

Experimento 1: El diodo

David Felipe Duarte Sánchez
e-mail: davidduarte@estudiantec.cr

RESUMEN: En el siguiente informe se **demonstrará la forma de calcular las curvas características del elemento semiconductor "Diodo" y posteriormente se contrastarán los datos obtenidos de forma simulada con los datos obtenidos de forma experimental.**

PALABRAS CLAVE: Diodo, Osciloscopio, curva característica, resistencia dinámica, generador de funciones, simulación.

1. INTRODUCCIÓN

Los diodos son creados al unir un material dopado tipo p con otro tipo n al momento de la fabricación, formando un tipo de válvula de corriente en un sentido de conducción. La región cercana del área de unión es llamada región de agotamiento.

Si un voltaje externo es aplicado al diodo, se dice que este está polarizado. Hay dos formas de polarizar un diodo: polarización inversa y polarización directa. Polarización inversa es cuando una tensión positiva es conectada a la región n y una tensión negativa a la región p. Con ello se crea un ensanchamiento de la región de agotamiento, por lo que se reduce de forma muy efectiva la corriente hasta cero. Polarización directa se da cuando la tensión positiva es conectada a la región p y la tensión negativa a la región n. Esto crea un estrechamiento de la región de agotamiento, permitiendo que los portadores de carga puedan cruzar la unión p-n, dando como resultado un flujo neto de corriente eléctrica.

En la Parte 1 de este experimento, se **realizará una prueba simple a un diodo con un multímetro para obtener la curva característica del mismo. En la Parte 2, se utilizará un osciloscopio para obtener gráficamente curvas características de otros diodos.**

Introducción tomada del instructivo del laboratorio elaborado por el profesor José Miguel Barboza Retana.

2. CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO

Para comenzar con el laboratorio se debe conocer si los diodos que se han obtenido para el mismo están funcionando correctamente, por lo cual se debe de hacer uso de la función "Prueba de diodos" que trae el multímetro. Los diodos utilizados para este laboratorio serán 1N914, el diodo Zener 1N4733A, además del uso de dos diodos led, uno de color verde y otro de color rojo.

La curva característica es una representación del flujo de electrones que ocurre al someter al mismo a un voltaje de polarización. Esto lo hará operar ya sea en su

fase de polarización directa en la cual el diodo conduce al sobrepasar el voltaje de umbral de 0.7 V en el caso de un diodo de Silicio. Por otro lado, cuando el diodo se polariza en inversa el diodo deberá de alcanzar la tensión de ruptura, lo cual genera una avalancha de electrones provocando la destrucción del diodo. Las polarizaciones mencionadas anteriormente se pueden observar con más facilidad en la Figura 01.

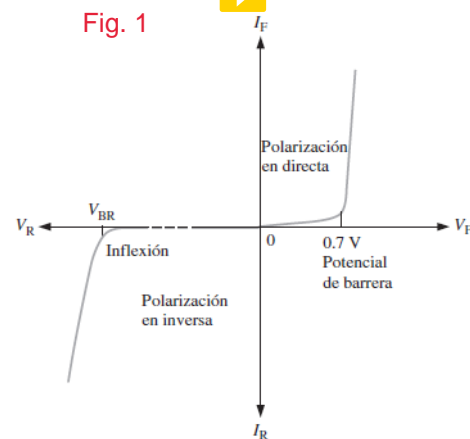


Figura 01: Curva característica Voltaje (en x)- Corriente (en y) para un diodo.

Figura tomada del libro: Dispositivos electrónicos
Tomas Floyd p.24

2.1. Circuitos de medición

Para la medición de la curva característica del diodo se hace uso del circuito de medición presente en el instructivo de laboratorio.

