

Caracterización de dispositivos electrónicos de dos terminales utilizando Instrumentación Virtual Remota

Lisandra Pérez Roche, Jorge L. González Ríos, Ricardo Rodríguez Gómez, Enrique E. Valdés Zaldívar

RESUMEN / ABSTRACT

En este trabajo se presenta el diseño de un instrumento virtual, conjunto hardware-software, usado para la caracterización de dispositivos electrónicos de dos terminales, tales como resistores y diodos, de forma remota. La caracterización de un dispositivo consiste en la medición de pares ordenados (tensión, corriente) para el trazado de curvas de corriente en función de la tensión (característica I-V). El hardware del sistema consta de: un circuito acondicionador de señal y de excitación, una fuente de alimentación, una Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD) y una computadora personal a la que se conectan diferentes equipos clientes a través de una red TCP/IP. El software es un instrumento virtual programado en *LabVIEW 2015* y se ejecuta en la computadora. Mediante este se realiza el procesamiento de las señales asociadas a los dispositivos, adquiridas a través de la TAD, para la posterior presentación de los resultados. La programación realizada permite la ejecución y configuración del instrumento virtual de forma remota mediante una interfaz web. Se incluyó la posibilidad de salvar a la computadora del usuario los resultados de las mediciones como un fichero de texto. Para la validación del sistema, se compararon mediciones de diferentes dispositivos de dos terminales con sus valores teóricos y datos experimentales brindados por sus fabricantes.

Palabras claves: Característica I-V, Dispositivos electrónicos de dos terminales, Instrumento Virtual Remoto, *LabVIEW*

This paper presents the design of a remote virtual instrument, hardware-software set, used for the characterization of two-terminal electronic devices, such as resistors and diodes, with remote access capability. The characterization of a device consists of measurement of ordered pairs (voltage, current) for drawing current curves as a function of voltage (I-V characteristic). The hardware system consists of: a conditioning and excitation circuit, a power supply, a Data Acquisition Board (DAQ Board) and a personal computer to which different client computers connect through a TCP/IP network. The software is a virtual instrument programmed in LabVIEW 2015 and runs on the computer. This program performs the signal's processing associated to the devices, acquired through the DAQ Board, for the subsequent presentation of the results. The programming made allows the execution and configuration of the virtual instrument in a remote form through a web interface. The possibility to save measurement results at the user's computer as a text file was included. For the system's validation, different measurements of different two-terminal electronic devices were compared with its theoretical results and experimental data provided by their manufacturers.

Key words: *I-V characteristic, Two-terminal electronic devices, Remote Virtual Instrument, LabVIEW*

Characterizing two-terminal devices using Remote Virtual Instrumentation.

1. -INTRODUCCIÓN

La característica I-V de un dispositivo electrónico es la curva de la corriente en función de la tensión, que ofrece las propiedades del mismo como elemento de circuito y de las que pueden extraerse parámetros para su modelado. Estas se pueden obtener empleando un equipo caracterizador o trazador de curvas.

La caracterización de dispositivos electrónicos mediante curvas, parámetros y modelos es uno de los objetivos de la asignatura Electrónica Analógica y afines, que se imparte en las carreras de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, Ingeniería en Automática e Ingeniería Biomédica, de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Muchas veces sucede que algunos recursos destinados a la realización de actividades prácticas con los estudiantes están limitados. Esto es lo que sucede con los equipos de este tipo en el departamento ya que se cuenta con solo uno de estos debido al alto precio de estos en el mercado el cual oscila entre las centenas y los miles de dólares [1] – [3]. Realizar las mediciones con este caracterizador puede resultar un proceso lento y engorroso, debido a la gran cantidad de datos que se deben introducir para la construcción de las gráficas. Además, este caracterizador es analógico y por tanto tiene pocas prestaciones en cuanto a presentación y recuperación de la información. Sucede también que sería una gran cantidad de estudiantes el que lo emplearía y que su tiempo de uso estaría regido al horario docente. Todo esto trae como consecuencia que este tipo de mediciones no puedan ser realizadas en la asignatura de forma masiva a través de prácticas de laboratorio como se realiza tradicionalmente con otros temas. De ahí la necesidad de brindar una solución económica a los estudiantes mediante el diseño de herramientas y métodos alternativos que les permitan a estos desarrollar sus habilidades y reforzar los contenidos aprendidos.

Una de estas herramientas alternativas es la Instrumentación Virtual (IV) así como la Instrumentación Virtual Remota (IVR), con la que a través de diferentes métodos se pueden implementar aplicaciones cliente-servidor usando Internet o la web [4-12]. Esta herramienta permite la utilización de las PC (del inglés *Personal Computer*, Computadora Personal) y los diferentes dispositivos portátiles que pueden acceder a la red de la universidad (*smartphones*, tabletas, etc) como medio de acceso. En el caso de los métodos que emplean Internet, el cliente la utiliza para interactuar directamente con el Instrumento Virtual (VI, del inglés *Virtual Instrument*), lo que implica tener instalado tanto en el servidor como en los terminales clientes la aplicación que permita ejecutar el VI. En el caso de los que usan la web la interacción con los VI se realiza a través de páginas web que pueden contener texto, imágenes, videos u otros contenidos multimedia que usan como medio de transmisión Internet. Los métodos que emplean la web admite el uso de protocolos del nivel Aplicación para el desarrollo de la IVR, dentro de estos el más destacado es el HTTP (del inglés *Hypertext Transfer Protocol*, Protocolo de transferencia de Hipertexto), utilizado por los navegadores web en todos los sistemas operativos, por lo que con sólo uno de estos instalados en los dispositivos clientes se puede tener acceso al VI. Uno de estos métodos es la tecnología CGI (del inglés *Common Gateway Interface*, Interfaz de Entrada Común). Este método es el utilizado en esta aplicación.

Este trabajo se ha desarrollado para dar solución al problema anterior. Su objetivo es presentar el diseño de un instrumento virtual remoto haciendo uso de la tecnología CGI que permita caracterizar dispositivos de dos terminales y que brinde la posibilidad de almacenar las mediciones.

