

10.30972/fac.3306843

# Diseño y construcción de un relevador de curvas I-V para estudio de propiedades eléctricas de sistemas metal-semiconductor-metal

---

Toranzos, V.<sup>1</sup>, Valdez, L. <sup>2</sup>, y Ortiz, G.<sup>3</sup> (\*)

## Resumen

Considerando la respuesta lineal que se obtiene utilizando circuitos electrónicos operacionales de uso común en el mercado, presentamos el diseño y construcción de un dispositivo para obtener en forma eficiente gráficas de respuesta I-V en sistemas estratificados del tipo metal-dieléctrico. El componente principal es un microcontrolador ATMEGA 328 montado en una placa de desarrollo ARDUINO NANO ( $\mu$ C) [1]. Este dispositivo, que denominamos relevador, consiste en una fuente de tensión controlada desde el  $\mu$ C por modulación de ancho de pulso (PWM) con una precisión de 8 bits y máxima salida de 10 V, sensor de tensión de 10 bits y máximo de escala de 10 V y sensor de corriente de 10 bits con dos escalas manualmente seleccionables con valores máximos de 10 y 100 mA respectivamente. El relevador es operado por una computadora (PC) a través de la placa ARDUINO NANO conectado vía bus USB, tanto para el control de la fuente como para la adquisición de datos de tensión y corriente. Los datos de cada relevamiento son almacenados en un archivo de texto de la PC. Se muestran graficas de entrada y salida que comparadas con un multímetro de banco nos permiten verificar el funcionamiento del instrumento y su respuesta lineal.

**Palabras claves:** Electrónica, caracterización, diodos, instrumentos.

---

1. Departamento de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE). E-mail: victoranzos@gmail.com.

2. Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE).

3. Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE).

(\*) Cómo citar este artículo: Toranzos, V., Valdez, L., y Ortiz, G. (2023). Diseño y construcción de un relevador de curvas I-V para estudio de propiedades eléctricas de sistemas metal-semiconductor-metal. Revista Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica: claves para el desarrollo, 8(1), 43-49. <http://dx.doi.org/10.30972/fac.3306843>

## **Abstract**

*We consider the electronic linear response obtained using operational circuits frequently used in the market, we present some details of design and building for a device that allow us to obtain an efficient tracing of I-V plots response of metal-dielectric stratified media. Main component is the ATMEGA 328 microcontroller mounted in ARDUINO NANO ( $\mu C$ ) development board [1]. This device is made with a  $\mu C$  commanded power supply using a pulse wave modulated (PWM) signal of 8 bits precision and with 10 V maximum output. This device also has a voltage sensor of 10 bits and 10V maximum scale, and a current sensor with two manual switching scale with maximum values of 10 and 100 mA. The device is operated using a desktop PC through the ARDUINO NANO board connected via USB ports from which commands, voltage and current signal are transmitted. The output data are stored in a text file in the PC hard disk. We show input and output plots that compared with a bench multimeter allows us to verify the device performance and its linearity response.*

**Keywords:** *Electronics, characterization, diodes, instruments.*

## **Introducción**

Los dispositivos electrónicos se caracterizan en general por tener respuestas alinéales y comportamientos asimétricos respecto a su polarización. Es por este motivo que los fabricantes de dispositivos electrónicos caracterizan a los mismos mediante una gráfica I-V, la que forma parte de su hoja de datos. Por otro lado en el laboratorio de investigación es necesario muchas veces caracterizar eléctricamente a un dispositivo mediante su curva I-V, la cual se puede realizar de manera manual variando la tensión aplicada al mismo y midiendo la corriente. Este último procedimiento no sólo es tedioso y lento, sino que introduce una serie de errores debido a la intervención del operador en cada medida, además dado que cada medición lleva su tiempo existen variaciones en la temperatura del dispositivo a medir que conducen a variaciones de la corriente medida en cada punto. Dado que los dispositivos semiconductores pueden tener efectos de memoria debe recorrerse la gráfica I-V en ambos sentidos de polarización y realizando ciclos para observar su comportamiento. Por lo expuesto anteriormente, no cabe duda que un sistema automatizado de medición de curvas I-V es requerido en el laboratorio para caracterizaciones eléctricas. En el mercado existen instrumentos desarrollados a tal fin con excelentes características, sin embargo su precio es algo elevado por ser de uso específico. Esto motivó en desarrollo de un relevador I-V de uso general para exploración de curvas I-V en dispositivos de dos terminales, en especial se trabaja con sistemas de metal-aislante-metal en disposiciones tipo capacitor de caras planas paralelas.