Para el caso del circuito de medición para la polarización directa se hace uso del circuito mostrado en la **Figura 02**, en el cual se hace uso de una resistencia de 330 Ω y el diodo 1N941. El valor de la fuente de voltaje V_s se variará desde los 0.45 V hasta 1 V, de esta forma se planea obtener la curva característica del diodo

tomando los valores del voltaje de la resistencia V_{R1} y de la corriente I_s .

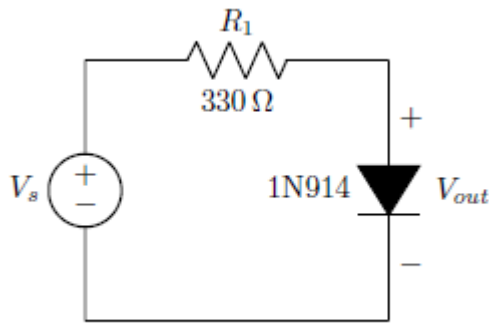


Figura 02: Circuito de medición para polarización directa. Figura tomada del instructivo del laboratorio.

Por otro lado, para el circuito de medición para la polarización inversa se hace uso de circuito mostrado en la Figura 03, en el cual se observa que se hace uso de una resistencia R_2 de 1MΩ y el diodo 1N914.

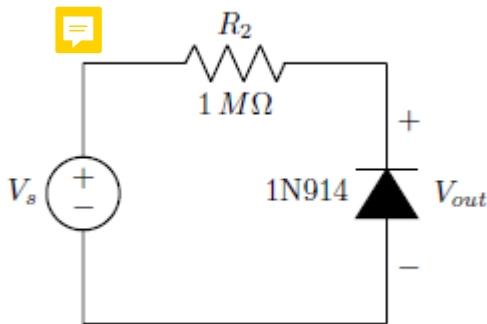


Figura 03: Circuito de medición para polarización inversa. Figura tomada del instructivo del laboratorio.

Como se puede observar, en el circuito de medición para la polarización inversa mostrado en la Figura 03, se debe de colocar una resistencia de un valor grande para evitar que el diodo llegue a un voltaje de ruptura y evitar que el mismo se dañe por la avalancha de electrones que se produce en el diodo al llegar al punto mencionado anteriormente, además de esto al ser una resistencia de un valor alto la corriente que fluye a través del circuito será una corriente muy pequeña.

2.2. Simulaciones

Para las simulaciones que se muestran en este apartado se hace uso del software Multisim. Dentro del mismo se utilizan instrumentos de medición como lo es el multímetro para este apartado.

Para los valores del primer set de mediciones en el cual se solicita medir los valores de las resistencias que

se deberán de usar se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 01.

Tabla 01: Valores de resistencia Utilizados

Componente	Valor requerido	Valor medido
R_1	330 Ω	330 Ω
R_2	1 MΩ	1M Ω

Seguido de realizar esta medición se procede a realizar el cálculo de la curva característica del diodo 1N914, tomando como base la medición del voltaje en Forward del diodo cuando $V_f = 0.45$ y se detiene cuando $V_f = 0.8$, la corriente que pasa a través del diodo se calcula mediante el uso de la ley de ohm tomando en cuenta la caída de tensión presente en la resistencia V_{R1} y el valor de esta. Los datos obtenidos para este apartado se muestran en la Tabla 02.

Tabla 02: Resultados Simulados para obtener la curva característica del diodo 1N914, cuando esta polarizado en directa.

V_f (V)	V_{R1} (V)	I_f (A)
0.45	1.14×10^{-3}	3.44×10^{-6}
0.5	1.21×10^{-2}	3.67×10^{-5}
0.55	8.30×10^{-2}	0.00025158
0.6	5.18×10^{-1}	0.00156904
0.65	2.27	0.00688182
0.7	6.34	0.01920303
0.75	12.6	0.03811515
0.8	20.4	0.06172121

Con los datos mostrados anteriormente en la Tabla 02 se genera la grafica que se muestra en la Figura 04, en la cual se muestra en el eje Y la corriente I_f y en el eje X se muestra el voltaje V_f .

