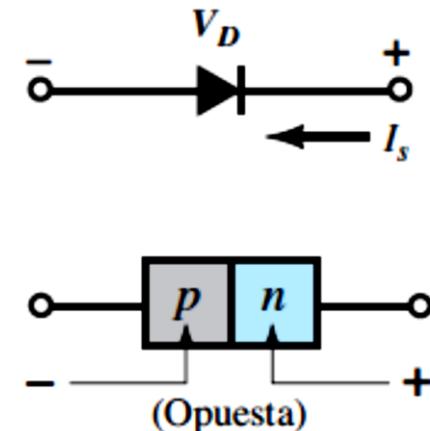
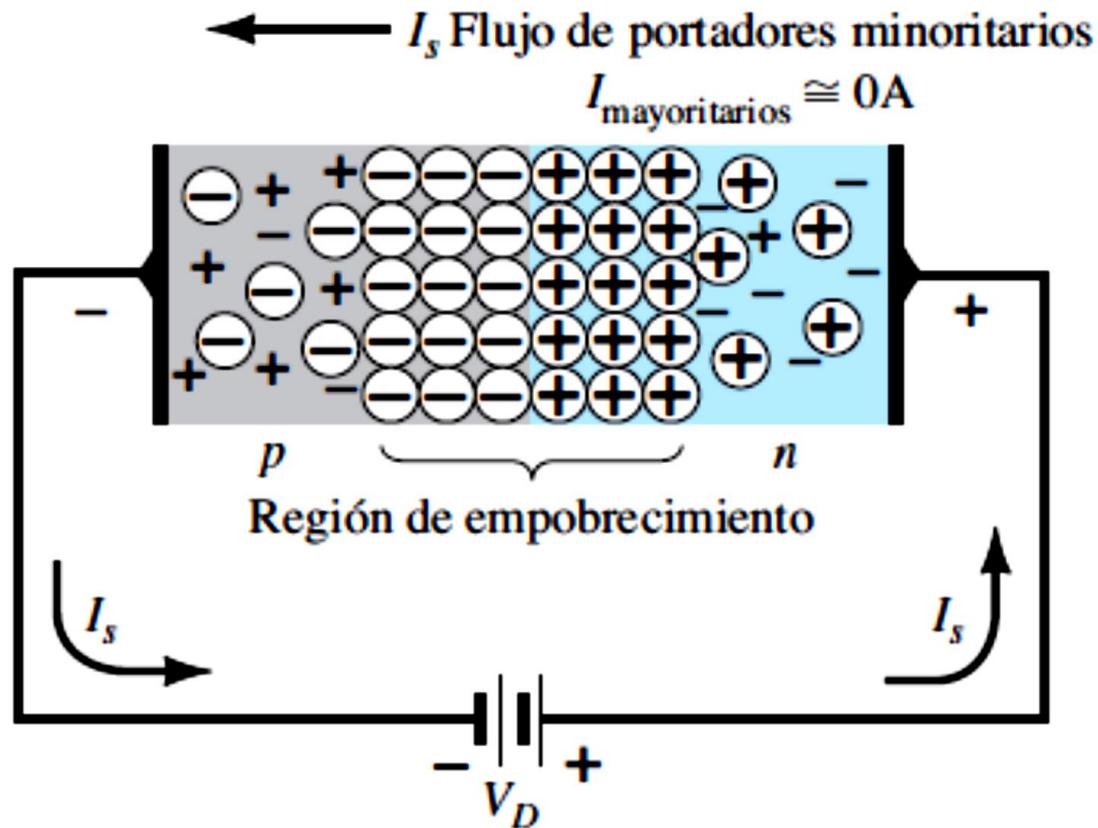
Prof. Julio C. Soria Q.

# Diodo semiconductor – sin polarización aplicada ( $V=0\text{V}$ )



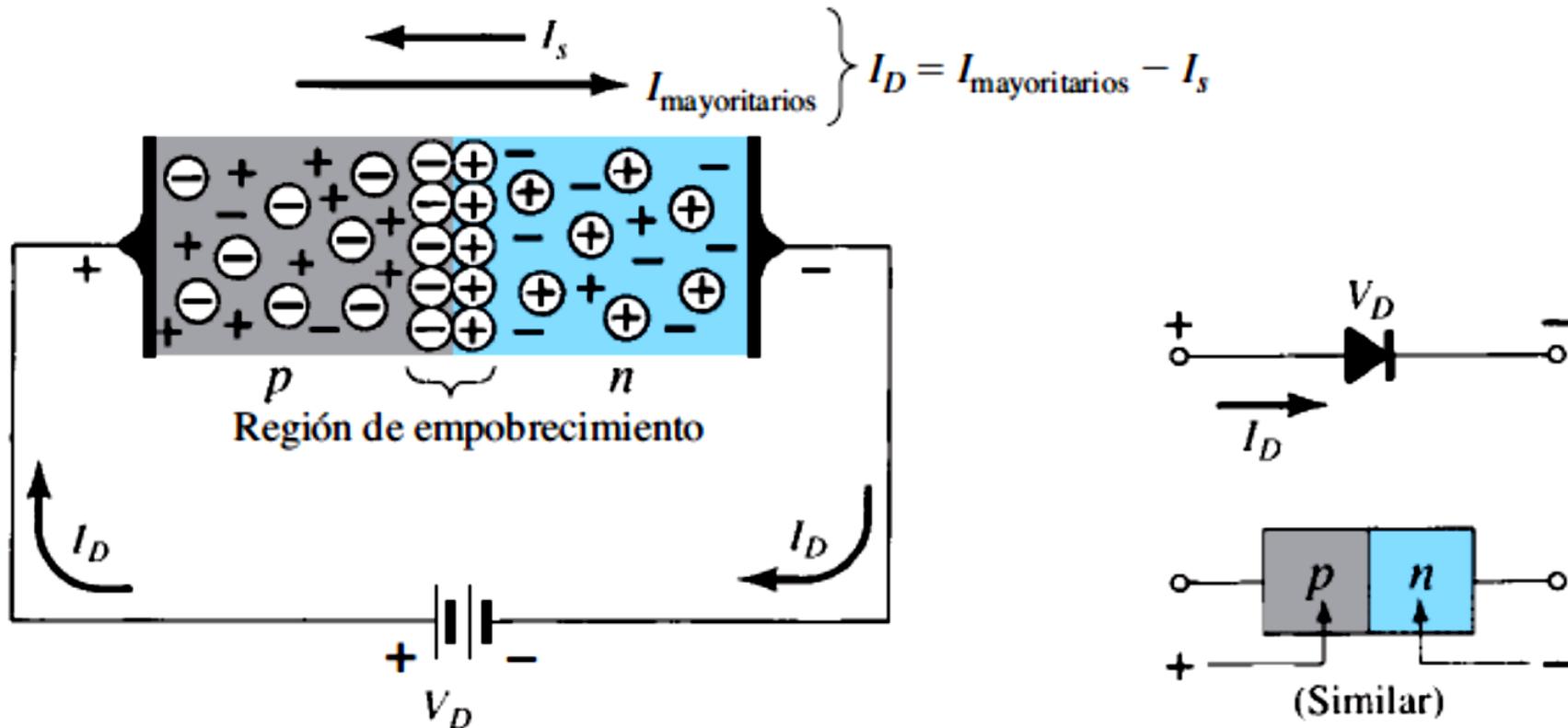
Esta región de iones positivos y negativos revelados se llama **región de “empobrecimiento”**, debido a la disminución de portadores libres en la región.

