

# Electrónica 2

## Práctico 7

### Estructura de los Amplificadores Operacionales

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener un número, que indica el número de ejercicio del libro del curso (*Microelectronic Circuits, 4th. edition. Sedra/Smith.*) o una fecha, que indica en que prueba (examen o parcial) se planteó el ejercicio.

#### Ejercicio 1.

Considere el circuito de la Figura 1 donde  $V_{CC} = 15V$ ,  $\beta = 100$  y  $V_A = \infty$ .

- Determinar cual es la entrada inversora y la no inversora.
- Hallar la corriente de reposo del par diferencial de entrada y la corriente de colector del transistor  $Q3$ .
- Calcular la transconductancia de la etapa diferencial.
- Suponiendo la salida cargada con una resistencia de  $50\Omega$  calcular la ganancia total del amplificador en estas condiciones.

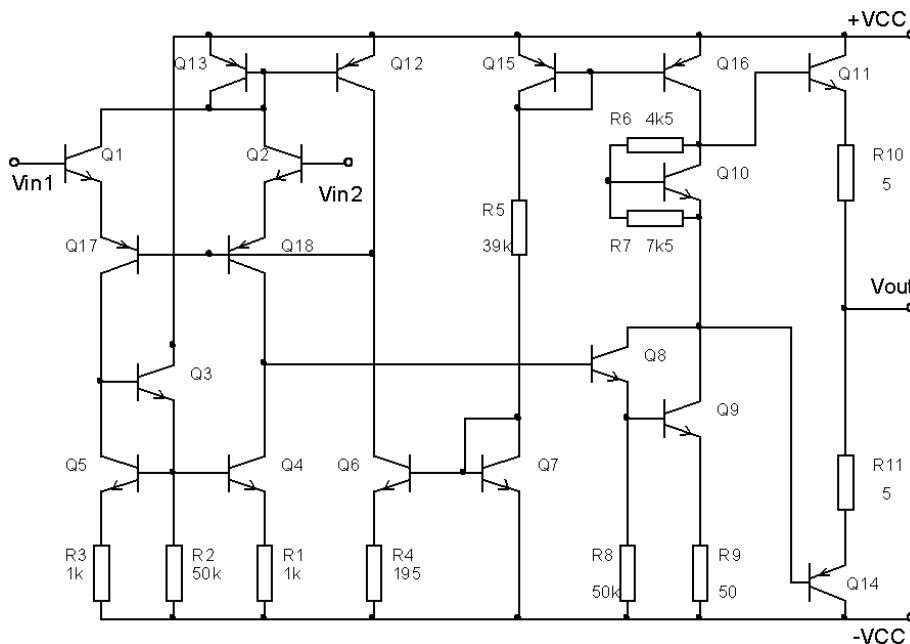


Figura 1

## Ejercicio 2. ★

El circuito de la figura 2 es un regulador de tensión de la serie 78XX. Para la realización de este ejercicio se asumirá que los transistores son idénticos con  $V_{BE} = 0.7V$  y un  $\beta$  grande.

- Determinar el valor de la corriente  $I$  y de la tensión  $V_{out}$  en función de  $V_{z1}$ .
- Hallar el mínimo valor de  $V_i$  que asegure el correcto funcionamiento del regulador.
- La etapa de salida del regulador está protegida contra sobre-corriente y sobre-tensión de alimentación. Indicar cuales son los elementos del circuito destinados a la protección y cual es su funcionamiento.