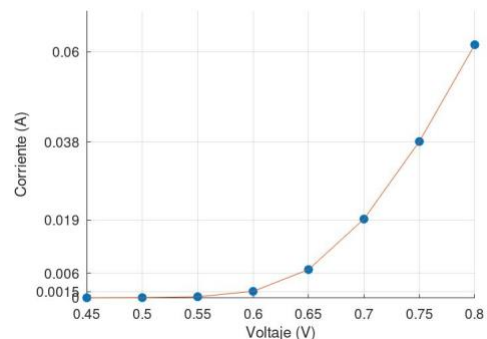


Figura 04: Grafico de la corriente que pasa a través del Diodo vs la caída de tensión en el mismo, según los datos simulados que se muestran en la Tabla 02.

Seguido de esto se deben de sacar los valores de voltaje para la resistencia V_{R2} para cuando el Diodo este

en polarización en inversa, para este set de mediciones el voltaje de la fuente V_s inicia en un valor de $V_s = 5V$ y termina en un valor de $V_s = 15V$, como en las instrucciones previamente indicadas se medirá la caída de tensión en la resistencia V_{R2} y luego mediante el uso de la ley de Ohm se calcula la corriente de reversa I_R . Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 03.

Tabla 03: Resultados simulados para obtener la curva característica del diodo 1N914 cuando esta polarizado en inversa.

V_s	V_{R2}	I_R
5	3.33E-09	3.33E-15
10	6.63E-09	6.63E-15
15	9.93E-09	9.93E-15

Como se puede observar en la Tabla 03, según aumenta el voltaje de la fuente V_s aumenta la corriente que desea pasar a través del diodo, esto se puede interpretar como que el diodo cada vez se acerca más al voltaje de ruptura que se muestra en la Figura 01. A continuación en la Figura 05 se muestra una grafica de los datos mostrados en la Tabla 03.

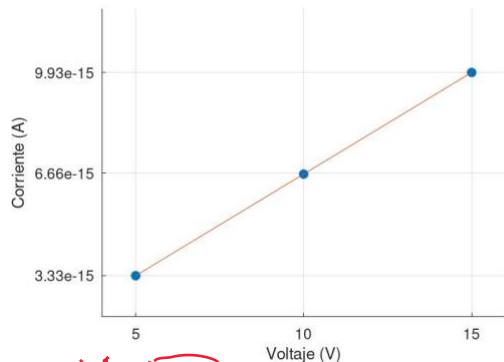


Figura 05: Gráfico de la corriente que pasa a través de la resistencia vs la caída de tensión en la misma, según los datos simulados que se muestran en la Tabla 03.

2.3. Resultados experimentales

Para los resultados experimentales los cuales se obtienen en el laboratorio de Electrónica Analógica del Tecnológico de Costa Rica se obtienen los siguientes datos.

Primeramente, para el caso de la medición del voltaje de la resistencia V_{R1} que se muestra en la Figura 02 y el cálculo de la corriente I_f por medio de la ley de ohm se hace uso de una fuente de poder la cual se observa en el esquemático como V_s y un multímetro tanto para medir el valor de V_f como para medir el valor de V_{R1} .

Los datos adquiridos por este medio se anotan en la Tabla 04, la cual comienza desde que el diodo 1N914

presenta un $V_f = 0.45V$ hasta que el mismo presenta un valor de $V_f = 0.8V$.

Tabla 04: Resultados experimentales para obtener la curva característica del diodo 1N914 cuando esta polarizado en directa.

