

# Caracterización de diodos. Rectificadores de media y onda completa.

MAXIMILIANO INAFUKU

maxi-46@hotmail.com

ERNESTO PETINO

ernesto.atmo@gmail.com

IGNACIO POGGI

ignaciop.3@gmail.com

Grupo 8 - Laboratorio 3, Cátedra Bilbao - Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

27 de febrero de 2017

## Resumen

En este trabajo se armó un circuito electrónico simple para medir la resistencia de una lámpara incandescente. Se analizaron los datos obtenidos con el programa Origin 8.5 y se realizaron ajustes lineal, cuadrático y cúbico. Se encontró que el mejor ajuste para los datos obtenidos es el cuadrático con sus parámetros libres ( $R^2 = 0,99999$ ), dado que la resistencia de la lámpara se ve afectada por la intensidad de corriente que la atraviesa, así como también la temperatura de su filamento y la del ambiente.

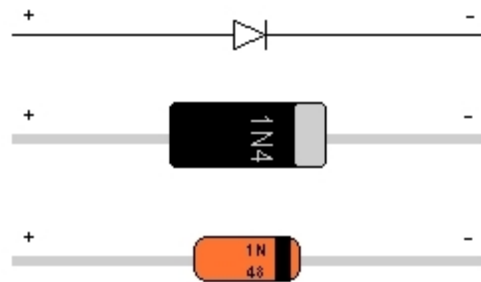
## 1. Introducción

El diodo es un dispositivo de dos terminales que permite el paso de la corriente en una sola dirección. Los más utilizados actualmente son los diodos semiconductores y Zener (Figura 1).

Cuando se somete al diodo semiconductor a una diferencia de tensión externa, puede polarizarse de forma directa o inversa. En la polarización directa, la batería disminuye la barrera de potencial, permitiendo el paso de la corriente de electrones a través de la unión; es decir, el diodo polarizado directamente funciona como un conductor, cuando se supera un cierto voltaje umbral. En el caso de la polarización inversa, el polo negativo de la batería se conecta a la zona p y el polo positivo a la zona n, lo que hace aumentar la zona de carga, y la tensión en dicha zona hasta que se alcanza el valor de la tensión de la batería.

Otro tipo de diodo estudiado es el diodo Zener. Estos se emplean para producir una tensión entre sus terminales muy constante y relativamente independiente de la corriente que los atraviesan. Normalmente, polarizados en forma inversa no permite prácticamente el pasaje de corriente, pero al alcanzar una determinada tensión (tensión Zener), se produce un aumento de la cantidad de corriente que lo atraviesa, manteniendo la tensión entre sus

terminales prácticamente constante.



**Figura 1:** Clases de diodos estudiados. De arriba hacia abajo: diagrama de un diodo, diodo semiconductor y diodo Zener.

El modelo utilizado para caracterizar al diodo es el de Shockley, el cual permite aproximar el comportamiento del mismo en la mayoría de los circuitos. La ecuación que relaciona la intensidad de corriente y la diferencia de potencial es [?]:

$$I = I_S(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1) \quad (1)$$

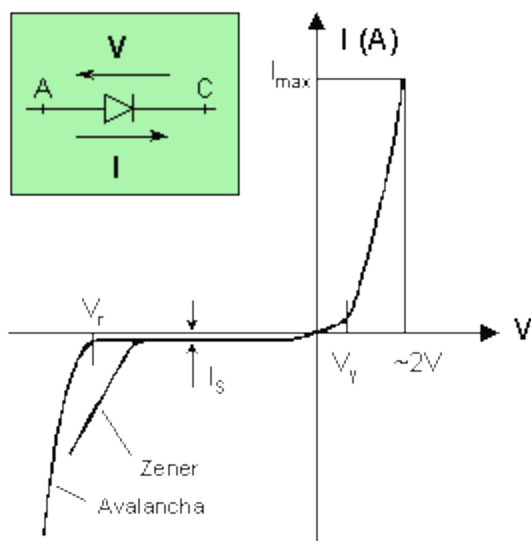
donde

- $V_D$ : Tensión a través del diodo.
- $I_S$ : Intensidad de corriente de saturación que se establece al polarizar inversamente el diodo ( $\sim 10^{-12}$  A).