# Diodo semiconductor – condición de polarización en inversa ( $V_D < 0v$ )



*La corriente en condiciones de polarización en inversa se llama corriente de saturación en inversa y está representada por  $I_s$ .*

# Diodo semiconductor – condición de polarización en directa ( $V_D > 0v$ )



En cuanto se incrementa la magnitud de la polarización aplicada, el ancho de la región de empobrecimiento continuará reduciéndose hasta que un flujo de electrones pueda atravesar la unión, lo que produce un crecimiento exponencial de la corriente como se muestra en la región de polarización en directa de las características de la figura 1.15.

# Diodo semiconductor – condición de polarización en directa ( $V_D > 0$ )

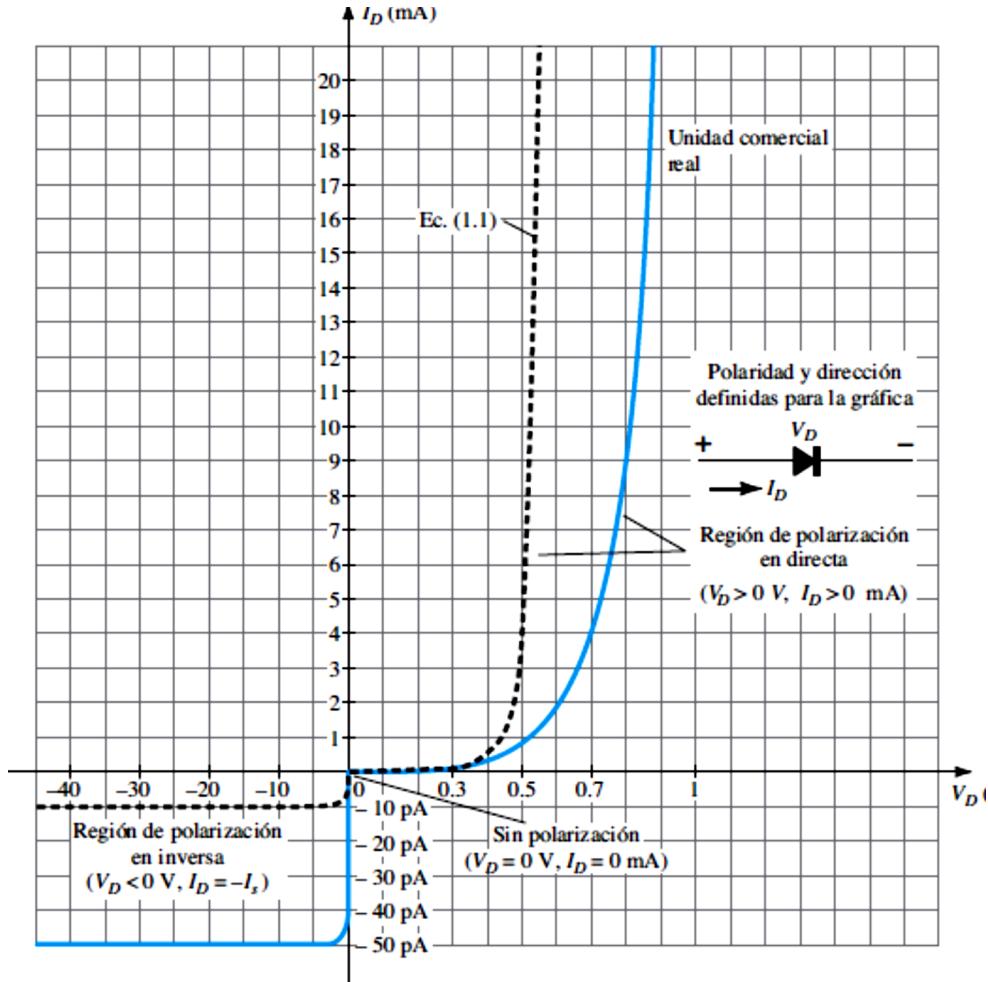


FIG. 1.15  
Características del diodo semiconductor de silicio.

Se puede demostrar por medio de la física de estado sólido que las características generales de un diodo semiconductor se pueden definir mediante la siguiente ecuación, conocida como ecuación de Shockley, para las regiones de polarización en directa y en inversa:

$$I_D = I_s(e^{V_D/nV_T} - 1) \quad (1.1)$$

donde  $I_s$  es la corriente de saturación en inversa  
 $V_D$  es el voltaje de polarización en directa aplicado a través del diodo  
 $n$  es un factor de idealidad, el cual es una función de las condiciones de operación y construcción física; varía entre 1 y 2 según una amplia diversidad de factores.  
(se supondrá  $n = 1$  en todo este texto a menos que se indique de otra manera).

