



## TRABAJO PRÁCTICO N° 7

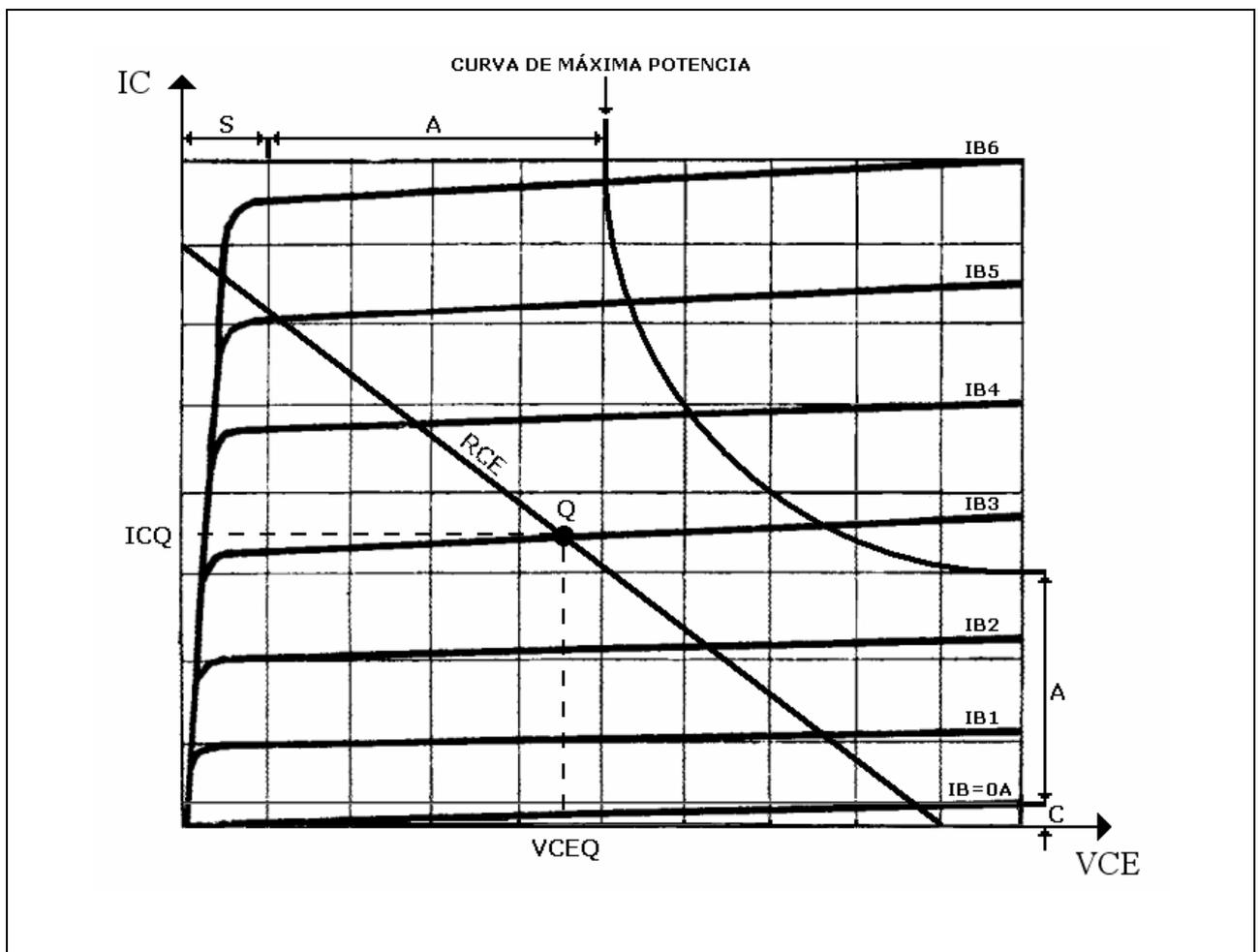
### EL TRANSISTOR BIPOLAR - POLARIZACIÓN

#### 1) Introducción Teórica

Polarizar un transistor de unión bipolar (en inglés Bipolar Junction Transistor, o sus siglas BJT) significa conseguir que las corrientes y tensiones continuas que aparecen en el mismo queden fijadas a ciertos valores previamente determinados según el propósito del circuito. Existen tres zonas en las que puede trabajar el transistor según la polarización que se realice. Estas son: corte, saturación y activa o lineal. Existen también tres configuraciones de conexión y funcionamiento del transistor, según el terminal que sea común a los circuitos de entrada y de salida del mismo. Estas configuraciones son: emisor común, colector común y base común.