2. –CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE DOS TERMINALES

La característica I-V de los dispositivos de dos terminales (resistencias y diodos semiconductores) se obtiene variando la excitación, ya sea de tensión o de corriente (mediante una fuente variable de tensión o de corriente), impuesta al dispositivo de dos terminales y midiendo la corriente que circula por él (A: amperímetro) y la tensión entre sus terminales (V: voltímetro) como se muestra en la Figura 1. Estas mediciones constituyen los diferentes pares tensión-corriente usados para trazar la gráfica correspondiente.

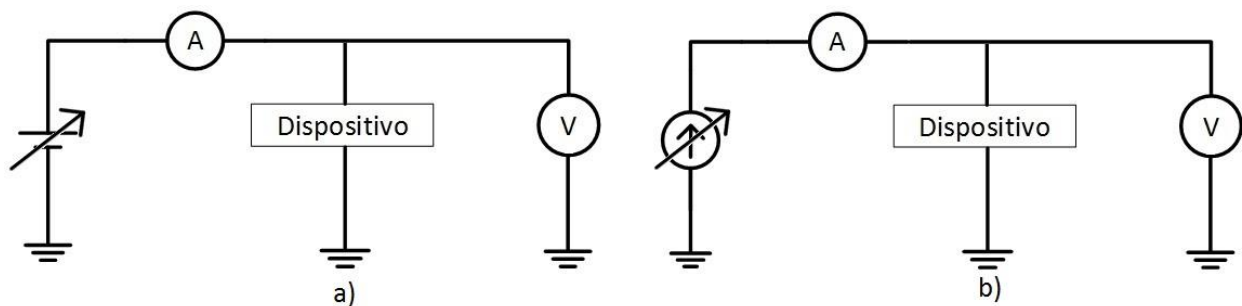


Figura 1

Modelo para la obtención de la característica I-V de dispositivos de dos terminales. a) Fuente de tensión variable como excitación. b) Fuente de corriente variable como excitación.

El caracterizador o trazador de curvas es un equipo electrónico que se basa en el principio de funcionamiento anterior y contiene, además, los bloques que posibilitan la visualización de la información y en algunos casos su almacenamiento. El sistema presentado utiliza el principio de funcionamiento de la Figura 1.a y se desarrolló mediante el empleo de la IVR.

3. –ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema diseñado utiliza el modelo cliente-servidor en el cual varios dispositivos clientes (PC o tabletas o *smartphones*) conectados en red pueden acceder a un servidor conectado a la misma red. En la Figura 2 se muestra la arquitectura básica del sistema, donde el servidor está formado por:

- PC
- Circuito acondicionador de señal y de excitación
- Fuente de alimentación
- Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD)
- DUT del inglés *Device Under Test*, Dispositivo Bajo Prueba, que en esta aplicación son componentes electrónicos de dos terminales a los que se les harán las mediciones.
- VI ejecutándose en la PC.

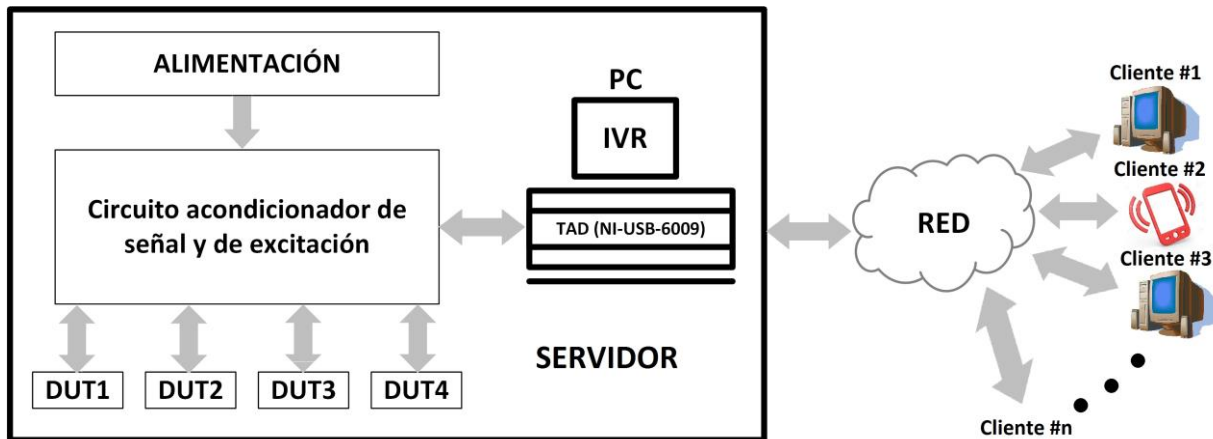


Figura 2

Arquitectura básica del sistema.

Este sistema permite realizar la caracterización de dispositivos electrónicos de dos terminales (resistencias, diodos semiconductores y diodos Zener) mediante el acceso a un servidor HTTP que cuenta con distintas páginas web, cada una de ellas con una función diferente. La configuración de la TAD y los experimentos (un experimento constituye la obtención de la característica I-V de un DUT) también se puede realizar de forma remota a través del servidor HTTP. Se incorporó además la posibilidad de que el usuario pueda salvar los datos de las mediciones realizadas en su dispositivo cliente para luego realizar el procesamiento de las mismas. En la PC servidor estará ejecutándose el VI remoto programado encargado del proceso de medición, así como de la presentación de los resultados. El circuito acondicionador se utiliza para adaptar las señales asociadas a la obtención de las curvas (estímulos y mediciones) en señales útiles. La fuente de alimentación brinda tensiones de DC (del inglés *Direct Current*, Corriente Directa) de +15 V y -15 V para polarizar los componentes que conforman el circuito acondicionador. La TAD actúa como interfaz entre la PC servidor y el circuito acondicionador de señal y de excitación.

4. –HARDWARE DEL SISTEMA

4.1.- TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta empleada es la NI-USB-6009 de *National Instruments* [13], la cual se comunica con la PC servidor mediante el puerto *USB* (del inglés *Universal Serial Bus*, Bus Universal en Serie). De los recursos que presenta esta tarjeta se emplearon: dos entradas analógicas configuradas en modo diferencial, una salida analógica, cuatro salidas digitales, y la referencia de tensión de 2.5 V.