El voltaje  $V_T$  en la ecuación (1.1) se llama *voltaje térmico* y está determinado por

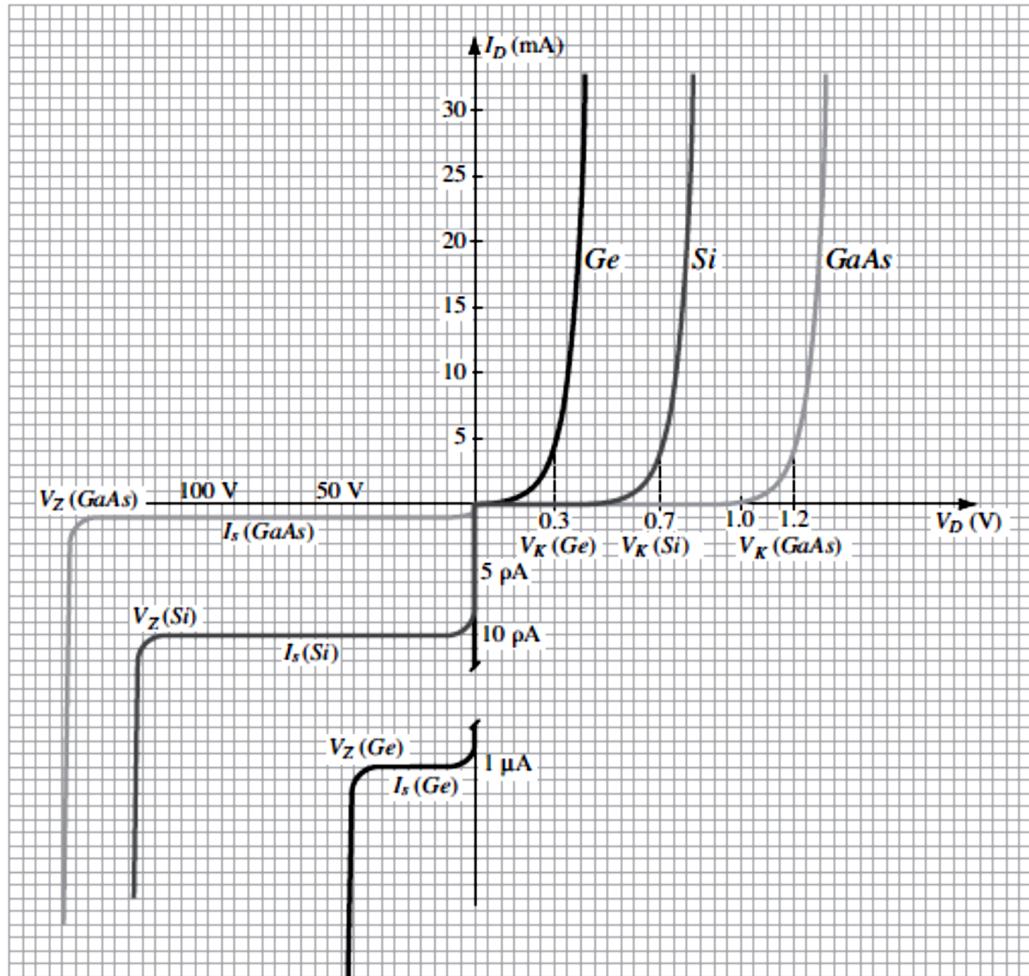
$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (V) \quad (1.2)$$

donde  $k$  es la constante de Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K  
 $T$  es la temperatura absoluta en Kelvin =  $273 +$  la temperatura en °C.  
 $q$  es la magnitud de la carga del electrón =  $1.6 \times 10^{-19}$  C.

# Diodo semiconductor – condición de polarización en directa ( $V_D > 0v$ )

**EJEMPLO 1.1** A una temperatura de  $27^\circ\text{C}$  (temperatura común para componentes en un sistema de operación cerrado), determine el voltaje térmico  $V_T$ .

# Diodo semiconductor – condición de polarización en directa ( $V_D > 0v$ )



**FIG. 1.18**  
Comparación de diodos de Ge, Si y GaAs.

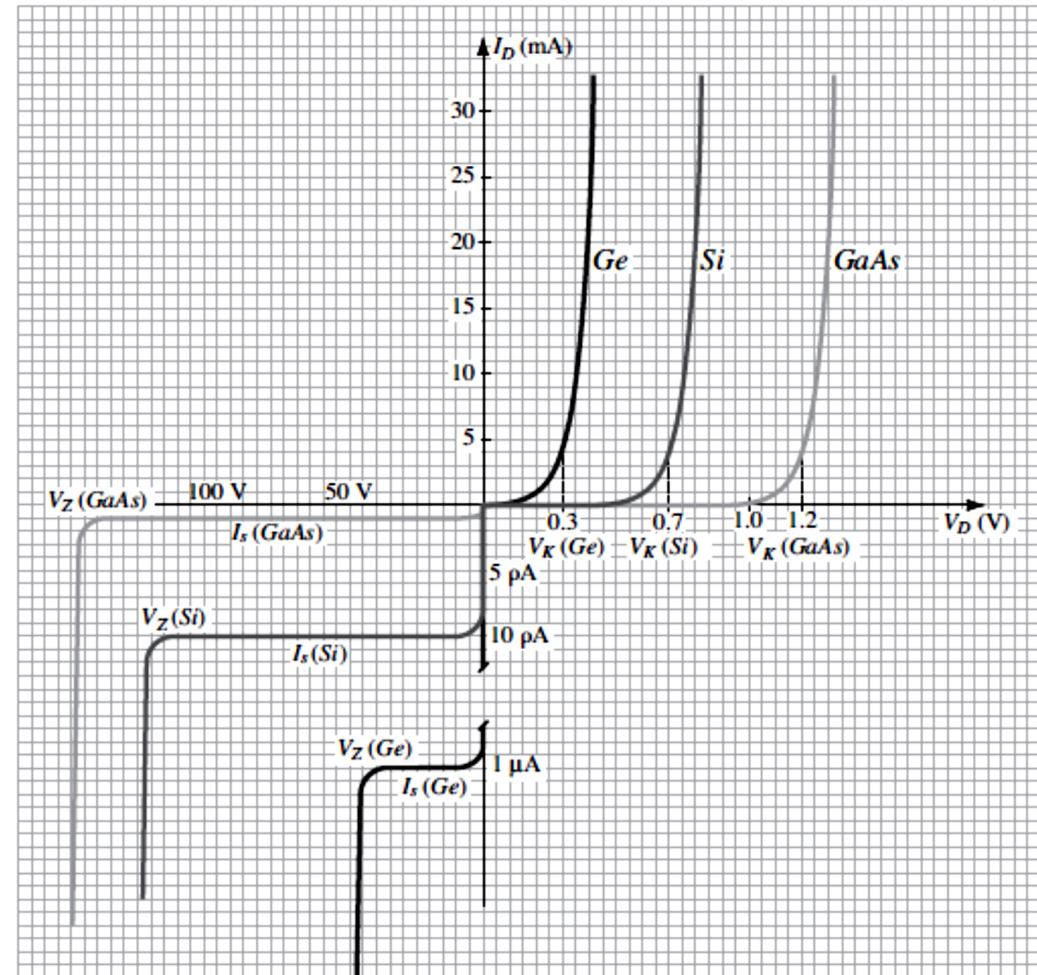
**TABLA 1.3**  
*Voltajes  $V_K$  de rodilla*