- $V_T$ : Tensión térmica ( $\sim 25 \text{ mV}$  a  $25^\circ\text{C}$ ). Se define como  $\frac{kT}{q}$ , donde  $k$  es la constante de Boltzmann,  $T$  la temperatura y  $q$  la carga del electrón.
- $n$ : Factor de calidad.

La ecuación (4) da lugar a una curva característica (Figura 2) con los siguientes parámetros:

- $V_u$ : Tensión umbral. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente. Sin embargo, cuando la tensión externa supera la tensión umbral, la barrera de potencial desaparece.
- $I_{max}$ : Intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse.
- $V_r$ : Tensión de ruptura. A partir de un determinado valor de la tensión, el diodo comienza a conducir también en polarización inversa.



**Figura 2:** Curva característica de un diodo según el modelo de Shockley.

### Rectificadores de media onda y onda completa.

Los rectificadores eléctricos son los circuitos encargados de convertir la corriente alterna en corriente continua. Los más habituales son los contruidos con diodos. Los dos tipos de rectificadores estudiados en este trabajo son los rectificadores de media onda y los rectificadores de onda completa.

Los rectificadores de media onda funcionan haciendo pasar la mitad de la corriente alterna a través de uno o más diodos, convirtiendo en este paso dicha mitad de la corriente alterna en corriente eléctrica directa. Estos rectificadores no son muy eficientes porque sólo convierten la mitad de la corriente alterna en corriente directa; por lo tanto, solo un diodo es necesario para su funcionamiento.

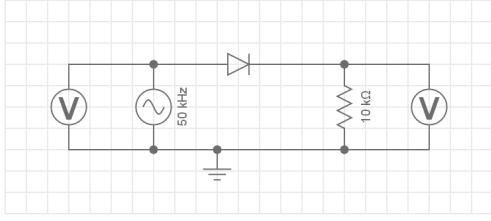
Los rectificadores de onda completa son más complejos que los rectificadores de media onda, pero también son mucho más eficientes. Estos generalmente utilizan cuatro diodos para funcionar (puente de diodos), haciendo pasar la corriente alterna a través de dicho puente, obteniendo un terminal positivo y otro negativo, característico de la corriente directa.

## 2. Dispositivo experimental

Los instrumentos de laboratorio utilizados fueron:

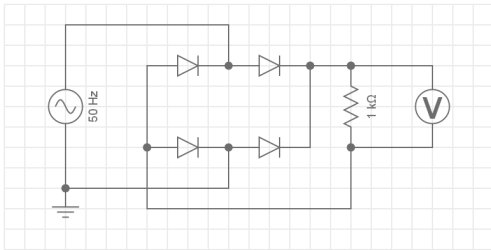
- Diodos Schottky (1N 4007 LD)
- Diodo Zener
- Osciloscopio Tektronix 1052-B (Rótulo: OSC-067)
- Transformador conectado a línea.
- Resistencias varias
- Capacitores varios

Para poder caracterizar el voltaje umbral del diodo, es necesario conocer la caída de potencial y la intensidad que pasan por el mismo. Con el objetivo de hallar estos datos se armó el circuito que se muestra en la Figura 3, donde se utilizó como voltímetro al osciloscopio y la fuente alterna, es el transformador conectado a línea. Esta configuración fue la misma tanto para la caracterización del Schottky como la del diodo Zener. Los datos se recogieron en la computadora conectando el osciloscopio a la misma por medio de un USB y se utilizó el programa OpenChoice Desktop.