4.2.- CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL Y DE EXCITACIÓN

La Figura 3 muestra el esquema eléctrico del circuito acondicionador de señal y de excitación diseñado para la medición de las curvas I-V de cuatro componentes electrónicos de dos terminales. El circuito está formado por los siguientes bloques: un

convertidor corriente-tensión con entradas flotantes (1/2 TLE2062), un amplificador y desplazador de nivel (INA118), cuatro conmutadores analógicos (HE721A0510) y cuatro seguidores de tensión (TLE2064).

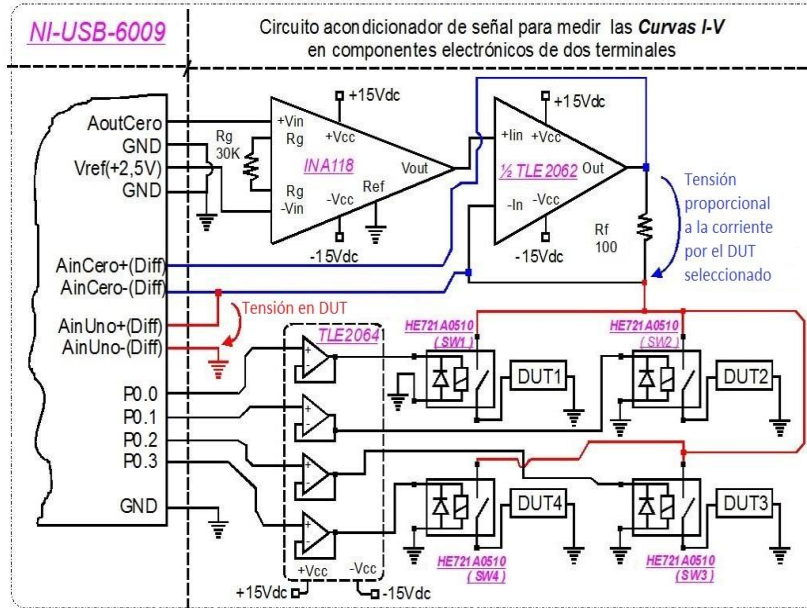


Figura 3

Esquema eléctrico del circuito acondicionador de señal y de excitación.

4.2.1.- CONVERTIDOR CORRIENTE-TENSIÓN

Las salidas y entradas de la TAD empleada entregan y adquieren solamente tensiones y en este diseño es necesario realizar también la medición de la corriente que circula por cada DUT. Esto se logra usando uno de los dos amplificadores operacionales del integrado TLE2062 [14] y el resistor R_F conectados como convertidor corriente-tensión como se muestra en la Figura 4. A través de este amplificador también se impone el estímulo al dispositivo.

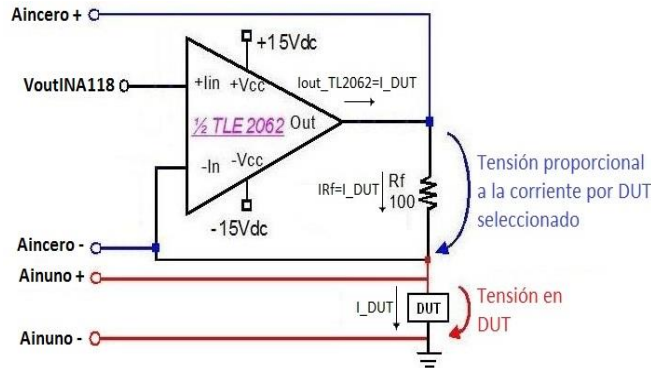


Figura 4

Convertidor corriente-tensión.

Como se muestra en la Figura 4 el amplificador usado como convertidor se conecta de forma tal que la tensión de excitación entra por el terminal no inversor. Esta tensión llega al DUT conectado al terminal inversor debido a la realimentación negativa, que produce el conocido cortocircuito virtual entre las entradas inversora y no inversora provocando que exista la misma tensión en ambos terminales. Con la resistencia (R_F) conectada entre el terminal de salida y el terminal conectado al DUT se obtiene la tensión proporcional a la corriente que circula por el dispositivo, poniéndose de manifiesto la conversión corriente-tensión. La resistencia R_F empleada es una resistencia de precisión de película metálica RC5555Y de 100 Ω y una tolerancia de 0.1 %. Con una de las entradas analógicas de la TAD configurada en modo diferencial se mide la tensión que se cae en el DUT y con la otra configurada también en modo diferencial se adquiere la tensión proporcional a la corriente que circula por el DUT. Esta tensión es convertida a corriente por software utilizando la Ley de Ohm. Los valores medidos constituyen los pares ordenados tensión-corriente usados para trazar la curva.

4.2.2.– AMPLIFICADOR Y DESPLAZADOR DE NIVEL

Según las especificaciones de la TAD NI-USB-6009 [13], sus salidas analógicas solamente generan valores de tensión en el intervalo de 0 a 5 V. Su empleo, directamente, solo permitiría obtener el comportamiento de un componente electrónico de dos terminales en los cuadrantes I y IV del plano I-V. Para lograr la generación de valores de tensión tanto positivos como negativos y obtener el comportamiento en los cuatro cuadrantes se emplea un desplazador de nivel. Este se configura además para que realice una amplificación de este rango para lograr obtener de la característica I-V incluso de los diodos Zener cuya tensión de ruptura por lo general es de más de 2 V

Como amplificador y desplazador de nivel se emplea el amplificador de instrumentación *INA118* [15]. Este bloque se conecta a la salida de la tarjeta para realizar la transformación de los valores de excitación antes de suministrárselos al convertidor corriente-tensión. Los valores de estímulo son proporcionados a través de una de las salidas analógicas de la TAD.