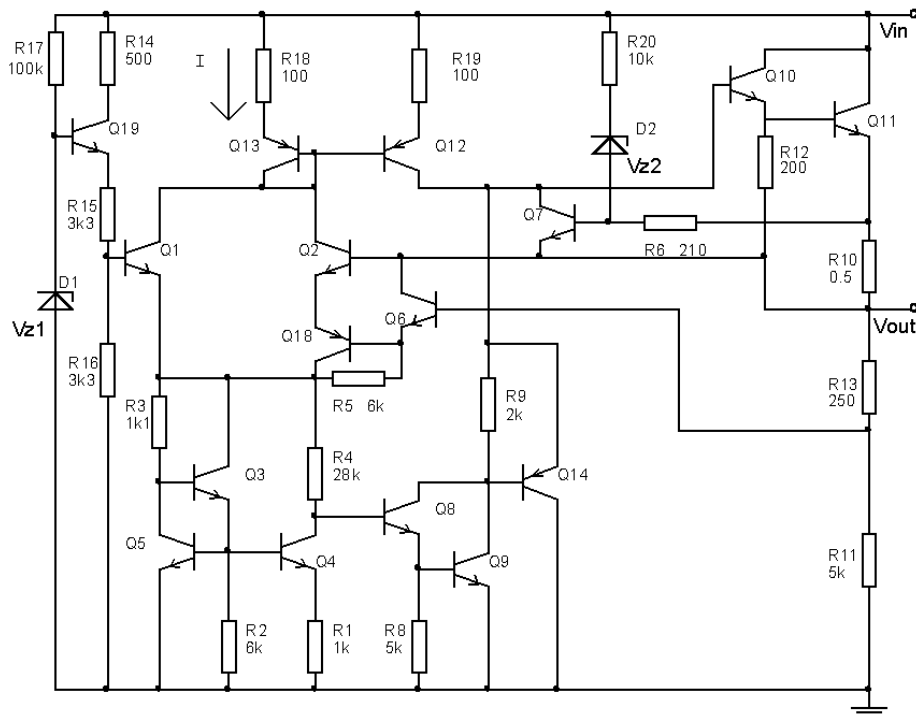


Figura 2

## Ejercicio 3.

Considere el circuito de la figura 3 donde  $V_{CC} = 15V$ ,  $\beta = 100$  y  $V_A = \infty$ .

- Calcule  $R_8$  de manera que la tensión de continua a la salida  $V_{out}$  sea  $0V$ .
- Calcule la ganancia diferencial total y la resistencia de entrada diferencial. ¿Cuál es la terminal no inversora?
- Hallar la máxima tensión de entrada diferencial y de modo común para que el amplificador funcione linealmente.

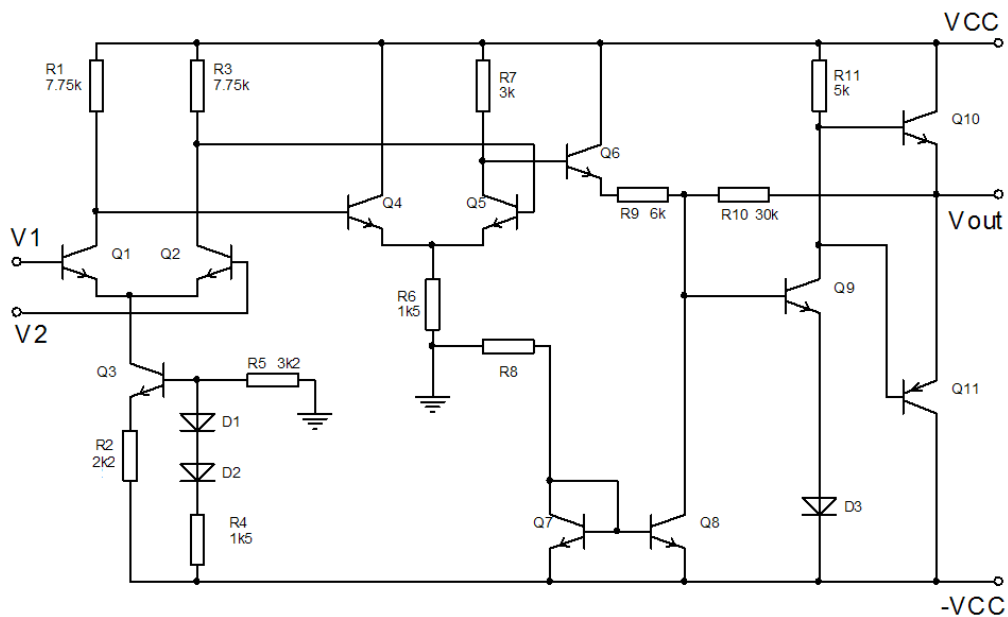


Figura 3

**Ejercicio 4.** (Examen 21/07/97)

Considere el circuito de la figura 4 donde se supone que todos los transistores son iguales con  $V_{BE} = V_{CEsat} = 0.7V$  y  $\beta = 100$ . Además las corrientes de base en continua de  $Q1$  y  $Q2$  podrán suponerse despreciables.