V_f (V)	V_{R1} (mV)	I_f (mA)
0.45	1.02E-02	3.09E-05
0.5	3.05E-02	9.25E-05
0.55	8.37E-02	2.54E-04
0.6	0.2418	7.33E-04
0.65	0.6314	1.91E-03
0.7	1.5764	0.00477697
0.75	3.6267	0.01099
0.8	7.5595	0.02290758

Con los resultados obtenidos en la Tabla 04 se realiza la grafica que se muestra en la Figura 06 en la cual se puede observar

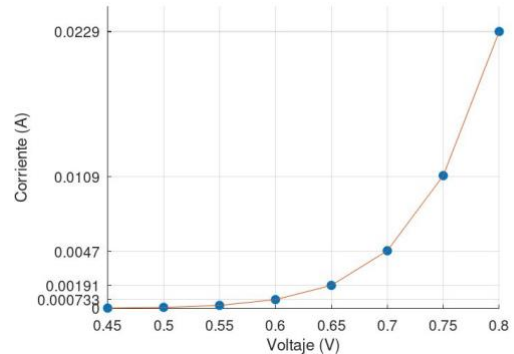


Figura 06: Gráfico de la corriente que pasa a través del Diodo vs la caída de tensión en el mismo, según los datos experimentales que se muestran en la Tabla 04.

Finalmente, para este apartado se deben de obtener los cálculos para el circuito de la Figura 03, en donde se debe variar el valor de la fuente de alimentación V_s de un valor $V_s = 5V$ hasta $V_s = 15V$, esto con el objetivo de hacer llegar al diodo al voltaje de ruptura y observar la parte izquierda de la grafica que se presenta en la Figura

01. Los resultados obtenidos para este apartado se presentan en la Tabla 05.

Tabla 05: Resultados experimentales para obtener la curva característica del diodo 1N914 cuando esta polarizado en inversa.

V_S	V_{R2}	I_R
5	4.00E-03	4.00E-09
10	5.12E-03	5.12E-09
15	6.12E-03	6.12E-09

Con los datos mostrados en la Tabla 05 se genera la grafica que se muestra en la Figura 07, la cual presenta la curva característica del diodo cuando se encuentra en su región Inversa.

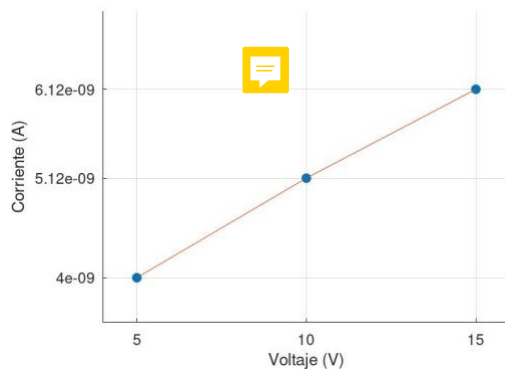


Figura 07: Gráfico de la corriente que pasa a través de la resistencia vs la caída de tensión en la misma, según los datos simulados que se muestran en la Tabla 05.

2.4. Análisis de resultados

Para el caso de las mediciones realizadas para el experimento cuando el diodo se encontraba conduciendo en directa se muestran los porcentajes de error en la Tabla 06.

Tabla 06: Porcentajes de error a la hora de relacionar los valores obtenidos mediante simulación en la Tabla 02 y los valores experimentales los cuales se encuentran en la Tabla 03.

% Error V_{R1}	% Error I_f
7.99	7.99
1.52	1.52
8.38×10^{-03}	8.38×10^{-03}
5.33×10^{-01}	5.33×10^{-01}
7.22×10^{-01}	7.22×10^{-01}
7.51×10^{-01}	7.51×10^{-01}
7.12×10^{-01}	7.12×10^{-01}
6.29×10^{-01}	6.29×10^{-01}

Por otro lado, se tiene para las mediciones realizadas cuando el diodo se encontraba en su región inversa se presentan en la Tabla 07 los porcentajes de error de esta, siendo porcentajes tan alto debido al modelo del diodo que se tiene en el simulador empleado para este laboratorio.

Tabla 07: Porcentajes de error a la hora de relacionar los valores obtenidos mediante simulación en la Tabla 04 y los valores experimentales los cuales se encuentran en la Tabla 05.

