

Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de

Componentes

Electrónicos

5° PI

6° Mec

Tecnología de control

Cód. 21501-19

Prof. Martín Crespo
Prof. Claudia Pendino
Prof. Gabriel Roldán



Dpto. de Electrotecnia

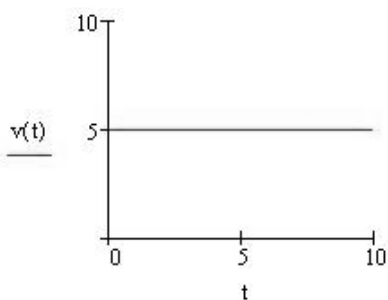
Masterización: RECURSOS PEDAGÓGICOS



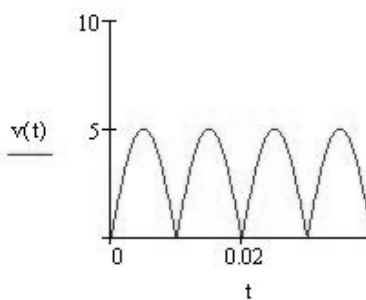
1. Leyes de electricidad

1.1.1 Corriente Continua (CC)

Se dice que la corriente o tensión eléctrica es continua si *no cambia* de sentido o bien no cambia de signo. Estas magnitudes podrán ser *constantes*, si mantienen su valor en todo instante de tiempo, o *pulsantes*, si su valor es variable.



Tensión continua constante

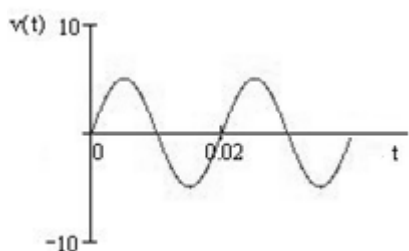


Tensión continua pulsante

1.1.2 Corriente Alterna (CA)

Se dice que la corriente o tensión eléctrica es alterna si *cambia* de sentido o bien de signo. Los circuitos de C se usan en la distribución de energía eléctrica, en la radio, en la televisión, y en otros dispositivos de comunicación, así como en una amplia variedad de motores eléctricos.

Por lo general se trabaja con corrientes que varían de forma senoidal con el tiempo, alternando periódicamente de una dirección a otra. Los parámetros que caracterizan a dichas señales son: la *amplitud*, el *período* (T) y la *frecuencia* (f).



Tensión alterna periódica:

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f$$

$$T = 0.02 \text{ s} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad \omega = 314.15 \text{ rad/s}$$

1.2 Circuitos de corriente continua

En este capítulo se estudia el comportamiento de circuitos eléctricos específicos que comprenden elementos resistivos. Se trabajará con circuitos de *corriente continua* (CC), en los que la dirección de la corriente no cambia con el tiempo.

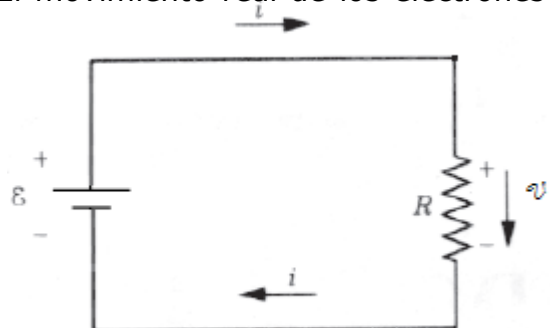
1.2.1 Ley de Ohm

En la mayoría de los circuitos se requiere de una fuente de energía externa para mover cargas dentro del circuito. Por lo tanto, el circuito debe incluir un dispositivo que mantenga una diferencia de potencial entre dos puntos del mismo, al igual que el fluido circulante requiere de un dispositivo análogo (bomba) que mantenga una diferencia de presión entre dos puntos.

Cualquier aparato que lleve a cabo esta tarea en un circuito eléctrico recibe el nombre de *fuerza de fuerza electromotriz* (símbolo ξ ; abreviatura *fem*). Una fuente común de *fem* es la batería ordinaria.

La fuente de *fem* mantiene su terminal superior a un potencial alto y su terminal inferior a un potencial bajo, como lo indican los signos + y -. En el circuito externo, los portadores de carga positiva se moverán en la dirección de las flechas marcadas con i . En otras palabras, en el circuito de la figura, se produce una circulación de corriente en el sentido de las agujas del reloj. El movimiento real de los electrones es en la dirección opuesta.

Ley de Ohm: Dada una determinada resistencia R , si se le aplica una diferencia de potencial V en sus extremos, circulará por ella una corriente I de valor V/R .

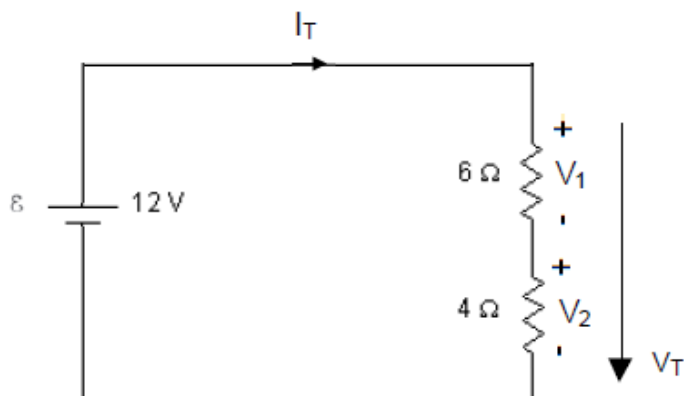


El sentido de la corriente determina la polaridad en la resistencia, el signo positivo + siempre se encontrará del lado de donde ingrese la corriente. De este modo, como se puede observar en la figura, los signos \pm determinan la caída de tensión en la resistencia. La flecha, que siempre va del positivo (+) al negativo (-), es una forma análoga de representar la caída de potencial.



1.2.2 Segunda ley de Kirchhoff

Consideremos un circuito de una sola malla, que contenga una fuente ξ de 12V y dos resistencias, como se muestra en la figura siguiente. Si comenzamos en cualquier punto del circuito y lo recorremos en cualquier dirección, la suma total de los cambios de potencial debe ser cero.

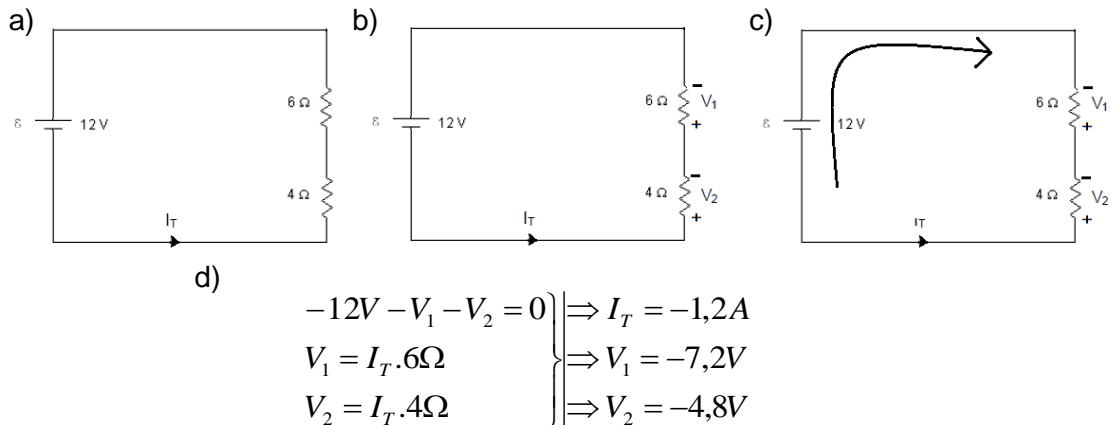


2da Ley de Kirchhoff: La suma algebraica de los cambios de potencial encontrado en un recorrido completo de cualquier circuito cerrado es cero.

$$\left. \begin{array}{l} V_T = 12V \\ V_T = V_1 + V_2 \\ V_1 = I_T \cdot 6\Omega \\ V_2 = I_T \cdot 4\Omega \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Rightarrow I_T = 1,2A \\ \Rightarrow V_1 = 7,2V \\ \Rightarrow V_2 = 4,8V \end{array}$$

Las reglas para hallar las diferencias de potencial en un circuito son:

- Proponer un sentido a la corriente.
- Determinar las caídas de tensión en cada una de las resistencias, de acuerdo al sentido de la corriente propuesto.
- Comenzar en un punto del circuito y recorrerlo en cualquier sentido, sumando las caídas de potencial si aparece el signo + y restando si aparece por el signo -.
- Una vez realizadas las sumas algebraicas de los cambios de potencial, se iguala dicha suma a cero.



Notar que ahora los valores numéricos de la corriente y la tensión son iguales en valor absoluto a los anteriores, pero poseen signos opuestos. Esto se debe a que se ha adoptado un sentido opuesto de la corriente.

1.2.3 Resistencias en Serie y Paralelo

Al analizar circuitos donde hay varias resistencias, es conveniente reemplazar la combinación de resistencias con una sola *resistencia equivalente* R_{EQ} , cuyo valor se elige de tal modo que la operación del circuito no cambie.

Resistencias en paralelo

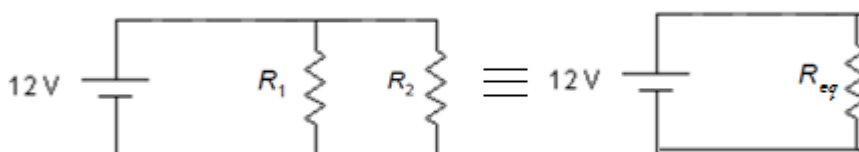
Dos elementos están conectados en paralelo cuando podemos recorrer la combinación cruzando sólo uno de los elementos y todos *comparten la misma diferencia de potencial*. La expresión general para la *resistencia equivalente* de una combinación en paralelo de cualquier número de resistencias es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_n \frac{1}{R_n}$$

En el caso particular de dos resistencias la ecuación puede escribirse como:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Resistencias en paralelo: Nótese que R_{eq} es siempre *menor* que la resistencia mínima en la combinación en paralelo. Sumando más trayectorias para la corriente, se obtiene más corriente para la misma diferencia de potencial.





Resistencias en serie

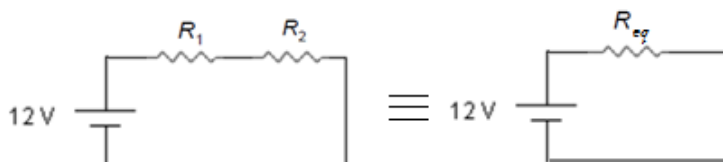
Dos elementos están conectados en serie cuando para atravesar la combinación es menester recorrer *todos* los elementos en sucesión y todos *comparten la misma corriente*. La expresión general para la *resistencia equivalente* de una combinación en serie de cualquier número de resistencias es:

$$R_{eq} = \sum_n R_n$$

En el caso especial de dos resistencias la ecuación puede escribirse

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Resistencias en serie: Nótese que R_{eq} es siempre mayor que la máxima resistencia en la combinación en serie. Añadir más resistencias en serie significa que se obtiene menos corriente para la misma diferencia de potencial.

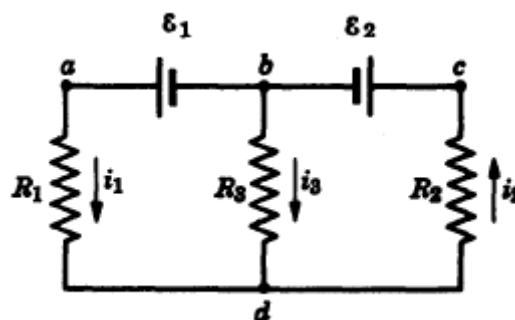


1.2.4 Primera ley de Kirchhoff

Cuando se analizan circuitos con más de una malla, es útil considerar sus *nodos* y *ramas*. El nodo es un punto del circuito en el que se reúnen tres o más segmentos de alambre. Una rama es cualquier trayectoria del circuito que comienza en un nodo y continúa a lo largo del circuito hasta el siguiente nodo.

En el circuito de la figura, las tres corrientes (desconocidas) están representadas por i_1, i_2 e i_3 , los sentidos se han elegido al azar. Nótese que no es posible considerar que alguna combinación de R_1, R_2 y R_3 está en serie o en paralelo. En el nodo d, la cantidad total de corriente que entra al nodo está dada por $i_1 + i_3$ y la cantidad a la cual sale está dada por i_2 . Al igualar las corrientes que entran y que salen del nodo, obtenemos

$$i_1 + i_3 = i_2$$



1era Ley de Kirchhoff: En cualquier nodo, la suma de corrientes que salen del nodo (aquellas con las flechas apuntando hacia afuera del nodo) es igual a la suma de las corrientes que entran al nodo (aquellas con las flechas apuntando hacia el nodo).

Si comenzando desde el punto b recorremos la malla izquierda en sentido contrario al de las agujas del reloj, la 2^{da} ley de Kirchhoff es:

$$-\varepsilon_1 + i_1 R_1 - i_3 R_3 = 0$$

En la malla derecha se obtiene (una vez más desde el punto b yendo en sentido contrario al de las agujas del reloj)

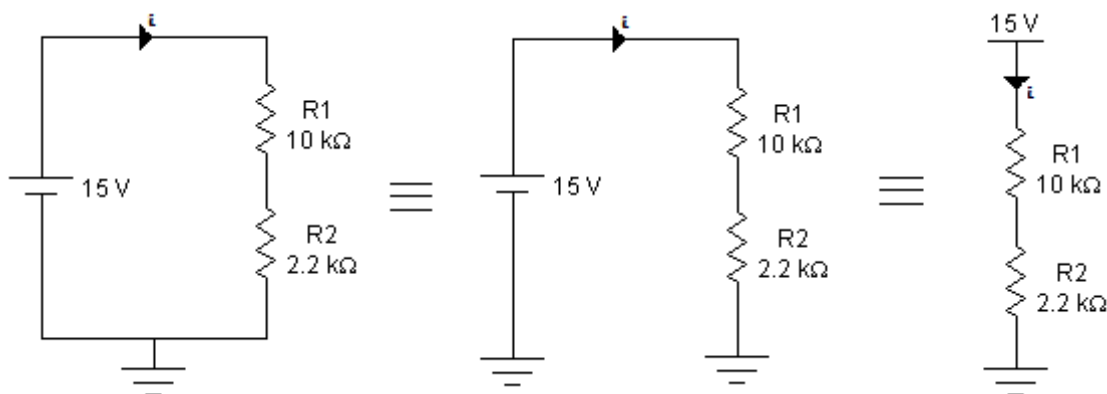
$$i_3 R_3 + i_2 R_2 + \varepsilon_2 = 0$$

Estas tres últimas ecuaciones son las necesarias para resolver las corrientes incógnitas i_1, i_2 e i_3 .

1.2.5 Divisor resistivo

Se llama así a una serie de dos o más resistencias que reciben entre sus extremos una tensión que se reparte entre ellas de forma *proporcional* a sus valores óhmicos. El funcionamiento se basa en un principio básico que es la Ley de Ohm. Al aplicar una diferencia de tensión a un conjunto de resistencias en serie, circulará una corriente proporcional a la resistencia equivalente y en cada resistencia habrá una diferencia de potencial proporcional a su valor.

En la siguiente figura se pueden observar tres divisores resistivos con dos resistencias cada uno. Los tres son equivalentes entre sí. En muchos casos, para facilitar su representación, se omite dibujar la fuente de tensión, indicando sólo su valor respecto del potencial de referencia, llamado habitualmente *masa*.

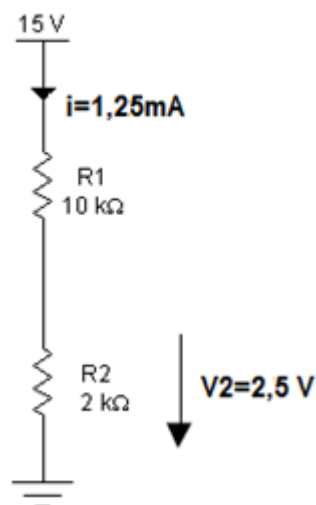




$$I = \frac{15}{R_1 + R_2} = 1,25 \text{ mA}$$

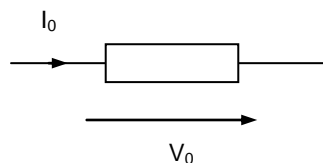
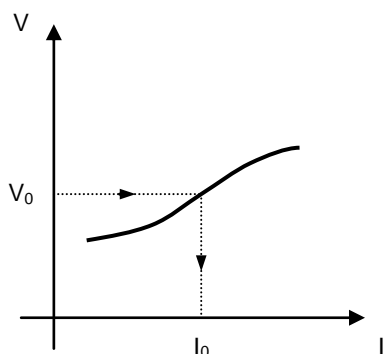
$$V_2 = IR_2 = 2,5 \text{ V}$$

Ahora, podría utilizarse la tensión en la resistencia R_2 para alimentar algún dispositivo; sólo deberá tenerse en cuenta que el consumo de éste deberá ser *mucho menor* que la corriente del divisor para que no modificar su valor de tensión.