## Materiales y Métodos

Un relevador elemental consta de una fuente de tensión variable y un conjunto de amperímetro-voltímetro para realizar las correspondientes medidas I-V. En la figura 1 se muestra esta disposición para relevar un dispositivo genérico.

En la figura 2 se muestra el circuito completo del relevador I-V desarrollado, el corazón de este diseño es un cuádruple amplificador operacional, se probó con los siguientes circuitos integrados (CI): TL084, LM324 y AD713, en todos los casos el comportamiento fue bueno sin embargo con el CI AD713 los errores de corrimiento (OFFSET)

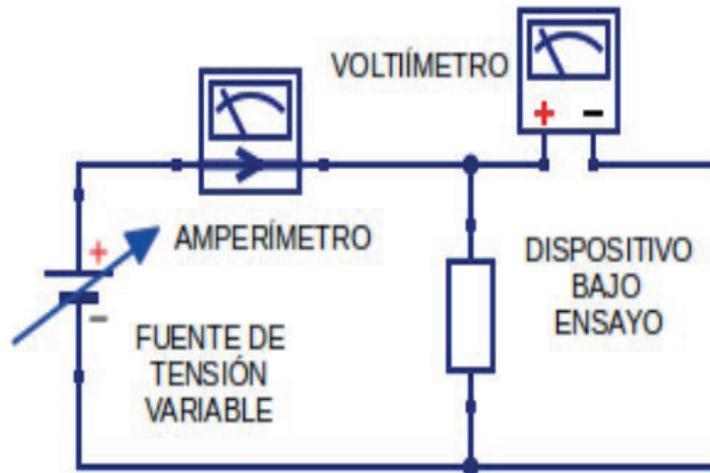


Figura 1. Arreglo circuital de fuente e instrumentos para realizar un relevamiento de curva I-V

son mucho menores. Para la fuente de alimentación se recurrió a la función de modulación de ancho de pulso (PWM) disponible en la placa ARDUINO a través del puerto D9 con umbrales de 0 a 5 V y con una precisión de 8 bits. Esta señal es integrada por un filtro RC de primer orden y luego amplificada tres veces con lo que se obtiene un valor de corriente continua de 0 a 15 Voltios con escalones de 60 mV. En la parte superior izquierda del circuito de la figura 2 se puede identificar el ingreso de la señal de la salida D9 del  $\mu\text{C}$ , el filtro RC y el amplificador correspondiente que utiliza los pines 1, 2 y 3 del CI. La etapa de potencia de esta fuente se realiza con un seguidor emisor compuesto por otra sección del CI (pines 5, 6 y 7) y un transistor bipolar BD139, que se muestra en la zona central superior de la figura 2. Por último, dado que la fuente requerida debe poder variar entre valores negativos y positivos, se incluyó un relevador para inversión de polaridad el que es accionado desde la salida D13 del  $\mu\text{C}$  mediante un transistor BC337, esto se muestra en la parte derecha de la figura 2. La medición de corriente se realiza mediante una resistencia serie de  $10\ \Omega$  y una sección del CI trabajando como un amplificador con ganancia (aproximada) de 50 o 5 veces, ajustable manualmente por una llave selectora. Este amplificador provee señal a la entrada analógica A1 del  $\mu\text{C}$ . Dado que la corriente medida crea una caída de tensión en la resistencia de  $10\ \Omega$  y esta es amplificada según la escala elegida con un límite máximo de 5 Voltios en la entrada del  $\mu\text{C}$  que tiene una precisión de 10 bits, el rango de corrientes que

se puede medir es de 0 a 10 mA con precisión de 10  $\mu$ A o de 0 a 100 mA con precisión de 100  $\mu$ A según la escala. Esta etapa del circuito se muestra en la margen inferior izquierda de la figura 2.