De las especificaciones del *INA118* [15] se obtiene que la ecuación general de la tensión de salida del amplificador es la mostrada en la ecuación (1):

$$V_o = G * (V_{in}^+ - V_{in}^-) \quad (1)$$

Donde V_o es la tensión de salida, V_{in}^+ y V_{in}^- constituyen la tensión de entrada por el terminal no inversor e inversor respectivamente y G la ganancia del amplificador y está definida por la ecuación (2).

$$G = 1 + \left(50 \text{ k}\Omega / R_g \right) \quad (2)$$

En la expresión anterior, el término 50 k Ω proviene de la suma de las dos resistencias de realimentación internas de los amplificadores usados para fabricar el amplificador de instrumentación y R_g es la resistencia externa usada para controlar la ganancia. Con la diferencia entre las entradas del amplificador y la ganancia, se logra el desplazamiento de nivel y la amplificación respectivamente necesarias en esta aplicación.

La tensión por el terminal no inversor (V_{in}^+), que constituyen los valores de estímulo, es la de salida de la tarjeta. Mientras que la tensión por el terminal inversor (V_{in}^-) es el valor de tensión a desplazar. Como el rango de salida es de 0 a 5 V para centrar el rango en 0 V el desplazamiento es de 2.5 V, para lo cual se utiliza este terminal de referencia de tensión de la tarjeta. Para realizar la amplificación se usa una resistencia R_g de 30 k Ω que, según (2) proporciona una ganancia de 2.66. El rango final es de -6.65 a 6.65 V y la ecuación de la tensión de salida del amplificador queda como en (3):

$$V_{OutINA118} = 2.66 * (V_{Aoutcero} - 2.5) \quad (3)$$

Donde $V_{OutINA118}$ es la tensión a la salida del *INA118* y $V_{Aoutcero}$ es la de la salida analógica de la tarjeta.

4.2.3.– CONMUTADORES ANALÓGICOS

Hasta este punto se logra la obtención de la curva de un solo DUT. Para lograr la medición de cuatro dispositivos se adiciona al circuito un bloque de cuatro conmutadores analógicos. Este bloque determina, a partir de una lógica de selección impuesta por las salidas digitales, qué DUT queda conectado al convertidor corriente-tensión.

Los conmutadores analógicos empleados están formados por cuatro relés del tipo HE721A0510 [16]. Estos relés presentan una bobina que se acciona con 5 V de DC, son del tipo simple polo simple tiro y presentan un contacto normalmente abierto. También, presentan un diodo supresor en paralelo con la bobina para limitar variaciones de tensión.

4.2.4.- SEGUIDORES DE TENSIÓN

Se incorpora además un bloque de seguidores de tensión. Estos se utilizan como *buffer* para que la corriente necesaria para activar los conmutadores sea aportada por estos y no por las salidas de la tarjeta. El circuito integrado *TLE2064* [14] dispone de cuatro amplificadores operacionales, los cuales se utilizan como seguidores de tensión uno para cada uno de los cuatro conmutadores usados. Este integrado pertenece a la misma familia de amplificadores operacionales que el integrado *TLE2062*.

5. – SOFTWARE DEL SISTEMA

El software programado presenta una estructura jerárquica de tres niveles fundamentales: medición, interfaz web y acceso remoto.

- Medición: En dependencia de los datos recibidos de la página web se generan en esta capa los estímulos necesarios para excitar a los dispositivos. Luego se envían a los terminales del dispositivo seleccionado y se obtienen los valores de

tensión y corriente necesarios para formar la característica I-V del mismo. Se confecciona un archivo compactado que contiene una imagen de la característica I-V y un fichero de texto con los resultados de las mediciones. Este archivo compactado se guarda en el servidor y puede ser descargado por el usuario a través de la página web. El formato del fichero de texto con las mediciones permite la lectura y edición del mismo mediante programas para el trabajo con hojas de cálculo (por ejemplo, *Microsoft Excel*), lo que facilita el procesamiento posterior de los datos. Esta capa incluye además la atención de los recursos de la TAD. La programación de la misma se realizó con el software *LabVIEW 2015*.

- Interfaz web: Permite a los usuarios introducir mediante diferentes páginas web los datos necesarios para realizar las mediciones y recibir los resultados y además realizar la configuración del hardware. Para crear las páginas web que conforman el instrumento se empleó el software *Artisteer*, herramienta de diseño basada en el lenguaje CSS (del inglés *Cascading Style Sheets*, Hojas de Estilo en Cascada). Este programa es usado para definir y crear la presentación de un documento estructurado escrito en HTML (del inglés *HyperText Markup Language*, Lenguaje de Marcas de Hipertexto). Con el apoyo del editor de texto *Notepad++* se realizaron modificaciones extras a estos códigos. Esta interfaz constituye el enlace entre el usuario y la capa de medición.
- Acceso remoto: Constituye básicamente un servidor HTTP que establece el proceso de intercambio de datos entre la interfaz web y la capa de medición a través de la red. Esta capa también fue programada utilizando *LabVIEW 2015*, adicionándole el módulo *Internet Developers Toolkit*. Con este *toolkit* se incorporan nuevas prestaciones que permiten administrar sitios web y utilizar la tecnología CGI, que es la escogida para desarrollar el acceso remoto en esta aplicación.

5.1. – PROGRAMACIÓN DE LA CAPA DE MEDICIÓN

Los requisitos fundamentales tomados en consideración para la programación de esta capa fueron:

- Los límites del barrido de tensión son definidos por el usuario a través de la página web, en la que dos de los datos de entrada son la tensión inicial y final deseadas.
- La medición se realiza en dependencia del tipo de dispositivo para optimizar la programación ya que la característica I-V de cada uno de los dispositivos es diferente.
 - ✓ En el caso de la resistencia como su característica I-V es lineal la variación entre un valor de estímulo y el siguiente es constante.
 - ✓ Para el caso del diodo rectificador la relación entre la tensión y la corriente no es lineal. Cuando está en conducción hay una gran variación de corriente para pequeñas variaciones de tensión, por lo que en la programación en esta región de trabajo se decidió que la diferencia entre dos valores de estímulo sea pequeña para no perder datos. Cuando no conduce, como la corriente es prácticamente constante, se usa un incremento mayor para no generar demasiados puntos innecesariamente.
 - ✓ Para el caso del diodo Zener además de las regiones de conducción y de no conducción análogas a las del diodo rectificador este tipo de diodo puede trabajar en la región de ruptura. En esta zona también hay una variación de corriente grande y poca variación de tensión y por tanto es necesario el uso de un incremento pequeño.
- Se estableció un límite máximo de 50 mA para la corriente de excitación, dado por la máxima corriente de salida de los amplificadores operacionales utilizados (80 mA) [14, 15]. El margen de 30 mA responde a la característica exponencial de los diodos, que implica grandes cambios de corriente. Si el intervalo de medición deseado provoca que la corriente que pasa por el dispositivo sea mayor o igual que el límite, habrá una parada en el proceso de medición independientemente de que se cubra o no dicho intervalo.
- Si el límite inferior del barrido es negativo y modularmente grande podría hacer circular por el dispositivo una corriente mayor que la corriente límite a la que se hizo referencia en el punto anterior. Si el barrido se realiza desde el límite de tensión mínimo hasta el máximo y se da esta situación, ocurrirá la parada por corriente y no se podrá obtener la curva de dicho dispositivo. Como consecuencia de esto se programó el barrido de 0 V hacia los positivos y de 0 V hacia los negativos. En ambos casos se mantiene la parada por corriente. Para todos los dispositivos 0 V implica 0 A por lo que no habrá ningún problema en cuanto a la parada por corriente al comenzar el barrido con este valor.

En esta capa se programaron dos VI fundamentales: uno para realizar la configuración del hardware y otro para realizar la propia medición del dispositivo.

5.1.1. – CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE

La configuración del hardware sólo la realizan los “Administradores” del sitio web para lo que se gestiona una serie de usuarios y contraseñas que permite controlar este acceso. La configuración del hardware comprende la configuración de los recursos de la TAD, las características de los experimentos a realizar y el valor de la resistencia del convertidor corriente-tensión. Respecto a la TAD se indican la salida y entradas analógicas configuradas en modo diferencial, y las líneas del puerto digital empleadas. En cuanto a las características de los experimentos estas comprenden el tipo de dispositivo que se caracteriza, los incrementos definidos en dependencia del tipo de dispositivo usados para obtener la excitación variable y en el caso de los diodos las tensiones umbrales de medición. Esta tensión umbral no es la de conducción del dispositivo. Este umbral es empleado en el proceso de medición para indicar a partir de qué valor debe cambiar el incremento en dependencia del tipo de dispositivo. Este valor se establece por tanto menor que el valor de umbral de conducción del dispositivo. Esto implicaría un conocimiento previo del umbral de conducción del dispositivo, de no conocerse debe establecerse al menos en la corrida inicial un umbral de medición de 0 V que garantice un barrido fino en toda la curva. La configuración realizada se guarda en un fichero de texto con el objetivo de que esta no sea una información estática en la programación del VI. El fichero creado es un fichero tabulado para facilitar la lectura de los parámetros configurados durante el proceso de medición.

En el VI programado para realizar la configuración del hardware lo primero que se realiza es organizar los datos enviados por el usuario a través de la página web. Estos datos se separan en los correspondientes a la TAD y los correspondientes a los experimentos en arreglos de elementos, estos últimos se diferencian entre cada uno de los cuatro dispositivos posibles. Luego, con esta información ordenada se escribe el fichero de configuración correspondiente.

5.1.2. – MEDICIÓN

Los datos enviados por el cliente con los que se trabaja en esta capa son: el nombre del experimento y la tensión inicial y final deseadas. El nombre del experimento indica el dispositivo que se conectará al convertidor corriente-tensión. Los valores de tensiones determinan el intervalo de medición deseado por el usuario.

Lo primero que se realiza es un trabajo con los valores de entrada. El nombre del experimento se transforma en un número que permitirá la selección de la fila correspondiente dentro del fichero de configuración. Este número a su vez, convertido en un número binario, es usado para el control de las salidas digitales que permiten la conexión de uno u otro dispositivo. Respecto a los valores de tensión, si estos son mayores que los que puede suministrar el instrumento o se envía por error un valor inicial mayor que el final, estos valores se acotan a al límite permisible por este instrumento, de lo contrario no se realiza ningún trabajo con ellos. A continuación, se programó una serie de subVI (un VI dentro de un VI principal, análogo a subrutina en el lenguaje de programación basado en texto) que permiten abrir el fichero de configuración, obtener la curva I-V del dispositivo correspondiente y generar el archivo compactado con la medición realizada.

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo del subVI utilizado para obtener la característica I-V. Los recursos de la TAD se inicializan a partir de los datos obtenidos del fichero de configuración. Luego, se conecta el DUT correspondiente al convertidor corriente-tensión, mediante la actualización de las salidas digitales con el código adecuado. En dependencia del tipo de DUT se ejecutan diferentes subVI para generar los diferentes valores de tensión de excitación. Se separan los valores de tensión en positivos y negativos para realizar el barrido a partir de 0 V. Mediante una estructura secuencial de dos pasos se obtiene en el primer paso, las mediciones de tensión y corriente para los valores de excitación positivos y en el segundo para los negativos. El proceso de excitación del dispositivo y adquisición de las mediciones se basa en repetir de forma continua la ejecución de un subVI, programado para obtener un par tensión-corriente para un valor de estímulo. Con el objetivo de filtrar posibles ruidos o interferencias de la red de distribución de energía eléctrica de frecuencia igual a 60 Hz, cada medición consiste en el promedio de 20 muestras adquiridas a una frecuencia de 1.2 kHz. Este subVI se ejecuta hasta que se llegue al último valor de estímulo o hasta que la corriente medida supere la condición de parada por corriente (50 mA). Posteriormente, se concatenan los valores medidos desde la tensión inicial hasta la final para conformar la curva I-V. Con estos datos medidos, mediante funciones propias del *LabVIEW* se genera el archivo compactado con la imagen de la característica I-V y el fichero de texto tabulado mencionado en la sección 5. Para finalizar se cierran las tareas correspondientes a los recursos de la tarjeta empleados para que estos puedan ser usados por otra aplicación.