Semiconductor	$V_K(V)$
Ge	0.3
Si	0.7
GaAs	1.2

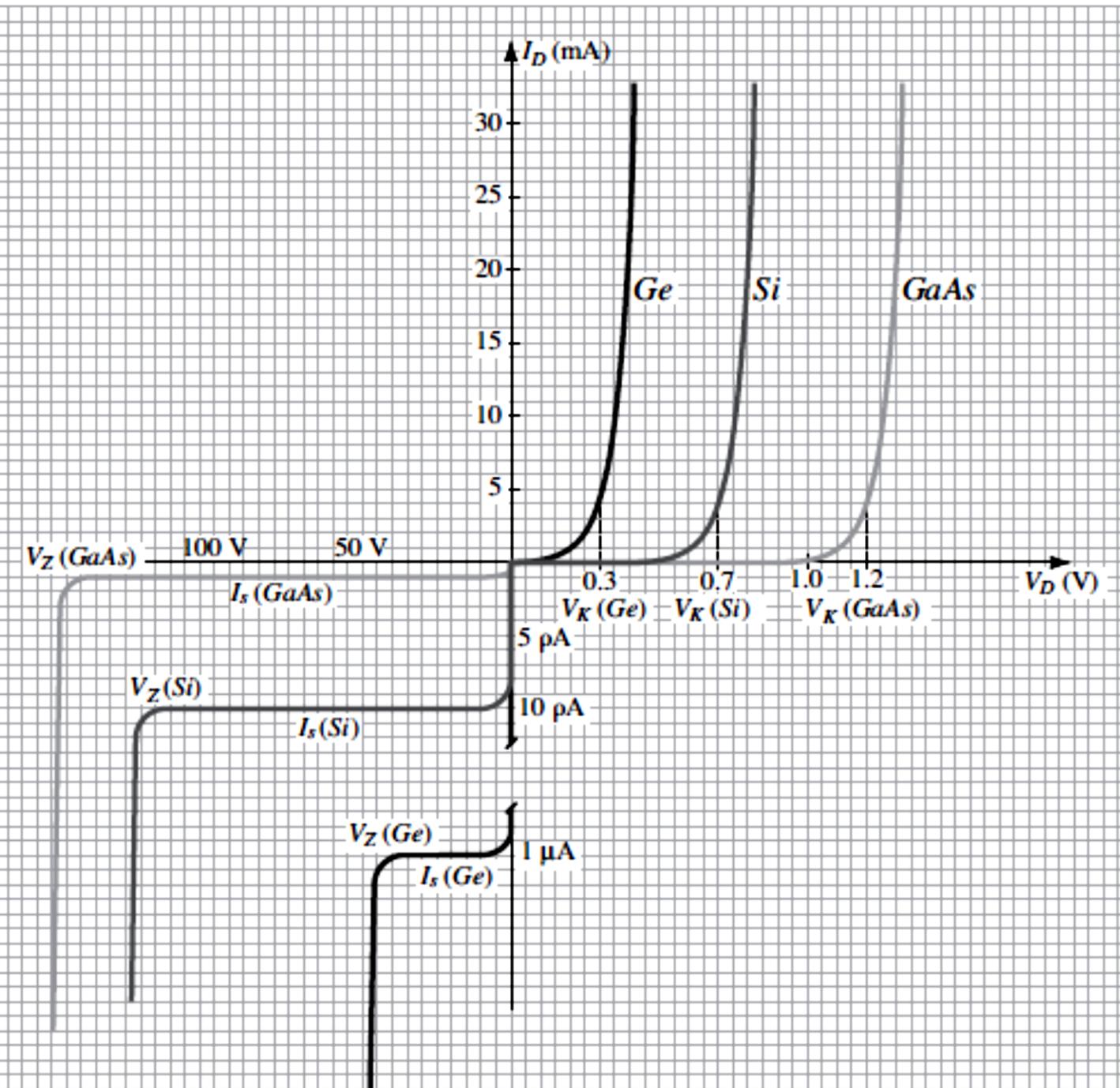
# Diodo semiconductor – condición de polarización en directa ( $V_D > 0v$ )

