



#### Profesores

*Ing. Adriana Luna H.*  
*Ing. Jorge Leal G.*  
*Ing. Andrés Ramírez D.*  
*Ing. Juan Pablo A.*

# Guía de Laboratorio No. 7

## Simulación de Circuitos

### 1. OBJETIVO

Introducir al estudiante en el conocimiento de un software de simulación de circuitos electrónicos a través de prácticas básicas para el entendimiento de su funcionamiento y aplicaciones en el mundo del análisis y del diseño de circuitos electrónicos. Para ello se trabajará con el software PROTEUS de LABCENTER (versión 6.0 ó posterior).

### 2. METODOLOGÍA

Se presenta inicialmente una pequeña referencia teórica de lo que es un software de simulación de circuitos eléctricos, su finalidad dentro del diseño electrónico y las herramientas que brinda.

Luego se describe, de manera introductoria, el uso del software ISIS (Intelligent Schematic Input System) que viene incluido en el paquete de PROTEUS y, finalmente, se proponen una serie de ejercicios para realizar como práctica de la clase de taller de electrónica y un trabajo extraclase diseñado con el fin de que los estudiantes desarrollen destrezas en la simulación con este software.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. DEFINICIONES

Un simulador de circuitos es una aplicación de software (generalmente gráfica) con la que se puede realizar análisis y síntesis de circuitos electrónicos, permitiendo así al ingeniero o diseñador conocer de antemano los resultados, valores de voltaje y de corriente, que se presentarán en los dispositivos de un circuito, sin inicialmente ser necesaria la implementación física del mismo en el protoboard o en una tarjeta de circuito impreso.

Se habla de análisis de un circuito cuando éste ya ha sido previamente diseñado y el ingeniero se concentra en entender su funcionamiento y escudriñar los principios que fueron aplicados para lograr dicho diseño. Tal es el caso de los circuitos que se han venido trabajando en nuestra materia de Taller de Electrónica (se han presentado ya diseñados). Se dice síntesis de un circuito cuando la tarea consiste en diseñar el circuito. Por lo tanto se parte de un enunciado o necesidad a suplir con el circuito que se va a diseñar.

Una opción adicional hoy día para analizar y diseñar circuitos con la que cuenta un ingeniero es la de paquetes de software para SIMULAR CIRCUITOS.



### 3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE CIRCUITOS

Durante el transcurso del semestre, en la asignatura de Taller de Electrónica se han realizado implementaciones de diferentes circuitos que incluyen dispositivos tanto pasivos como activos, conductores, semiconductores y resistores. Algunos de estos circuitos se han podido analizar gracias a conocimientos de la teoría de circuitos tales como la Ley de Ohm, Leyes de voltajes y de corrientes de Kirchhoff, entre otros. Por lo tanto se han podido efectuar las implementaciones y luego se han corroborado dichos análisis teóricos con la práctica, obteniendo de esta manera los valores reales y los respectivos errores.

Sin embargo, es evidente que hasta el momento los análisis teóricos que se han realizado han sido limitados debido a la falta de pericia en el uso de herramientas matemáticas y de profundidad en conceptos de circuitos que en futuras materias se irán abordando con el debido tratamiento y rigor. Tal es el caso del fundamento teórico del diodo de unión cuyo modelo matemático contiene ecuaciones no lineales e incluye variables adicionales al voltaje y a la corriente, como la temperatura la cual afecta la resistencia del semiconductor. Sin embargo en nuestro análisis, igualmente válido pero aproximado, fue considerando este dispositivo como una fuente de voltaje de DC a 0.7 voltios cuando se encontraba en conducción y como un circuito abierto cuando se encontraba polarizado en inverso, sin tener en cuenta dichas variables.

Situaciones como la anterior tienen una solución alternativa en el uso de paquetes de SIMULACIÓN de circuitos que incluyen una serie de herramientas para el análisis y diseño de circuitos electrónicos. La gran ventaja consiste en que un buen paquete de simulación de circuitos incorpora una serie de modelos matemáticos bastante precisos para los diferentes dispositivos que contiene en sus librerías, teniendo en cuenta por ejemplo, el modelo matemático que el fabricante da para cada referencia comercial de dispositivos que construye. Por lo tanto, cuando un diseñador realiza una simulación de un circuito por medio de un paquete como PROTEUS, ORCAD, WORK BENCH, CIRCUIT MAKER, entre otros, los resultados que allí obtiene son calculados con base en modelos matemáticos que tienen un buen nivel de exactitud, lo cual le permite hallar resultados muy aproximados a lo que se encontrará en el laboratorio. Muestra de lo anterior es la flexibilidad de cambiar condiciones de funcionamiento de los dispositivos tales como la temperatura, lo cual le permite al ingeniero una mejor aproximación a las condiciones reales de funcionamiento del circuito que está simulando.