% Error V_{R2}	% Error I_{R2}
1.20×10^6	1.20×10^6
7.71×10^5	7.71×10^5
6.16×10^5	6.16×10^5

Se puede concluir en general que las mediciones obtenidas y las graficas mostradas en las Figuras 04, 05, 06 y 07 presentan similitudes en sus formas mas no en sus valores, pues como se aprecia en la Tabla - son mayores de los permitidos en un informe de ingeniería.

Presentando en el caso de las Figuras 04 y 05 una gran variabilidad en su corriente I_f mientras que en las Figuras 06 y 07 se presenta una discrepancia entre los resultados simulados y los obtenidos de forma experimental en el laboratorio tanto a nivel de voltajes como de corrientes.

Al tomar el grafico de la Figura 04 y cambiar la escala del eje Y por una escala logarítmica podemos apreciar la nueva curva generada la cual se muestra a continuación en la Figura 08. En la sección de anexos se agregara la grafica para los datos teóricos en este apartado se mostrara solamente la obtenida con los datos experimentales.

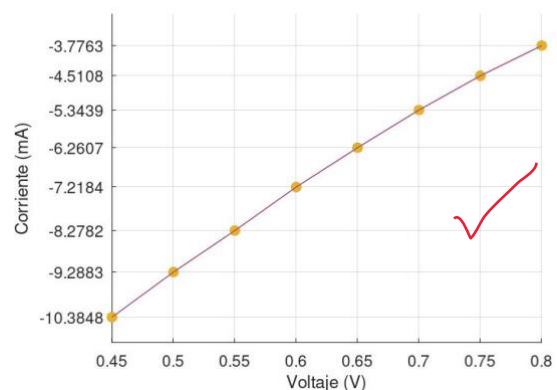


Figura 08: Gráfico de la corriente en escala logarítmica vs la caída de tensión en el Diodo 1N914.

Como se logra observar en la Figura 08 al escalar el eje Y del grafico de la Figura 06 se obtiene la corriente

que pasa por la resistencia de $330\ \Omega$, como se puede notar la gráfica no es perfectamente lineal pero si da una buena tendencia a tener una tendencia típica de un resistor.

Además de esto como podemos ver en la Figura 09 se observa como al unir los datos de la Tabla 04 y los datos de la Tabla 05 ambos de carácter experimental. Se obtiene una curva característica del diodo 1N914, se han omitido los valores exactos de la grilla por que los mismos eran ilegibles dados a la escala actual del grafico.

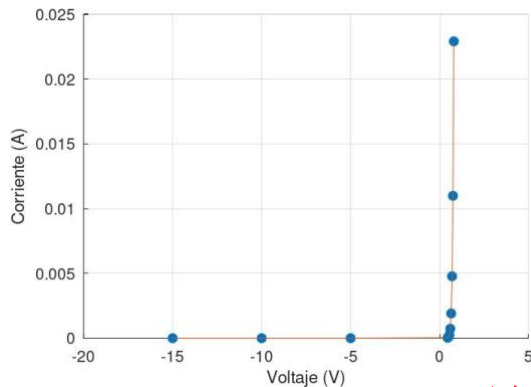


Figura 09: Gráfica del punto de operación del diodo 1N914 obtenida a partir de los valores experimentales mostrados en las Tablas 04 y 05.

3. GRAFICANDO LA CURVA CARACTERÍSTICA DE UN DIODO CON EL OSCILOSCOPIO

Para graficar la curva característica de diodo se deben de hacer uso de la función X/Y plot del osciloscopio, al hacer uso de esta función el eje Y nos mostrara la corriente que está circulando por el circuito de medición y el eje X nos mostrara la caída de voltaje en el Diodo, para efectos de esta parte del laboratorio se continúa haciendo uso del diodo 1N914, pero además de

esto también se hace uso de un diodo Zener 1N4733A, un diodo LED Verde y uno Rojo.