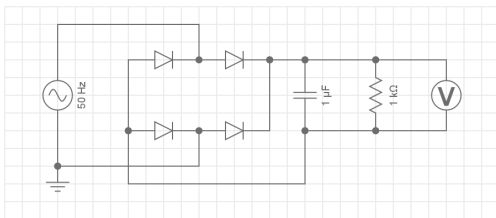


**Figura 3:** Esquema del circuito realizado para la caracterización del diodo.

Para la segunda parte de la experiencia, se armó un puente de diodos como el que se muestra en la Figura 4. Esta vez, la parte del circuito de interés fue cómo era el voltaje que pasaba por la resistencia de carga, por lo que se colocó allí el osciloscopio y se observó el voltaje en función del tiempo. Luego para una última experiencia se modificó levemente el circuito anterior, agregando un capacitor en paralelo a la resistencia de carga (Figura 5), y se observó allí que ocurría con la caída de potencial.



**Figura 4:** Esquema del circuito realizado del rectificador de onda completa.

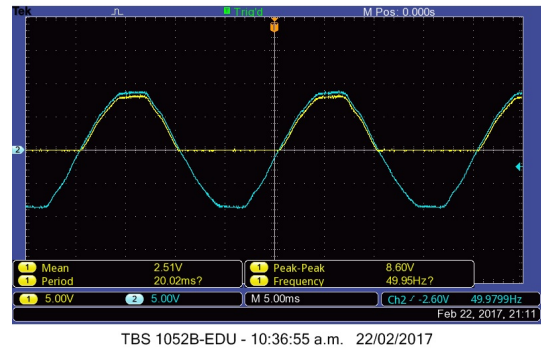


**Figura 5:** Esquema del circuito realizado, agregando un capacitor al rectificador de onda completa.

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Caracterización de diodos Schottky y Zener

Lo primero que se puede apreciar en el osciloscopio es que la caída de potencial de la resistencia es nula cuando la fuente de alterna tiene un potencial negativo, indicando que la corriente circulando por la resistencia era nula. Y cuando el voltaje entregado por la fuente es positivo, si se logra observar una diferencia de potencial no nula en la resistencia (figura 2). Por este motivo el nombre de esta configuración es rectificador de media onda, ya que "permite el paso de media onda".



**Figura 6:** Captura de pantalla obtenida por el osciloscopio, con el diodo Schottky. En amarillo la caída de potencial de la resistencia y en azul el voltaje entregado por la fuente alterna

Con los datos de la caída de potencial en la resistencia y el voltaje otorgado por el transformador conectado a la red de línea se obtuvieron la intensidad que circulaba por el diodo y la caída de potencial del mismo por medio de las ecuaciones:

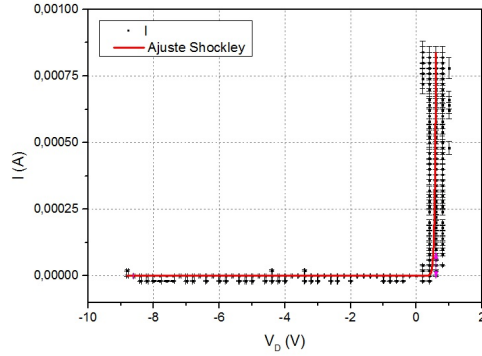
$$I = \frac{V_R}{R} \quad (2)$$

$$V_D = V - V_R \quad (3)$$

Siendo la resistencia utilizada en este circuito de unos  $10K\Omega$ .

Al graficar la intensidad en función de la caída de potencial en el diodo, se puede observar que a voltajes negativos (polarización inversa

respecto al diodo) la intensidad es prácticamente nula, mientras que luego de pasar una cierta tensión umbral,  $V_u$ , el diodo se comporta casi como un conductor, aumentando la corriente que pasa por este de forma considerable (figura 7). Se hizo un ligero cambio respecto al modelo de Shockley original, que fue denominar a  $V_T \cdot n = V_{Teff}$  ya que al realizar el ajuste, estos dos parámetros son indistinguibles.



