

# Laboratorio de Electrotecnia

## Experiencia 1: Simulación

Nicolás Morales (nvmorale@uc.cl) - Wladimir Araya (waaraya@uc.cl)

### Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>3. Aspectos de Seguridad</b>	<b>2</b>
3.1. Efecto de la Corriente Aplicada al Ser Humano . . . . .	2
3.2. Recomendaciones y Cuidados . . . . .	3
3.3. Recomendaciones para los Primeros Auxilios en caso de Accidente . . . . .	3
<b>4. El Diodo</b>	<b>4</b>
4.1. El Diodo Ideal . . . . .	4
4.2. El Diodo Real . . . . .	5
<b>5. Experiencia Práctica</b>	<b>6</b>
5.1. Simulación . . . . .	6
5.2. Cuestionario . . . . .	7

## 1. Introducción

La electrónica ha permitido alcanzar grandes avances tecnológicos. La radio, las calculadoras, los computadores, y los teléfonos inteligentes son una evidencia clara de cuánto ha aportado la tecnología al desarrollo de la humanidad. Los circuitos eléctricos son la base de la electrónica, y estos a su vez se componen de distintos componentes, como las fuentes de voltaje, resistencias, inductores y capacitores.

En esta experiencia se estudiará el comportamiento de los diodos, un elemento ampliamente utilizado en la electrónica analógica, cuyo mayor atributo es conducir la electricidad en un solo sentido. Para ello, se utilizará un software de simulación de circuitos llamado LTSpice, el que está disponible gratuitamente en la red.

La simulación es una etapa fundamental dentro del proceso de diseño, ya que permite a los ingenieros analizar el comportamiento de configuraciones electrónicas sin tener que armarlas realmente, evitando todos los riesgos que estas puedan conllevar.

## 2. Objetivos

Los objetivos de esta experiencia consisten en:

- Introducir a los alumnos en el proceso de simulación, exponerlos al desafío de construir en un software un circuito determinado, identificando los símbolos que representan cada componente,
- aplicar conocimientos elementales sobre Leyes de Kirchhoff para construir circuitos,
- aplicar los conceptos teóricos básicos sobre el funcionamiento de los diodos y cuáles son los circuitos más comunes que los utilizan.

## 3. Aspectos de Seguridad

Cuando se trabaja en un laboratorio eléctrico, cuando se emplean equipos eléctricos o simplemente se trabaja con electricidad, el seguir las precauciones adecuadas de seguridad es más o tan importante que llevar a cabo mediciones exactas.

- Existen peligros potencialmente mortales en ambientes de laboratorio eléctrico, y si no se siguen con cuidado procedimientos de seguridad, se puede ocasionar que una persona o su compañero sea víctima de un accidente serio.
- El peligro más común y más serio en laboratorios eléctricos es el choque eléctrico o golpe de corriente.
- Un aspecto fundamental del choque o golpe eléctrico que puede ser letal está en función de la cantidad de corriente que pasa a través del cuerpo humano y del tiempo de aplicación. No depende tan solo del valor del voltaje aplicado. Puede ser tan mortal un choque de 100 Voltios como uno de 1000 Voltios.

### 3.1. Efecto de la Corriente Aplicada al Ser Humano

La severidad de un choque eléctrico en un ser humano varía con la edad, sexo y condición física. Sin embargo, en general el nivel de corriente necesario para ocasionar la muerte a cualquier ser humano es notablemente bajo.

- El umbral de percepción de corriente en la mayoría de los seres humanos es de 1 mili Ampére (1 mA).
- Corrientes entre 1 mA y 5 mA se sienten con mayor intensidad pero por lo general no producen un dolor intenso. El peligro que existe en esta intensidad es debido a la reacción de sorpresa que genera en el ser humano y que lo hace “moverse” a lugares potencialmente de mayor peligro.
- Corrientes mayores a 5 mA y menores a 100 mA producen en el cuerpo contracciones musculares involuntarias de gran dolor y puede eventualmente ocasionar la muerte puesto que la persona queda sin poder soltar el conductor eléctrico.
- Corrientes mayores a 100 mA producen interferencia con el movimiento coordinado del corazón ocasionando lo que se llama fibrilación cardíaca, que detiene el bombeo de sangre al cuerpo humano y sobreviene la muerte en cuestión de minutos si no se detiene dicho proceso.
- Corrientes superiores a 300 mA las contracciones musculares son extremadamente intensas lo que “evita” la fibrilación. Si se detiene el choque por medio del método de aplicar rápidamente grandes pulsos de corriente, es posible que el corazón reanude su función normal. Sin embargo, se puede detener la respiración (se debe realizar respiración artificial) y la persona queda con quemaduras intensas.