3.1. Circuitos de medición

Para realizar la gráfica de la curva característica de los diodos mencionados anteriormente se hará uso del circuito que se muestra en la Figura 02.

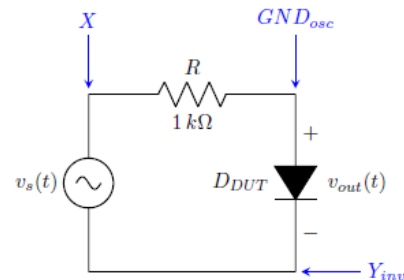


Figura 10: Circuito de medición para la gráfica de la curva característica de los diodos.

Figura tomada del instructivo del laboratorio.

3.2. Simulaciones

Para la elaboración de las gráficas simuladas se hace uso el modo XY del osciloscopio del software

Multisim, así como de los distintos componentes que se solicitan para esta etapa del laboratorio.

3.2.1 Simulación con el diodo 1N914

En el caso de la simulación realizada para el diodo 1N914 se obtiene la curva característica que se muestra en la Figura 11.

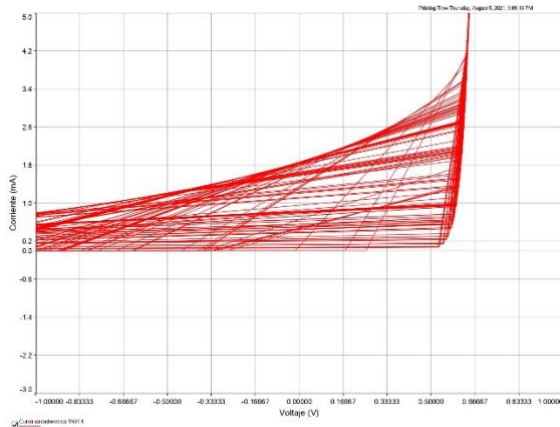


Figura 11: Curva simulada para el diodo 1N914.

Como se pudo observar en la Figura 11 la curva simulada del diodo 1N914 tiende a un voltaje de 0.667 V.

3.2.2 Simulación con el diodo Zener 1N4733A

Por otro lado, para el diodo Zener 1N4733A se obtiene la curva característica que se muestra en la Figura 12, en la cual se puede apreciar tanto cuando el diodo se encuentra trabajando en su región Directa como cuando el mismo se encuentra en su región Inversa.

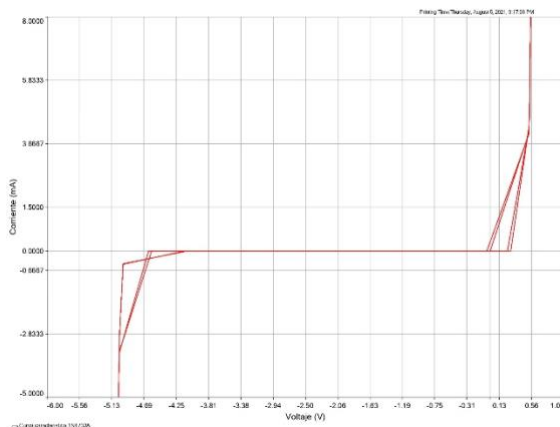


Figura 12: Curva simulada para el diodo Zener 1N4733A.

Como se pudo observar en la Figura 12 la curva del diodo Zener 1N4733A tiende a un voltaje de 0.56V cuando se encuentra operando en su región

directa y un voltaje de -5.13V cuando se encuentra en su región inversa.

LED

3.2.3 Simulación con el diodo ~~Led Rojo~~

Para la simulación de la curva característica del diodo ~~Led Rojo~~ se puede apreciar la curva característica que es mostrada en la Figura 13.