En la configuración emisor común, el BJT se encuentra en la *zona activa* (región donde se manifiestan las propiedades de amplificación), si la juntura *base-emisor* se encuentra polarizada en sentido directo y la juntura *colector-base* se polariza en forma inversa.

Mediante el trazado de una recta llamada **Recta de Carga Estática (RCE)** en el gráfico que representa las curvas características de colector o de salida, se puede determinar la zona en la que se encuentra polarizado el transistor.





	<b>Corte</b>	<b>Activa</b>	<b>Saturación</b>
<b>VBE</b>	= 0	~ 0,7V	Variable
<b>VCE</b>	~ $V_{CC}$	Variable	~ 0,2
<b>IC</b>	~ 0	Variable	Máxima

Por cada par de valores  $V_{CE}$  e  $I_C$  queda definido un único punto contenido en esta recta. A este punto se lo conoce como punto de trabajo estático o **Punto Q** (del inglés Quiescent operating point – Punto de trabajo en reposo), el cual indica en qué zona se encuentra polarizado el transistor. Cada zona posee diferentes propósitos, como ser: interruptor en las zonas de corte y saturación (en el caso de la electrónica digital) o amplificador en la zona activa (en el caso de la electrónica analógica).

## 2) Objeto de la Experiencia

El objeto de esta experiencia es analizar el comportamiento del transistor bipolar polarizado en las diferentes zonas, empleando métodos analíticos como la aplicación de leyes, métodos gráficos como el trazado e interpretación de curvas y métodos prácticos como la medición de los diferentes parámetros en el circuito armado.

## 3) Elementos a utilizar

- 1 Fuente de corriente continua de 12V
  - 1 Fuente de corriente continua de 5V
  - 1 Multímetro
  - 1 Protoboard
  - 3 Transistores BC548B con su respectiva hoja de datos. Transistor alternativo: 2N3904
  - 1 Diodo led de 3mm verde
  - 1 Resistencia de  $1,5M\Omega \times \frac{1}{4}W$
  - 1 Resistencia de  $3,3K\Omega \times \frac{1}{4}W$
  - 2 Resistencias de  $1K\Omega \times \frac{1}{4}W$
  - 1 Resistencia de  $2,2K\Omega \times \frac{1}{4}W$
  - 1 Resistencia de  $68K\Omega \times \frac{1}{4}W$
  - 1 Resistencia de  $27K\Omega \times \frac{1}{4}W$
  - 1 Resistencia de  $82K\Omega \times \frac{1}{4}W$
- Cable par telefónico para realizar los puentes

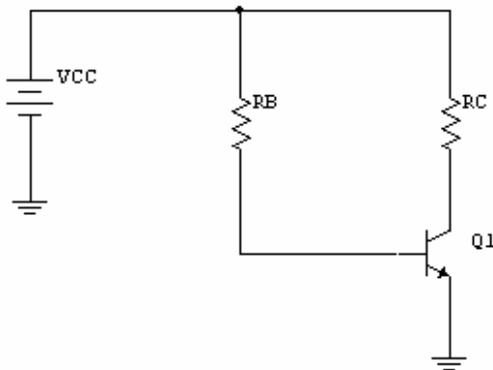


#### 4) Desarrollo de la experiencia

##### a) Zona Activa

##### Polarización Fija (ó de IB constante)

Armar el siguiente circuito:



$$VCC = 12V$$

$$RB = 1,5M\Omega$$

$$RC = 3,3K\Omega$$

$$Q1 = BC548B \left\{ \begin{array}{l} V_{BEQ} = 0,7V \\ h_{FE_{min}} = 200(*) \\ h_{FE_{tip}} = 290(*) \\ h_{FE_{max}} = 450(*) \end{array} \right.$$