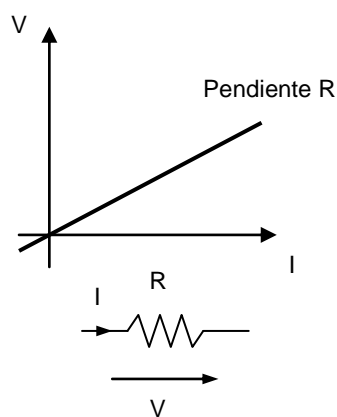
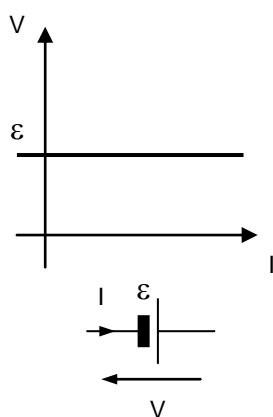


1.2.6 Característica V - A

Se llama así a la representación gráfica de la tensión en función de la corriente: $V = f(I)$, o viceversa. La misma podrá obtenerse analítica o experimentalmente, dependiendo del caso. Describe el funcionamiento y características de un dipolo.



A continuación se muestran las características V-A de *f.e.m* y resistencias:



Según sea la relación se pueden clasificar en:

- *Activos*: aquellos en los cuales la característica V-A no pasa por el origen, o sea, presenta $V \neq 0$ para $I = 0$ ó $I \neq 0$ para $V = 0$ (*fem*)
- *Pasivos*: aquellos en los cuales la característica V-A pasa por el origen, o sea $V = 0$ para $I = 0$, y viceversa. (resistencia)
- *Lineales*: su gráfica es una recta.
- *Anómalos o No Lineales*: su gráfica no es una recta. Se los subclasifica en simétricos y asimétricos.
- *Simétricos*: cumplen con la condición $V(I) = -V(-I)$.
- *Asimétricos*: cumplen con la condición $V(I) \neq -V(-I)$.

1.2.7 Repaso de unidades

[V]= V (*Voltio*) [R]= Ω (*Ohm*) [I]= A (*Ampere*) [Q]=C (*Coulomb*)

Energía

$$E = V \cdot Q$$

$$[E] = [V] \cdot [Q] = V \cdot C = J \text{ (*Joule*)}$$

Potencia

$$P = \frac{E}{\Delta t} = V \cdot \frac{Q}{\Delta t} = V \cdot I$$

$$[P] = [J] / [\text{seg}] = W \text{ (*Vatio*)}$$



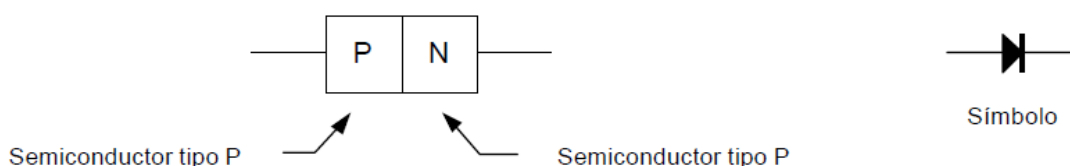
2. Diodo

Algunos dispositivos electrónicos son *lineales*; es decir, su corriente es directamente proporcional a su tensión. El ejemplo más sencillo de un dispositivo lineal es una resistencia, como se vio en el capítulo anterior.

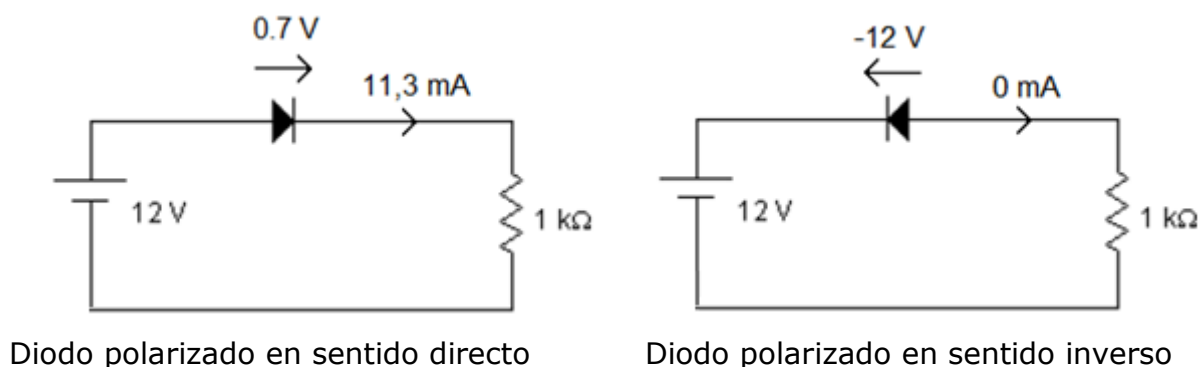
En este capítulo se estudiará el comportamiento del diodo en diferentes circuitos y su principal uso: como rectificador.

2.1 Características generales

La siguiente figura muestra el símbolo eléctrico de un diodo. El lado *p* se llama ánodo y el lado *n* es el cátodo. El símbolo del diodo es una flecha que apunta del lado *p* al lado *n*, del ánodo al cátodo. Por ello, la flecha del diodo recuerda que la corriente convencional circula del lado *p* al lado *n*. Si se trabaja con el flujo de electrones, hay que tener en cuenta que éstos fluyen en dirección opuesta a la de la flecha del diodo.



La característica principal del diodo es la de permitir la circulación de corriente en un sentido (directo) e impedirla en sentido contrario (inverso). La tensión para la cual un diodo comienza a conducir se llama *tensión umbral*. Dicha tensión puede aproximarse a un valor de 0,7 V en un diodo de silicio.



2.2 Construcción interna

El diodo se construye mediante la unión de dos partes de material semiconductor (en general silicio) de naturalezas P (positivo) y N (negativo) según su composición a nivel atómico. Estos tipos de materiales (P y N), se obtienen al dopar unas con impurezas trivalentes (aluminio, boro, galio) y otras con impurezas pentavalentes (arsénico, antimonio, fósforo) respectivamente.

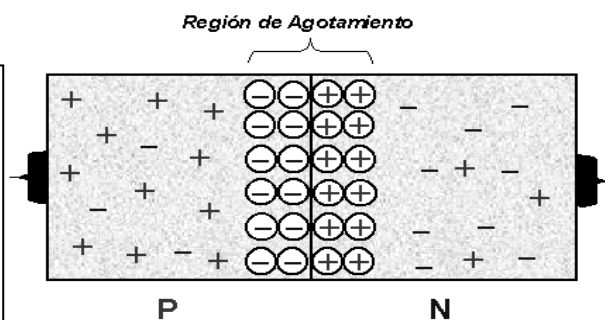
Semiconductor silicio tipo "P"

Este semiconductor se obtiene luego de un proceso de *dopado*, sustituyéndole algunos átomos por otros con menos electrones de valencia, normalmente trivalentes (tienen 3 electrones en su capa de valencia), para aumentar el número de portadores de cargas libres (en este caso positivos: "Huecos").

Semiconductor Silicio tipo "N"

Este semiconductor se obtiene llevando a cabo el proceso de *dopado* (similar al de tipo "P") añadiendo un cierto tipo de elemento, normalmente pentavalente (tienen 5 electrones en su capa de valencia), al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso, negativos: electrones libres).

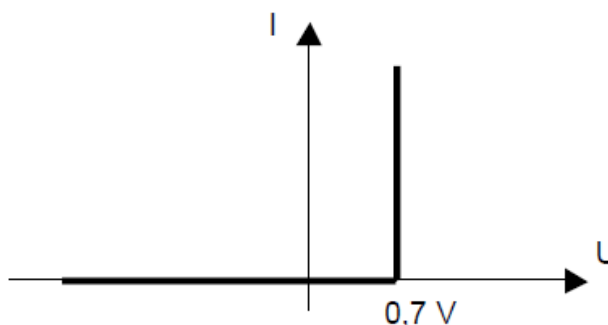
Región de agotamiento: Al unir ambos semiconductores, se manifiesta una difusión de electrones del cristal n al p. Al establecerse estas corrientes aparecen cargas fijas en una zona a ambos lados de la unión, zona que recibe el nombre de barrera interna de potencial.



La acumulación de iones positivos en la zona n y de iones negativos en la zona p, crea un campo eléctrico: aparece una diferencia de tensión entre las zonas p y n. Esta diferencia de potencial (V_0) es de 0,7 V. Para que el diodo conduzca hay que superarla en sentido contrario; de ahí que la tensión umbral sea 0,7 V.

2.3 Característica V-A

La gráfica de la derecha muestra la característica V-A de un diodo ideal. El dibujo indica que no hay corriente hasta que aparecen 0,7 V en el diodo. En este punto, el diodo comienza a conducir. De ahí en adelante sólo caerán 0,7 V en el diodo, independientemente del valor de la corriente.





Así el diodo se asemeja a un interruptor; conduciendo cuando la tensión en sus terminales alcanza los 0,7 V e impidiendo el paso de corriente para tensiones menores a ésta. En el caso de la conducción, la caída de tensión total en el diodo se mantendrá en 0,7 V para cualquier valor de corriente. Por otro lado, si la tensión aplicada al diodo es menor a 0,7 V o incluso negativa, el diodo se polariza en inversa impidiendo la circulación de corriente.

En realidad, un diodo real tiene un comportamiento más complejo. Existe una pequeña corriente en sentido inverso, llamada *corriente de fuga*, y presentará, en el sentido directo, luego de superar la tensión umbral, una pendiente debido a una pequeña resistencia interna. En este curso trabajaremos con la característica V-A ideal. Las principales características de un diodo para propósitos generales pueden observarse en la hoja de datos que se adjunta al final del apunte.

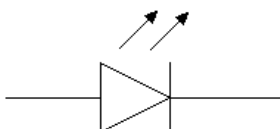
2.4 Diodo emisor de luz (LED)

La palabra LED proviene de las siglas del inglés "**L**ight-**E**mitting **D**iode" que en español significa: diodo emisor de luz. El LED es eso, un diodo que emite luz.

Después de que un electrón ha saltado a una órbita mayor, puede regresar a su nivel de energía inicial. Si lo hace, devolverá la energía sobrante en forma de calor, luz u otro tipo de radicación. La energía perdida por un electrón al regresar a la órbita inicial es igual a la cantidad de energía emitida por el átomo. Como los niveles de energía son diferentes para cada elemento, el color de la luz emitida depende del material con el que se esté trabajando.

El principio de funcionamiento del LED se basa en los niveles de energía. En este tipo de dispositivos, la tensión aplicada excita a los electrones a los niveles de energía más altos. Cuando estos electrones regresan a sus niveles de energía originales emiten luz. Según el material empleado, la luz puede ser roja, verde, naranja, azul, etc.

A continuación se muestra el símbolo del LED:



La tensión umbral de los LED varía según la luz que emita éste. En el caso del LED de color rojo la tensión umbral es aproximadamente 2 V y para obtener un brillo óptimo debe circular una corriente de 10 mA.

2.5 Rectificación

En Argentina, las empresas de electricidad (Ej: EPE) proporcionan una tensión de red de 220 Vca a una frecuencia de 50 Hz. La tensión real de un enchufe eléctrico fluctúa entre los 200/220 V, dependiendo de la hora, la localidad y de otros factores.

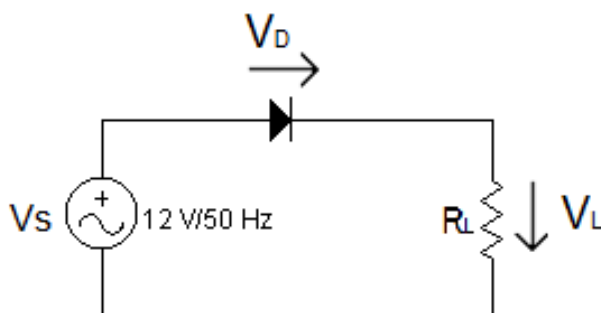
La tensión de red es demasiado elevada para la mayor parte de los dispositivos empleados en circuitos electrónicos. Por esta causa, generalmente se emplea un transformador en casi todos los equipos electrónicos. Este transformador reduce la tensión a niveles inferiores, más adecuados para su uso en dispositivos como diodos y transistores. Además aísla galvánicamente el circuito de CC de la red de alterna.

Dado que gran parte de los circuitos electrónicos funcionan con alimentación de continua, una vez disminuida la tensión, es necesario convertir esa corriente alterna en continua. Para esto, los diodos rectificadores juegan un rol clave.

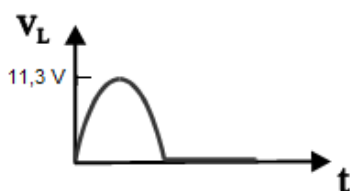
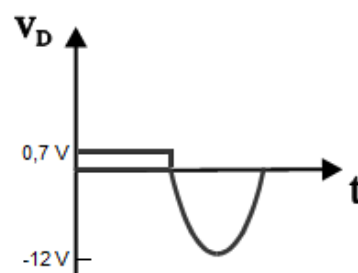
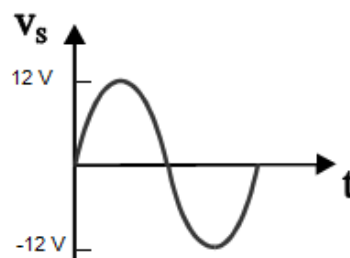
Idealmente, un diodo rectificador es un interruptor cerrado cuando está polarizado directamente y un interruptor abierto cuando está polarizado inversamente. Por esta razón es útil para convertir corriente alterna en corriente continua. En este capítulo se estudian dos tipos de rectificadores: media onda y onda completa.

2.5.1 Rectificador media onda

El circuito más simple que puede convertir corriente alterna en corriente continua es el rectificador de *media onda*, que se muestra a continuación.



Ciclo positivo: El diodo conduce y la tensión en la carga V_L es $V_S - V_D$. El valor de la corriente es $I_L = V_L / R_L$.
Ciclo negativo: El diodo se polariza en inversa y no conduce. La corriente I_L es cero y por lo tanto la tensión en la carga V_L es cero. La tensión de entrada V_S se ve reflejada en bornes del diodo V_D .

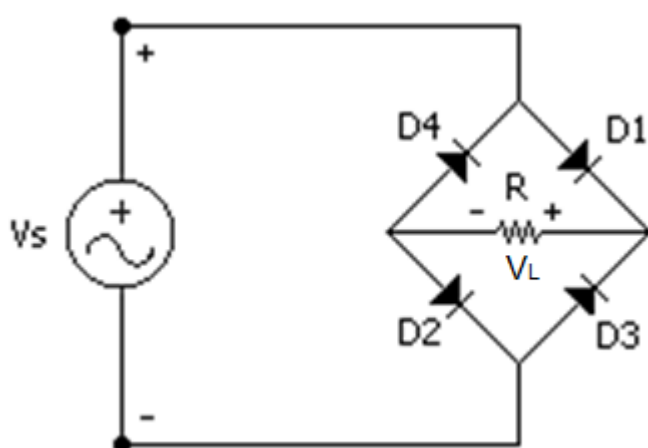




En la evolución de la tensión en la carga mostrada en la figura, se observa que los semiciclos negativos han sido cortados o eliminados; este tipo onda recibe el nombre de *señal de media onda*. Como la tensión en la carga tiene solamente un semiciclo positivo, la corriente por la carga es unidireccional, lo cual quiere decir que fluye en una sola dirección. Por lo tanto la corriente en la carga es una corriente en forma de pulsos sinusoidales positivos.

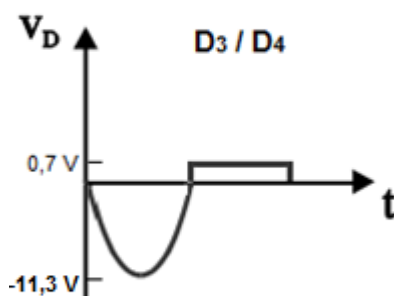
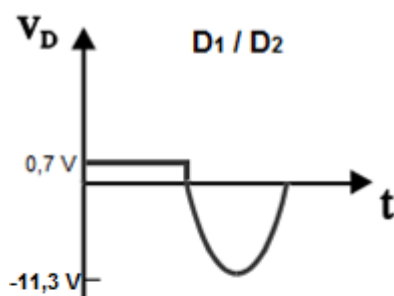
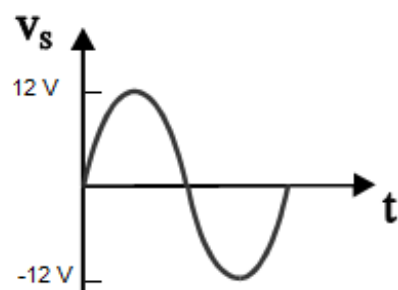
2.5.2 Rectificador de onda completa - Tipo puente

En la figura de abajo se muestra la configuración de un *punteo rectificador*. Mediante el uso de 4 diodos, en lugar de dos, este diseño tiene la ventaja de aprovechar los dos ciclos de la onda de entrada; tanto el positivo como el negativo.



Ciclo positivo: Conducen los diodos D_1 y D_2 . La tensión en la carga V_L es $V_S - 2V_D$. El valor de la corriente es $I_L = V_L / R_L$.