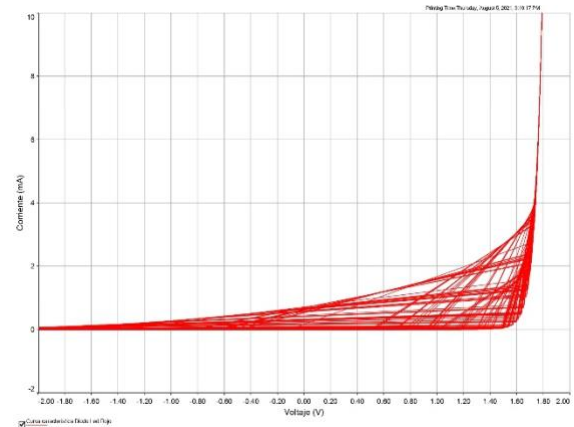


Figura 13: Curva simulada para el diodo ~~LED Rojo~~.

Como se observó en la Figura 13 la curva característica del diodo ~~LED Rojo~~ tiende a un voltaje de 1.8V.

3.2.4 Simulación con el diodo ~~Led Verde~~

Finalmente, para la simulación de la curva característica del ~~Diodo Led Verde~~ se obtiene la Figura 14, la cual presenta la curva característica del diodo en cuestión.

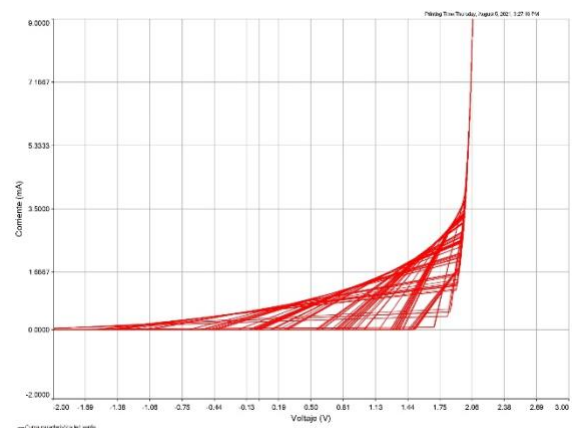


Figura 14: Curva simulada para el diodo LED Verde.

Como se pudo observar en la Figura 14 la curva del diodo LED Verde tiende a un voltaje de 2.06V.

3.3. Resultados experimentales

Para la toma de datos experimentales se hace uso del ~~Osciloscopio~~, en el cual el canal X se encarga de medir la caída de tensión del ~~Diodo~~ y el canal Y se encarga de medir la corriente que pasa atraves de la

mayoría del circuito, al ser una resistencia de 1KΩ los valores de la corriente se deberán de escalar por la relación $\frac{1}{1000}$ dando los valores de corriente en el orden de los mA.

3.3.1 Experimento con el diodo 1N914

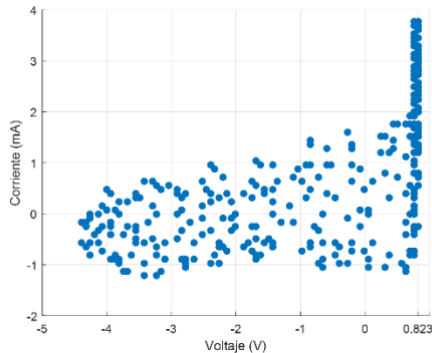


Figura 15: Curva simulada para el diodo 1N914.

Como se pudo observar en la Figura 15 la curva del diodo 1N914 tiende a un voltaje de 0.823.

3.3.2 Experimento con el diodo Zener 1N4733A

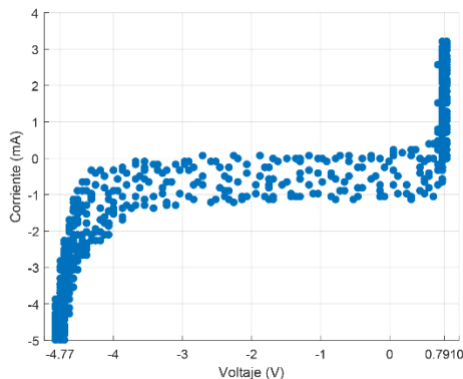


Figura 16: Curva simulada para el diodo Zener 1N4733A.