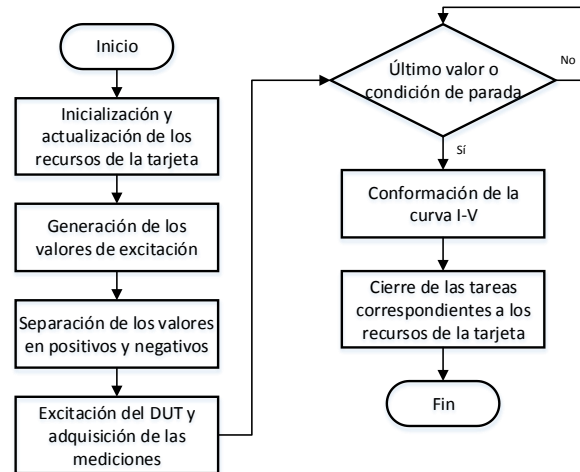


Figura 5

Diagrama de flujo del subVI usado para la obtención de la característica I-V.

5.2. – INTERFAZ WEB

Entre las diferentes páginas web que conforman el sitio web diseñado existen dos principales: una con el formulario necesario para realizar la caracterización de dispositivos de dos terminales (caracterizador), y la otra para acceder al formulario para la configuración del hardware.

La Figura 6.a muestra la página utilizada para acceder al caracterizador. En esta página se muestra el formulario a llenar por el usuario con los datos de entrada necesarios para realizar las mediciones. A la derecha de los campos a llenar por el usuario se muestra la característica I-V del dispositivo (que no muestra ninguna curva hasta que no se realice al menos una medición). Se muestran los pasos para usar el instrumento (opcionalmente), además de dos botones uno para indicar el inicio del proceso de medición (Adquirir) y otro para indicar que se desea salvar la medición antes realizada (Salvar).

La Figura 6.b muestra la página usada para realizar la configuración del hardware. Como primer paso se debe seleccionar la TAD a utilizar debido a que en la PC usada puede haber más de una tarjeta conectada. En esta página se seleccionan los recursos de la TAD y se indican las características de los experimentos en correspondencia con los dispositivos conectados al circuito acondicionador de señal. Por último, se define la resistencia usada por el convertidor corriente-tensión.

5.3. – PROGRAMACIÓN DE LA CAPA ACCESO REMOTO

CGI es un método empleado para la transmisión de información hacia un compilador instalado en un servidor. Su función principal es la de añadir una mayor interacción a los documentos web que por medio del HTML se presentan de forma estática. Los programas que maneja CGI pueden estar compilados en diferentes lenguajes de programación, como por ejemplo *Perl*, *C*, *C++*, *Java* y *LabVIEW*. Su funcionamiento se basa en la ejecución de programas y rutinas en el servidor independientes de los que haya en el dispositivo cliente, a partir de una solicitud de servicio proveniente desde el navegador cliente. A este se le devuelve una respuesta, utilizando código HTML generado por los propios programas ejecutados. En cierto sentido, una aplicación CGI es simplemente como una función: toma una entrada y produce una salida.

En base a esta teoría se programó un VI CGI que sigue el diagrama de flujo mostrado en la Figura 7. El flujo de datos de este VI comienza con la escucha de peticiones, donde se espera hasta la llegada de una petición válida. El servidor detecta la solicitud de servicio y lee los datos provenientes de la página teniendo en cuenta la forma en que fueron enviados. Los datos recibidos son los pares ``nombre`` y ``valor`` en HTML que en *LabVIEW* son las llamadas *key* (llave) y sus valores correspondientes. El primer valor que se extrae del arreglo es la llave llamada *command*, que indica la acción especificada por el usuario mediante la petición CGI. Las acciones que puede ejecutar el usuario son una por defecto que se ejecuta cada vez que el usuario pide acceder a determinada página web (*command* = “Default”). Otra opción es la que se ejecuta cuando se desea realizar la adquisición de la curva (*command* = “Adquirir”). Una tercera opción es en la que se lleva a cabo el almacenamiento de los datos en el dispositivo cliente del usuario (*command* = “Salvar”). Cuando el usuario desea realizar la configuración del hardware del sistema este debe primero identificarse para comprobar si tiene permiso de realizar esta acción, para esto se ejecuta una opción que se usa para verificar si la información correspondiente al usuario y su contraseña

se encuentra dentro de los registrados en el servidor (*command* = “Login”). Una vez llevada a cabo la autenticación el usuario puede realizar la configuración del hardware, para lo cual se ejecuta una última opción (*command* = “Configurar”). Una vez seleccionada la acción se extraen los restantes valores y se envían al VI que se ejecutará en cada caso. Por último, se confecciona la página web de respuesta a partir del código *HTML* de la página con la que se hizo la petición y de los datos devueltos por el VI ejecutado.

