4. DIODOS DE SEMICONDUCTOR.

1) OBJETIVOS

El propósito de la práctica es analizar el comportamiento del diodo en los circuitos electrónicos. En primer lugar se determinarán experimentalmente las curvas características de un diodo rectificador y de un diodo Zener, que relacionan la diferencia de potencial y la intensidad en dichos componentes. A partir de estas curvas se obtendrán los parámetros que caracterizan a dichos diodos.

2) INTRODUCCIÓN

La denominada unión **p-n** se consigue dopando de forma diferente dos zonas de un mismo cristal de semiconductor: una zona tipo **p** mediante átomos aceptores de electrones, y otra de tipo **n** mediante átomos donadores de electrones. En la primera los huecos serán los portadores mayoritarios, mientras que en la segunda lo serán los electrones.

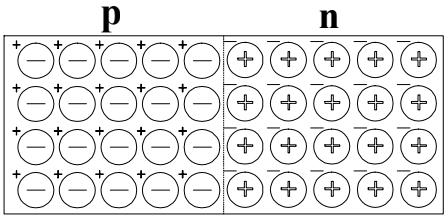

Figura 1.- Unión **p-n**.

Al existir diferentes concentraciones de electrones y huecos en las dos zonas del cristal, se iniciarán procesos de difusión tendentes a uniformizar las concentraciones, que supondrán un movimiento de huecos de la zona **p** a la **n**, y de electrones de la zona **n** a la **p**. Este movimiento en sentido contrario de electrones y huecos hace que en la unión de ambas zonas se encuentren ambos tipos de portadores de carga, con lo que en la unión se incrementarán las recombinaciones, desapareciendo pares electrón-hueco, y dejando al descubierto la carga de los iones que han formado los átomos dopantes. De esta forma se crea lo que se denomina zona de transición, formada por iones negativos en la zona **p**, y por iones positivos en la zona **n**.

Estas distribuciones de carga originan un campo eléctrico en el sentido de la zona **n** hacia la **p** (de positivo a negativo), campo que se opone al movimiento de difusión de electrones (cargas negativas sobre las que aparecerán fuerzas electrostáticas en sentido contrario al campo, de la zona **p** a la **n**, en sentido contrario al de su difusión, de la zona **n** a la **p**) y huecos (cargas positivas sobre las que aparecerán fuerzas electrostáticas en el mismo sentido que el campo, de la zona **n** a la **p**, en sentido contrario al de su difusión, de la zona **p** a la **n**). Así, la difusión produce las distribuciones de carga, y éstas se oponen a la difusión. En el equilibrio tendremos cuatro zonas: la zona **p** y la zona **n**, separadas por la zona de transición dividida en una parte con carga positiva junto a la zona **n**, y otra parte negativa junto a la zona **p**.

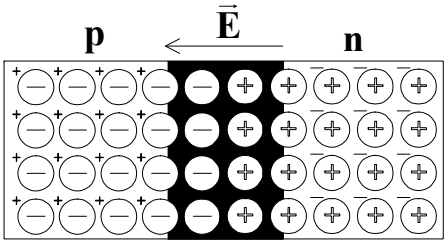

Figura 2.- Zona de transición en la unión **p-n**.

En esta situación, la corriente eléctrica que se origina por el movimiento de electrones y de huecos será la siguiente:

- Los electrones mayoritarios de la zona **n** que se mueven por difusión hacia la zona **p**, de los que solo una pequeña parte tendrá energía suficiente para atravesar la zona de transición, y que dan lugar a la corriente I_{nd}.

- Los huecos mayoritarios de la zona **p** que se mueven por difusión hacia la zona **n**, de los que solo una pequeña parte tendrá la energía suficiente para atravesar la zona de transición, y que dan lugar a la corriente I_{pd}.

- Los electrones minoritarios de la zona **p** que se mueven por efecto del campo E hacia la zona **n**, y que dan lugar a la corriente I_{ne}.

- Los huecos minoritarios de la zona **n** que se mueven por efecto del campo E hacia la zona **p**, y que dan lugar a la corriente I_{pe}.