**Figura 7:** Gráfico de la intensidad circulante por el diodo en función de su caída de potencial.

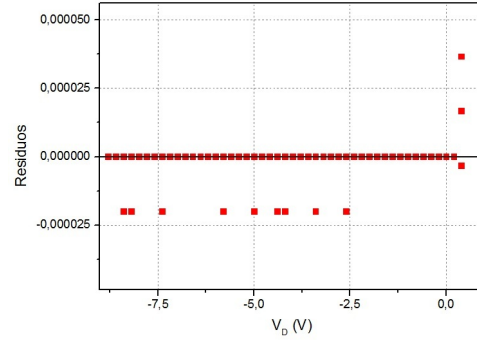
La determinación de dicho  $V_u$  es arbitraria, pero se suele tomar como criterio, el voltaje al cuál la intensidad es de 1mA. Ajustando la curva obtenida con el modelo de Shockley los parámetros obtenidos se muestran en la tabla 1. Se estima entonces, con los parámetros obtenidos del modelo que  $V_u \approx 0,6V$ . Cabe destacar que esta es sólo una estimación ya que el alto error en el parámetro  $I_S$  no permitió obtener este valor con exactitud. El  $R^2$  no es muy favorable, con lo que muchos datos no son explicados correctamente por el modelo, pero el alto valor obtenido del F-valor indica que es improbable que el ajuste haya sido aleatorio. El modelo utilizado tuvo una gran complicación para ajustar los datos, debido a que este era muy sensible a los valores del  $V_D$  en cuánto comenzaba el crecimiento exponencial.

**Cuadro 1:** Ajuste de Shockley

$I(V_D) = I_S \cdot (e^{\frac{V_D}{V_{Teff}}} - 1)$	
$I_S$	$5E - 11 \pm 2E - 9$
$V_{Teff}$	$0,040 \pm 0,006$
$R^2$	0.5
F-valor	2700

En el gráfico de los residuos se puede ver que

estos están discretizados debido a la digitalización del instrumental utilizado. En general se observa que para valores bajos, las desviaciones son negativas, y se llega a observar que en los últimos valores, donde se observa el comportamiento exponencial del ajuste, los residuos aumentan (Figura 8).



**Figura 8:** Gráfico de los residuos obtenidos por el ajuste con el modelo de Schottky.

El otro diodo estudiado fue el llamado diodo Zener, cuyas características en polarización directa son análogas a las del diodo Schottky, pero que en polarización inversa se comporta de manera distinta ( $V < 0$ ).

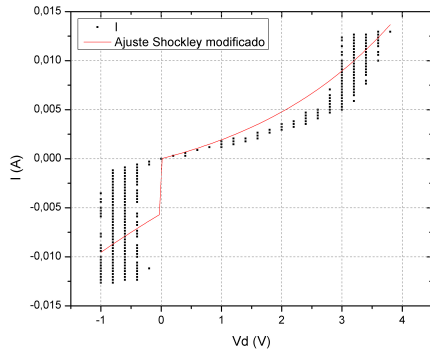
Cuando el diodo está polarizado inversamente, una pequeña corriente circula por él, llamada corriente de saturación  $I_S$ , esta corriente permanece relativamente constante mientras se aumenta la tensión inversa hasta que el valor de ésta alcanza  $V_Z$ , llamada tensión Zener ( $V_Z = -0,8 V$  en este caso), para la cual el diodo entra en la región de colapso, donde la corriente empieza a incrementarse rápidamente.

Se observó que en esta región, pequeños cambios de tensión producían grandes cambios de corriente. Al realizar el ajuste, se vio que el modelo de Shockley ajustaba correctamente la zona donde el diodo se encuentra polarizado directamente; pero no donde el diodo Zener muestra su comportamiento particular, por lo tanto se buscó una leve modificación a dicho modelo para tratar de aproximar dicha zona:

$$I = \begin{cases} I_S(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1) & \text{si } V_D \geq 0 \\ I_S(-e^{\frac{-V_D - V_Z}{nV_T}} + e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1) & \text{si } V_D \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Nuevamente, se obtuvieron la intensidad que circulaba por el diodo y la caída de potencial del mismo por medio de las ecuaciones (2) y (3), solo que en este circuito la resistencia utilizada fue de  $680 \Omega$ .