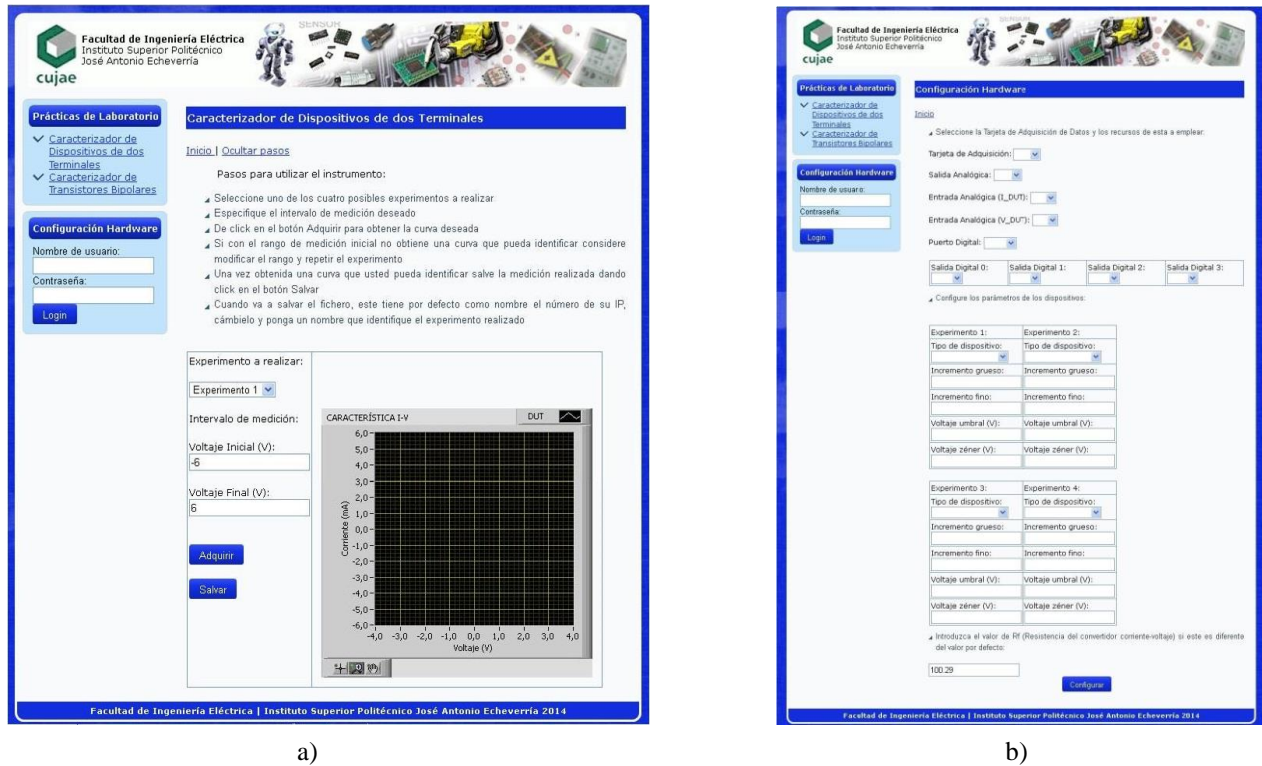


Figura 6

a) **Página de acceso al caracterizador de dispositivos de dos terminales.** b) **Página de configuración del hardware.**

6. – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 8 se muestra la implementación del sistema. En la Figura 8 a. se muestra el sistema completo, mientras que en la 8 b. el circuito específicamente.

A partir de las curvas obtenidas con este sistema se pueden calcular los parámetros correspondientes a cada uno de los dispositivos, para su posterior uso en el análisis de circuitos. La validación del sistema, consistente en hallar estos parámetros con el objetivo de compararlos con los valores teóricos esperados (teóricos o brindados por los fabricantes en los *datasheets*), se llevó a cabo desde el mismo servidor y desde otra computadora cliente. La validación desde el mismo servidor se realizó para probar primeramente el correcto funcionamiento del sistema independientemente del comportamiento de la red. Luego se realizó la comprobación del sistema de forma remota a través de la red de la universidad. En ambos casos se obtuvieron resultados satisfactorios y en ningún caso hubo problemas de comunicación.

Para realizar las pruebas del primer grupo se programó un VI que permite realizar la caracterización de forma local y consistió en realizar varias mediciones sucesivas de forma automática. Una de las pruebas consistió en realizar 100 mediciones cada un minuto, una medición en ese caso consiste en adquirir la curva I-V de los cuatro DUT. Esta prueba es la denominada Prueba 1. La segunda prueba fue realizar igualmente 100 mediciones, pero en este caso una a continuación de la otra. Esta es la Prueba 2.

En el segundo caso se realizó una prueba de forma remota a través de la página web del sistema. Se realizó el acceso a través de una misma PC al servidor mediante la red de la universidad. Esta prueba consistió en adquirir 10 mediciones con un intervalo de tiempo entre ellas de 20 minutos. Esta prueba se realizó para dos días diferentes. Esta última es la Prueba 3.

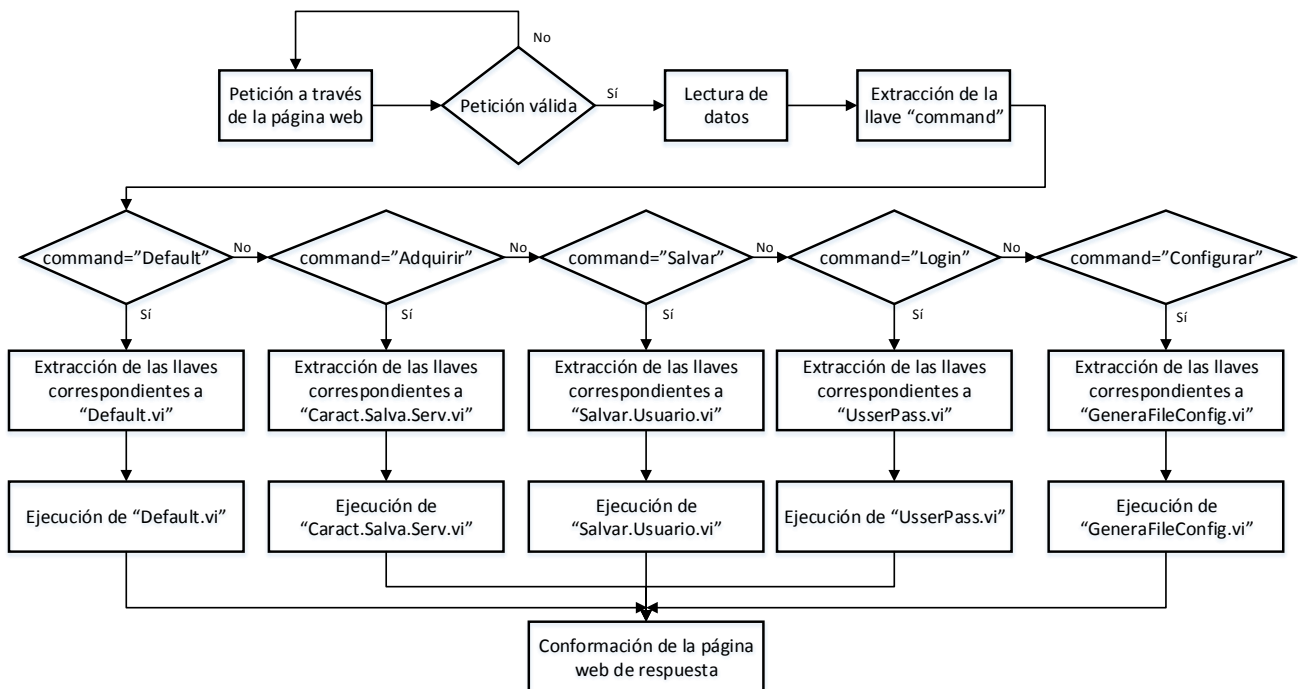
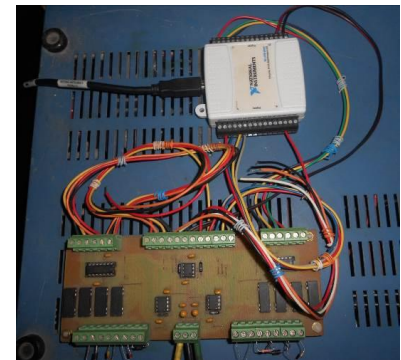


Figura 7

Diagrama de flujo del VI CGI.



a)



b)

Figura 8

a) Sistema completo. b) Hardware del sistema.