- Hallar el mínimo valor de  $V_{CC}$  para que el circuito funcione linealmente.
- Hallar el rango de las tensiones de modo común admisibles a la entrada ( $V_{in}$ )
- Si  $R_L = 100\Omega$  y  $V_{CC} = 7V_{BE}$  determinar la resistencia  $R_1$  para que la ganancia diferencial,  $A_d = V_{out}/V_{in}$  ( $V_{in} = V_{in+} - V_{in-}$ ), valga  $96dB$ .
- Suponiendo que el valor de continua de  $V_{in}$  se encuentra en  $5V_{BE}$ , hallar el valor de  $R$  para que la impedancia de entrada diferencial valga  $100\text{ k}\Omega$ .
- Explicar la función de los transistores  $Q16$  y  $Q18$  describiendo como operan. Por razones de funcionalidad se desea que la excursión de pico sobre la carga no supere a  $V_{BE}$ . Calcular el valor de  $R_p$  para cumplir con dicho requerimiento.

**Ejercicio 5.** (Examen 8/99)

- En el amplificador de la figura 5.1 calcular la frecuencia de transición  $f_T$  (frecuencia a la que la ganancia vale 1) y el slew rate. Se indica en los espejos de corriente la relación de copia de las corrientes, por ejemplo  $I_{C7} = B \times I_{C4}$ .

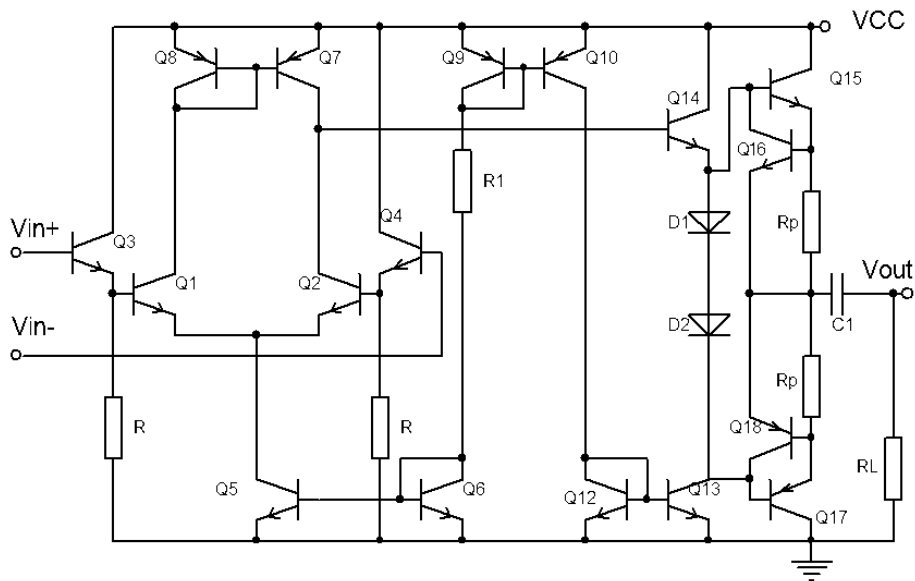


Figura 4

- (b) En el circuito de la figura 5.2 calcular  $I_c$  en función de  $I_a$ ,  $I_b$  y  $A$  (factor de copia de corriente del espejo que se indica en la figura), analizando los casos  $I_a < I_b$  e  $I_a > I_b$ .
- (c) El circuito de la figura 5.3 es un amplificador que adapta la corriente de polarización del par diferencial en función de la señal de entrada. Calcular la corriente de polarización del par diferencial  $I_{P,adapt}$  en función de  $I_p$ ,  $A$  y de  $I_1$  e  $I_2$  indicadas en la figura.
- (d) El amplificador de la figura 5.3 se conecta como seguidor como se muestra en la figura 5.4. En  $t = 0$  se aplica en la entrada no inversora un escalón de amplitud  $V_{step}$  mucho mayor que  $4V_T$ . Calcular la pendiente en  $t = 0$  de la tensión a la salida. ¿Cómo se compara este resultado con el slew rate calculado en la primera parte para  $A = 0.9$ ?

Nota: Se supondrá que para todos los transistores que  $\beta \gg 1$ .

### Ejercicio 6. (23/7/99)

El circuito de la figura 6 es parte de un amplificador operacional de baja corriente de polarización y gran ganancia. A los efectos del presente ejercicio puede asumirse que todos los transistores del circuito son idénticos.