(\*) Valores medidos bajo las siguientes condiciones:

$$I_{CQ} = 2mA$$

$$V_{CEQ} = 5V$$

$$T_A = 25^\circ C$$

Malla de Entrada	Malla de Salida
Aplicando la Ley de Ohm y 2º Ley de Kirchhoff: $VCC - I_{BQ} \cdot RB - V_{BEQ} = 0$  Despejando: $I_{BQ} = \frac{VCC - V_{BEQ}}{RB}$  Reemplazando valores: $I_{BQ} = 7,53\mu A$	Aplicando la Ley de Ohm y 2º Ley de Kirchhoff: $VCC - I_{CQ} \cdot RC - V_{CEQ} = 0$  Despejando: $V_{CEQ} = VCC - I_{CQ} \cdot RC$
Dispersión del punto Q por variación del hFE	
Aplicando la definición de hFE: $I_{CQ} = I_{BQ} \cdot hFE$  Reemplazando el valor máximo de hFE: $I_{CQ_{max}} = 2,63mA$  Reemplazando el valor mínimo de hFE: $I_{CQ_{min}} = 1,5mA$  $\Delta I_{CQ} = I_{CQ_{max}} - I_{CQ_{min}}$  Reemplazando valores: $\Delta I_{CQ} = 1,13mA$	Reemplazando el valor mínimo de $I_{CQ}$ : $V_{CEQ_{max}} = 7,05V$  Reemplazando el valor máximo de $I_{CQ}$ : $V_{CEQ_{min}} = 3,32V$  $\Delta V_{CEQ} = V_{CEQ_{max}} - V_{CEQ_{min}}$  Reemplazando valores: $\Delta V_{CEQ} = 3,73V$



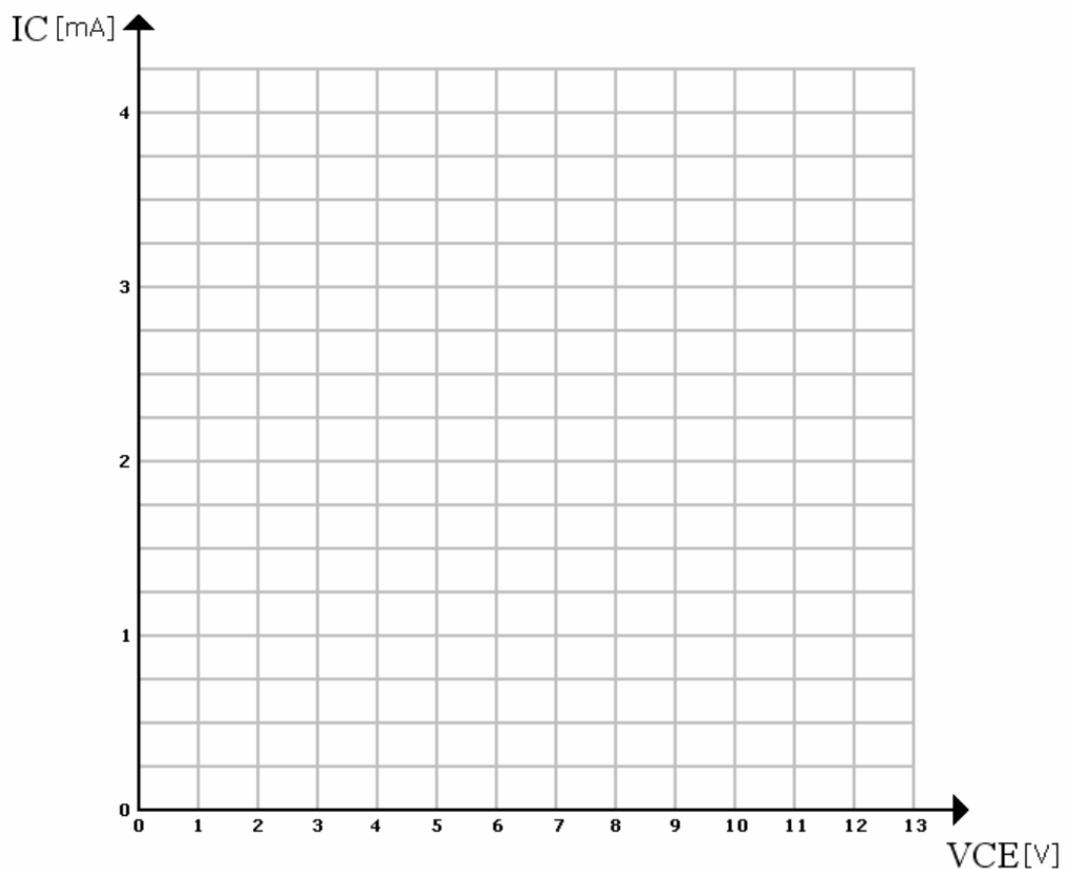
Completar la siguiente tabla con los valores medidos en el circuito y compararlos con los valores calculados:

Parámetros	ICQ		IBQ	VCEQ		VBEQ
Unidades	[mA]		[ $\mu$ A]	[V]		[mV]
Valores Calculados	1,5	2,63	7,53	3,32	7,05	700
Valores Medidos						

Trazar en el siguiente gráfico la Recta de Carga Estática (RCE) considerando los siguientes puntos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } V_{CE} = 0V \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = 3,63mA \\ \text{Si } I_C = 0mA \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 12V \end{array} \right.$$

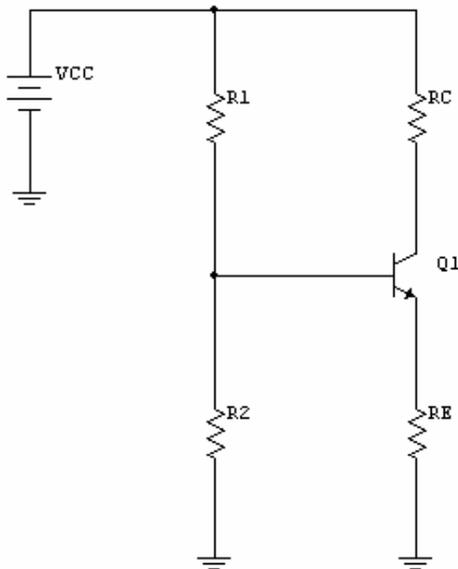
Indicar además los diferentes puntos Q (Zona Activa) para el máximo y mínimo valor de  $h_{FE}$ .





**Polarización Universal** (También conocida como polarización por divisor resistivo con realimentación de emisor)

Armar el siguiente circuito:



$$VCC = 12V$$

$$R1 = 68K\Omega$$

$$R2 = 27K\Omega$$

$$RC = 2,2K\Omega$$

$$RE = 1K\Omega$$

$$Q1 = BC548B \begin{cases} V_{BEQ} = 0,7V \\ h_{FE_{min}} = 200(*) \\ h_{FE_{tip}} = 290(*) \\ h_{FE_{max}} = 450(*) \end{cases}$$

$$RE = 1K\Omega$$

(\*) Valores medidos bajo las siguientes condiciones:

$$I_{CQ} = 2mA$$

$$V_{CEQ} = 5V$$

$$T_A = 25^\circ C$$

Malla de Entrada	Malla de Salida
Aplicando el Teorema de Thévenin: $R_{TH} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$ $V_{TH} = VCC \cdot \frac{R2}{R1 + R2}$ Reemplazando valores: $R_{TH} = 19,33K\Omega$ $V_{TH} = 3,41V$ Aplicando la Ley de Ohm y 2º Ley de Kirchhoff: $V_{TH} - I_{BQ} \cdot R_{TH} - V_{BEQ} - I_{CQ} \cdot RE = 0$ Aplicando la definición de hFE y despejando: $I_{BQ} = \frac{V_{TH} - V_{BEQ}}{R_{TH} + h_{FE} \cdot RE}$ Reemplazando el valor mínimo de hFE: $I_{BQ_{max}} = 12,36\mu A$ Reemplazando el valor máximo de hFE: $I_{BQ_{min}} = 5,77\mu A$	Aplicando la Ley de Ohm y 2º Ley de Kirchhoff: $VCC - I_{CQ} \cdot (RC + RE) - V_{CEQ} = 0$ Despejando: $V_{CEQ} = VCC - I_{CQ} \cdot (RC + RE)$