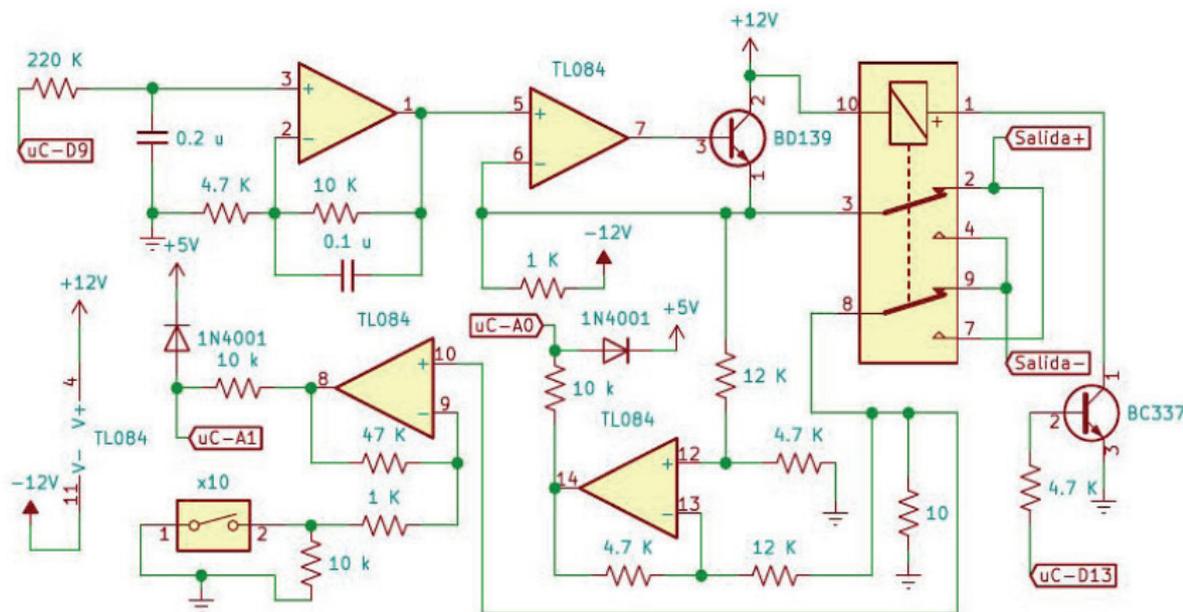


Figura 2. Circuito electrónico completo del relevador I-V

La medición de tensión se realiza en forma diferencial debido a que de otra manera no se contaría la caída de tensión en la resistencia de medición de corriente. Esto se realiza con una sección del IC (pines 12, 13 y 14) que provee una atenuación de 2,5 veces y alimenta la entrada analógica AO del  $\mu$ C, que tiene un umbral máximo de 5 V y una precisión de 10 bits. Esto permite medir tensiones de hasta 12,5 Voltios con precisión de 12 mV.

La programación del  $\mu$ C se realizó en entorno ARDUINO y el programa de adquisición para la PC se lo elaboró en lenguaje PERL.

### Resultados

El primer ensayo que se realizó consiste en medir la tensión de salida de la fuente variable mediante un voltímetro de banco de cuatro dígitos y realizar la gráfica correspondiente para hallar las constantes de proporcionalidad y evaluar linealidad. En la margen izquierda de la figura 3 se muestra esta gráfica con una carga de ensayo de 1000  $\Omega$ , lográndose idénticos resultados para otros valores de carga.

Para determinar el funcionamiento de los canales de tensión y corriente se relevaron resistores de diferentes valores de acuerdo a la escala elegida, para la escala de alta corriente (100 mA) se utilizó un resistor de 100  $\Omega$  mientras que para

la escala baja corriente se utilizó uno de  $1000 \Omega$ . Se midieron tensiones y corrientes mediante multímetros de banco de buena calidad y con estos valores se realizaron las gráficas de calibración para hallar las constantes de proporcionalidad y evaluar la linealidad de los canales de medida. A la derecha de la figura 3 se muestran las gráficas para las dos escalas de corriente de la relación entre la corriente de salida y el valor digital medido, además en otro eje se muestra la tensión de salida vs el valor digital medido.