**EJEMPLO 1.2** Cómo utilizar las curvas de la figura 1.18:

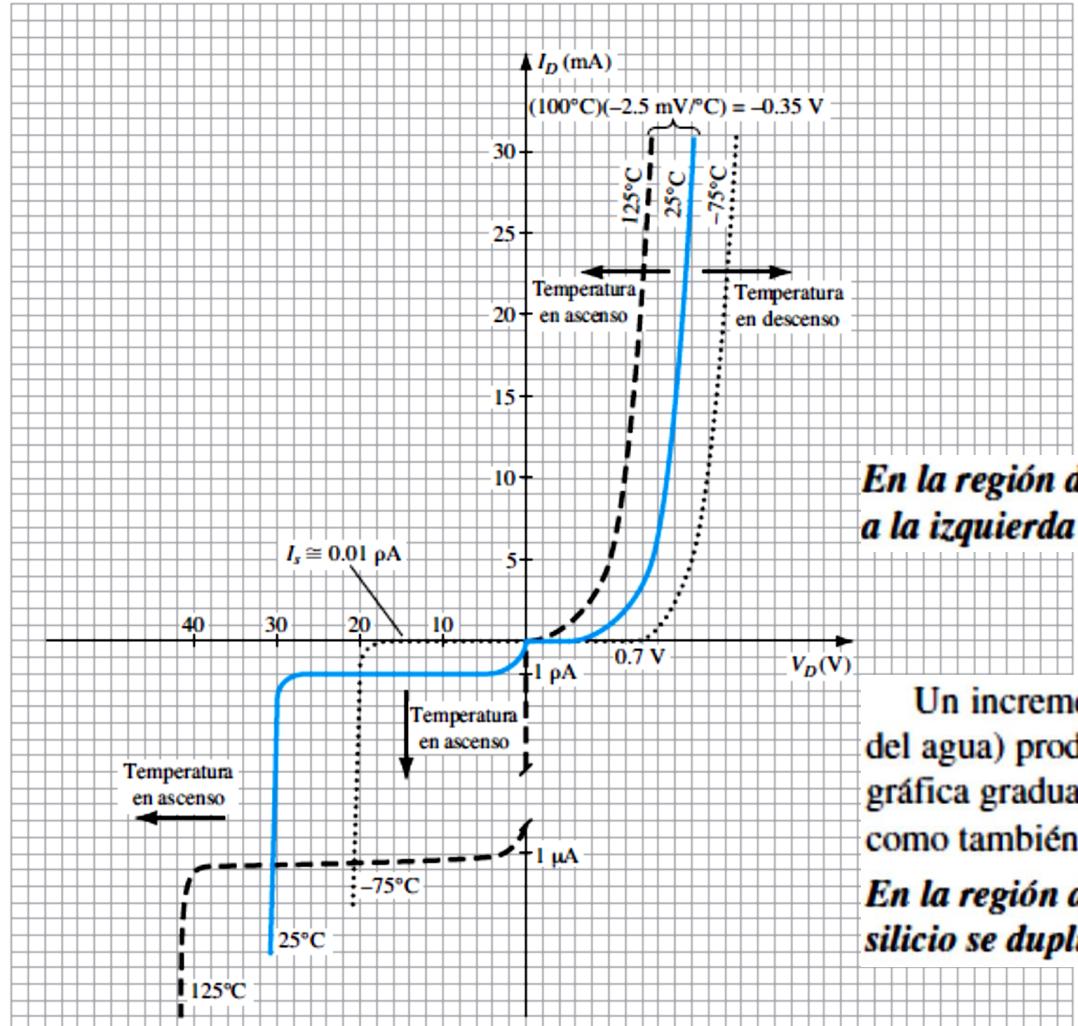
- Determine el voltaje a través de cada diodo con una corriente de 1 mA.
- Repita con una corriente de 4 mA.
- Repita con una corriente de 30 mA.
- Determine el valor promedio del voltaje en el diodo para el intervalo de corrientes antes dadas.
- ¿Cómo se comparan los valores promedio con los voltajes de rodilla que aparecen en la tabla 1.3?



**FIG. 1.18**  
Comparación de diodos de Ge, Si y GaAs.



# Diodo semiconductor – condición de polarización en directa ( $V_D > 0v$ ) efectos de la temperatura



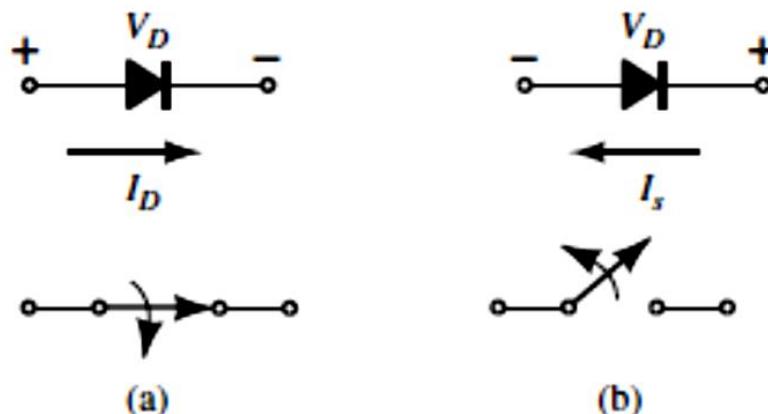
*En la región de polarización en directa las características de un diodo de silicio se desplazan a la izquierda a razón de 2.5 mV por grado centígrado de incremento de temperatura.*

Un incremento desde la temperatura ambiente ( $20^\circ\text{C}$ ) hasta  $100^\circ\text{C}$  (el punto de ebullición del agua) produce una caída de  $80(2.5 \text{ mV}) = 200 \text{ mV}$  o  $0.2 \text{ V}$ , lo cual es significativo en una gráfica graduada en décimas de voltios. Una reducción de la temperatura tiene el efecto inverso, como también se muestra en la figura.

*En la región de polarización en inversa la corriente de saturación en inversa de un diodo de silicio se duplica por cada  $10^\circ\text{C}$  de aumento de la temperatura.*

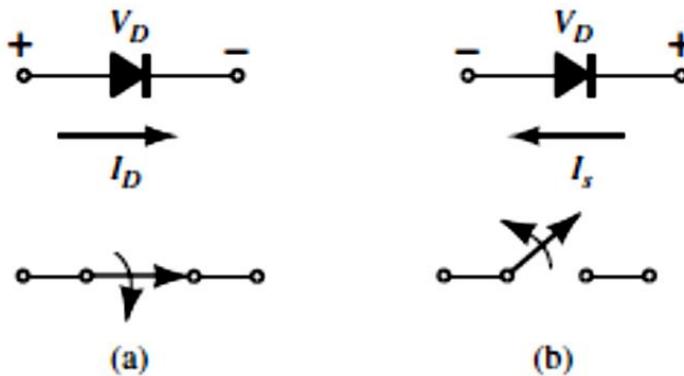
# Diodo semiconductor – lo ideal vs lo practico

Una analogía utilizada con frecuencia para describir el comportamiento de un diodo semiconductor es un interruptor mecánico. En la figura 1.21a el diodo está actuando como un interruptor cerrado que permite un flujo abundante de carga en la dirección indicada. En la figura 1.21b el nivel de corriente es tan pequeño en la mayoría de los casos que puede ser aproximado como 0 A y representado por un interruptor abierto.