Como se pudo observar en la Figura 16 la curva del diodo Zener 1N4733A tiende a un voltaje de 0.7910V cuando se encuentra operando en su región

directa y un voltaje de -4.77V cuando se encuentra en su región inversa.

3.3.3 Experimento con el diodo LED Rojo

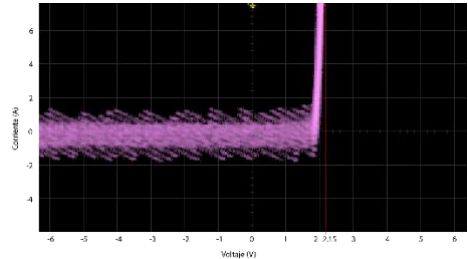


Figura 17: Curva simulada para el diodo LED Rojo.

Como se pudo observar en la Figura 17 la curva del diodo LED Rojo tiende a un voltaje de 2.15V.

3.3.4 Experimento con el diodo LED Verde

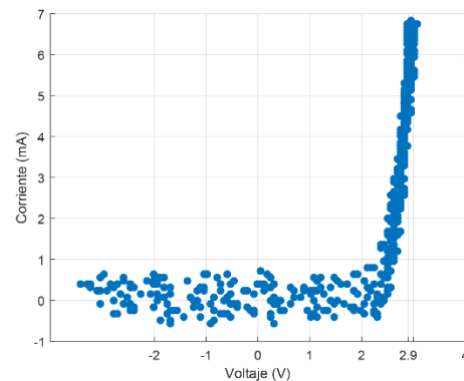


Figura 18: Curva simulada para el diodo LED Verde.

Como se pudo observar en la Figura 18 la curva del diodo LED Verde tiende a un voltaje de 2.9V.

3.4. Análisis de resultados

Para el caso de la comparación de las Figuras 11 y 15 las cuales representan la curva característica del diodo 1N914 se puede encontrar un porcentaje de error del 23.38%.

Por otro lado, al analizar las graficas obtenidas para el diodo Zener las cuales se presentan en las figuras 12 y 16 se determina un porcentaje de error del 41.25% para la región Directa y de 7.017% para la región inversa.

Analizando las figuras 13 y 17 las cuales representan las curvas características para el Diodo LED Rojo se determina un porcentaje de error del 19.44%.

Finalmente, con las figuras 14 y 18 las cuales representan la curva característica del Diodo LED Verde se obtiene un porcentaje de error del 40.77%.

Es mas que notable que los resultados obtenidos en el laboratorio de forma experimental distan por un amplio margen de los resultados obtenidos por medio de las

simulaciones realizadas tanto en LTSpice como en Multisim.

Uno de los mejores porcentajes de error fue en el caso del diodo Zener en el cual se obtiene un 7.07% para la rectificación inversa.

4. CONCLUSIONES

Se logró determinar de forma satisfactoria las curvas características de los diodos estudiados en este laboratorio, además de lograr contrastar sus valores experimentales con los valores simulados.

Además, se pudieron determinar los alcances que tiene polarizar el diodo en la forma que sea requerida para las aplicaciones necesarias, ya sea funcionando como una especie de válvula eléctrica permitiendo o no el paso de señales de trabajo.

5. RECOMENDACIONES

Se sugiere editar los valores generales del diodo con el cual se ha trabajado en este laboratorio por lo cual de esta forma se reduce el margen de error a la hora de contrastar los resultados teóricos con los experimentales.



6. REFERENCIAS

[1] B.Razavi, "Fundamentals of microelectronics", John Wiley & Sons. 2021.

Adaptado por:
Ing. José Miguel Barboza Retana, para los cursos de laboratorio.
Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
2021.



Nota:80