De esta manera, si el ingeniero se encuentra realizando análisis de un circuito podrá, entonces, efectuar una primera “implementación por software” del circuito, cambiar las condiciones de funcionamiento de los dispositivos, cambiar referencias y valores de manera lógica, entre otros; y finalmente podrá implementar el circuito y comparar resultados. Lo anterior representa una enorme ventaja para el ingeniero ya que podrá reducir la cantidad de trabajo y de tiempo en el laboratorio previendo por medio del simulador las pruebas que efectuará. Así mismo le permitirá evitar daños físicos de los dispositivos ya que a través del simulador puede realizar pruebas con amplios rangos de voltaje y de corrientes y detectar, de esta manera, los límites máximos de trabajo de los elementos del circuito.

Ahora, si el ingeniero se encuentra realizando un proceso de diseño (síntesis de un circuito) podrá efectuar una primera “implementación por software” del circuito, luego realizar diferentes cambios o ajustes; y cuando ha finalizado completamente su diseño y pruebas, lo puede implementar físicamente en el protoboard para las pruebas “reales” y su implementación final en una tarjeta de circuito impreso. La etapa de simulación de circuitos es muy beneficiosa para el ingeniero, ya que podrá minimizar la cantidad de tiempo, de dinero y de pruebas al momento de realizar un diseño.

Es tal la importancia de la simulación que la gran mayoría de diseñadores la consideran hoy por hoy como una etapa obligatoria dentro de la metodología de síntesis de circuitos, tal como se muestra en la figura 1

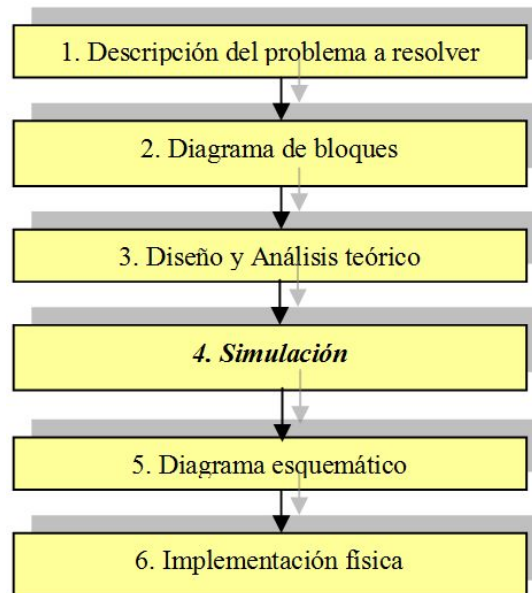


Figura 1: Pasos fundamentales en la metodología de diseño de un circuito

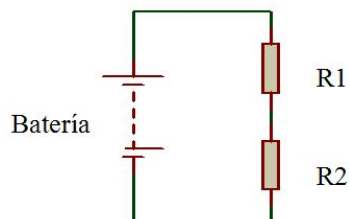


Figura 2: Diagrama Circuito divisor de tensión

### Ejemplo de diseño en un circuito

**Paso 1** Diseñar un divisor de tensión con dos resistencias (orden de los  $k\Omega$ ) para obtener sobre una de ellas un voltaje de 5 V y sobre la otra 7 V utilizando una fuente de alimentación constante de 12 V.