- (a) Determinar la corriente de polarización  $I_p$  en función de  $I_0$  e  $I_1$ .
- (b) Hallar el mínimo valor de  $I_1$  que permite un funcionamiento correcto del circuito.
- (c) Calcular  $R_d$  para que la tensión de colector de  $Q_{15}$  sea  $0V$ .
- (d) Calcular  $I_0$  y  $R_C$  para que el amplificador tenga una corriente de polarización  $I_p$  de  $10nA$  y una ganancia total de  $115dB$ . Para estos cálculos se

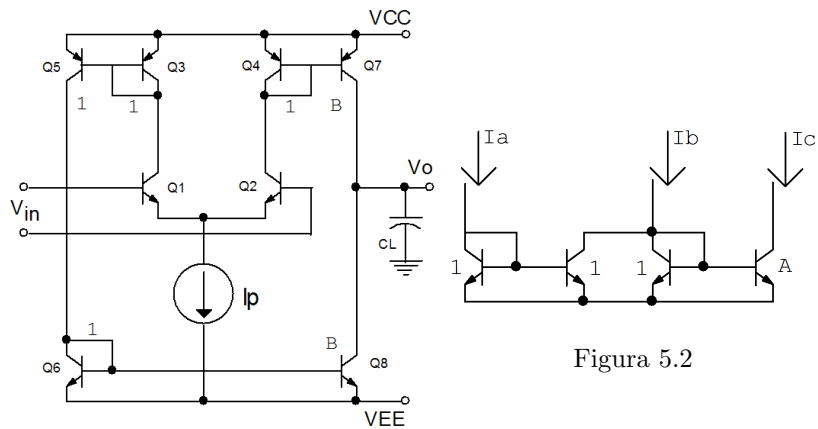


Figura 5.1

Figura 5.2

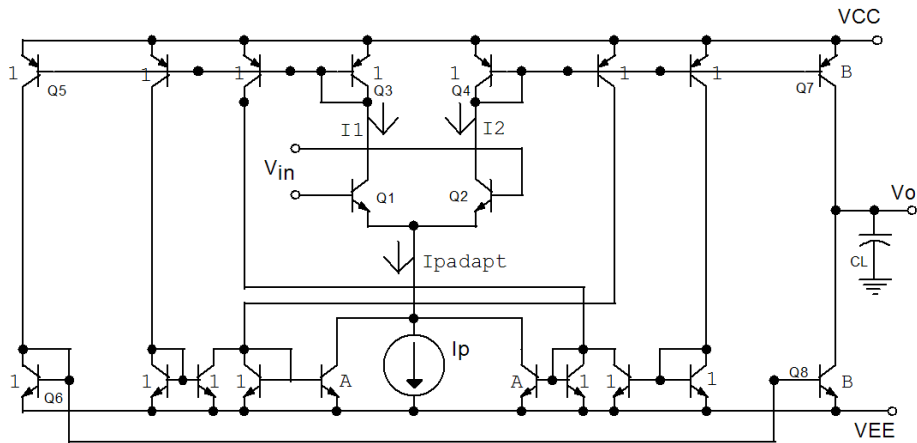


Figura 5.3

tomará  $\beta = 400$  para los transistores y se asumirá que  $I_1$  es 10 veces el valor mínimo calculado en b).

### Ejercicio 7. (10/3/99)

Considere el circuito de la figura 7 donde Todos los transistores son idénticos con ganancia en corriente  $\beta$ , tensión base emisor  $V_{BE}$  y la tensión de saturación  $V_{CEsat}$ .

- Indicar terminales de entrada inversor y no inversor.
- Indicar el valor de la corriente  $I$  en función de  $I_0$  e  $I_a$ , para que la tensión  $V_O$  de reposo sea  $0V$ . Calcular  $I_a$ .
- Calcular la ganancia en función de  $V_a$ .
- Calcular la máxima excursión pico a pico de salida. Se asume que la mínima tensión admisible en las fuentes de corriente  $I$  es  $V_{BE}$ .