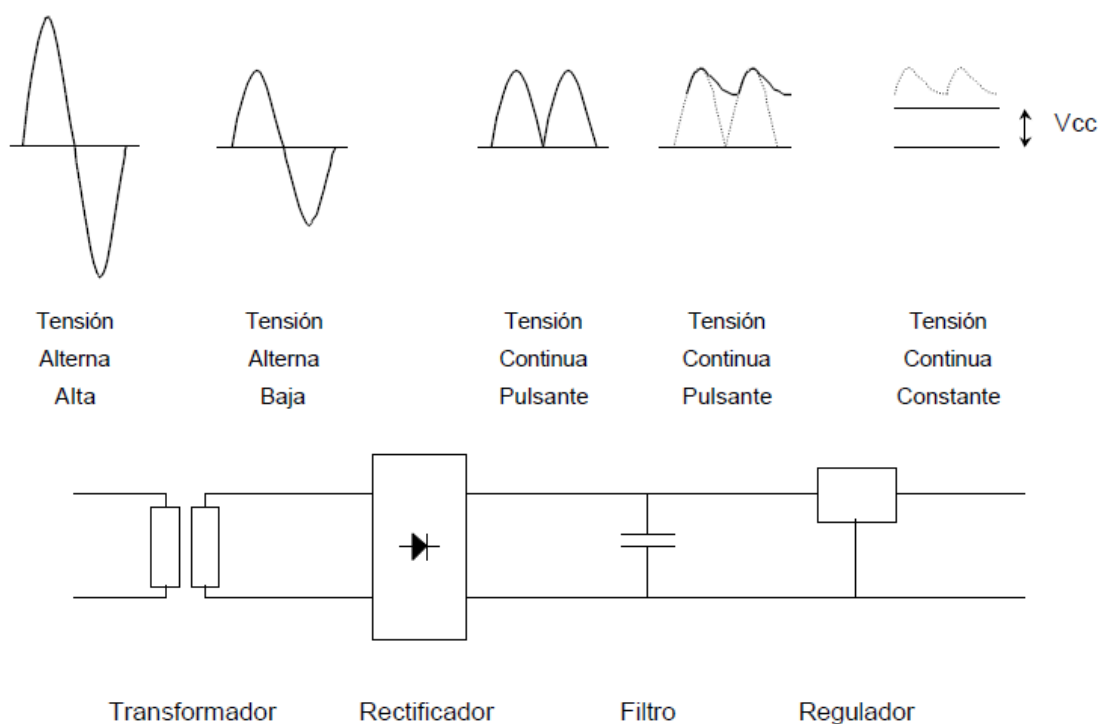
Ciclo negativo: Conducen los diodos D_3 y D_4 . En este caso, la corriente I_L mantiene el mismo sentido que en el ciclo anterior, es por eso que la tensión en la carga V_L se mantiene positiva.



En los rectificadores tipo puente debe tenerse en cuenta que hay dos diodos que conducen en serie con la resistencia de carga durante cada semiciclo. Por lo tanto, hay que restar dos caídas de tensión de los diodos en lugar de sólo una.

La caída de tensión adicional en el segundo diodo es una de las pocas desventajas del puente rectificador. En la actualidad, en la mayor parte de los circuitos se emplea un puente rectificador para convertir la tensión alterna de la red en una tensión continua adecuada para ser usada en dispositivos electrónicos.

Por último, para obtener una *tensión continua constante*, se procede al filtrado y regulado de la señal. El proceso completo se muestra a continuación.





3. Transistor

La señal de radio o televisión recibida por una antena es tan débil que no sirve para excitar un altavoz o un tubo de televisión. Por lo tanto, esta señal se debe amplificar para que tenga la potencia suficiente para ser útil.

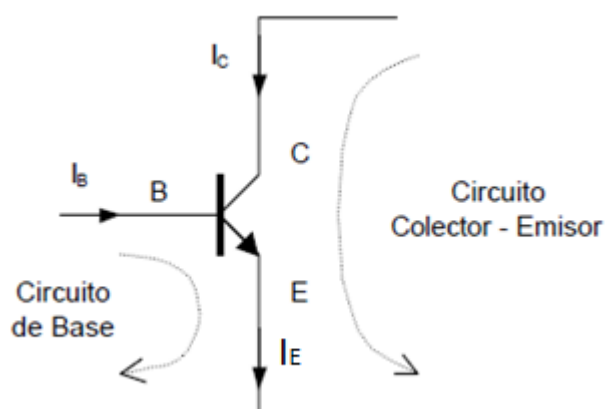
Antes de 1951, las válvulas eran el elemento principal empleado para amplificar las señales débiles. A pesar de que amplificaban muy bien, tenían una serie de desventajas entre las cuales se encontraban la alta potencia consumida, la vida útil y su gran tamaño.

En 1951, Shockley inventó el primer transistor de unión, un dispositivo semiconductor capaz de amplificar señales de radio y televisión. Las ventajas del transistor superaban ampliamente los inconvenientes de las válvulas particularmente el espacio y la potencia disipada.

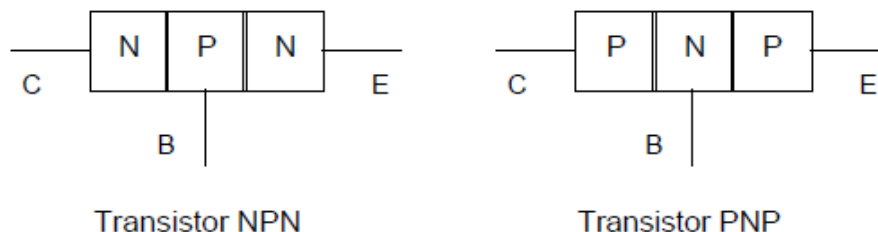
Gracias al transistor se han logrado numerosos inventos, incluyendo el circuito integrado CI, pequeño dispositivo que contiene miles de resistencias y transistores. Las computadoras modernas y otros avances revolucionarios en la electrónica, son posibles gracias a los CI.

3.1 Características generales

Un transistor es un dispositivo electrónico que posee tres bornes (Base, Emisor y Colector) cuya principal característica es que permite controlar la corriente que se establece en el circuito Colector-Emisor mediante la corriente que circula por el circuito de Base. Dependiendo de la aplicación, la corriente de base será en general decenas o cientos de veces más chica que la de colector.



En la siguiente figura se muestra la configuración interna de un transistor, el cual tiene tres zonas de dopado y se construye a partir de dos junturas PN. En este curso se trabajará con transistores NPN, pero también hay transistores PNP:



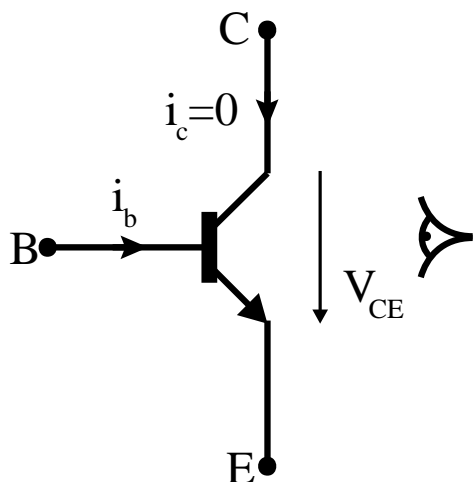
El transistor puede trabajar en tres regiones o zonas diferentes. Su comportamiento, dependerá de la zona en la cual se encuentre operando. Se distinguen tres zonas posibles de trabajo que identifican las distintas maneras de actuar del transistor:

- **Zona de Corte:** La tensión base-emisor V_{BE} es menor a 0,7 V, lo que implica que la corriente de base I_B es cero y por lo tanto la corriente por el colector I_C también será cero (o bien será extremadamente pequeña). La tensión colector-emisor V_{CE} dependerá de la configuración del circuito. El transistor se comporta como una llave abierta.
- **Zona de Saturación:** La tensión base-emisor V_{BE} es 0,7 V, por lo que circula una corriente de base I_B , lo que implica una circulación de corriente I_C por el colector. La relación entre la corriente de base y la de colector es $I_B \approx I_C/10$. La tensión colector-emisor V_{CE} será aproximadamente cero. El transistor se comporta como una llave cerrada.
- **Zona Lineal:** La relación entre la corriente de base y la corriente de colector es igual a una constante llamada β , siendo la de colector la mayor de las dos. El transistor es utilizado como amplificador y en el circuito de colector la corriente sigue las variaciones de la corriente de base.

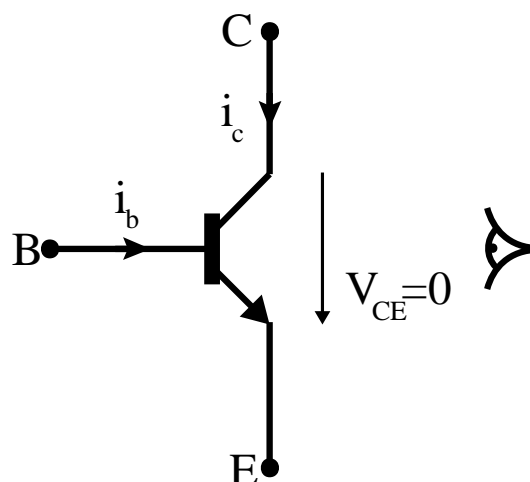
3.2 Transistor en conmutación

Se dice que el transistor opera en conmutación cuando trabaja en las zonas de corte y saturación. En general, éste es el uso que se le da al transistor en los circuitos de control.

Podemos decir que el transistor actúa como una llave electrónica en el circuito colector-emisor, operada por la corriente de base, como se muestra a continuación. Tiene en general una rápida actuación, lo que hace que se pueda utilizar a frecuencias relativamente altas.

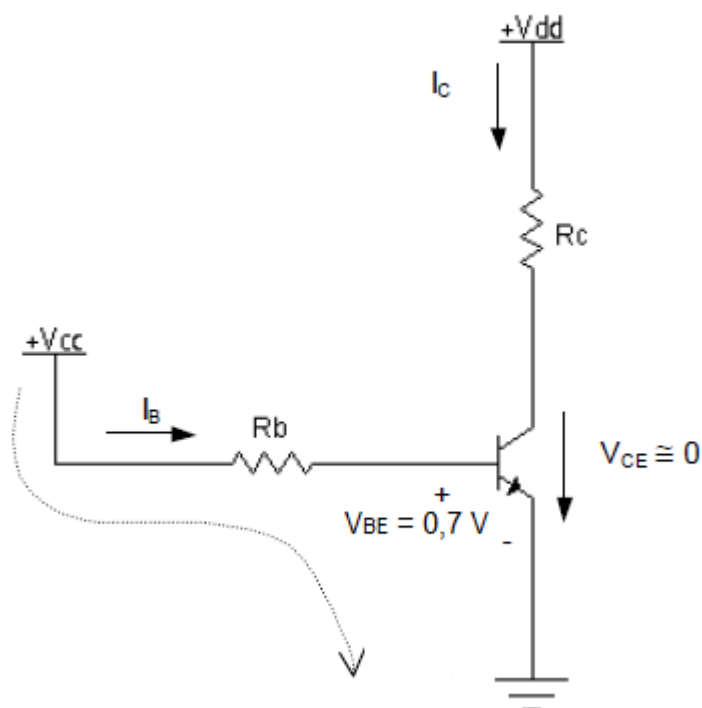


Transistor Cortado – Llave abierta



Transistor Saturado – Llave cerrada

Para que el transistor trabaje correctamente en corte y saturación se deberá calcular la resistencia de base necesaria de la siguiente manera:



Datos

Vdd, Vcc, V_{BE}, V_{CE} y R_C

Ecuaciones

$$V_{dd} = I_C \cdot R_C + V_{CE}$$

$$V_{cc} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$I_B = I_C / 10$$

Incógnitas

I_C, I_B, R_B

Debemos tener en cuenta que se busca saturar al transistor ($V_{CE} = 0$) y para eso es necesario que $I_B \approx I_C / 10$. Es importante observar que la *causa* por la cual el transistor satura es que $I_B = I_C / 10$ y la *consecuencia* es que $V_{CE} = 0$.

En general la tensión de base V_{CC} , necesaria para la saturación, la provee un circuito de control o un sensor, al cual se le tomará sólo una pequeña corriente (la de base). La resistencia R_C , que representa la carga que se desea conectar, muchas veces requiere otro nivel de tensión y corriente, mayor al que puede entregar el circuito de control o sensor. El uso del transistor permite que esta carga tome una corriente I_C de la fuente V_{DD} , mayor a la corriente de base I_B .

4. Relé

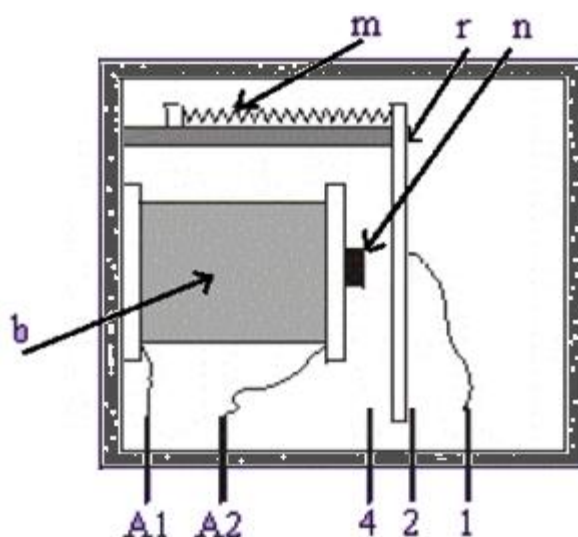
El relé puede definirse como un interruptor accionado electromagnéticamente. Permite controlar desde un circuito que se encuentra a una tensión reducida otros circuitos a tensiones superiores o actuadores que requieran intensidades superiores u otro tipo de corriente (cc o ca). Son muy útiles en el diseño de automatismos eléctricos.

4.1 Construcción interna

Cuando se aplica tensión en los bornes A1 y A2 de la bobina "b", circula una corriente por el devanado que crea un campo magnético que atrae a la armadura "r" al núcleo "n".

La armadura "r" está unida mecánicamente al contacto "1", por lo que se cierra el contacto 1-4.

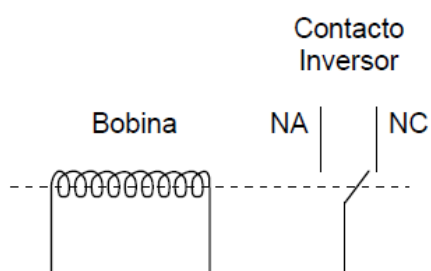
El contacto 1-4 se mantendrá cerrado mientras la bobina se mantenga sometida a tensión. Una vez desaparecida la tensión en la bobina, desaparece el campo magnético y el resorte "m" hace que la armadura vuelva a su posición original con el contacto 1-2 cerrado y el 1-4 abierto.



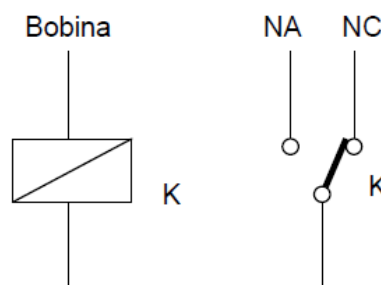


4.2 Configuraciones NC y NA

Existen relés de diferentes tipos, con mayor o menor número de contactos, pero el principio de funcionamiento es siempre el mismo. El esquema físico y la representación simbólica se muestran a continuación.



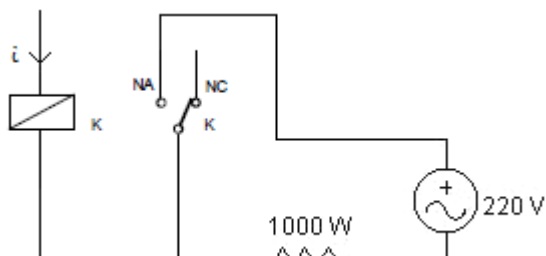
Esquema físico



Representación simbólica

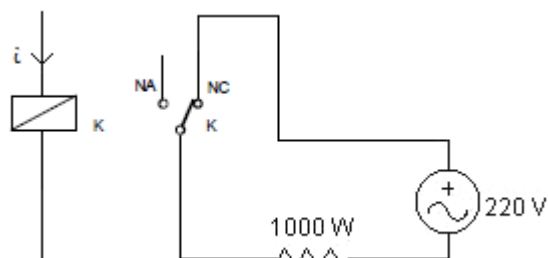
El contacto *normal cerrado* NC indica que, cuando no hay tensión en la bobina, el contacto *k* se mantiene *unido* con éste. De forma similar, el contacto *normal abierto* NA indica que, cuando no hay tensión en la bobina, el contacto *k* se mantiene *separado* de éste.

Dependiendo si conectamos el circuito de carga al terminal NA o NC, la misma funcionará cuando la bobina esté excitada o desexcitada, respectivamente.



Quando circule una corriente i suficiente para energizar la bobina, se creará un campo magnético que cerrará el contacto k y la carga **comenzará a funcionar**.

Quando circule una corriente i suficiente para energizar la bobina, se creará un campo magnético que cerrará el contacto k y la carga **dejará de funcionar**.