**Paso 2** Figura 2

**Paso 3** Asumiendo  $R_1 = 1 k\Omega$  y que sobre  $R_2$  se encuentre la diferencia de potencial de 7 V, por divisor de tensión se obtiene:

$$7V = 12V * \frac{R_2}{R_2 + 1k\Omega}$$
$$\Rightarrow R_2 = \frac{7}{5}k\Omega = 1.4k\Omega$$

**Pasos 4 y 5** Figura 3

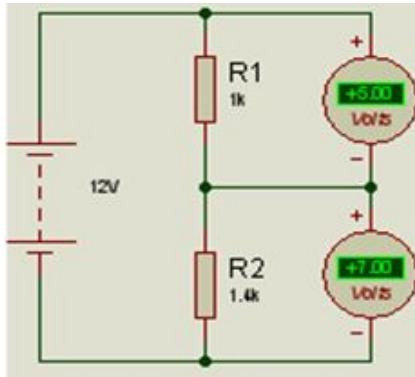


Figura 3: Simulación y diagrama esquemático de un circuito divisor de tensión

### 3.3. HERRAMIENTAS QUE BRINDAN LOS SIMULADORES

#### 3.3.1. Representación esquemática de circuitos.

Para la documentación de un diseño circuital (en un informe de laboratorio, por ejemplo) es fundamental realizar una gráfica que incluya los valores de los dispositivos, las referencias comerciales, los nodos del circuito, una lista de materiales, entre otros, de manera clara y precisa con el fin de que el usuario o ingeniero pueda comprender fácilmente el circuito físico ya sea para tomar medidas, ajustes, calibración o reparación (Ver pasos 4 y 5 del ejemplo anterior).

#### 3.3.2. Análisis y diseño de circuitos.

Para ello un simulador básico cuenta con librerías (archivos) que incluyen una gran cantidad de referencias comerciales de dispositivos como resistencias, interruptores, condensadores, inductancias, semiconductores, amplificadores operacionales, fuentes de voltajes (AC, DC, generadores de señales), dispositivos de electrónica digital, medidores como voltímetros, amperímetros, osciloscopios, analizadores lógicos (circuitos digitales), entre otros. Además, cuando un dispositivo nuevo sale al mercado (nueva referencia), su librería normalmente es puesta en la WEB por la casa de software que produce el simulador con el fin de que los usuarios mantengan actualizado su paquete.

Los productores del software suelen ofrecer una serie de versiones “demo” (gratuitas) o versiones estudiantiles para que la academia haga uso de dichas herramientas sin necesidad de adquirir la licencia. Su fin es que los futuros profesionales conozcan estos productos para que un futuro compren sus licencias. Algunas desventajas de estas versiones gratuitas es que no cuentan con todas las librerías o herramientas del paquete total, o permiten la simulación de un número máximo de dispositivos (normalmente cantidades pequeñas), ó por tiempo limitado, entre otras.

Las variables que se pueden determinar con los paquetes de simulación incluyen voltajes, corrientes, potencias, etc, las cuales se consideran en función de la frecuencia o del “tiempo”, ésto último es muy útil al momento de realizar un análisis de tipo dinámico de los circuitos. Es decir, se pueden analizar las etapas transitorias y estacionarias del comportamiento de las variables pertinentes de los circuitos, tal como se puede hacer con un osciloscopio en el laboratorio.



En particular se trabajará con el paquete de software PROTEUS, el cual es producido por la casa inglesa LABCENTER ELECTRONICS (Este paquete requiere licencia). Este software contiene dos paquetes fundamentales: ISIS y ARES.

El ISIS (Intelligent Schematic Input System) corresponde a la herramienta de simulación y animación de circuitos electrónicos; y el ARES (Advanced Routing and Editing Software) es una herramienta adicional para la realización de circuitos impresos (PCB's) la cual se trabajará más adelante en la materia (Ver guía N°8).

### 3.4. BIBLIOGRAFÍA

Se recomienda la revisión de la siguiente bibliografía

- Manual ISIS y ARES Issue 6.0 - November 2002 © Labcenter Electronics
- Proteus User Manual Issue 6.0 - November 2002 © Labcenter Electronics

Particularmente de las páginas citadas a continuación

- “General Concepts” páginas 35 - 41 (De acuerdo al paginador del Acrobat Reader)
- “Virtual Instruments” páginas 217 - 224 (De acuerdo al paginador del Acrobat Reader)



## 4. PRÁCTICA N°7

### “USO DE SIMULADORES DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS”

#### 4.1. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con el manejo del paquete de simulación ISIS del Proteus.
- Efectuar mediciones de voltaje, resistencia y amperaje en elementos resistivos y en diodos por medio de un paquete de simulación.
- Comparar las mediciones efectuadas con anterioridad en los laboratorios con los resultados arrojados por el ISIS del Proteus.

#### 4.2. ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA PRÁCTICA

- Paquete de simulación ISIS del Proteus.