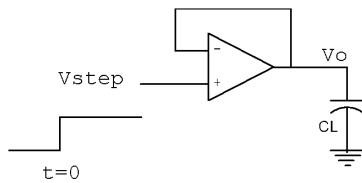


Figura 5.4

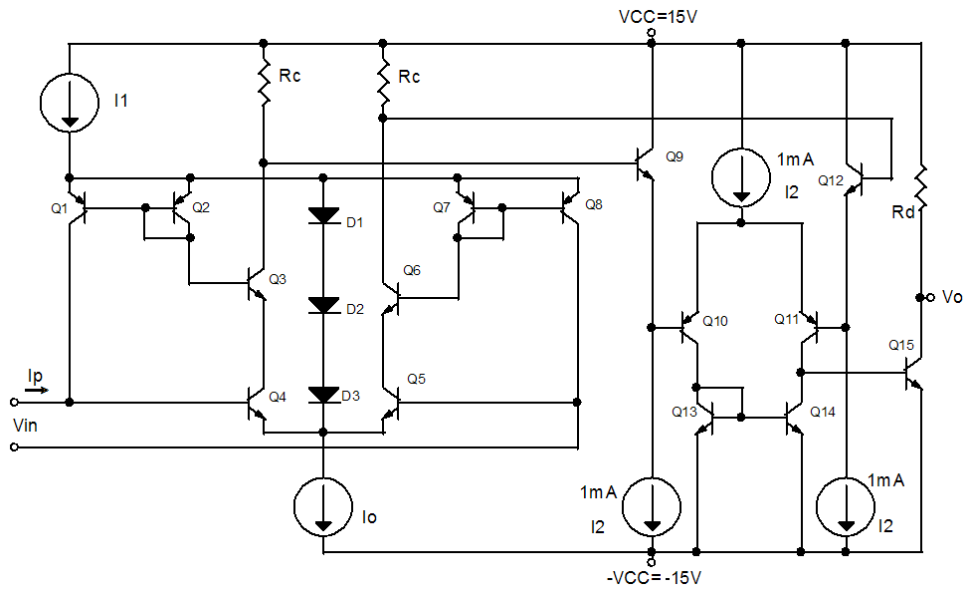


Figura 6

**Ejercicio 8. (30/12/97)**

Considere el amplificador operacional de la figura 8, donde  $V_{BIAS}$  es del orden de  $V_{BE}$ . Se supondrá que todos los transistores son idénticos con  $\beta \gg 1$  salvo donde se indique lo contrario y que  $V_{BE}$  (transistores npn) =  $V_{EB}$  (transistores pnp) =  $V_{Diodo}$ .

- Calcular el mínimo valor de  $V_{CC}$  para que el circuito funcione linealmente. Tener en cuenta la alimentación simétrica.
- Calcular el rango de modo común de entrada para que el circuito funcione linealmente.
- Calcular la transconductancia ( $i_o/v_i$ ), siendo  $v_i$  la entrada diferencial, cuando ambos pares diferenciales de entrada conducen. Se supondrá  $g_{m10} \cdot R \gg 1$ .
- Hallar la ganancia diferencial ( $v_o/v_i$ ) en función de la frecuencia, considerando como única capacidad  $C$  y despreciando el cero introducido por la misma, cuando ambos pares diferenciales conducen. Indique claramente las aproximaciones que realiza.