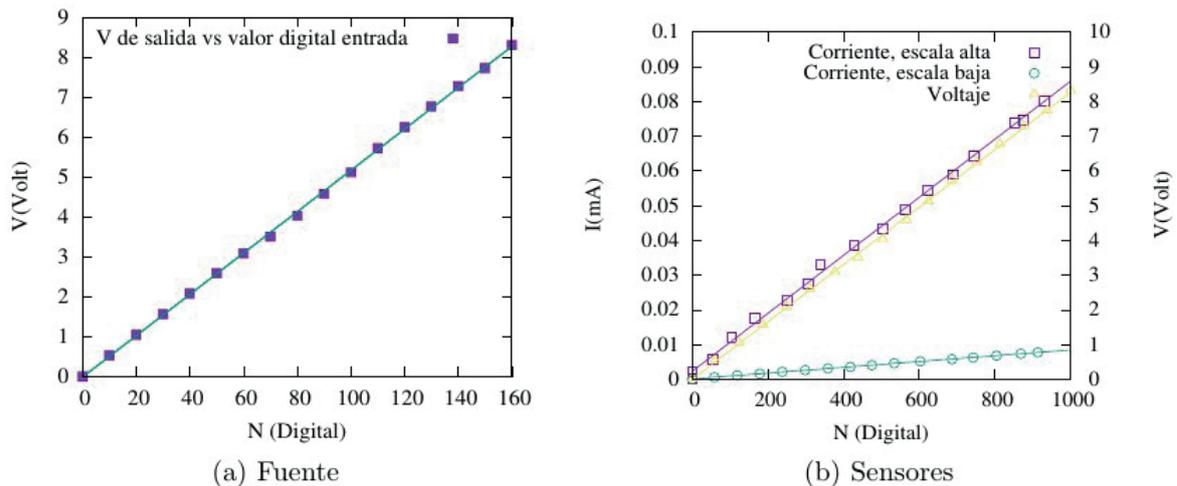


Figura 3: Izquierda: Valor digital vs salida en voltios de la fuente variable del relevador. Derecha: Valores de salida de tensión y corriente vs valores digitales registrados en los sensores correspondientes.

Una vez calibrados los canales de tensión y corriente se procedió a realizar el relevamiento de dispositivos conocidos. Para tener corrientes y tensiones similares en ambas polarizaciones, se conectaron dos diodos electroluminiscentes (LED) en anti-paralelo de manera que el cátodo de uno se ubique con el ánodo del otro. Intencionalmente se utilizaron dos colores, uno amarillo y otro verde para visualizar cuando se polariza cada uno. El led amarillo tiene una tensión de arranque ligeramente menor al verde lo que hace que a igual tensión de polarización tome mayor corriente. El programa de PERL para el control del relevador permite establecer valores mínimos y máximos de corriente y tensión durante el relevamiento de curvas, a su vez también se pueden realizar de manera continua curvas I-V tanto ascendentes como descendentes y ciclado. Esto último es muy interesante en dispositivos que evolucionan en el tiempo, que tienen efecto de memoria o que presentan histéresis. En la figura 4 se muestra el relevamiento de la disposición anteriormente explicada y constituida por los dos LEDs en anti-paralelo, iniciando el barrido de tensión desde cero voltios hasta 2,5 V, luego hasta cero nuevamente, de allí hasta -2,5 V y regresando a cero para finalizar el barrido. Para que pueda apreciarse la evolución del ciclo de barrido se graficó en tres coordenadas donde la tercera coordenada corresponde al número de medida

(de tensión y corriente) realizado y por lo tanto también proporcional al tiempo desde el inicio del barrido.