**FIG. 1.21**  
*Diodo semiconductor ideal: (a) polarizado  
en directa; (b) polarizado en inversa.*

# Diodo semiconductor – lo ideal vs lo practico



En otras palabras:

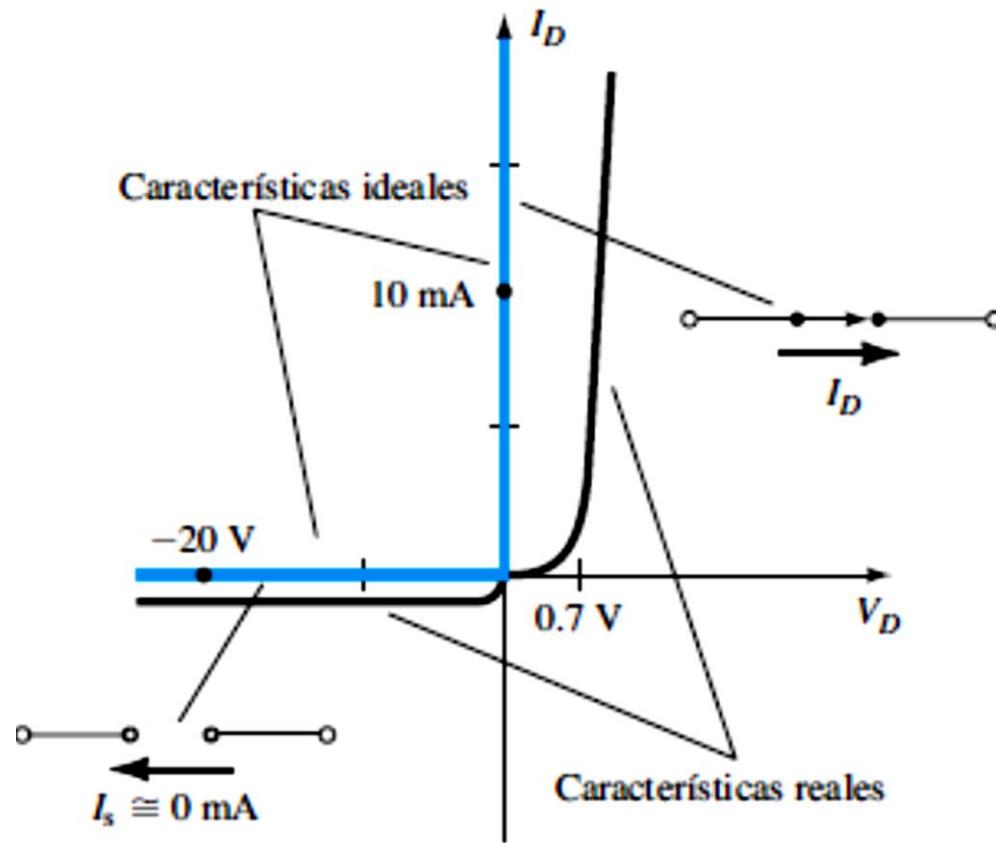
***El diodo semiconductor se comporta como un interruptor mecánico en el sentido de que puede controlar el flujo de corriente entre sus dos terminales.***

Sin embargo, también es importante tener en cuenta que:

***El diodo semiconductor es diferente del interruptor mecánico en el sentido de que cuando éste se cierra sólo permite que la corriente fluya en una dirección.***

Idealmente, para que el diodo semiconductor se comporte como un cortocircuito en la región de polarización en directa, su resistencia deberá ser de  $0 \Omega$ . En la región de polarización en inversa su resistencia deberá ser de  $\infty\Omega$  para representar el equivalente a un circuito abierto. Tales niveles de resistencia en las regiones de polarización en directa y en inversa producen las características de la figura 1.22.

# Diodo semiconductor – lo ideal vs lo practico



**FIG. 1.22**  
*Características de semiconductor ideales contra reales.*

# Diodo semiconductor – niveles de resistencia

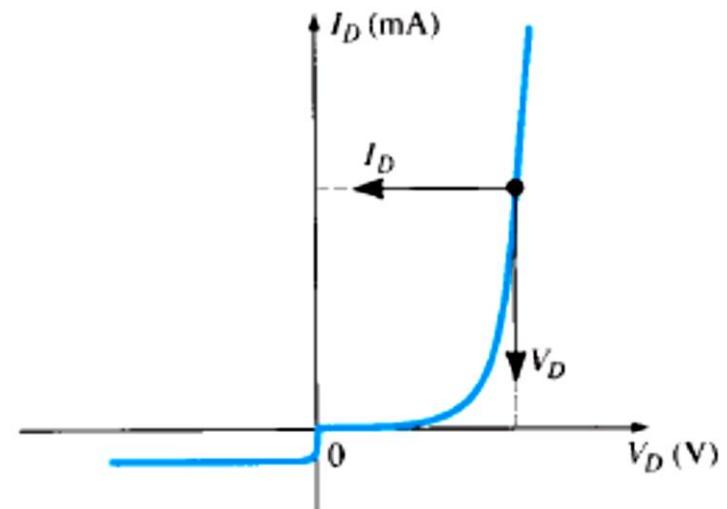
## Resistencia de CD o estática

La aplicación de un voltaje de cd a un circuito que contiene un diodo semiconductor produce un punto de operación en la curva de características que no cambia con el tiempo. La resistencia del diodo en el punto de operación se halla determinando los niveles correspondientes de  $V_D$  e  $I_D$  como se muestra en la figura 1.23 y aplicando la siguiente ecuación:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} \quad (1.3)$$

Los niveles de resistencia de cd en la rodilla y debajo de ella son mayores que los niveles de resistencia obtenidos para la sección de levantamiento vertical de las características. Los niveles de resistencia en la región de polarización en inversa son por naturaleza bastante altos. Como los óhmetros en general emplean una fuente de corriente relativamente constante, la resistencia determinada será un nivel de corriente preestablecido (por lo general de algunos miliamperes).

*En general, por consiguiente, cuanto mayor sea la corriente a través de un diodo, menor será el nivel de resistencia de cd.*



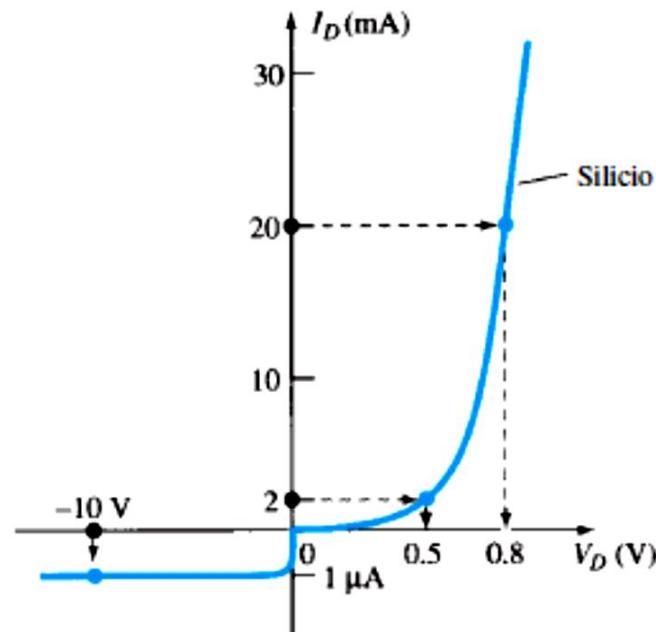
**FIG. 1.23**

Determinación de la resistencia de cd de un diodo en un punto de operación particular.