### Dispersión del punto Q por variación del hFE

Aplicando la definición de hFE:

$$ICQ = IBQ \cdot hFE$$

Reemplazando el valor máximo de hFE y mínimo de IBQ:

$$ICQ_{max} = 2,6mA$$

Reemplazando el valor mínimo de hFE y máximo de IBQ:

$$ICQ_{min} = 2,47mA$$

$$\Delta ICQ = ICQ_{max} - ICQ_{min}$$

Reemplazando valores:

$$\Delta ICQ = 0,13mA$$

Reemplazando el valor mínimo de ICQ:

$$VCEQ_{max} = 4,1V$$

Reemplazando el valor máximo de ICQ:

$$VCEQ_{min} = 3,68V$$

$$\Delta VCEQ = VCEQ_{max} - VCEQ_{min}$$

Reemplazando valores:

$$\Delta VCEQ = 0,42V$$

Completar la siguiente tabla con los valores medidos en el circuito y compararlos con los valores calculados:

Parámetros	ICQ		IBQ		VCEQ		VBEQ	VTH
Unidades	[mA]		[μA]		[V]		[mV]	[V]
Valores Calculados	2,47	2,6	5,77	12,36	3,68	4,1	700	3,41
Valores Medidos (*)								

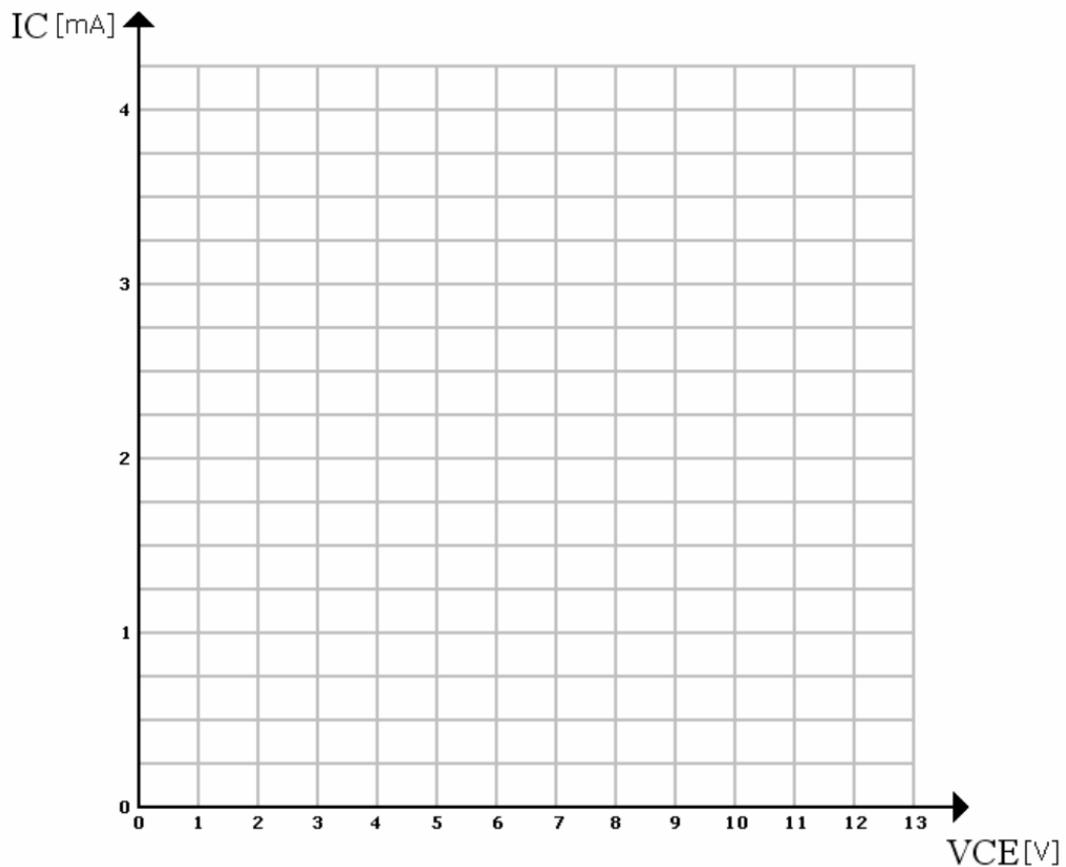
(\*) Para medir VTH se debe medir la tensión sobre R2 luego de desconectar la base del transistor del resto del circuito.