#### 4.3. PROCEDIMIENTOS

##### 4.3.1. Uso del voltímetro y amperímetro.

1. Realice el esquemático del circuito de la figura 4 hallando en la librería de componentes cada dispositivo y asignando los nombres y valores de resistencias y fuente de DC a través del editor de componentes en cada caso.
2. Efectúe el cálculo teórico de la resistencia equivalente, de la corriente del circuito y de los voltajes de cada resistencia.
3. En el simulador busque la herramienta de voltímetro DC y tome mediciones de tensión sobre cada una de las resistencias que se muestran en el circuito.
4. Busque la herramienta de amperímetro DC y mida la corriente que fluye a través del circuito.
5. En la barra de herramientas busque “System”  $\Rightarrow$  “Set animation options” y en el cuadro de “animation options” señale las tres opciones. Simule de nuevo y concluya acerca de esta herramienta.

Compare y analice errores entre los valores mostrados en el voltímetro y el amperímetro del Proteus, los resultados teóricos y los resultados obtenidos cuando implementó este circuito en el laboratorio (práctica N°2 de la materia).

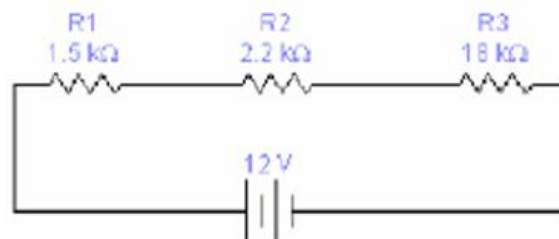


Figura 4: Circuito serie a simular

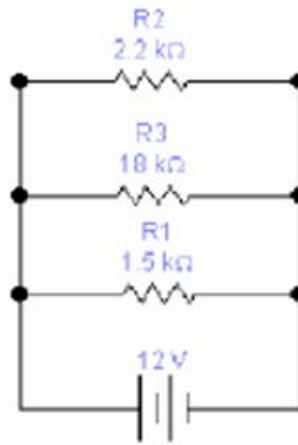


Figura 5: Circuito paralelo a simular

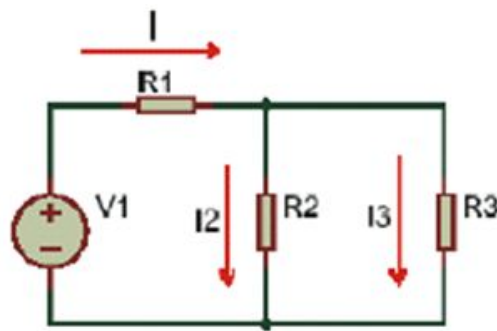


Figura 6: Circuito a simular y ver animación.

6. Realice el esquemático del circuito de la figura 5 en la hoja de trabajo del ISIS.
7. Tome mediciones de la corriente que circula por cada una de las resistencias que se muestran en el circuito.
8. Mida con el voltímetro la tensión de caída en las resistencias del circuito.
9. Efectúe el cálculo teórico de la resistencia equivalente, calcule la corriente y los voltajes de cada resistencia.  
Compare entre los valores mostrados en el voltímetro y el amperímetro del Proteus, los resultados teóricos y los resultados obtenidos cuando implementó este circuito en el laboratorio (práctica N°2 de la materia)
10. Mida la corriente  $I$ ,  $I_2$  e  $I_3$  para el circuito de la figura 6 y verifique los cálculos de las corrientes  $I_2$  y  $I_3$ , con las expresiones para el divisor de corriente. (Emplee los valores de resistencias de los circuitos anteriores).
11. Efectúe el cálculo teórico del divisor de tensión y de corrientes (no olvide calcular primero la resistencia equivalente).



Compare y analice errores entre los valores mostrados en el voltímetro y el amperímetro del Proteus, los resultados teóricos y los resultados obtenidos cuando implementó este circuito en el laboratorio (práctica N°2 de la materia).

Además responda en el informe con base en la experiencia:

- ¿Los decimales se señalan con coma o con punto?
- ¿Se requiere de la referencia (tierra) para simular todos los circuitos?
- ¿Qué propiedades se pueden editar en las fuentes de DC y qué significa cada una?
- En el voltímetro y en el amperímetro para qué es la propiedad “Display Range” y ¿qué opciones da en cada caso?
- ¿En qué consiste la herramienta “tools”  $\Rightarrow$  “Bill of materials”?