La corriente total que atraviesa la zona de transición será la suma de todas las corrientes anteriores, y deberá ser cero cuando el cristal se encuentre en circuito abierto:

$$I = I_{nd} + I_{pd} + I_{ne} + I_{pe} \tag{1}$$

Al colocar un diodo en un circuito eléctrico podemos encontrarnos con dos posibilidades: que conectemos la zona **p** del diodo a mayor potencial que la **n**, lo que se denomina polarización directa, o que la zona **n** del cristal esté a mayor potencial que la **p**, lo que se denomina polarización inversa.

En polarización directa aplicamos un campo exterior con el que estamos favoreciendo el movimiento de difusión de los portadores mayoritarios. La zona de transición se reducirá ya que la desaparición de electrones y huecos por recombinación se ve compensada con la entrada de nuevos electrones y huecos del circuito, y, por lo tanto, a los portadores mayoritarios les será más fácil atravesar la barrera. Así, tendremos en el diodo una corriente debida, prácticamente, a la difusión de electrones y huecos, $I \approx I_{nd}+I_{pd}$, ya que la corriente debida a los portadores minoritarios es muy reducida. Una vez superado y anulado el campo eléctrico de la zona de transición, el movimiento de difusión no tendrá ninguna oposición, a excepción de la resistencia óhmica del cristal.

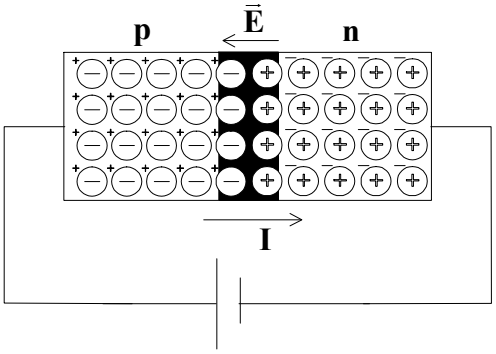

Figura 3.- Diodo en polarización directa.

En polarización inversa el campo exterior se suma al de la zona de transición, con lo que la oposición al movimiento de difusión de los portadores mayoritarios se incrementa. La zona de transición se hace mayor, y la única corriente que puede pasar la zona de transición es la de los portadores minoritarios, corriente de valor muy reducido $I \approx I_{ne}+I_{pe}=I_0 \approx 0$. Aunque aumentemos el valor del campo exterior la intensidad seguirá siendo muy débil, seguirá siendo la de los portadores minoritarios.

De este modo el efecto de un diodo en un circuito eléctrico lo podemos considerar como un **cortocircuito** cuando se polariza directamente, y como un **circuito abierto** cuando está en polarización inversa.

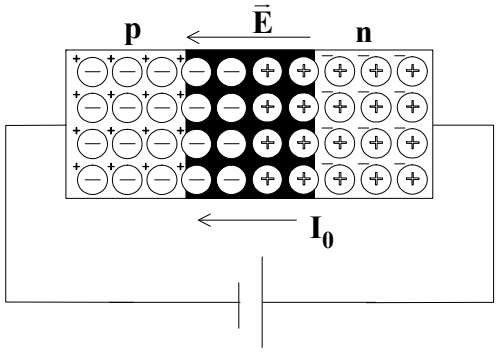

Figura 4.- Diodo en polarización inversa.

Curva característica de un diodo.

Se denomina curva característica de un diodo a la relación entre la intensidad de corriente que circula por él (I) y la diferencia de potencial entre sus terminales (V). La ecuación que las relaciona es la siguiente:

$$I = I_0 \left[e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right] \tag{2}$$

donde T es la temperatura, e la carga eléctrica del electrón y *k* la constante de Boltzmann, e I_0 la corriente máxima en polarización inversa.

En la Figura 5 hemos representado con escalas diferentes la corriente en polarización directa y en polarización inversa.