5. Amplificador Operacional

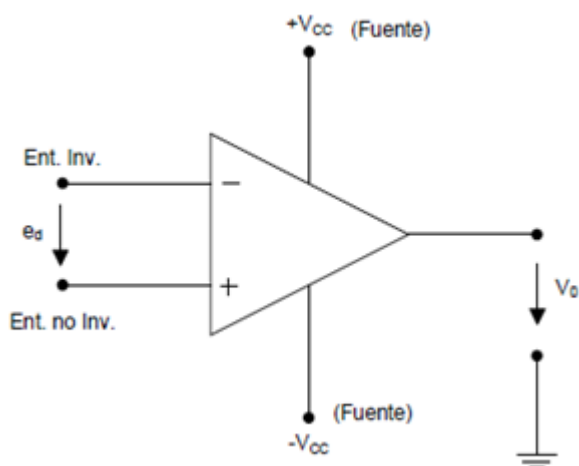
La denominación de Amplificador Operacional (AO) fue dada originalmente por John Ragazzini en el año 1947. Esta denominación apareció por su utilización en las técnicas operacionales, es decir circuitos que ejecutaban operaciones matemáticas tales como la Derivación, Integración, Suma, Resta, Logaritmos, etc.

Los primeros AO fueron construidos con válvulas, por lo que fueron voluminosos y con gran consumo de energía. Con la aparición del transistor bipolar se construyeron AO discretos, pero la verdadera revolución se produjo en el año 1968 con la fabricación del primer AO como circuito integrado.

5.1 Principios de funcionamientos

Un AO es un componente electrónico cuyo símbolo se puede observar en la figura. Posee 5 terminales:

- 2 entradas: inversora (-) y no inversora (+)
- 2 entradas de alimentación: Vcc en la parte superior y -Vcc o masa en la inferior
- Una salida Vo



Por las entradas inversora y no inversora, circula una pequeña corriente llamada **corriente de bias**. Ésta es del orden de los nA y generalmente se considera despreciable.

Fig: AO alimentación fuente doble

El AO de la figura posee *alimentación fuente doble*, ya que tiene una tensión positiva en la alimentación superior y una negativa en la inferior, cuyo valor absoluto es el mismo (Vcc). Si la alimentación inferior se conectase a tierra (0 V) el AO sería de *alimentación fuente simple*.

La tensión de salida Vo de un AO se puede expresar como:

$$V_o = e_d \beta$$

donde e_d , la *tensión diferencial*, es la diferencia de tensión entre sus entradas ($e_d = V^+ - V^-$) mientras que β es la ganancia del AO que suele estar en el orden de



100.000. Notar que la salida V_o es una función de la tensión diferencial e_d , independientemente de los valores de tensión que tengan las entradas inversora y no inversora.

Consideremos ahora el AO de la figura: si se desea una salida $V_o=10\text{ V}$ la entrada debería ser:

$$e_d = \frac{V_o}{\beta} \approx \frac{V_o}{100.000} = 0,1\text{ mV}$$

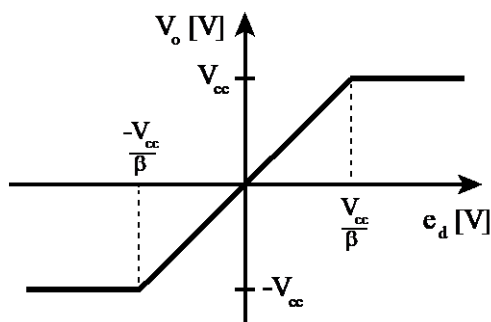
De este modo para que la salida sea 10V la entrada diferencial e_d debe ser muy pequeña, independientemente de los valores de V^+ y V^- .

Si ahora en cambio se aplica una tensión diferencial de entrada $e_d=5\text{ V}$, continuando con este razonamiento, la salida debería ser:

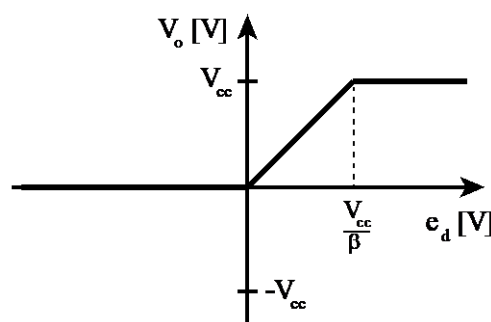
$$V_o \approx 100.000 \times 5\text{ V} = 500.000\text{ V}$$

Claramente a la salida no habrá una tensión de 500.000 V. De hecho la tensión de salida **nunca** podrá superar los valores de las tensiones de alimentación, en este caso, $V_o=V_{cc}$. Cuando ocurre esto, se dice que la salida satura y el AO trabaja en *saturación*.

Si se grafican las evoluciones de la tensión de salida con respecto a la tensión diferencial e_d , se obtiene:



Alimentación fuente doble



Alimentación fuente simple

Para el caso del AO con alimentación fuente doble, el límite de la *zona lineal* se da para $\pm \frac{V_{cc}}{\beta}$. Para el AO de alimentación fuente simple, el límite será $\frac{V_{cc}}{\beta}$.

5.2 AO a lazo abierto

Supongamos un AO de fuente doble alimentado con $V_{cc} = \pm 12V$. Si $e_d = 0$ su salida será cero. ¿Qué tensión diferencial es necesaria aplicar a la entrada para que la salida saturate?

$$e_d = 12V / 100.000 = 120 \mu V$$

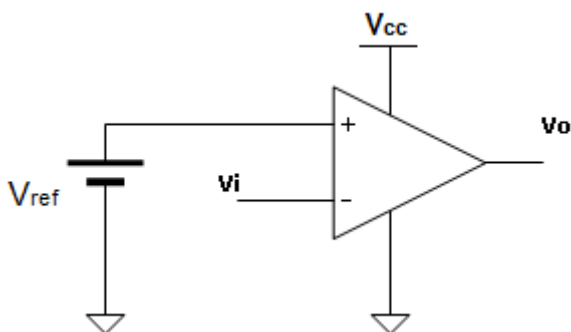
Esta tensión es tan pequeña que es prácticamente imposible trabajar en la zona lineal. Cualquier perturbación externa llevaría al AO a trabajar a las zonas de saturación, de manera que el comportamiento de la salida será:

- Si $V^+ > V^- \Rightarrow V_o = V_{SAT}^+$ (estado alto)
- Si $V^+ < V^- \Rightarrow V_o = V_{SAT}^-$ (estado bajo)

Cuando el AO opera a lazo abierto, trabaja en saturación y su comportamiento recibe el nombre de *comparador*.

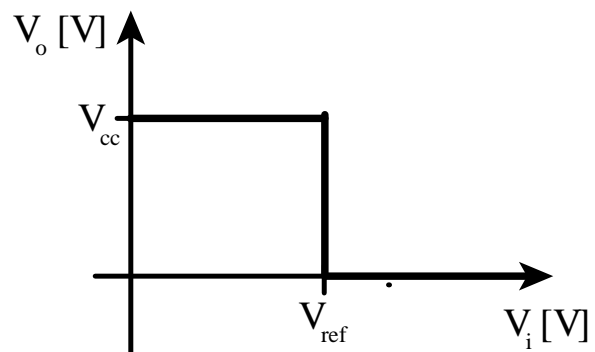
Configuración Inversora

En la siguiente figura se muestra un AO con alimentación fuente simple. En la entrada no inversora una tensión V_{REF} constante y en la entrada inversora una entrada V_i variable.



La tensión a la cual ocurre la conmutación de la salida, que en este caso es la *tensión de referencia* V_{REF} , se denomina *tensión umbral*.

La gráfica que relaciona la tensión de salida V_o con la entrada variable V_i se denomina *característica transferencia* y es de suma importancia a la hora del estudio del comportamiento del AO.

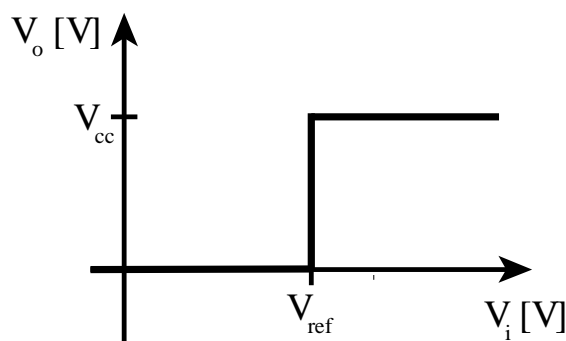
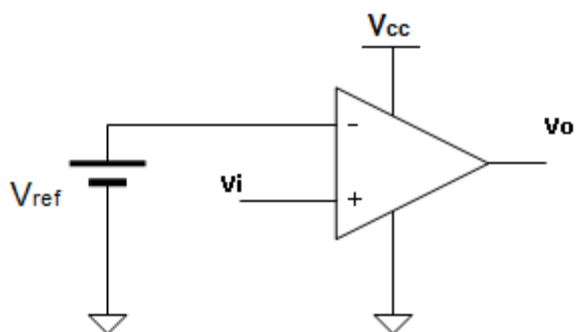


Característica transferencia AO lazo abierto, configuración inversora



Siempre que la entrada variable V_i ingrese por el terminal inversor y la tensión de referencia constante V_{REF} por el terminal no inversor, la configuración será la de un *comparador inversor*. Intercambiando las entradas como se muestra en la figura a continuación, la configuración será la de un *comparador no inversor*.

Configuración no Inversora



Característica transferencia AO lazo abierto, configuración no inversora

En el caso de que el comparador estuviese alimentado con fuente doble, en el estado bajo, V_o adoptaría el valor $-V_{cc}$.

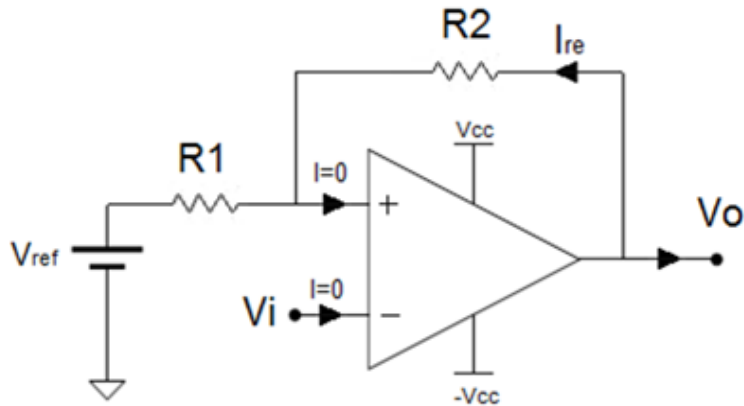
5.3 AO a lazo cerrado

Cuando una porción de la señal de salida se re inyecta a la entrada, el circuito está *realimentado*. Si la señal realimentada se aplica a la entrada no inversora se dice que la realimentación es *positiva*, mientras que si se aplica a la entrada inversora se denomina realimentación *negativa*.

5.3.1 Realimentación positiva

La realimentación positiva aumenta la ganancia de la etapa, de manera que la salida estará **siempre** en zona de saturación, pudiendo adoptar uno de los dos valores posibles: V_{cc} o $-V_{cc}$. Para los casos en los cuales se aplique realimentación positiva, la alimentación deberá ser **siempre** de fuente doble.

Configuración Inversora



Recordando el hecho de que las corrientes de entrada al AO son cero, las dos resistencias R_1 y R_2 forman un divisor resistivo entre V_o y V_{ref} . De esta manera, la tensión en el terminal no inversor V^+ es:

$$V^+ = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V^- = V_i$$

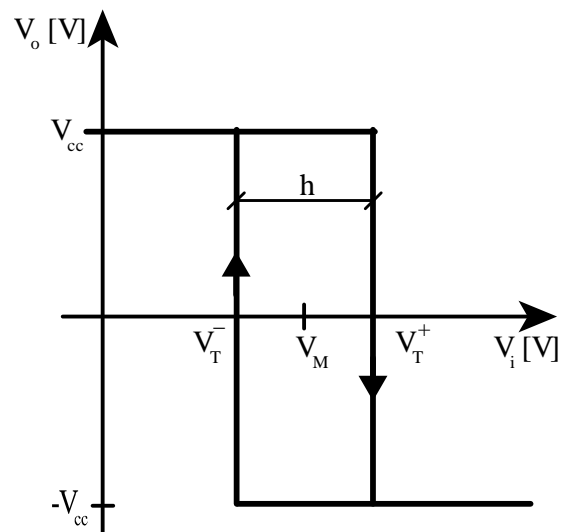
Como la tensión de salida V_o puede adoptar los valores de las tensiones de alimentación (V_{cc} y $-V_{cc}$), V^+ puede ser:

Si $V_o = V_{cc}$

$$V^+ = V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_T^+$$

Si $V_o = -V_{cc}$

$$V^+ = -V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_T^-$$

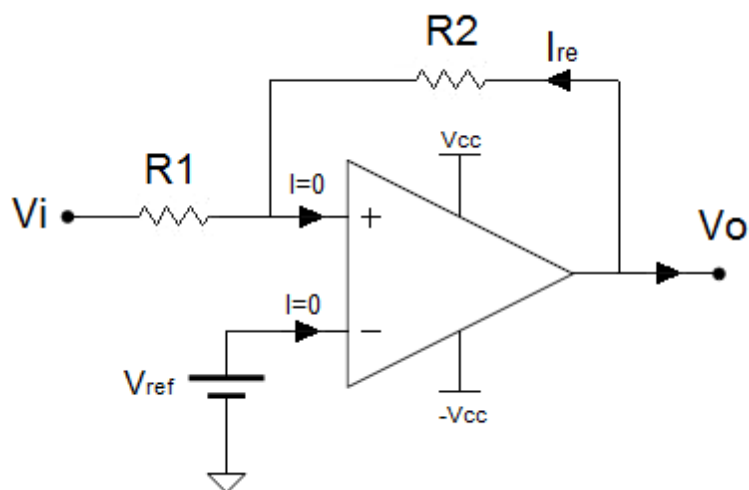


Característica transferencia AO realimentación positiva, configuración inversora

$$V_M = V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad h = 2V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



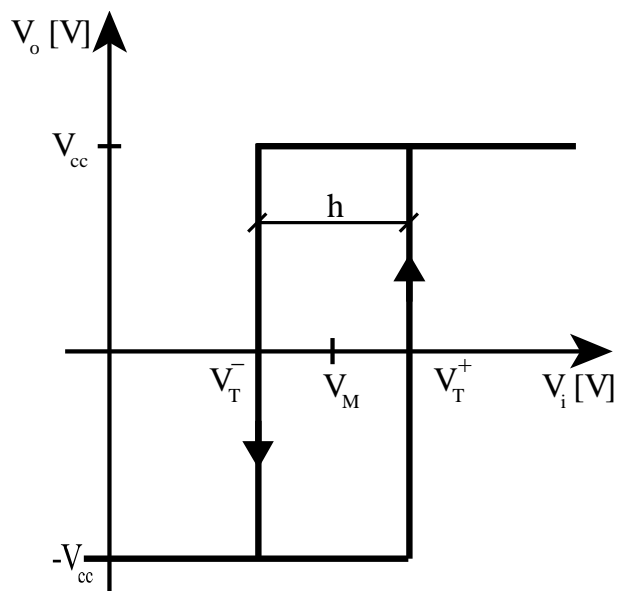
Configuración No Inversora



Si ahora se desea obtener una configuración no inversora, V_i se debe conectar al terminal no inversor a través de la resistencia R_1 y V_{ref} se debe conectar al terminal inversor como se muestra en el circuito de la figura. Las tensiones de los terminales se pueden expresar como:

$$V^+ = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V^- = V_{ref}$$



$$\text{Si } V_o = -V_{cc}$$

$$V_T^+ = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} + V_{cc} \frac{R_1}{R_2}$$

$$\text{Si } V_o = V_{cc}$$

$$V_T^- = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - V_{cc} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_M = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad h = 2V_{cc} \frac{R_1}{R_2}$$

Característica transferencia AO
realimentación positiva, configuración
no inversora

Observar que el hecho de que el AO tenga realimentación positiva hace que la característica de transferencia tenga dos tensiones umbrales, dependiendo si la tensión de entrada V_i crece o decrece. Este comportamiento se denomina *histéresis*.

5.3.2 Realimentación negativa

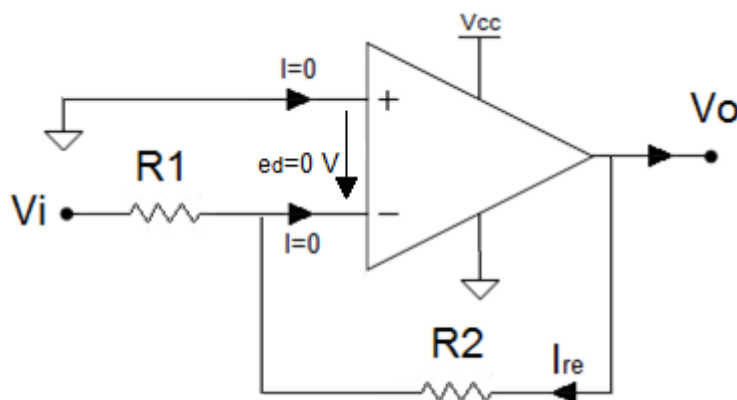
Cuando se diseña un amplificador muchas veces es necesario trabajar en la zona lineal de la característica de transferencia. En un AO trabajando a lazo abierto es imposible estabilizar el punto de trabajo dentro de la zona lineal, debido a su gran amplificación (cualquier pequeña entrada desplazará el punto de trabajo hacia alguna de las zonas de saturación).

Es necesario, entonces, reducir la amplificación. Esto se consigue usando *realimentación negativa*. Este procedimiento, además de facilitar la operación en zona lineal, permite definir la amplificación de la etapa modificando solamente las resistencias de polarización.