# Diodo semiconductor – niveles de resistencia

**EJEMPLO 1.3** Determine los niveles de resistencia de cd del diodo de la figura 1.24 con

- $I_D = 2 \text{ mA}$  (bajo nivel)
- $I_D = 20 \text{ mA}$  (alto nivel)
- $V_D = -10 \text{ V}$  (polarizado en inversa)



**FIG. 1.24**

# Diodo semiconductor – niveles de resistencia

## Resistencia de CA o dinámica

Es obvio de acuerdo con la ecuación (1.3) y el ejemplo 1.3 que la resistencia de cd de un diodo es independiente de la forma de las características en la región alrededor del punto de interés. Si se aplica una entrada senoidal en lugar de una de cd, la situación cambiará por completo. La entrada variable moverá el punto de operación instantáneo hacia arriba y hacia abajo de una región de las características, y por lo tanto define un cambio específico de la corriente y voltaje como se muestra en la figura 1.25. Sin ninguna señal variable aplicada, el punto de operación será el punto *Q* que aparece en la figura 1.25, determinado por los niveles de cd aplicados. La designación de *punto Q* se deriva de la palabra *quiescente*, que significa “fijo o invariable”.

Una línea recta trazada tangente a la curva por el punto *Q* como se muestra en la figura 1.26 definirá un cambio particular del voltaje y corriente que se puede utilizar para determinar la resistencia de *ca* o *dinámica* en esta región de las características del diodo. Se deberá hacer un esfuerzo por mantener el cambio de voltaje y corriente lo más pequeño posible y equidistante a ambos lados del punto *Q*. En forma de ecuación,

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \quad (1.4)$$

donde  $\Delta$  indica un cambio finito de la cantidad.

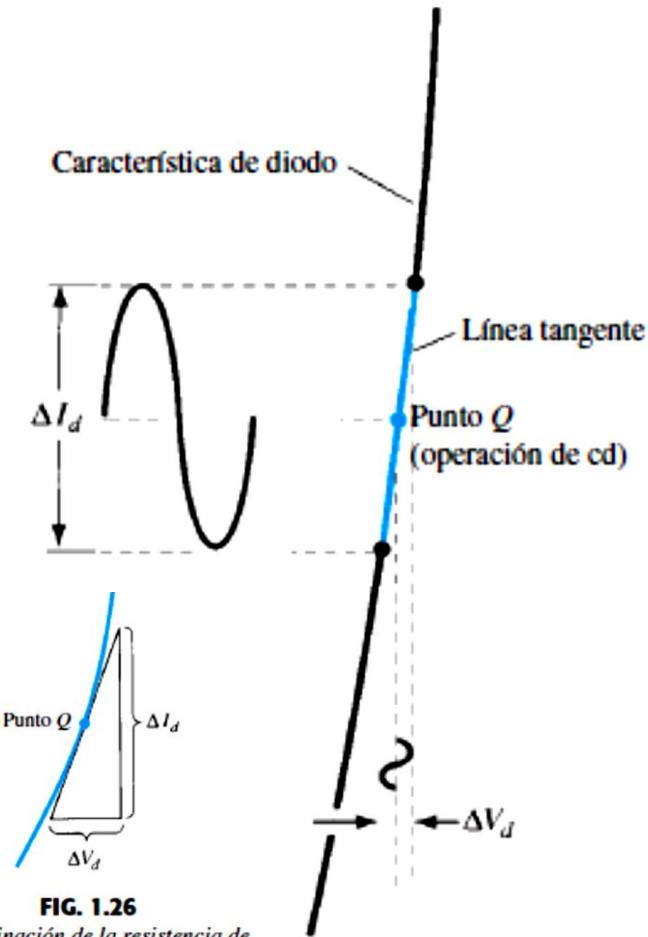


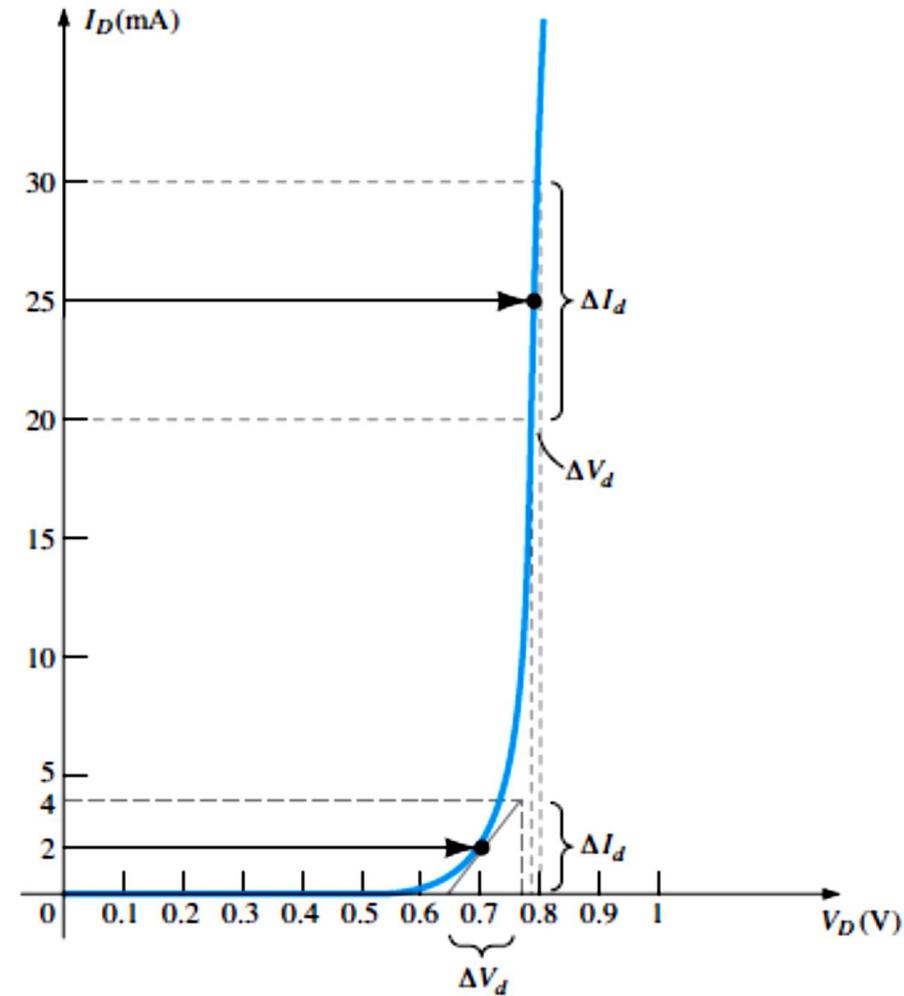
FIG. 1.25  
Determinación de la resistencia de ca en un punto *Q*.