Analizando la curva del diodo zener se ve que conforme se va aumentando negativamente el voltaje aplicado al diodo, la corriente que pasa por el aumenta muy poco (aprox 1,2 mA). Pero una vez que se llega a un determinado voltaje, llamada voltaje o tensión de Zener ( $V_Z$ ), el aumento del voltaje (siempre negativamente) es muy pequeño, pudiendo considerarse constante, como puede verse en la Figura 9.



**Figura 9:** Gráfico de la intensidad circulante por el diodo Zener función de su caída de potencial.

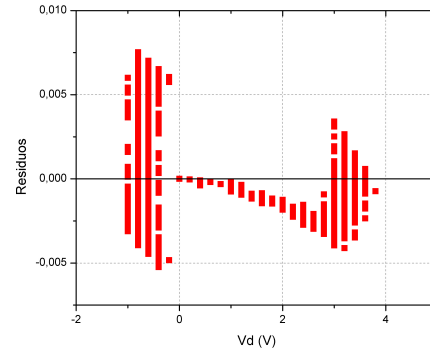
Ajustando la curva obtenida con el modelo de Shockley modificado (figura X), los parámetros obtenidos se muestran en la tabla 2. que conforme se va aumentando negativamente el voltaje aplicado al diodo, la corriente que pasa por él aumenta muy poco ( $\sim 1,2 \text{ mA}$ ). En este caso, el valor de  $R^2$  mejoro mucho con respecto al diodo Schottky, con lo cual gran parte de los datos son explicados correctamente por el modelo, además de que la cifra obtenida del F-valor indica que es improbable que el ajuste haya sido aleatorio. En este caso también cabe destacar que el modelo utilizado tuvo una gran complicación para ajustar los datos, debido a que este era muy sensible a los valores de

$V_d$  y  $V_Z$  en cuanto comenzaba el crecimiento exponencial.

**Cuadro 2:** Ajuste de Shockley modificado para el diodo Zener. Nuevamente,  $nV_T = V_{Teff}$ .

$I(V_d) = I_S \cdot (e^{\frac{V_D}{V_{Tee}}} - 1)$	
$I_S$	$411E - 5 \pm 6, 53E - 5$
$V_{Teff}$	$2,594 \pm 0,030$
$R^2$	0.905
F-valor	11871

En el gráfico de los residuos se observa que para valores bajos, las desviaciones son negativas, y se llega a observar que en los últimos valores, tanto para los valores negativos y positivos de  $V$ , donde se observa el comportamiento exponencial del ajuste, los residuos aumentan (Figura 10).



**Figura 10:** Gráfico de los residuos obtenidos por el ajuste con el modelo de Shockley modificado para el diodo Zener.

### 3.2 Rectificadores de onda completa y observación del Ripple

En esta segunda parte del experimento se realizó un análisis más bien cualitativo de un rectificador de onda completa y del fenómeno del Ripple. Se armó entonces el puente de diodos y se observó en el osciloscopio como variaba la caída de potencial en función del tiempo (figura ??).

## 4. Conclusiones

## 5. Referencias

- [1] E. M. Purcell, *Electricidad y Magnetismo - Berkeley Physics Course Vol. 2*, Editorial Reverté S.A., 2da edición, Barcelona (1988), pág. 124
- [2] E. M. Purcell, *Electricidad y Magnetismo - Berkeley Physics Course Vol. 2*, Editorial Reverté S.A., 2da edición, Barcelona (1988), pág. 124
- [3] E. M. Purcell, *Electricidad y Magnetismo - Berkeley Physics Course Vol. 2*, Editorial Reverté S.A., 2da edición, Barcelona (1988), pág. 123
- [4] <http://goo.gl/lu3XiA>
- [5] <http://goo.gl/hgNeq0>
- [6] <http://goo.gl/B1IRc2>