Configuración Inversora

Para los casos en los cuales el AO trabaja a lazo abierto o con realimentación positiva, la entrada diferencial e_d puede ser diferente de cero pudiendo llegar a ser incluso de varios voltios.

Sin embargo, si se desea trabajar dentro de la zona lineal la tensión diferencial de entrada ($e_d = V^+ - V^-$) no debe ser mayor a unos pocos microvoltios, de modo que en la práctica *puede aproximarse a cero*. Este concepto se denomina **cortocircuito virtual**. No se debe confundir con un cortocircuito real, donde habría una circulación de corriente elevada entre los puntos cortocircuitados.



Observando la figura, se aprecia que las tensiones en las entradas no inversoras e inversoras son

$$V^+ = 0$$
$$V^- = V_o \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$



Como se considera que la tensión diferencial es cero $e_d = V^+ - V^- = 0V$ se tiene

$$V^- = V^+$$

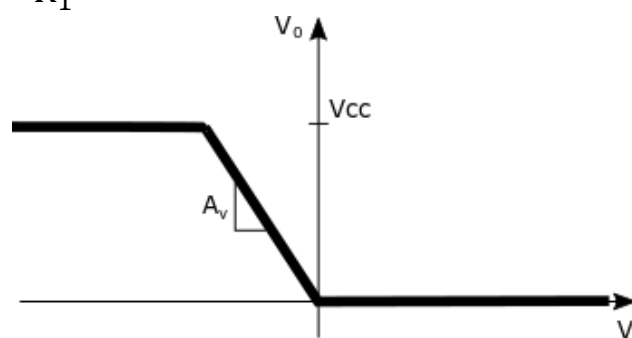
$$V_0 \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 0$$

$$\Rightarrow V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_i = V_i A_v$$

donde

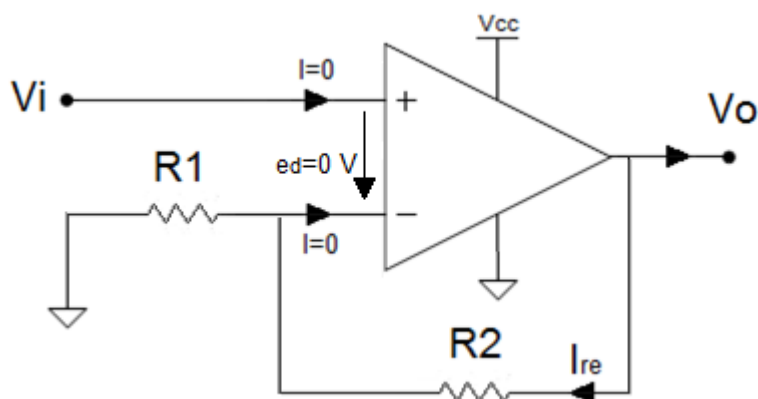
$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

es la **ganancia** del AO en **configuración inversora** con **realimentación negativa**. Observar que dicha ganancia será más negativa a medida que aumente y decrezca el valor de las resistencias R_2 y R_1 respectivamente.



Característica transferencia AO realimentación negativa, configuración inversora

Configuración No Inversora



Observando la figura, se aprecia que las tensiones en las entradas no inversoras e inversoras son

$$V^+ = V_0 \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

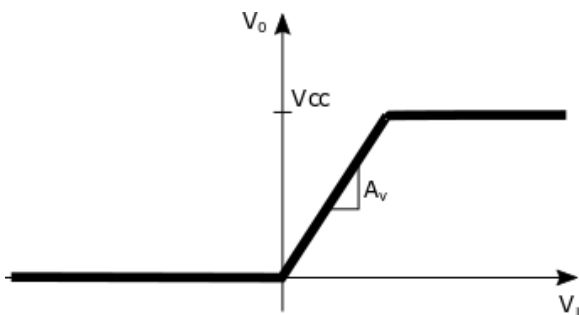
$$V^- = V_i$$

Como se considera que la tensión diferencial es cero $e_d = V^+ - V^- = 0V$ se tiene

$$\begin{aligned} V^- &= V^+ \\ V_i &= V_o \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \\ \Rightarrow V_o &= V_i \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = V_i A_v \end{aligned}$$

donde

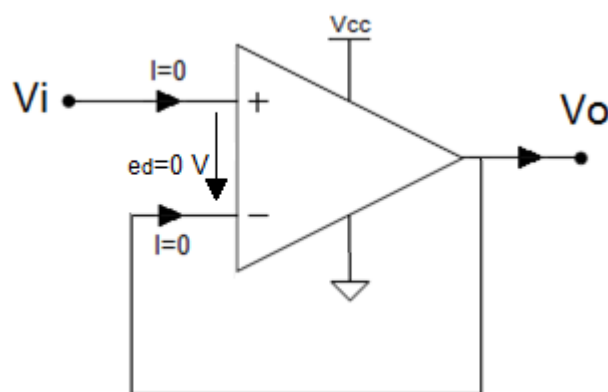
$$A_v = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



es la **ganancia** del AO en **configuración no inversora** con **realimentación negativa**. Observar que dicha ganancia será tanto más grande a medida que aumente y decrezca el valor de las resistencias R_2 y R_1 respectivamente.

Característica transferencia AO realimentación negativa, configuración no inversora

En el caso particular de que $R_1 \rightarrow \infty$ y $R_2 = 0$, el AO a lazo cerrado tiene ganancia unitaria. Tal configuración, que se muestra en la figura, se denomina *amplificador buffer* y se utiliza para aumentar la corriente de salida.



$$V_o = V_i A_v$$

donde

$$A_v = 1$$



6. Algebra de Boole

El método de análisis y modelado de los automatismos se establece a partir de la naturaleza de las variables que intervienen en éstos. Los sistemas de producción automatizados tienen muy a menudo un carácter secuencial, es decir, su forma de operar puede ser contemplada como la concatenación de distintas fases debidamente secuenciadas en tiempo. El conjunto de variables de estos sistemas, de entrada, salida y estado, poseen únicamente dos estados claramente diferenciados "ON", "OFF", por lo que su naturaleza es discreta y binaria

Este comportamiento queda reflejado en los dispositivos de entrada y salida que suelen utilizarse en este tipo de sistemas como interruptores, pulsadores, finales de carrera, relés, contactores, etc.

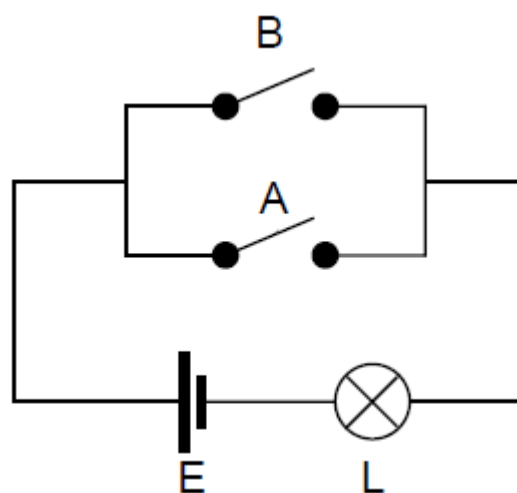
Para establecer relaciones funcionales entre las variables intervinientes se utiliza el Álgebra de Boole: herramienta matemática que permite la definición de funciones lógicas capaces de relacionar un conjunto de variables discretas binarias.

Variable booleana

Una variable booleana es aquella que posee una naturaleza binaria, de tal forma que únicamente toma los valores binarios "1" ó "0". Este concepto se asocia en la electrónica digital a que el dispositivo lógico que representa la variable dispone de dos niveles de tensión diferenciados : 5 V ó 0 V.

Considérese que se tienen dos llaves A y B en paralelo como se muestra en la figura. La lámpara L se encenderá cuando alguna de las dos llaves o las dos estén cerradas. Así, consideremos que las llaves son igual a un "1" cuando están cerradas, o "0" cuando están abiertas. Del mismo modo, digamos que la lámpara adopta el valor "1" cuando está encendida y "0" cuando está apagada. Se puede entonces plantear la siguiente tabla:

| A | B | L |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |



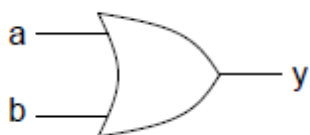
Dicha tabla se denomina *tabla de la verdad* y muestra el valor de la *función lógica* (la lámpara L) para cada combinación de valores de las *variables de entrada* (las llaves).

6.1 Compuertas

Compuerta OR

La compuerta OR describe el comportamiento de las llaves en paralelo antes explicado.

Símbolo



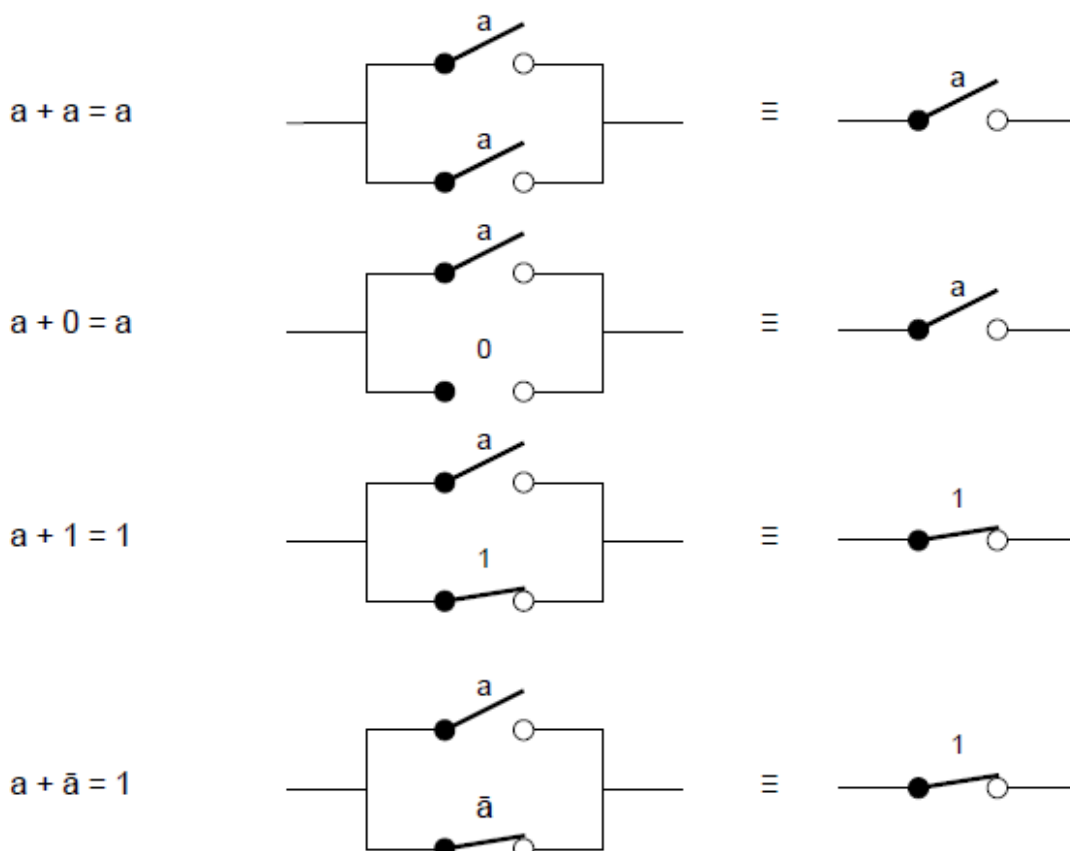
Función lógica

$$y = a + b$$

Tabla de la verdad

| a | b | y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Propiedades de la compuerta OR:

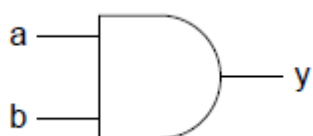




Compuerta AND

En el caso de la compuerta AND, las llaves A y B del circuito de la lámpara, estarían en serie.

Símbolo



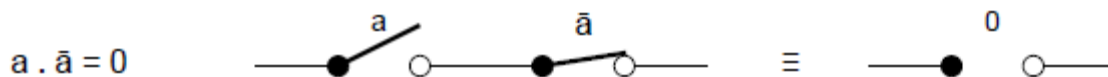
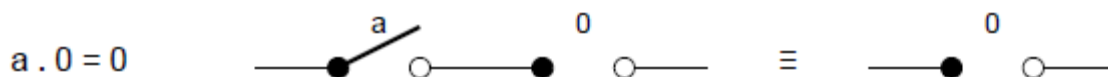
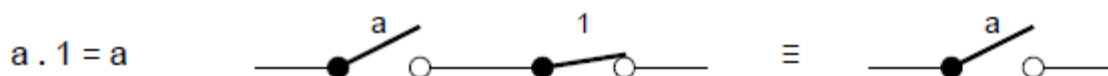
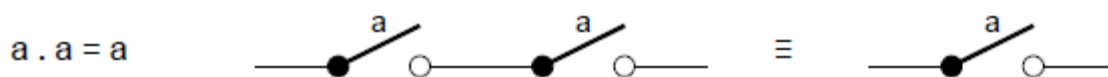
Función lógica

$$y = a \cdot b$$

Tabla de la verdad

| a | b | y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Propiedades de la compuerta AND:



Compuerta NOT

Símbolo



Función lógica

$$y = \bar{a}$$

Tabla de la verdad

| a | y |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

Compuerta XOR

Símbolo



Función lógica

$$y = \bar{a}b + a\bar{b}$$

Tabla de la verdad

| a | b | y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

6.2 Teoremas y propiedades

Ya sea por motivos económicos o por criterios de simplicidad de los sistemas a implementar, los ingenieros y técnicos deben procurar que los sistemas resultantes de todo proceso de diseño, cumpliendo con las especificaciones de funcionamiento, posean el menor número posible de dispositivos tecnológicos.

Para la aplicación de este criterio, en los automatismos de carácter combinacional, pueden utilizarse las propiedades vistas anteriormente para los operadores OR y AND, los teoremas de Morgan y las propiedades distributiva y asociativa.

Teoremas de Morgan

$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$



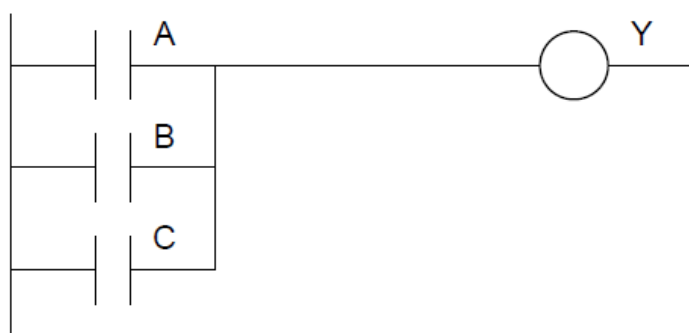
Propiedad distributiva

$$A (B + C) = A . B + A . C$$

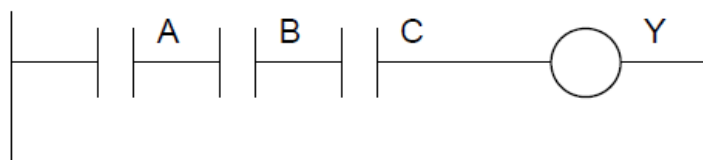
Propiedad asociativa

$$A . A + A . B + A . C + BC = A(1 + B + C) + BC = A + BC$$

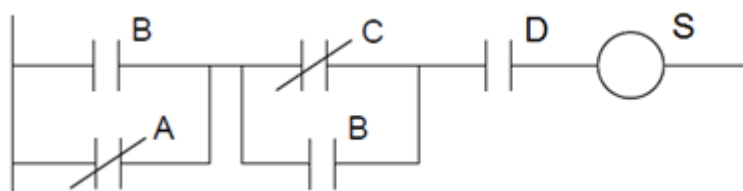
6.3 Representación NEMA



$$Y = A + B + C$$



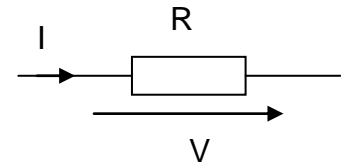
$$Y = A . B . C$$



$$S = (\bar{A} + B)(B + \bar{C}) D$$

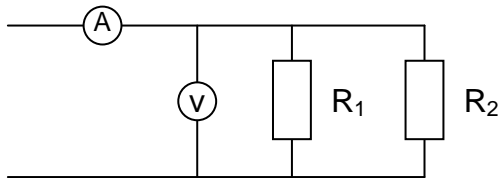
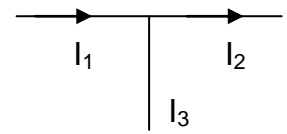
Ejercicios

1) Sobre una resistencia de $220\text{ k}\Omega$ se aplica una tensión de 6 V . Calcular la corriente que circulará por ella.



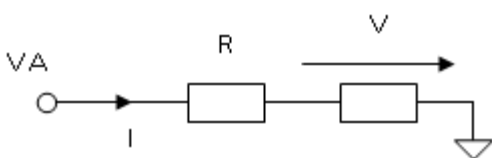
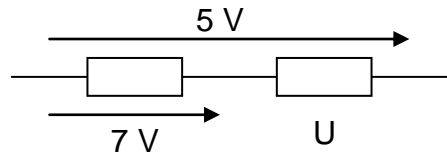
2) Se dispone de una resistencia de $1\text{ k}\Omega$ cuya potencia máxima es $\frac{1}{2}\text{ W}$. ¿Cuál será la máxima tensión que se le podrá aplicar?