Trazar en el siguiente gráfico la Recta de Carga Estática (RCE) considerando los siguientes puntos:

$$\begin{cases} \text{Si } V_{CE} = 0V \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 3,75\text{mA} \\ \text{Si } I_C = 0\text{mA} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 12V \end{cases}$$

Indicar además los diferentes puntos Q (Zona Activa) para el máximo y mínimo valor de  $h_{FE}$ .

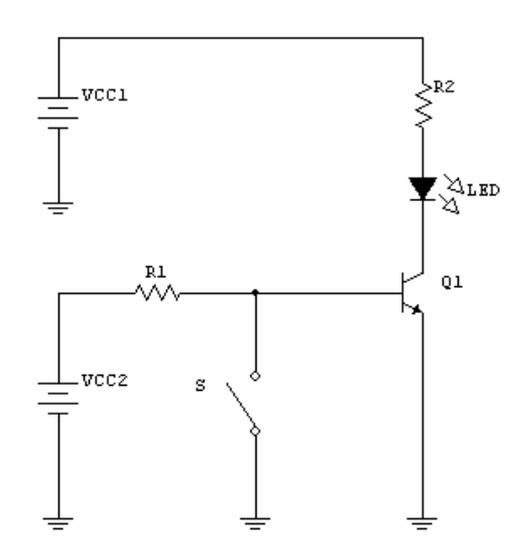


Comparar la dispersión del punto Q por variación del  $h_{FE}$  del circuito de polarización fija con la del circuito de polarización universal y sacar conclusiones.



### b) Zonas de Corte y Saturación

Armar el siguiente circuito:



$VCC1 = 12V$   
 $VCC2 = 5V$   
 $V_{LED} = 1,5V \quad I_{LED} = 10 \text{ mA}$   
 $Q1 = BC548B \left\{ \begin{array}{l} V_{BE} = 0,7V \\ hFE_{ip} = 200(*) \end{array} \right.$

(\*) Valor medido bajo las siguientes condiciones:  
 $I_{CQ} = 10 \text{ mA}$   
 $V_{CEQ} = 0,2 \text{ V}$   
 $T_A = 25^\circ \text{ C}$

Malla de Salida	Malla de Entrada
Aplicando la Ley de Ohm y 2º Ley de Kirchoff: $VCC1 - I_{CQ} \cdot R2 - V_{LED} = 0$  Despejando: $R2 = \frac{VCC1 - V_{CEQ} - V_{LED}}{I_{CQ}}$  Reemplazando valores: $R2 = 1,03K\Omega$  Normalizando: $R2 = 1K\Omega$	Aplicando la definición de hFE: $I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{hFE}$  Reemplazando valores: $I_{BQ} = 50\mu A$  Aplicando la Ley de Ohm y 2º Ley de Kirchoff con la llave abierta: $VCC2 - I_{BQ} \cdot R1 - V_{BEQ} = 0$  Despejando: $R1 = \frac{VCC2 - V_{BEQ}}{I_{BQ}}$  Reemplazando valores: $R1 = 86K\Omega$  Normalizando: $R1 = 82K\Omega$



Completar la siguiente tabla con los valores medidos en el circuito y compararlos con los valores calculados:

Parámetros		ICQ	IBQ	VCEQ	VBEQ
Unidades		[mA]	[ $\mu$ A]	[V]	[mV]
Interruptor Abierto	Valores Calculados	10	50	0,2	700
	Valores Medidos				
Interruptor Cerrado	Valores Calculados	0	0	10,5	0
	Valores Medidos				

Trazar en el siguiente gráfico la Recta de Carga Estática (RCE), a partir de los diferentes puntos Q medidos en el circuito para el caso en el que el interruptor está abierto (Zona de Saturación) y el caso en el que el interruptor está cerrado (Zona de Corte), indicando cuál es cada uno.