### **3.2. Recomendaciones y Cuidados**

El mejor método de evitar accidentes es reconocer sus causas y apegarse a los procedimientos de seguridad establecidos.

- Uso y aplicación de equipos ordinarios con conexiones correctas a tierra de seguridad y protecciones eléctricas adecuadas.
- Evitar el uso de cables o conductores desnudos, con algún deterioro o defecto. Siempre desconectar la corriente al iniciar una experiencia eléctrica.
- Evitar trabajar solo.
- Nunca operar equipos con humedad en las manos o en el piso. Usar siempre zapatos secos.
- Siempre conectar al FINAL, el cable o la punta de prueba al voltaje.

### **3.3. Recomendaciones para los Primeros Auxilios en caso de Accidente**

En caso de un accidente al interior del laboratorio relacionado con los equipos eléctricos, usted debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Trate de desconectar a la víctima del equipo o conductor sin colocarse uno mismo en peligro.
- Use cualquier elemento aislante para actuar ya que cualquier conexión corporal a un cortocircuito puede ser fatal.
- Usted debe romper el punto de contacto lo más rápido posible puesto que la resistencia de la piel decae rápidamente con el tiempo y la corriente puede llegar a alcanzar valores fatales.
- Si se produce un paro respiratorio y la víctima se encuentra inconsciente, se debe comenzar rápidamente a administrar respiración artificial. Este proceso puede durar hasta 8 horas.

## 4. El Diodo

El diodo es el elemento circuital no lineal más sencillo. Posee dos terminales denominados ánodo y cátodo, y su función es permitir la circulación de corriente en un sentido y bloquearla en el sentido contrario. La figura 1 muestra el símbolo de un diodo.

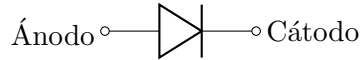


Figura 1: Símbolo del diodo junto con el nombre de sus terminales.

A continuación se analizará el funcionamiento de un diodo ideal y de uno real.

### 4.1. El Diodo Ideal

Para facilitar la comprensión del funcionamiento de un diodo real primero analizaremos el comportamiento de un diodo ideal. Tal y como vimos anteriormente, el diodo posee dos terminales y permite el paso de la corriente sólo en uno de sus sentidos (de ánodo a cátodo). La figura 2 nos muestra la relación entre voltaje y corriente de un diodo ideal.

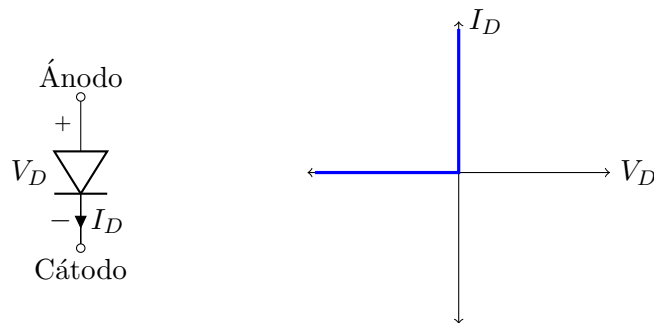


Figura 2: Característica de corriente y voltaje de un diodo ideal.

Denominaremos la polarización directa del diodo cuando  $V_D \geq 0$  y polarización inversa cuando  $V_D < 0$ . De la figura 2 podemos ver que cuando  $V_D < 0$ ,  $I_D = 0$ , con lo que el diodo ideal no permite el paso de corriente. En caso de que  $V_D \geq 0$ , el diodo ideal permite el paso de cualquier valor de la corriente  $I_D$  y mágicamente hace que  $V_D = 0$ . Este último concepto es un poco complicado de entender, por lo que recurriremos a la figura 3.

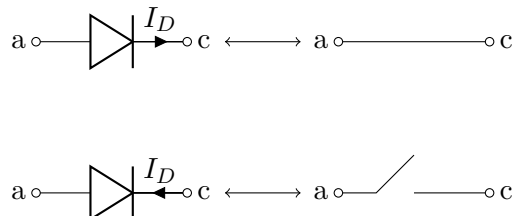


Figura 3: El diodo ideal como interruptor.