FIG. 1.26  
Definición de la resistencia dinámica o resistencia de ca.

# Diodo semiconductor – niveles de resistencia

**EJEMPLO 1.4** Para las características de la figura 1.27:

- Determine la resistencia de ca con  $I_D = 2 \text{ mA}$ .
- Determine la resistencia de ca con  $I_D = 25 \text{ mA}$ .
- Compare los resultados de las partes (a) y (b) con las resistencias de cd en cada nivel de corriente.



**FIG. 1.27**

# Diodo semiconductor – niveles de resistencia

## Resistencia de ca promedio

Si la señal de entrada es suficientemente grande para producir una amplia variación tal como se indica en la figura 1.28, la resistencia asociada con el dispositivo en esta región se llama *resistencia de ca promedio*. La resistencia de ca promedio es, por definición, la resistencia determinada por una línea recta trazada entre las dos intersecciones establecidas por los valores máximo y mínimo del voltaje de entrada. En forma de ecuación (observe la figura 1.28),

$$r_{\text{prom}} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \Big|_{\text{punto a punto}} \quad (1.7)$$

En la situación indicada por la figura 1.28,

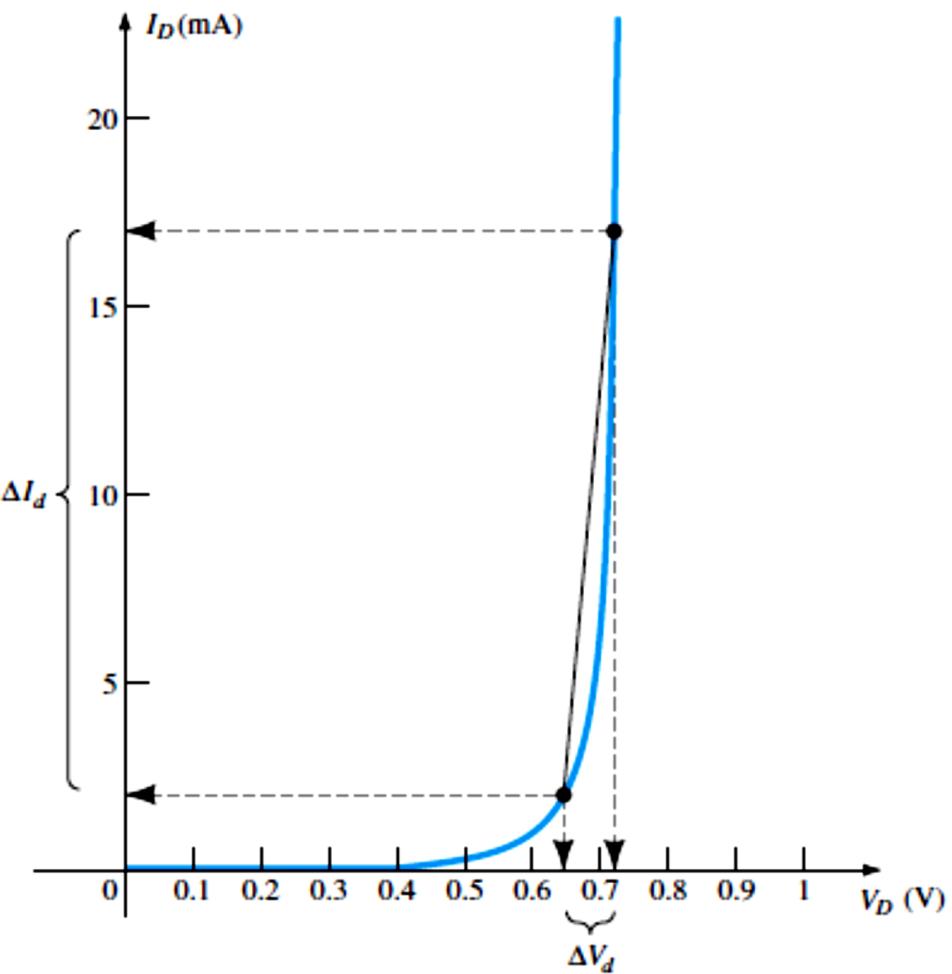
$$\Delta I_d = 17 \text{ mA} - 2 \text{ mA} = 15 \text{ mA}$$

y

$$\Delta V_d = 0.725 \text{ V} - 0.65 \text{ V} = 0.075 \text{ V}$$

con

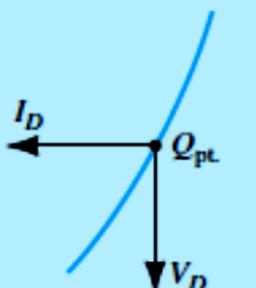
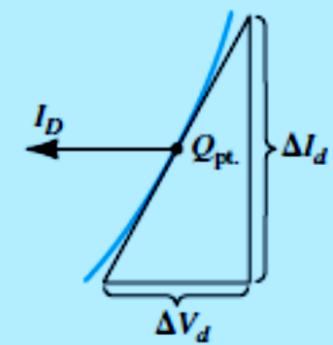
$$r_{\text{prom}} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.075 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = 5 \Omega$$



**FIG. 1.28**

Determinación de la resistencia de ca promedio entre los límites indicados.

**TABLA 1.5**  
*Niveles de resistencia*

Tipo	Ecuación	Características especiales	Determinación gráfica
CD o estática	$R_D = \frac{V_D}{I_D}$	Definida como un punto en las características	
CA o dinámica	$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{26 \text{ mV}}{I_D}$	Definida por una línea tangente en el punto $Q$	
CA promedio	$r_{\text{prom}} = \left. \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \right _{\text{punto a punto}}$	Definida por una línea recta entre los límites de operación	