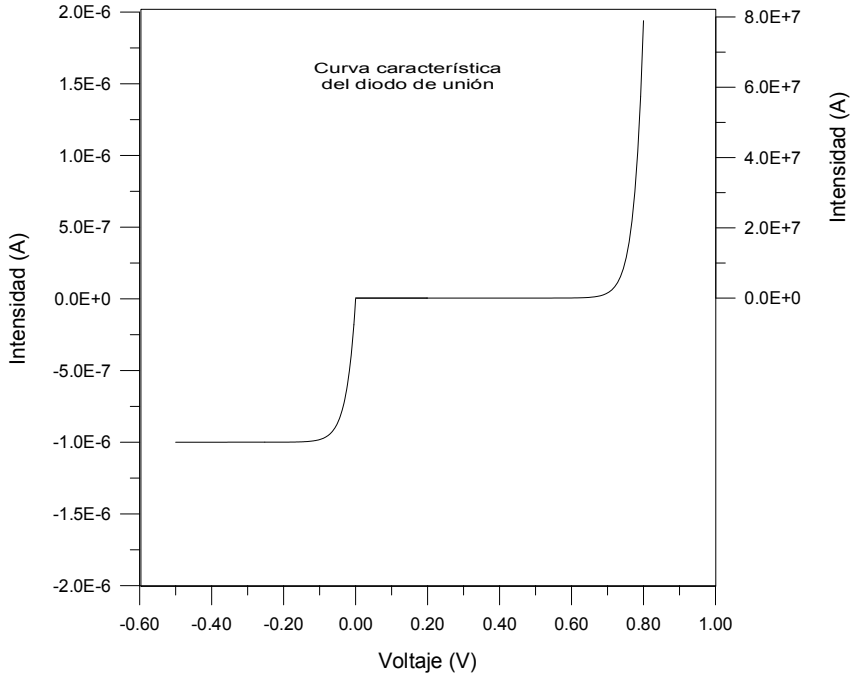

Figura 5.- Curva característica del diodo rectificador.

Este sería el resultado del que se denomina **diodo rectificador**, en el que un parámetro importante es la tensión umbral V_C, a partir de la que se considera el diodo, en polarización directa, como un conductor. El símbolo del diodo rectificador en los circuitos se muestra en la Figura 6.

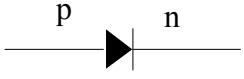

Figura 6.- Símbolo del diodo rectificador.

El **diodo Zener** tiene un comportamiento similar al rectificador cuando está en polarización directa, pero en polarización inversa el campo eléctrico aplicado puede tener energía suficiente como para arrancar los electrones de sus átomos rompiendo los enlaces covalentes, generándose un número muy elevado de electrones y de huecos, y dando lugar a intensidades de corrientes muy altas. Así el comportamiento en polarización inversa, a partir de determinados valores de tensión, es equivalente al comportamiento en polarización directa. En la Figura 7 se puede observar la curva característica de un diodo Zener, en la que el parámetro principal es la tensión Zener V_Z. El símbolo utilizado para el diodo Zener es el de la Figura 8.

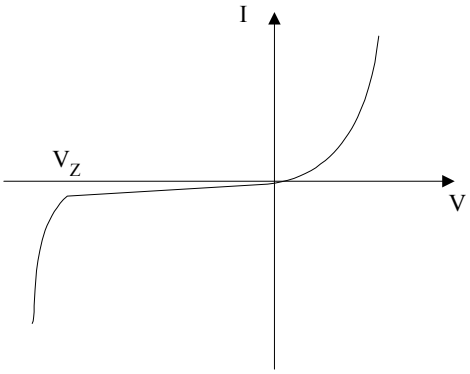

Figura 7.- Curva característica del diodo Zener.

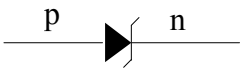

Figura 8.- Símbolo del diodo Zener.

3) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Pretendemos determinar experimentalmente la curva característica de un diodo y lo haremos siguiendo dos procedimientos diferentes:

a) En un primer procedimiento el dispositivo experimental es muy sencillo, consta únicamente de una fuente de tensión continua regulable conectada en serie con un amperímetro, una resistencia de R =100 Ω y un diodo. Conectamos también un voltímetro en paralelo con el diodo, tal como ilustra la Figura 9. Primero, conectado el diodo rectificador en polarización directa, variaremos la tensión ε suministrada por la fuente desde 0'1V hasta 4V, en intervalos de 0'1V, anotando en cada caso el valor de la intensidad I registrada en el amperímetro, el cual se situará en la escala de μA, y el valor de la diferencia de potencial V entre los terminales del diodo, registrado en el voltímetro. Seguidamente, se conecta el diodo en polarización inversa (es decir, se intercambian el polo + y el − de la fuente) y se toman de nuevo los valores del amperímetro y del voltímetro, correspondientes a los siguientes valores de la tensión ε suministrada por la fuente: 1, 1'5, 2, 2'5, 3, 3'5 y 4V. Finalmente, se ha de representar gráficamente, con alguno de los programas de representación gráfica disponible en los ordenadores del laboratorio, los valores de I frente a los de V.

El proceso anterior lo repetiremos con el diodo Zener. Las medidas en polarización directa serán las mismas que para el diodo rectificador, sin embargo en polarización inversa se medirá de 0,1 V hasta 5 V en intervalos de 0,1 V.

A partir de sus respectivas curvas características determinaremos la tensión umbral o característica para cada uno de ellos y, además, la tensión de ruptura para el caso del diodo Zener.

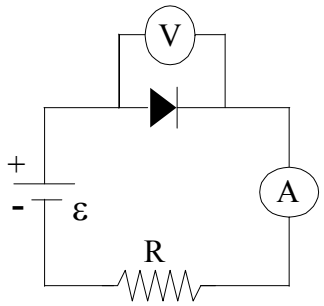

Figura 9.- Circuito para obtener la curva característica de un diodo.

b) En un segundo procedimiento cualitativo utilizaremos el osciloscopio como aparato de medida y el generador de señales con el que regularemos o limitaremos la ε del circuito, tal como muestra la Figura 10. Por el canal 1 ó X del osciloscopio mediremos la diferencia de potencial total aplicada al circuito y por el canal 2 ó Y mediremos la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia R (esta medida es directamente proporcional a la intensidad que recorre el circuito). Hay que hacer notar que las masas de las dos sondas, X e Y, han de ir conectadas a la masa del circuito. Se visualizará que la señal Y es una rectificación de la señal de entrada X (el diodo actúa como **rectificador**). Finalmente, pasando al **modo** de representación **XY** del osciloscopio (con la tecla *Main/Delayed*) visualizaremos la curva característica.

Posteriormente, actuando sobre el generador de señales, modificando el voltaje de la señal de entrada mediante el desplazamiento de la rueda de amplitud (partiendo de cero y ¡sin superar en momento alguno un voltaje total de 6V!). Se trabajará a una frecuencia de 50Hz y con una señal sinusoidal. Así podremos analizar su efecto sobre la curva característica y comprobar hasta qué valores de dicho voltaje un diodo Zener se comporta como rectificador. En este apartado anotaremos simplemente los valores de los voltajes umbrales o característicos determinados para los dos diodos disponibles y el voltaje de ruptura para el diodo Zener, y compararemos estos valores con los obtenidos en el apartado anterior.

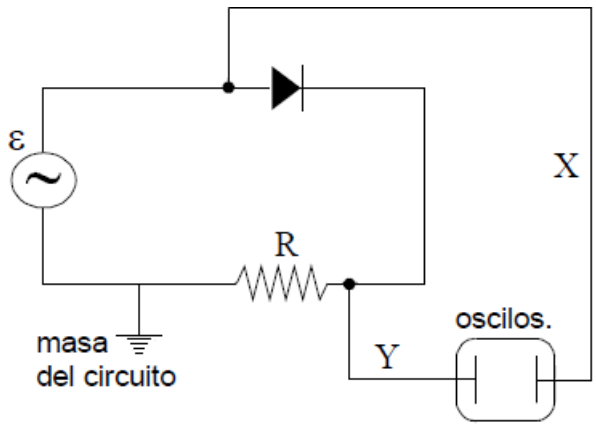

Figura 10.- Circuito para obtener la curva característica de un diodo con el osciloscopio.