En la figura 3 podemos ver que el diodo ideal funciona como un interruptor. En el caso de que la corriente vaya del ánodo al cátodo, los terminales de ánodo y cátodo se cortocircuitan, con lo que

el voltaje entre sus terminales se hace nulo  $V_a = V_c$ . En el caso contrario, si la corriente va de cátodo a ánodo, entonces el diodo ideal hace las veces de un circuito abierto, con lo que  $I_D = 0$  y  $V_a \neq V_c$ .

## 4.2. El Diodo Real

Los diodos en la realidad se construyen utilizando materiales semiconductores. Un semiconductor es una estructura de red cristalina que puede tener electrones libres (portadores de carga negativos) y/o huecos (ausencia de electrones lo que equivale a portadores de carga positivos). Actualmente, el semiconductor más utilizado es el silicio, un elemento abundante que se encuentra en la arena. Este material posee una valencia de cuatro, lo que implica que cada átomo tiene cuatro electrones para compartir con los átomos vecinos cuando se forman los enlaces covalentes de la red cristalina del silicio. El silicio intrínseco (silicio sin dopar) es una estructura cristalina muy pura que posee el mismo número de electrones y huecos libres. Estos portadores de carga libres corresponden a aquellos electrones libres que han ganado suficiente energía térmica como para escapar de sus enlaces, y los huecos libres resultantes son aquellos espacios libres que dejaron los electrones libres.

Si uno dopa el silicio con una impureza pentavalente (es decir, átomos de un elemento que tiene una valencia de cinco, o equivalentemente, cinco electrones en su capa exterior disponibles para formar enlaces), habrá casi un electrón libre por cada átomo de impureza. Estos electrones libres se pueden utilizar para conducir corriente. Una impureza pentavalente dona electrones libres al cristal de silicio, por lo tanto a este tipo de impurezas se les conoce como donores o de tipo n, y a estos materiales con este tipo de impurezas se les conoce como materiales tipo n, debido a que sus portadores de carga son principalmente electrones los cuales poseen carga negativa. Ejemplos de elementos donores son el fósforo y el arsénico.

De forma análoga, si uno dopa al silicio o a un material con cuatro electrones de valencia con uno de tres electrones de valencia, tales como el boro, entonces los portadores de carga mayoritarios serían huecos en vez de electrones, los cuales poseen una carga positiva. A este tipo de impurezas se les conoce como aceptores o de tipo p, y a estos materiales con estas impurezas se les conoce como materiales de tipo p, debido a que sus portadores de carga son principalmente huecos los cuales poseen carga positiva.

Si juntamos un material tipo p con un tipo n habremos construido un diodo de union pn, o diodo real. La figura 4 muestra la composición de un diodo real.

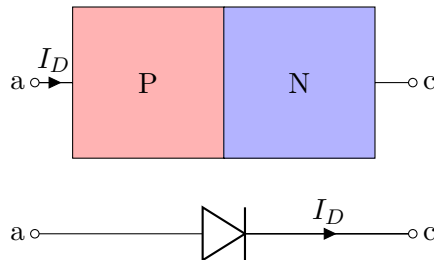


Figura 4: Composición de un diodo real.

A continuación explicaremos el principio de funcionamiento del diodo real. El material tipo P posee una mayor concentración de portadores de carga positivos (huecos), mientras que el material tipo N posee una mayor concentración de portadores de carga negativos (electrones). Cuando se cumple que el voltaje del ánodo es mayor al voltaje del cátodo  $V_c \leq V_a$ , entonces hablamos de polarización directa del diodo. En polarización directa los huecos del lado P se sienten repelidos por el voltaje que existe en el ánodo y se sienten atraídos por el voltaje que existe en el cátodo, por lo tanto, la corriente eléctrica va desde ánodo a cátodo. A su vez, en polarización directa, los

electrones del lado N se sienten repelidos por el voltaje del cátodo y se sienten atraídos por el voltaje del ánodo, por lo tanto, la corriente de electrones va desde el cátodo al ánodo. Como la corriente se define como la carga que atraviesa una superficie por unidad de tiempo, entonces la corriente de electrones aporta una corriente negativa en el sentido de cátodo a ánodo (la carga del electrón es negativa), por lo que en polarización directa, tanto la corriente de huecos como de electrones van desde el ánodo al cátodo.

Cuando el voltaje del ánodo es menor al voltaje del cátodo  $V_a < V_c$ , decimos que el diodo está polarizado de forma inversa. En este caso, los huecos del lado P se sienten atraídos por el voltaje del ánodo y repulsados por el cátodo, mientras que los electrones del lado N se sienten atraídos por el voltaje del cátodo y repulsados por el ánodo. Es fácil comprender que en polarización inversa no existe transferencia de carga entre los terminales de ánodo y cátodo, y por tanto, no existe corriente eléctrica.