3) Sabiendo que $I_1 = 200\text{ mA}$ y que $I_2 = 50\text{ mA}$ calcular la corriente I_3 .



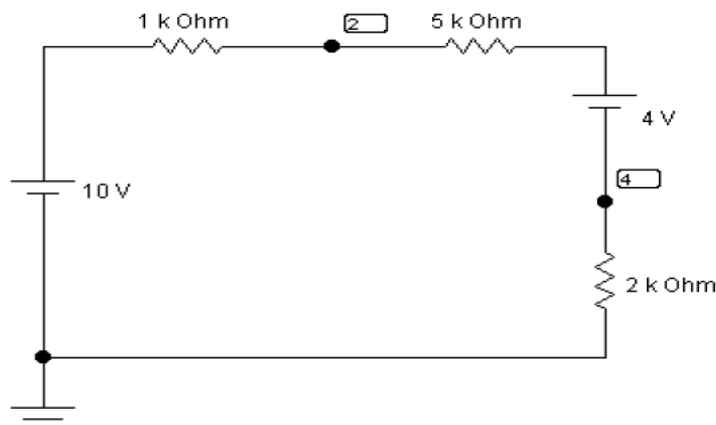
4) Sabiendo que $R_1 = 4\text{K}7\ \Omega$ y que las lecturas de los instrumentos fueron 10 V y 15 mA , calcular el valor de la resistencia R_2 . **Rta: $R_2 = 776,9\ \Omega$**

5) Aplicando la segunda Ley de Kirchoff, calcular la tensión U . Indicar la polaridad correspondiente.



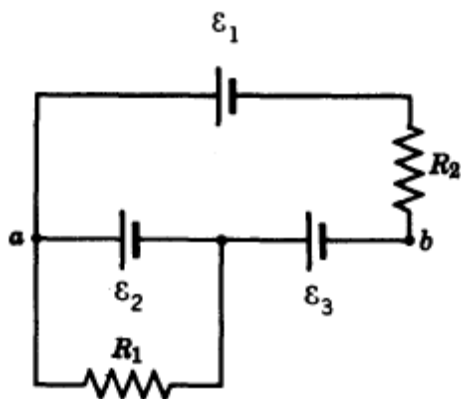
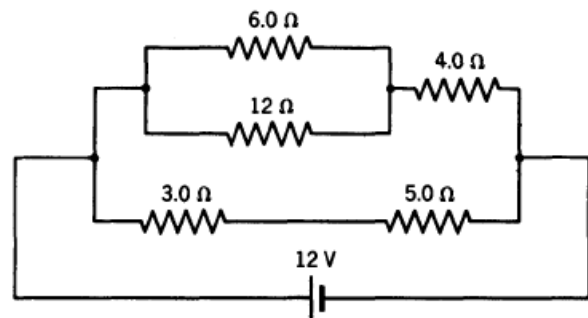
6) Calcular la tensión V . $V_A = 12\text{ V}$, $R = 2\text{ k}\Omega$, $I = 10\text{ mA}$. **Rta: $V = -8\text{ V}$**

7) Para el circuito de la figura calcular la diferencia de potencial V_{24} entre los puntos 2 y 4.



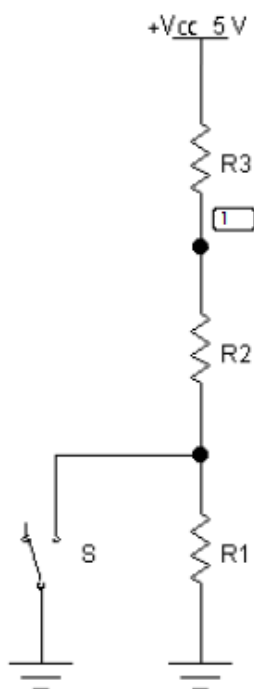


8) En la figura se muestra un circuito que contiene 5 resistencias conectadas a una batería de 12V. Halle la caída de potencial en la resistencia de 5.0Ω .

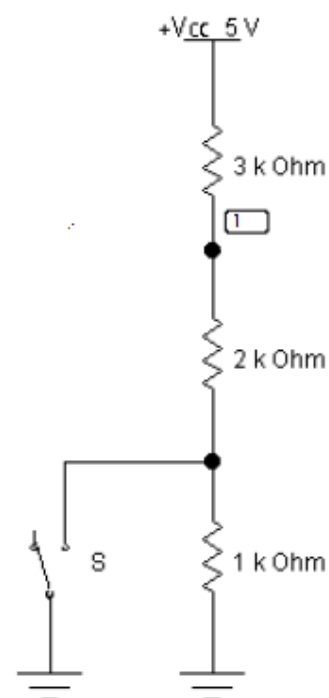


9) Hallar las corrientes en todas las ramas y la diferencia de potencial entre los puntos a y b. Considere que $\xi_1=6V$, $\xi_2=5V$, $\xi_3=4V$, $R_1=100\Omega$ y $R_2=50\Omega$.

10) Calcular R_1 , R_2 y R_3 para que al cerrar la llave S el potencial del punto 1 pase de 3 V a 2,5 V.



11) Calcular la variación de potencial del punto 1 cuando la llave S pasa de estar abierta a estar cerrada. **Rta: S abierta 2,5V/S cerrada 2V**

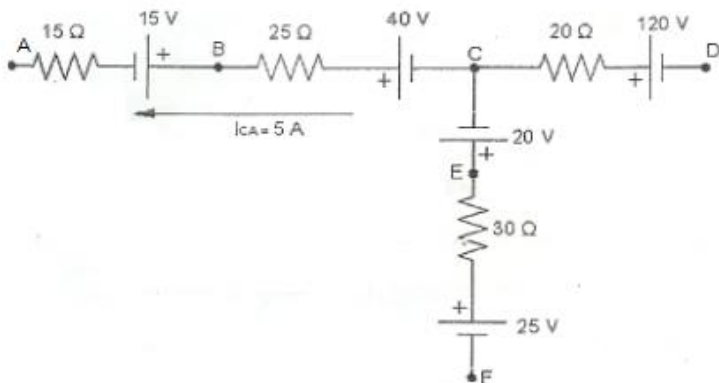
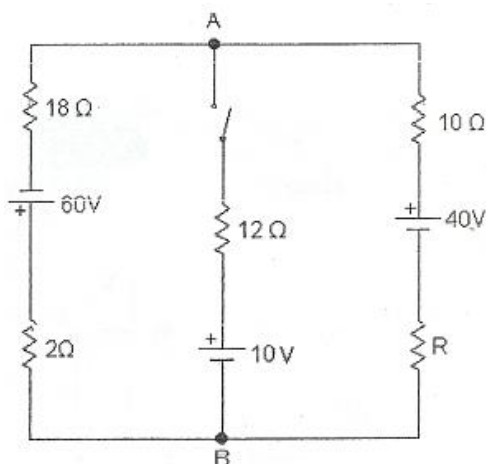


12) Cuando el interruptor se encuentra cerrado, la intensidad en la rama de la izquierda es de 2,75A en dirección de A a B.

a) Calcular la diferencia de potencial en bornes del interruptor cuando éste se abre.

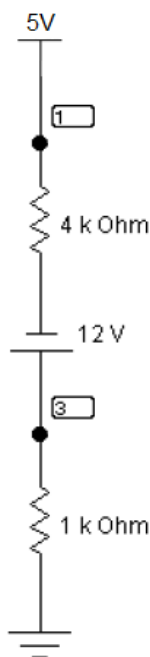
b) Determinar la potencia generada cuando el interruptor está cerrado.

Rta: a) -30V; b) 237,5W



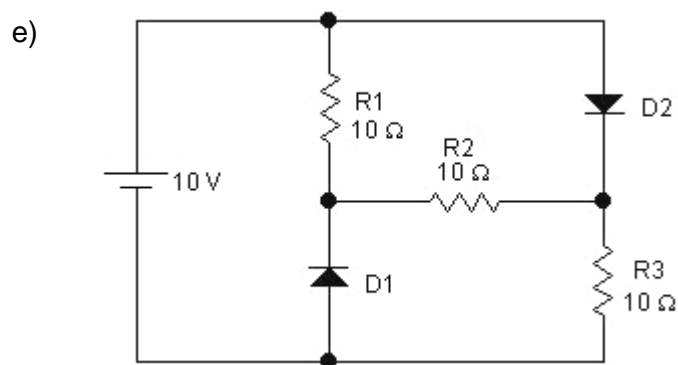
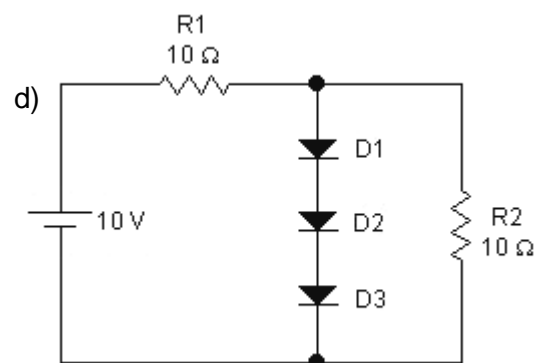
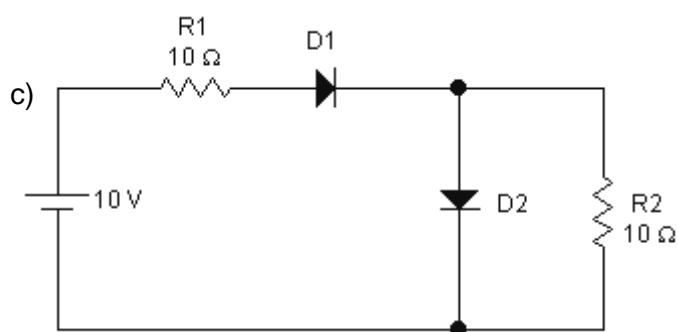
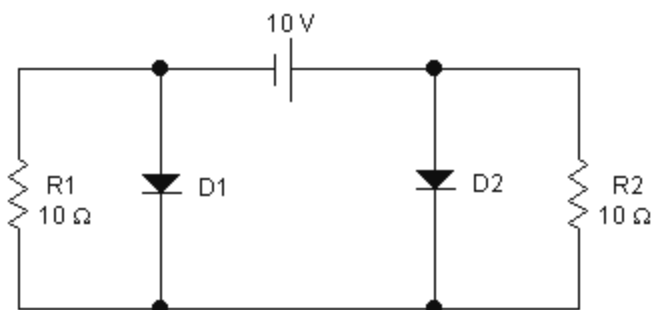
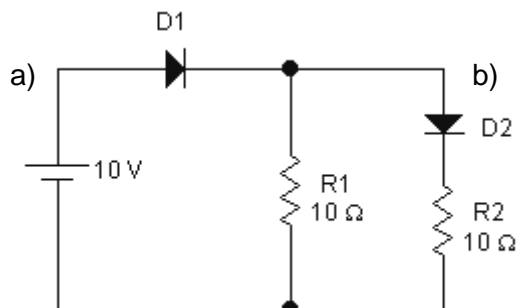
13) La figura de la izquierda representa una parte de un circuito eléctrico, donde la diferencia de potencial $V_{FB} = -50V$, hallar V_{DE} y V_{AD} .

14) En el circuito que se muestra a continuación, calcular la diferencia de potencial V_{13} entre los puntos 1 y 3. **Rta: 1.6V**

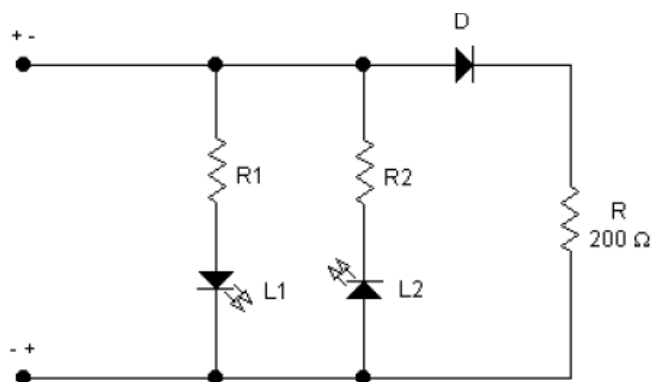




15) Considerando que $V_D=0,7\text{ V}$, calcular todas las corrientes para cada circuito. Indicar si el diodo conduce o no. Ubicar el punto de trabajo en la característica V-A.

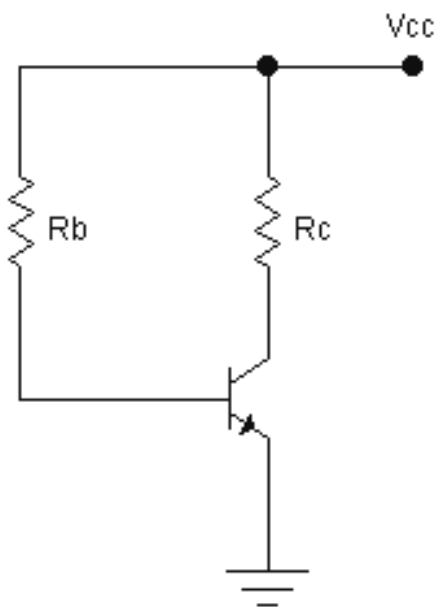
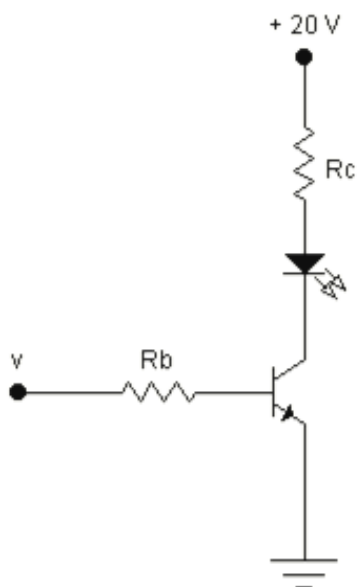


16) El circuito de la figura es utilizado para controlar la polaridad con que se alimenta la carga R. Se utilizan dos LED, de colores verde y rojo para su indicación. La tensión de alimentación del circuito es 12 V. Calcular las resistencias R_1 y R_2 necesarias y todas las corrientes para ambas posibilidades.



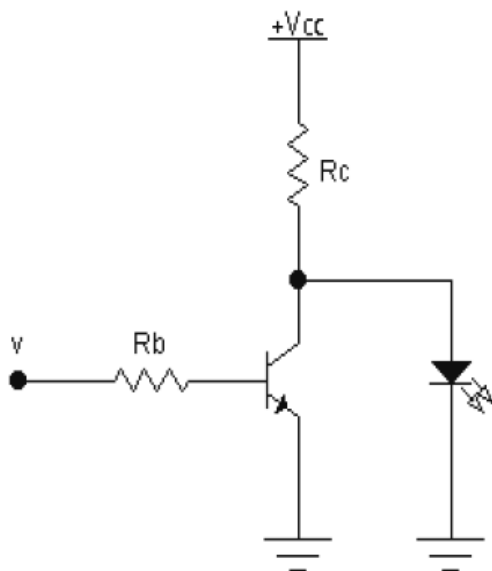
17) Calcular R_b y R_c para que el LED funcione correctamente para $V = 0$ ó $5V$.
Rta: $R_b=4,3\text{ K}\Omega$ / $R_c=1,8\text{ K}\Omega$

18) Siendo $R_c=1\text{ K}\Omega$ y $V_{cc}=15\text{ V}$, calcular R_b para que el transistor trabaje saturado.