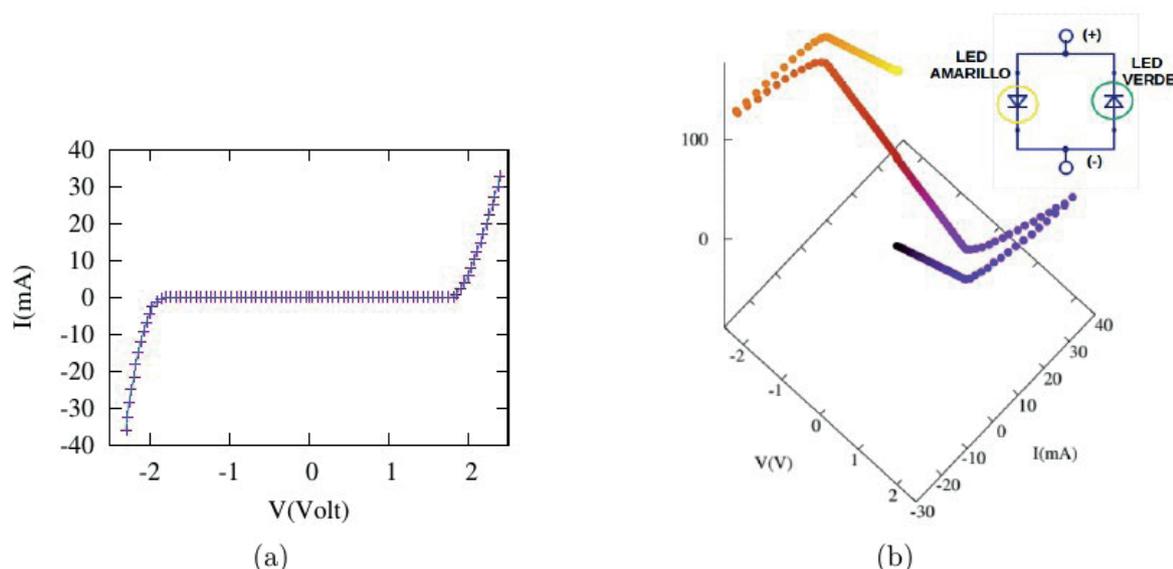


Figura 4: (a) Gráfica I-V de un arreglo de dos LEDs en anti-paralelo que se muestra en la parte superior derecha de la figura (b) donde también se grafica la curva I-V de este circuito, mostrando en el eje vertical el número de medición del par I-V realizado. El barrido de tensión tiene un recorrido 0-2,5-(-2,5)-0 de ida y vuelta que en 2D se ve como en (a) no visualizándose el doble trazado.

## Conclusión

El desarrollo aquí propuesto resulta en una herramienta de laboratorio de moderada precisión, con un error porcentual medio de 2 %. La misma es de gran utilidad por ser capaz de relevar en forma automática tanto para tensiones positivas como negativas y la posibilidad de hacer ciclados. Por otro lado también es una muy buena herramienta didáctica para cursos de electrónica y física. El rango útil de tensión es de  $\pm 10$  V con una precisión de 60 mV y el rango de corriente es de  $\pm 100$  mA con precisión de 100  $\mu$ A en la escala alta y de  $\pm 10$  mA con precisión de 10  $\mu$ A en la escala baja.

## Referencias

- [1] Arduino, S.A. (2015) Arduino LLC, 372.
- [2] Cedrón, R.A.G., Burgos, E.L.M., Toranzos V. J., Cabrera, J. A. G., y Ricciardi, E. J. (2022)- Diseño e implementación de un relevador de curvas IV con acceso remoto. Revista Argentina De Ingeniería. Disponible en <https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2022/06/Articulo3-RADI-19.pdf>

- [3] Firman, A., Toranzos, V. J., Busso, A. J., Cadena, C., y Vera, L. H. (2010) Sistema híbrido para la caracterización eléctrica de arreglos fotovoltaicos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14.
- [4] Firman, A. D., Vera, L. H., Toranzos, V. J., Cáceres, M. y Busso, A. J. (2016) Instrumento para la caracterización eléctrica de generadores fotovoltaicos. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 3:138–143.
- [5] T. Instruments. Datasheet lm324 (2015). Texas, EUA.
- [6] Luna, J. G. P., Coria, L. A. M., Iniesta, S. A., Xochimitl, S. J., y González, A. E. J. (2014). Modulo trazador de curvas para caracterizar elementos o dispositivos en la gama de nanoamperes. In SOMI Congreso de Instrumentación.
- [7] Pankove, J. and Berkeyheiser, J. (1968). Curve tracer that frees diode characteristics of internal resistance. *Review of Scientific Instruments*, 39(6):884–886.
- [8] D. TL084 (2001). General purpose j-FET quad operacional amplifiers.
- [9] Toranzos, V. J., Busso, A. J., Vera, L. H., and Cadena, C. (2009). Relevador portátil de curvas iv para arreglos de paneles fotovoltaicos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13.
- [10] Wall, L. et al. (1994) The perl programming language.