## 5. Experiencia Práctica

La experiencia práctica está dividida en dos partes. La primera consiste en un trabajo de simulación, mientras que la segunda corresponde a un cuestionario. Las preguntas planteadas en esta sección deben ser respondidas en el informe grupal. A continuación se explicitan cada una de estas partes.

### 5.1. Simulación

El primer circuito a simular en LTSpice corresponde al mostrado en la figura 5

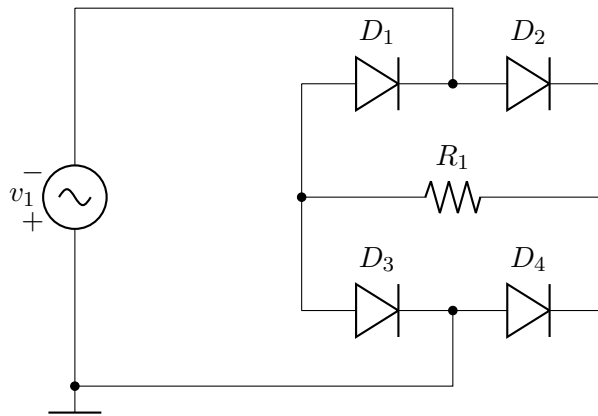


Figura 5: Primer Circuito a Simular.

En la figura 5, la fuente sinusoidal de voltaje  $v_1$  posee una amplitud de 5 V y una frecuencia de 60 Hz. El resistor  $R_1$  es de  $1\text{ k}\Omega$  y el diodo a utilizar es el 1N4148.

Realice un análisis transiente con un paso máximo de 0.1 ms y conteste las siguientes preguntas:

1. Explique el funcionamiento del circuito, indicando cuándo y cuáles diodos están encendidos durante cada semiciclo de la fuente sinusoidal, y la dirección de la corriente en cada caso.
2. Compare el voltaje de la fuente  $v_1$  con el voltaje de la Resistencia  $R_1$ . Comente las diferencias acompañado con un gráfico comparativo.

Ahora conecte un capacitor al circuito simulado anteriormente, tal y como se muestra en la figura

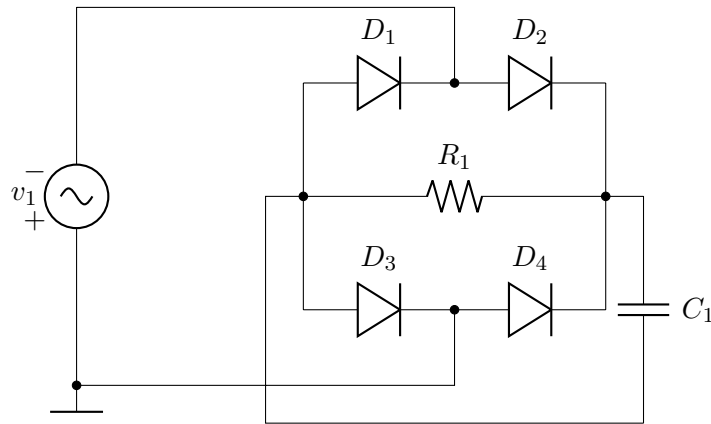


Figura 6: Segundo Circuito a Simular.

En la figura 6, el capacitor  $C_1$  es de  $470\mu\text{F}$ . El circuito de la figura 6 se denomina Rectificador de Onda Completa. Responda las siguientes preguntas en relación a este nuevo circuito:

3. Investigue por qué se denomina rectificador de onda completa.
4. Nuevamente haga un análisis de transiente y observe el voltaje en la Resistencia  $R_1$ . ¿Qué cambio produjo la conexión del capacitor? , ¿por qué se produjo este cambio?.
5. ¿Existe diferencia de amplitud entre la fuente de voltaje y la resistencia?. Si es así, ¿a qué se debe?.

## 5.2. Cuestionario

1. Explique brevemente y con sus palabras el funcionamiento de los diodos.
2. Indique los distintos tipos de diodos existentes.
3. Investigue qué es un puente H.
4. Mencione a lo menos tres ejemplos de circuitos en donde los diodos son utilizados comúnmente.
5. Investigue acerca de las diferencias entre un diodo real y uno ideal.
6. Investigue qué es un datasheet.