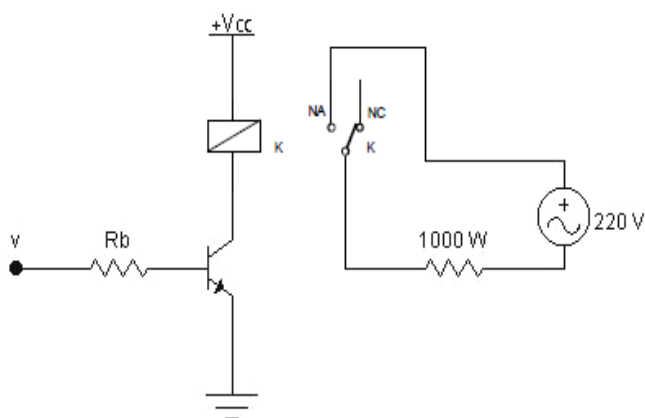




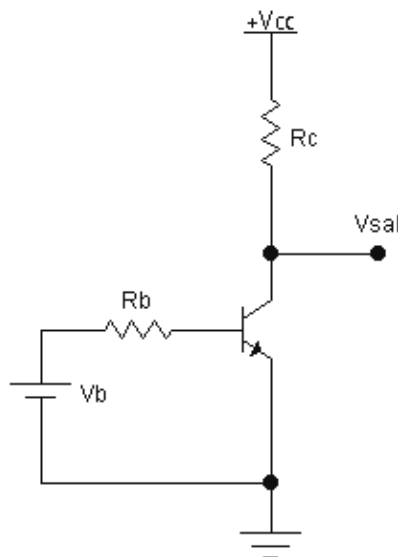
19) Sabiendo que $V = 0$ ó 5 V, calcular las resistencias para que el LED funcione correctamente. Datos: $V_{CC}=12$ V
Rta: $R_b=3,58$ K Ω / $R_c=1$ K Ω



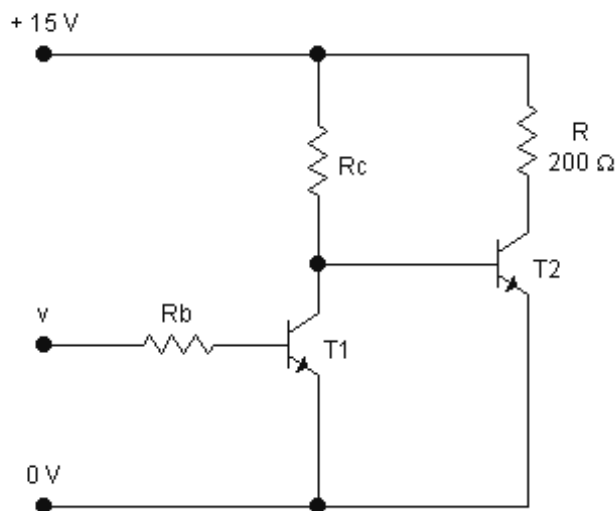
21) Cuando la temperatura ambiente baja de cierto valor, un circuito de control genera una tensión $V = 5$ V que deberá ser utilizada para poner en funcionamiento una resistencia de calefacción de $1000W/220$ V_{CA}. Calcular R_b y todas las corrientes. Datos: $V_{CC}=12$ V, Bobina relé : 12 V/ 200 Ω

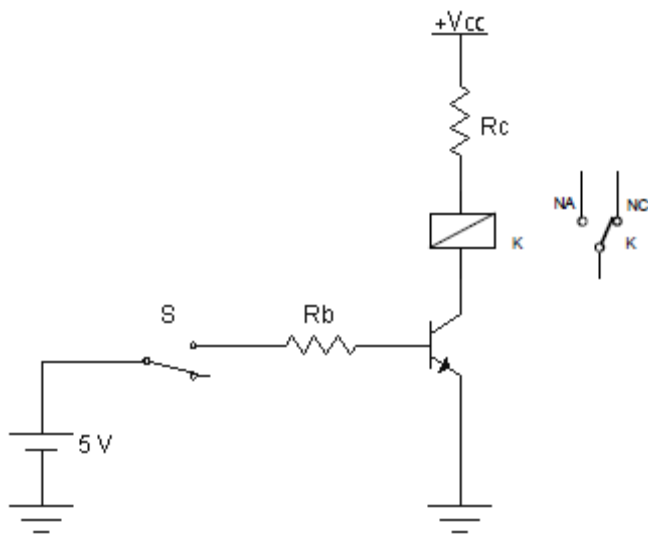


20) Para el siguiente circuito:
 a) Calcular la tensión de salida V_{SAL} para $V_B=0$ V
 b) Calcular la tensión V_B para saturar al transistor
 c) Determinar la tensión de salida V_{SAL} para el caso b.
Datos: $V_{CC}=12$ V, $R_B=20$ K Ω , $R_C=1$ K Ω , $V_{BE}=0,6$ V, $V_{CEsat}=0,2$ V



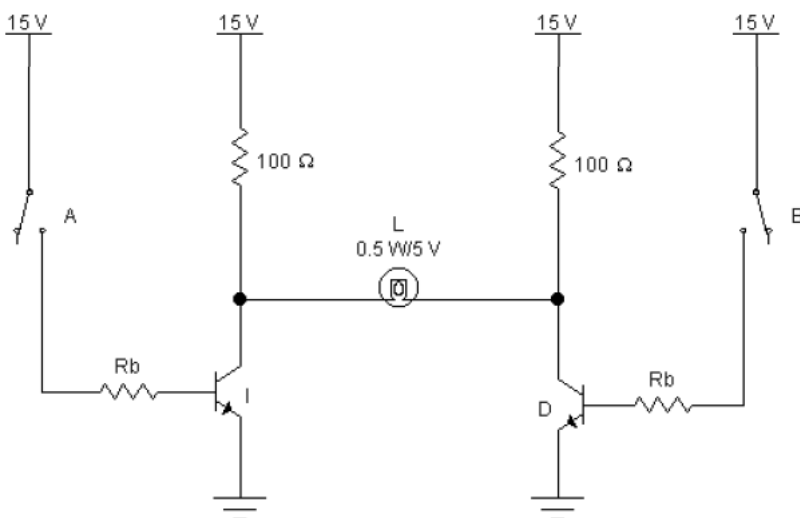
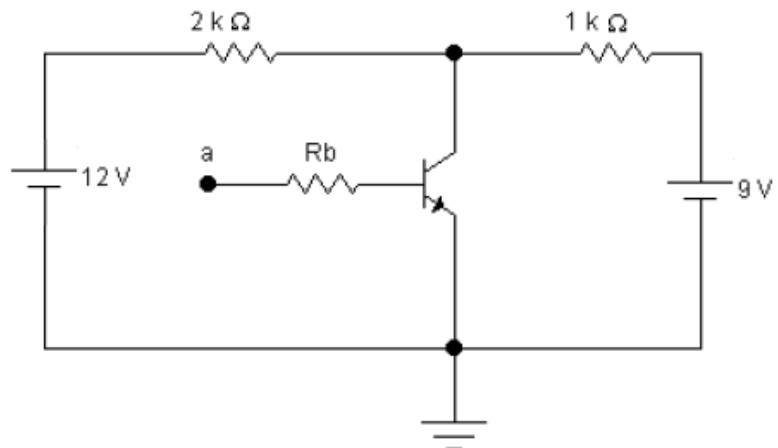
22) La tensión V puede valer 0 ó 5 V. Los transistores trabajan en corte y saturación. Calcular R_b y R_c para que la carga R sea conectada cuando la tensión de entrada $V = 0$ V.
Rta: $R_b=5,47$ K Ω / $R_c=1,9$ K Ω





23) Al cerrarse la llave S deberá activarse un relé cuya bobina tiene una tensión nominal de 9 V y una resistencia de 150 Ω . La tensión V_{CC} disponible es de 12 V. Calcular las resistencias R_b y R_c necesarias.

24) Considerando que el transistor trabaja en corte y saturación calcular R_b y todas las corrientes para una entrada $U_a = 0$ y 5 V.



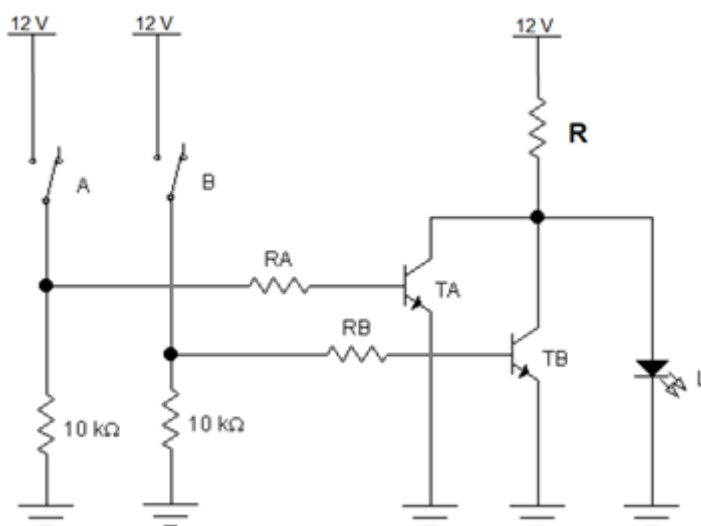
25) Calcular la resistencia que presenta la lámpara L. Calcular todas las corrientes y la resistencia R_b para todas las combinaciones de A y B. Indicar en qué situaciones enciende la lámpara L. Considerar que los transistores trabajan en corte y saturación.
Rta: $R_b = 572 \Omega$ / $R_L = 50 \Omega$



26) Analizar el funcionamiento del LED para todas las combinaciones de A y B. Indicarlas en una tabla. Calcular las resistencias R , R_A y R_B necesarias para que el LED funcione correctamente y los transistores trabajen en corte y saturación.

Datos: L: 1,8 V/15 mA.

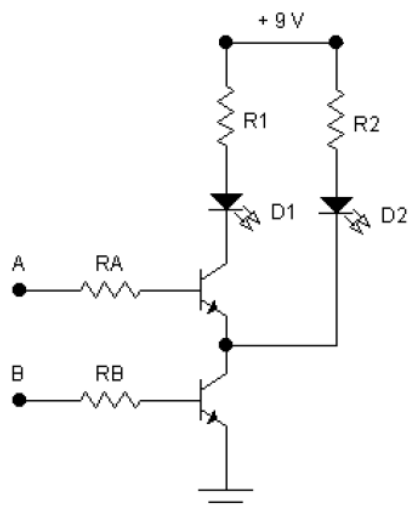
Rta: $R_A=R_B=6,40\text{ K}\Omega$ / $R=680\ \Omega$



27) Sabiendo que ambos transistores trabajan en corte y saturación:

a) Completar la tabla indicando según el caso cuando enciende cada LED.

b) Calcular el valor de las resistencias R_{1r} , R_{2r} , R_{Ar} y R_B para un correcto funcionamiento en TODOS los casos.

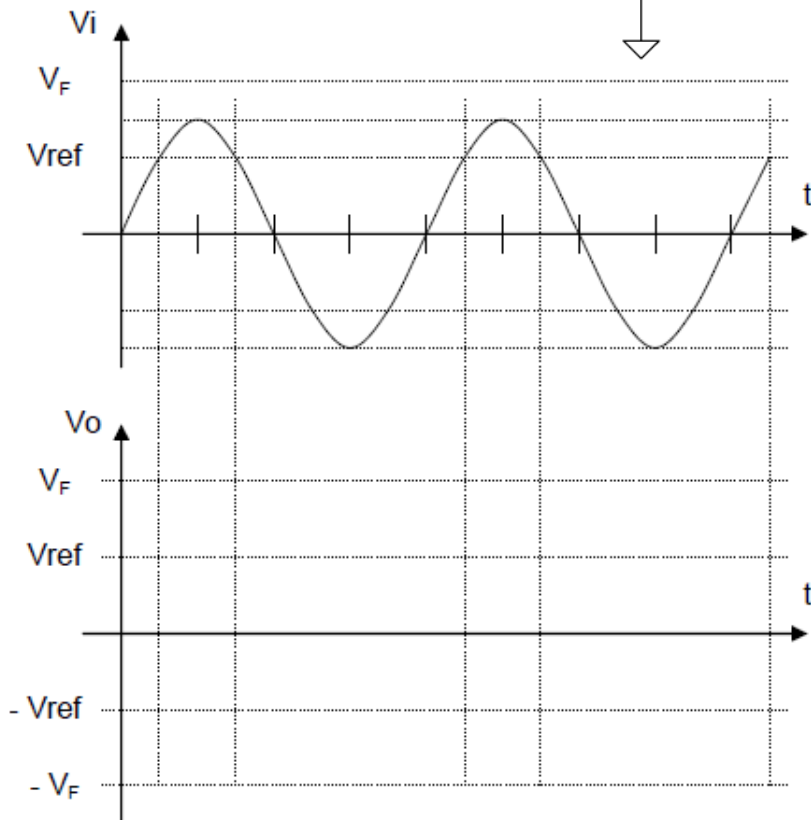
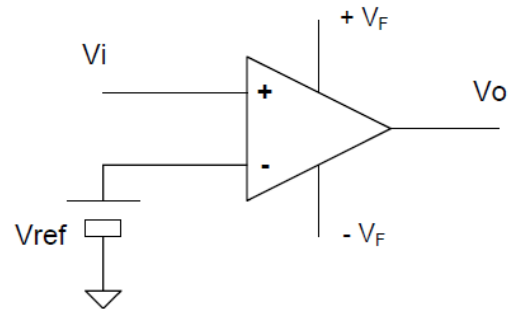


| V_A | V_B | D_1 | D_2 |
|-------|-------|-------|-------|
| 0 V | 0 V | | |
| 0 V | 9 V | | |
| 9 V | 0 V | | |
| 9 V | 9 V | | |

Nota: Considerar la corriente de emisor igual a la de colector.

28) Dibujar un circuito que presente a su salida un voltaje V_o negativo de -12 V cuando la tensión de entrada V_i sea mayor a un voltaje de referencia $V_{ref}=5\text{ V}$ y otro V_o positivo de 12 V cuando sea menor. Graficar la característica transferencia.

29) Dada la entrada V_i que se muestra a continuación, dibujar la salida V_o para la configuración mostrada. Graficar la característica transferencia del comparador y determinar la naturaleza del mismo (Inversor o no Inversor).



30) **DISEÑAR** un circuito, completo, capaz de encender un LED (no necesariamente siempre el mismo) cuando la tensión de entrada sea mayor a 8 V o menor a 6 V. Para otros valores, deberá estar apagado. La tensión de la fuente disponible es de ± 24 V.

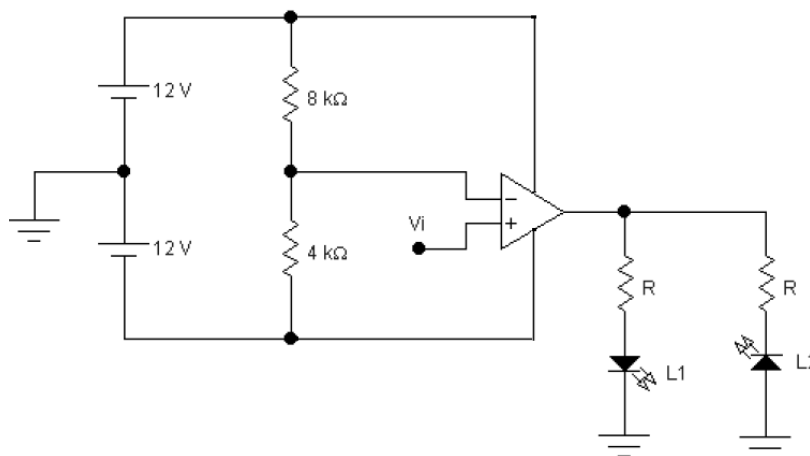
31) Una onda triangular, de 6 V de valor máximo, es aplicada a un comparador no inversor de lazo abierto. Suponiendo que la alimentación es $V_{CC} = \pm 12$ V, graficar la salida V_o para los siguientes casos:

a) $V_{REF} = 0$ V

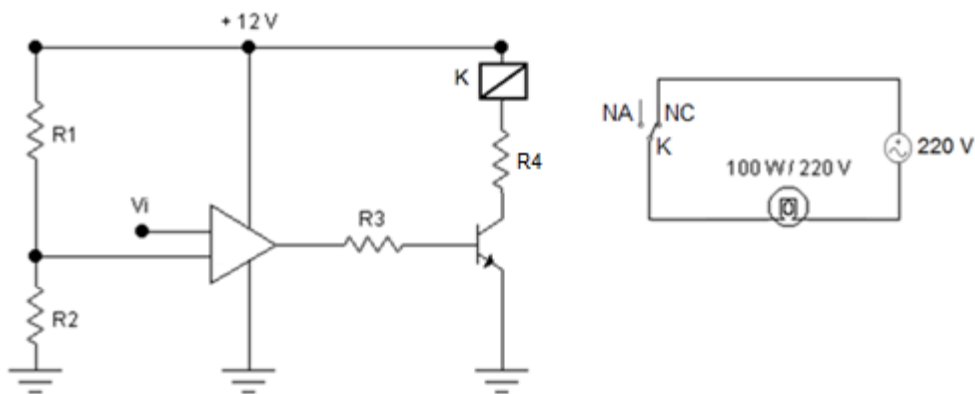
b) $V_{REF} = 2$ V

c) $V_{REF} = -4$ V

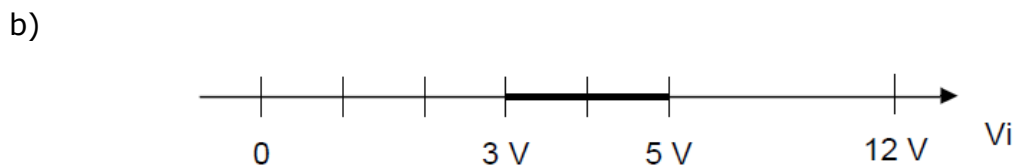
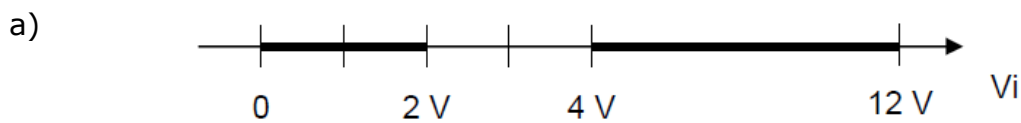
32) **DISEÑAR** un vúmetro de barras que evalúe, mediante 3 LED, una tensión que puede variar entre 0-12 V



36) Para el circuito de la figura calcular el valor de las resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_4 para que la lámpara encienda cuando la tensión V_i sea menor a 5 V. K: 9V/200 Ω .