#### 4.3.2. Uso del osciloscopio y generador de señales

1. Busque la librería **instruments** y adicione un generador de funciones a la hoja de trabajo del ISIS y un osciloscopio. (No olvidar la referencia a tierra que se encuentra en la librería **Terminal ground** del generador)
2. Ponga a simular y modifique los controles del generador de funciones para obtener una señal

$$V(t) = 5 * \sin(2 * \pi * 400 * t)$$

Para esto use el osciloscopio y sincronícelo perfectamente.

3. Cambie el generador entre las diferentes formas de onda. Así mismo verifique cambiando de la posición del osciloscopio (DC, AC, GND).
4. Mida para esta señal el valor AC y el valor DC con el voltímetro y explique en el informe las mediciones obtenidas.
5. Puede cambiar el nivel de offset de la señal de AC con este instrumento.
6. Busque en la librería **generators** un generador de señal senoidal. Edite sus propiedades para obtener la misma señal del punto 2 b). ¿En este caso se puede modificar el OFFSET?

#### 4.3.3. Uso de otros dispositivos

Implemente el esquema circuital de la figura 7 y simúlelo con el interruptor en ambas posiciones y con las opciones de animación (Ver sentidos de las corrientes).

Compare con los resultados obtenidos en el laboratorio de la guía N° 4 de la clase de Taller de Electrónica.

#### 4.3.4. Trabajo extraclase

Simule y emplee la herramienta de animación para los siguientes montajes. Presente las imágenes de los sentidos de las corrientes en el informe de este laboratorio.

a) **Montajes con diodos de unión.** Se realizarán dos implementaciones con estos elementos circuitales.



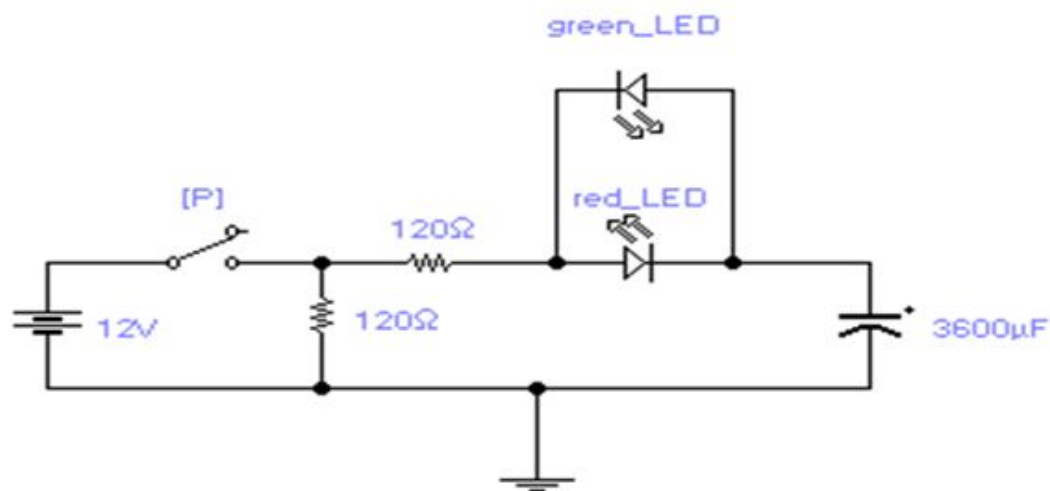


Figura 7: Circuito a simular y ver animación.

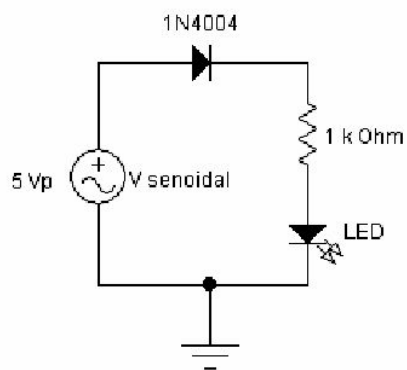


Figura 8: Rectificador de media onda.