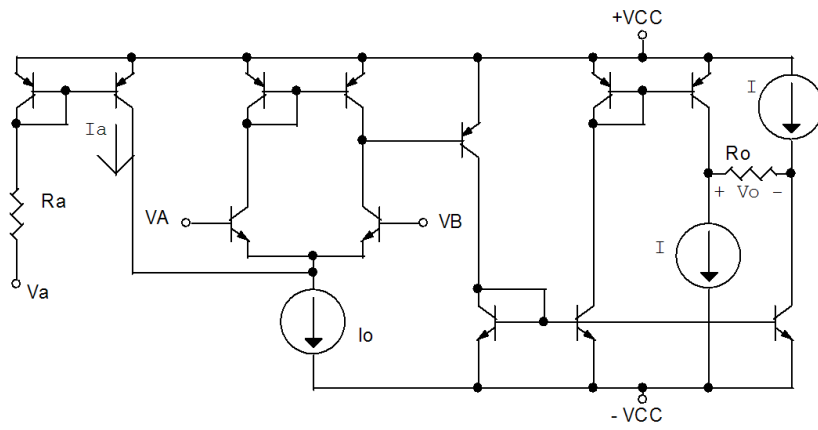


Figura 7

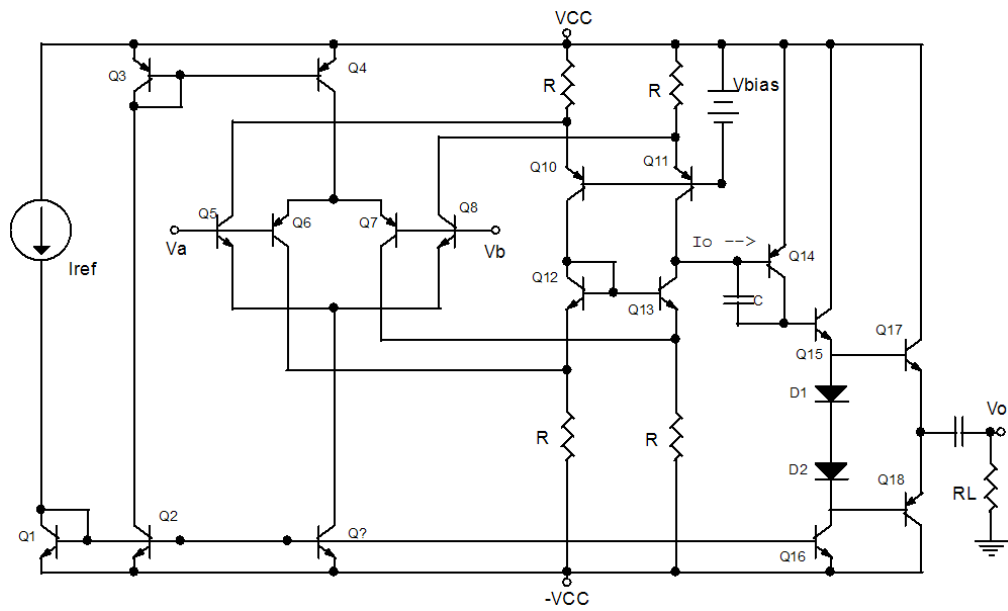


Figura 8

# Solución

## Ejercicio 1

- (a)  $V_{in2}$  es inversora y  $V_{in1}$  es no inversora.
- (b)  $I = 55 \mu A$  y  $I_{Q3} = 16 \mu A$ .
- (c)  $G_{m1} = 1.1 \times 10^{-3} A/V$
- (d)  $G = 1590 V/V$

## Ejercicio 3

- (a)  $R_8 = 3.4 k\Omega$
- (b)  $G = 29 \times 10^3$ ;  $R_i = 4.5 k\Omega$ ;  $v_i$  es la entrada no inversora
- (c)  $-8.9 V < V_{CM} < 6.5 V$ ;  $v_d \ll \frac{2V_t}{g_{m1} \times (R_1 // r_{\pi,4})}$

## Ejercicio 4

- (a)  $V_{CC} > 5V_{BE}$
- (b)  $3V_{BE} \leq V_{CM} \leq V_{CC}$
- (c)  $R_1 = 1 k\Omega$
- (d)  $R = 730 \Omega$
- (e)  $R_p = R_L$

## Ejercicio 5

- (a)  $f_T = \frac{I_p B}{4\pi V_t C_L}$ ;  $SR = \frac{I_p B}{C_L}$
- (b)  $\text{Con } I_c = \begin{cases} 0 & \text{si } I_a \geq I_b \\ A(I_b - I_a) & \text{si } I_a < I_b \end{cases}$
- (c)  $I_{P,adapt} = I_P + A|I_1 - I_2|$
- (d)  $SR = \frac{I_p B}{(1 - A)C_L}$



### Ejercicio 6

(a)  $I_p = \frac{3(I_0 - I_1)}{2(\beta + 1)^2}$

(b)  $I_1 > \frac{2I_0}{\beta}$

(c)  $R_d = 15 \text{ k}\Omega$

(d)  $I_0 = 1.1 \text{ mA}; R_c = 120 \text{ }\Omega$

### Ejercicio 7

(a)  $V_A$  es la entrada inversora y  $V_B$  la no inversora

(b)  $I = I_o - I_a$

(c)  $G = \frac{\beta R_a}{2V_t} \left[ I_0 + \frac{V_a + V_{BE} - V_{CC}}{R_a} \right]$

(d)  $V_{o,pp}^{max} = 4V_{CC} - 2(V_{BE} + V_{CE,sat}) \cong 4V_{CC}$

### Ejercicio 8

(a)  $V_{CC}^{min} = \frac{2V_{CE,sat} + 3V_{BE}}{2}$

(b)  $-V_{CC} < V_{CM} < V_{CC}$

(c)  $\frac{i_o}{v_i} = 2g_m; g_m = g_{m5} = g_{m6} = g_{m7} = g_{m8}$

(d)  $\frac{v_o}{v_i} = \frac{2g_m\beta^3 R_L}{1 + \beta^3 R_L C s}$