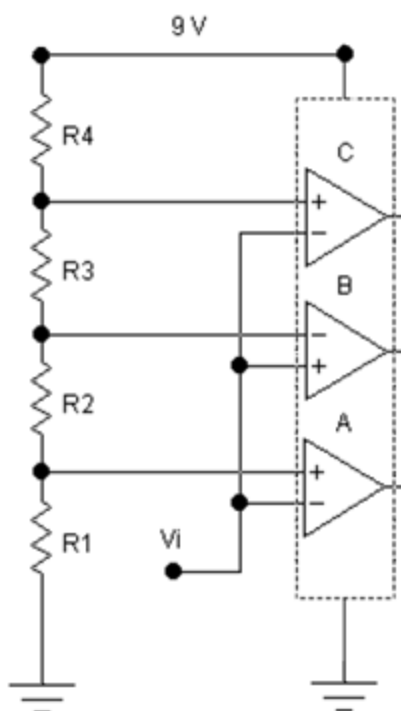
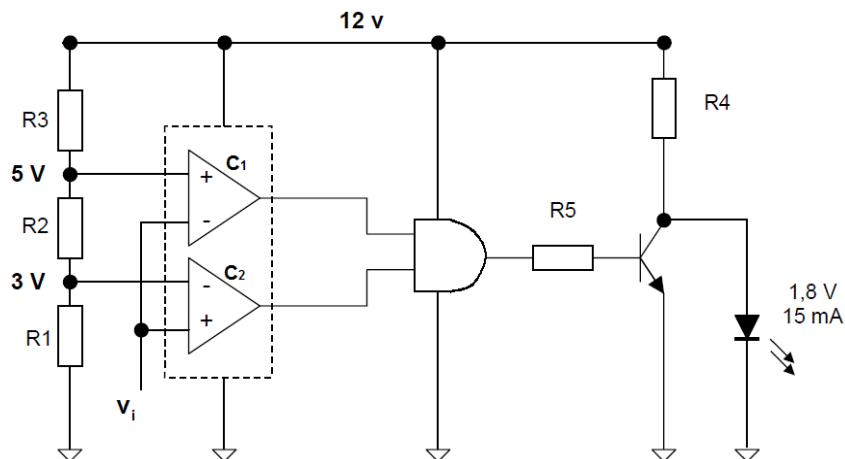
37) **DISEÑAR** un circuito capaz de encender un sólo LED en las siguientes zonas:





38) Para el circuito de la figura:

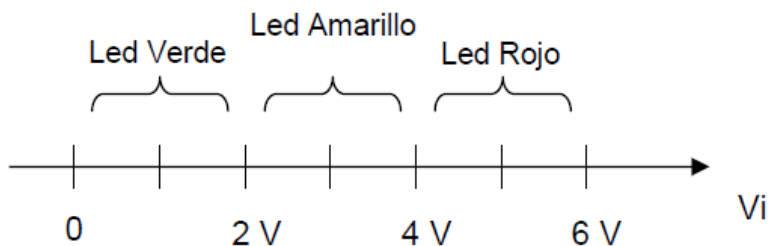
- Trazar las características transferencias de los dos comparadores y determinar si son: Inversor/No Inversor - Fte. Simple/Doble.
- Indicar cuándo enciende el LED. Escribir la expresión lógica resultante.
- Calcular el valor de TODAS las resistencias necesarias.



39) Para el circuito de la figura:

- Completar con compuertas de modo que repita el funcionamiento del LED del ejercicio 32.
- Trazar las características transferencias de todos los comparadores y determinar si son: Inversor/No Inversor - Fte. Simple/Doble.
- Escribir la expresión lógica resultante.
- Calcular el valor de TODAS las resistencias necesarias.

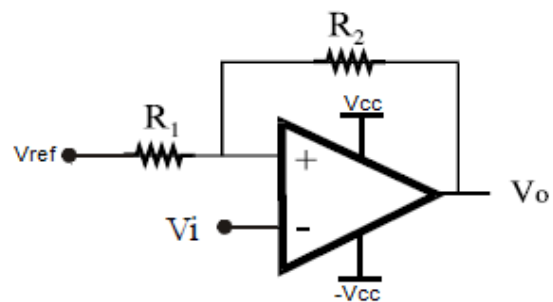
40) **DISEÑAR** un circuito capaz de encender tres LED de diferentes colores de acuerdo al siguiente esquema, donde la tensión de entrada V_i varía entre 0 y 6 V.



41) Se cuenta con un sensor lineal que mide la velocidad de una bicicleta (0 Km/h;0 V) y (40 Km/h;4 V). **DISEÑAR** un circuito con 2 LED, de manera que indiquen la velocidad de acuerdo a la tabla que se muestra.

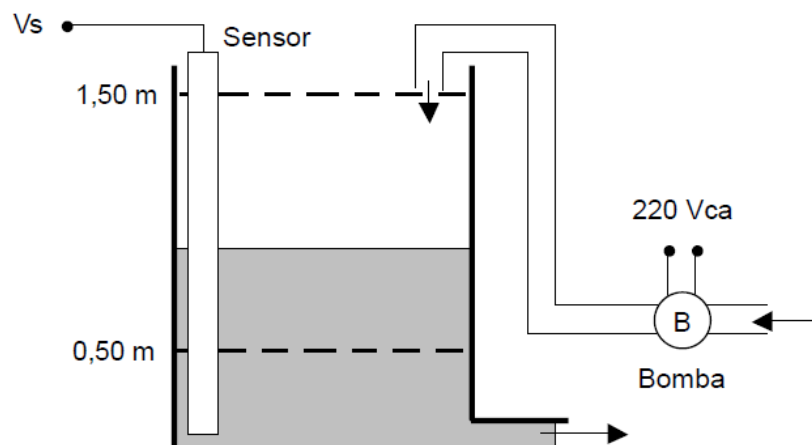
| Led's | | Rango de Velocidad |
|-------|----|--------------------|
| L1 | L2 | |
| 0 | 0 | 0 – 10 Km/h |
| 0 | 1 | 10 – 20 Km/h |
| 1 | 0 | 20 – 30 Km/h |
| 1 | 1 | 30 – 40 Km/h |

42) **DISEÑAR** el AO con histéresis de la figura de manera que los umbrales sean $V_T=2\text{ V}$ y 6 V .



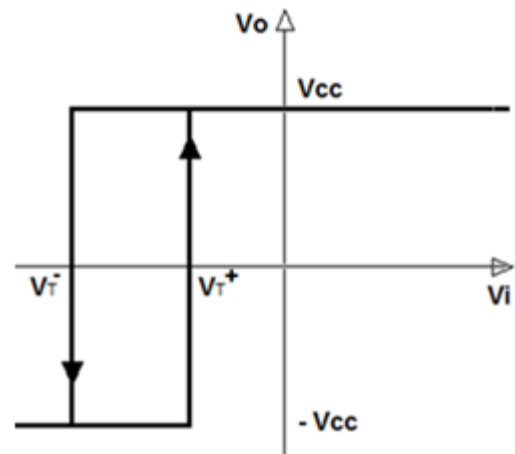
43) Se desea controlar el nivel de agua de un tanque, de manera que la bomba B reponga agua cuando el nivel disminuya por debajo de los 0.5 m. La altura máxima que puede alcanzar el nivel de agua es de 1.5 m. **DISEÑAR** un circuito que funcione de acuerdo a las características deseadas.

- El sensor de nivel posee una característica lineal y pasa por los puntos (0 m;0 V) y (1.5 m;3 V)
- Bomba 220 Vca.



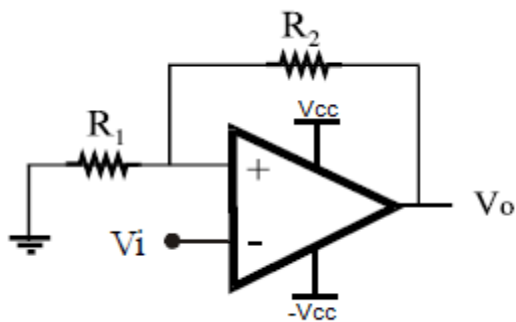


44) **DISEÑAR** un circuito que presente la característica transferencia mostrada en la figura. Datos: $V_{CC}=12\text{ V}$, $V_{T^+}=-2\text{ V}$, $V_{T^-}=-7\text{ V}$.

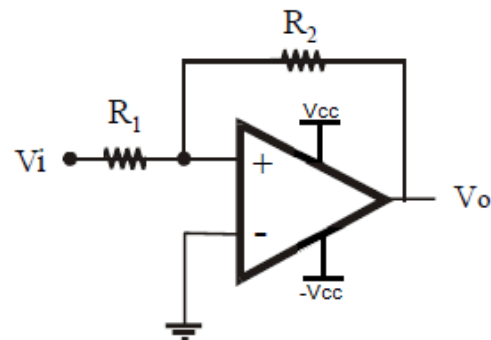


45) Para los circuitos de las figuras calcular las resistencias R_1 y R_2 de los AO con histéresis de manera que los umbrales sean $V_T=\pm 2\text{ V}$. $V_{CC}=12\text{ V}$.

a)

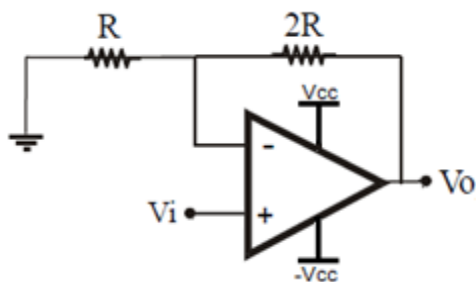


b)

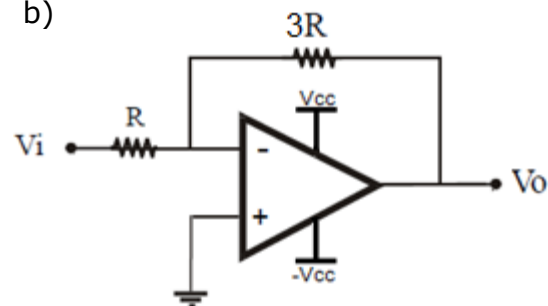


46) Para los circuitos de las figuras expresar la tensión de salida V_0 en función de la tensión de entrada V_i .

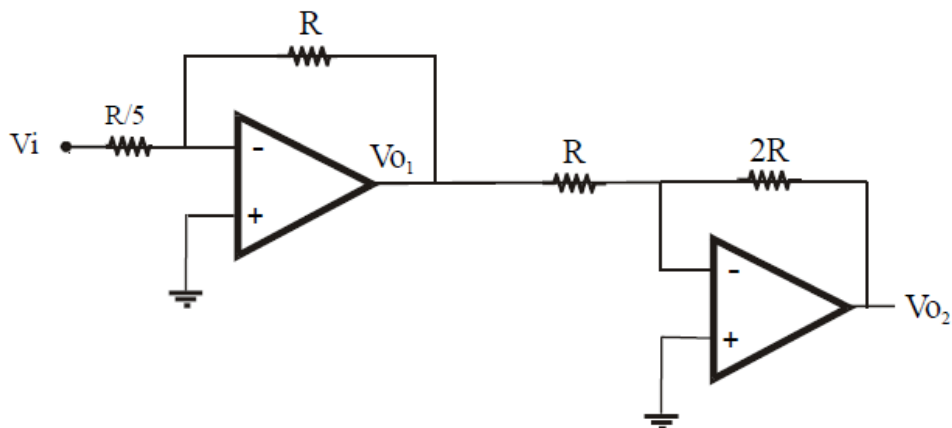
a)



b)



47) Para el siguiente circuito obtener la tensión V_{O2} en función de V_i . Expresar dicho valor en función de la resistencia R .

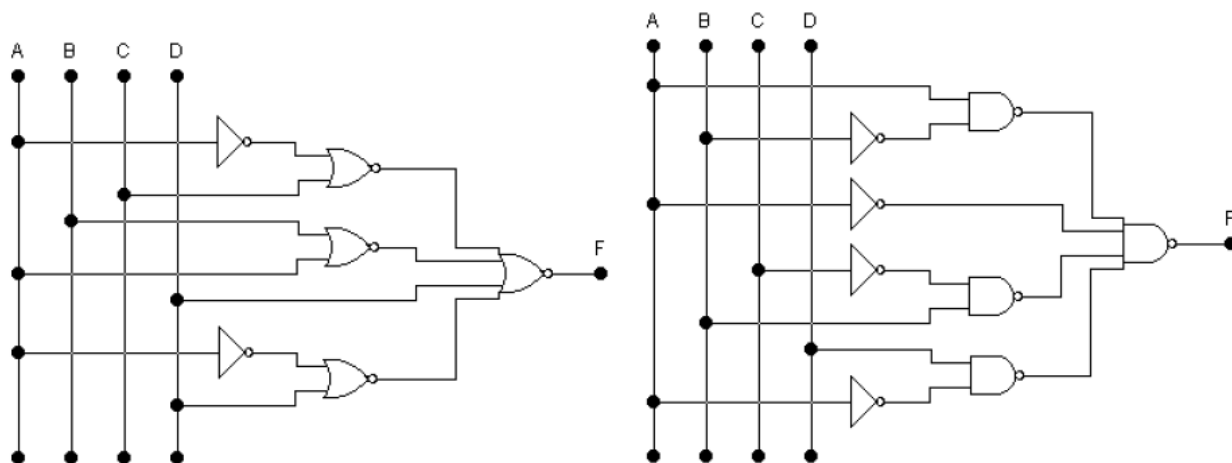


48) Demostrar las siguientes igualdades:

$$\begin{aligned}
 A + AB &= A \\
 A(A + B) &= A \\
 (A + B)(A + C) &= A + BC \\
 A + \bar{A}B &= A + B
 \end{aligned}$$

49) Para los circuitos de la figura:

- Encontrar la expresión de F .
- Simplificar la expresión del punto anterior.
- Representar el resultado obtenido en b mediante compuertas y bajo normas NEMA.

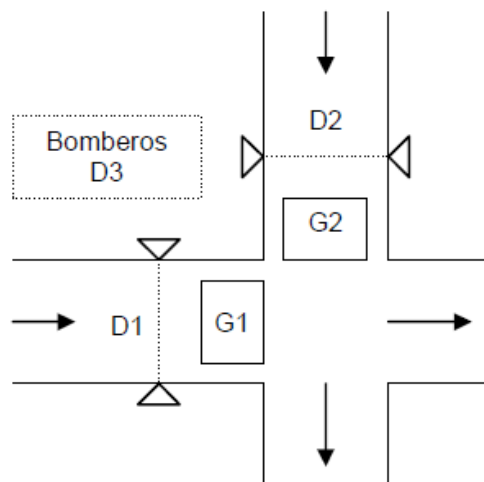
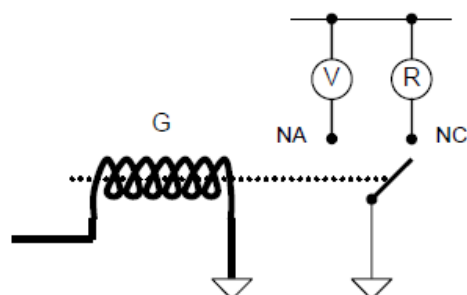


50) Comprobar la siguiente igualdad:

$$(Y + \bar{Z}) \cdot (W + X) \cdot (\bar{Y} + Z) \cdot (Y + Z) = Y \cdot Z \cdot (W + X)$$



51) Para controlar el funcionamiento de una esquina semaforizada se dispone de dos sensores, D1 y D2, uno por calle, y de una señal lógica, D3, enviada desde un cuartel de bomberos. El sensor D1 se activa a nivel alto cuando detecta el paso de un automóvil por la calle 1. De igual manera funciona D2. Las luces de los semáforos de cada calle tienen el siguiente circuito:



Se deberán cumplir las siguientes condiciones de funcionamiento:

- i)** Si se detecta un auto en la calle 1 y no en la calle 2 se pondrá en Verde el semáforo de calle 1 y en Rojo el de calle 2.
- ii)** Si se detecta un auto en la calle 2 y no en la calle 1 se pondrá en Verde el semáforo de calle 2 y en Rojo el de calle 1.
- iii)** Si se detecta un auto en la calle 1 y simultáneamente otro en la calle 2, se le dará prioridad al que circula por la derecha : (1 en Verde, 2 en Rojo).
- iv)** Si no se detectan autos en las calles 1 y 2 el sistema responderá en forma inversa al apartado (iii): (2 en Verde, 1 en Rojo).
- v)** Si desde el cuartel de bomberos se envía una señal alta los dos semáforos se pondrán en rojo sin importar otras condiciones. Si la señal del cuartel está baja los semáforos operarán de acuerdo a los sensores de calle.

De acuerdo a lo descrito anteriormente plantear la tabla de verdad del sistema de control a aplicar.

52) Desarrollar la tabla de la verdad de un sistema indicador de votos tipo si/no para tres personas, que posea una salida que indique mayoría de votos afirmativos. Un voto afirmativo será equivalente a un 1.

53) En una empresa hay tres personas: gerente, contador y secretario, autorizadas para poner en funcionamiento un dispositivo electrónico mediante tarjetas magnéticas. Para ello, se requiere que se cumplan con las siguientes condiciones:

- i)** El gerente deberá estar siempre presente.
- ii)** Deberán estar presentes contador o secretario.
- iii)** Deberá haber un máximo de dos personas (sólo hay dos lectoras presentes).

Determinar la tabla de la verdad.

Bibliografía

Apunte Tecnología de Control, Pendino C, Quaranta G, Instituto Politécnico, 2003

Principios de Electrónica, Malvino, Editorial McGraw-Hill, quinta edición, España, 1993

Amplificador Operacional, notas de clases, Electrónica II, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería, y Agrimensura, UNR, 2010

Física, Volumen 2, Halliday D, Resnick R, Krane K, Editorial Continental, México, 1999