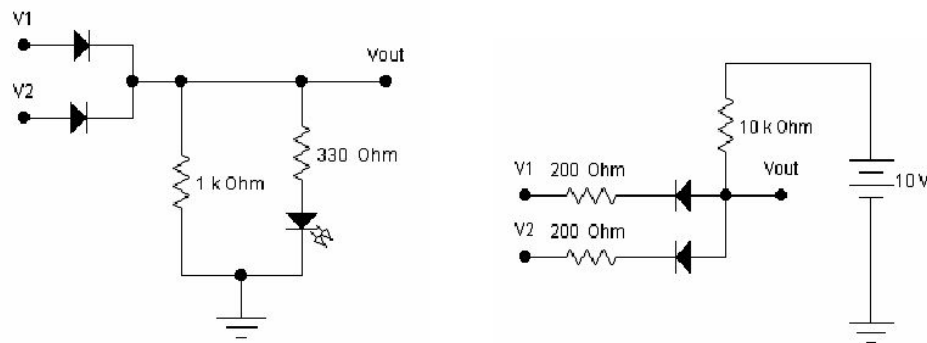


Figura 9: Compuerta OR y compuerta AND con diodos.

#### ■ Rectificador de media onda:

Es un circuito típico de aplicación de los diodos de unión. Su efecto lo notaremos por medio del circuito mostrado en la figura 8.

Obtenga la señal de voltaje senoidal a través de un generador de señales. Asegúrese que la señal que entrega el generador tenga un voltaje de offset igual a cero voltios, una amplitud de 5 voltios pico y una frecuencia menor a 15 Hz. Observe la señal de entrada (voltaje entre los pines de fuente) por medio del osciloscopio.

#### Mediciones

Responda las siguientes preguntas e incluya los resultados en el informe:

- Visualice la señal que está entre los terminales del diodo de unión. Mida con el osciloscopio. Analice el ¿por qué de dicha señal?
- Visualice la señal que está entre los terminales de la resistencia. Mida con el osciloscopio. Analice el ¿por qué de dicha señal?
- ¿Por qué enciende y apaga el led a pesar de tener una fuente constantemente en funcionamiento?

#### ■ Compuertas lógicas con diodos

Realice la implementación de los circuitos de la figura 9. Los diodos de unión son la referencia 1N4004, y los pines V1 y V2 son los puntos (nodos) donde se aplicará una fuente de tensión de DC igual a 10 voltios ó 0 voltios según la tabla que encontrará más adelante.

Los puntos llamados Vout son los nodos en los que se medirá el voltaje de salida del circuito (con respecto a tierra). Es decir, debe poner en el punto de Vout la punta de color rojo del multímetro y la de color negro en los nodos de tierra.

#### Mediciones

- Construya la siguiente tabla para cada uno de los anteriores circuitos, de acuerdo con cada combinación de voltajes de entrada (mida la salida con el voltímetro).

$V_1$ (V)	$V_2$ (V)	$V_{out}$ (V)
0	0	
0	10	
10	0	
10	10	

Cuadro 1: Cuadro para consignar los voltajes de los circuitos

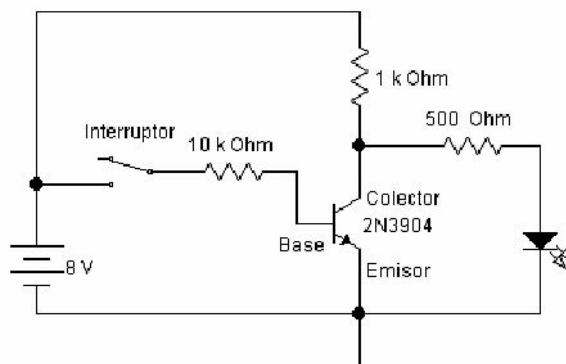


Figura 10: Compuerta NOT con transistor bipolar.

- Visualice los sentidos de las corrientes (sobre el esquema circuital) para las combinaciones de entradas de voltaje ( $V_1$  y  $V_2$ ) de la primera y última línea de la tabla, en cada circuito de la figura 9.
- Busque información sobre las tablas de verdad de las compuertas lógicas OR y AND (Aplicación de electrónica digital) y compare con las dos tablas de resultados obtenidas en este ejercicio.

**b) Montaje con transistores bipolares.** Realice la implementación del circuito mostrado en la figura 10.

**Mediciones:**

- Para cada posición del switch (abierto, cerrado) mida el voltaje de la salida entre colector y tierra. (Observe el estado del led).
- Para cada posición del switch dibuje los sentidos de las corrientes que fluyen por los terminales del transistor y por el led.