Los cuatro dispositivos empleados durante las pruebas fueron una resistencia de 510 Ω de valor nominal con tolerancia de un 1%; el diodo semiconductor de silicio 1N4001 con tensión umbral de 0.65 V [17]; el diodo Schottky 1N5820 con tensión umbral de 0.1 V [18] y el diodo Zener 1N5992 con tensión Zener de 4.7 V [19]. Las gráficas mostradas en la Figura 9 se corresponden a los resultados de una de las mediciones realizadas, donde se muestran las curvas de los cuatro dispositivos empleados para las pruebas.

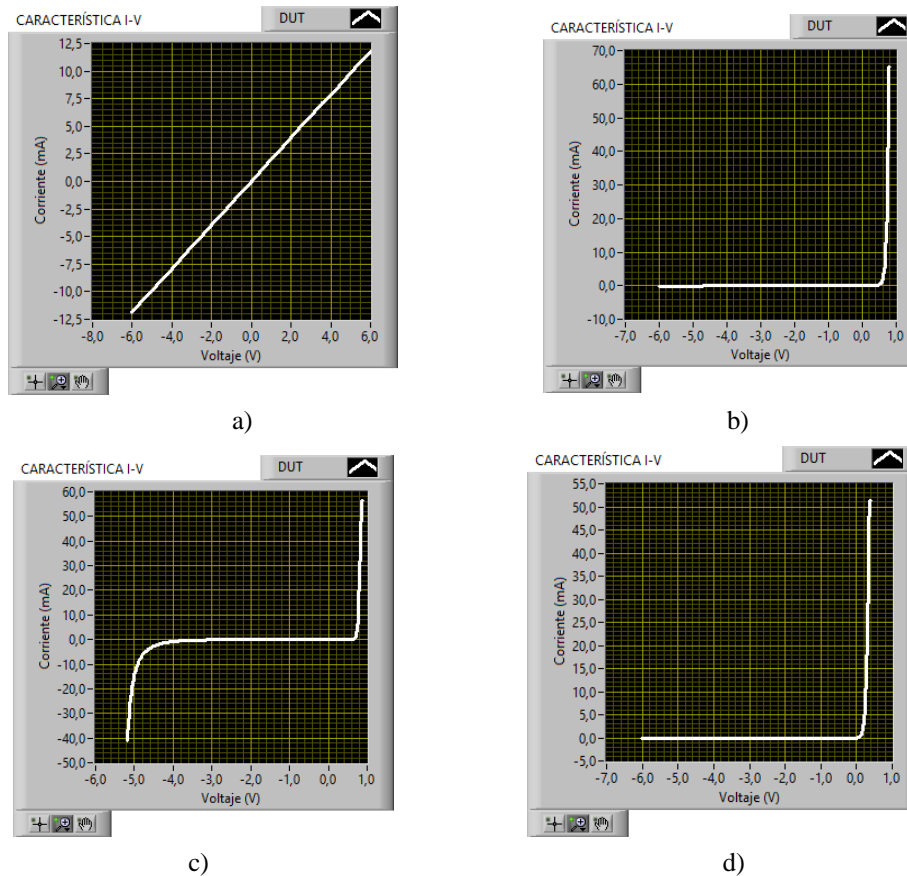


Figura 9

Gráficas obtenidas en el proceso de validación del sistema. a) Resistencia. b) Diodo rectificador de silicio. c) Diodo Zener. d) Diodo Schottky.

Los resultados de las mediciones fueron procesados empleando el asistente matemático *MATLAB (MATrix LABoratory)*. Además, se procesaron los resultados de una medición empleando el programa para el trabajo con hojas de cálculo *Microsoft Excel*, para comprobar otra alternativa que puede ser más asequible a los estudiantes. De ambas maneras se obtuvieron distintos parámetros correspondientes a cada uno de los dispositivos. Para todos los casos los límites del intervalo de medición usado fueron los que tiene por defecto la página, es decir desde -6 a 6 V, para tener en cuenta la peor situación.

6.1. – RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

6.1.1. – ESTIMADO DE LA CORRIENTE MÍNIMA QUE PUEDE MEDIR EL CIRCUITO EN FUNCIÓN DEL OFFSET

En teoría, cuando el dispositivo se estimula con 0 V no debe circular corriente por el dispositivo sin embargo en la práctica esto no es así (*offset*), debido a los errores inherentes a todo proceso de medición. En base a este planteamiento se realizó un análisis consistente en observar el comportamiento de la corriente que circula por el dispositivo cuando el estímulo es 0 V para estimar la mínima corriente que puede medir el circuito. Este análisis se realizó usando las mediciones de la resistencia. La Tabla 1 muestra la máxima desviación respecto al 0 de los valores de corriente para 0 V de excitación.

Tabla 1
Valores de corriente para 0 V de excitación.

Prueba		Máxima desviación I (mA)
Prueba 1		-0.023
Prueba 2		-0.021
Prueba 3	Día 1	-0.020
	Día 2	-0.020

Se puede observar en la Tabla 1 que el máximo corrimiento que se detectó fue de 23 μ A. Este corrimiento constituye un error intrínseco del instrumento, por tanto, se puede considerar que la corriente mínima que puede medirse con este instrumento con un error menor del 10% es de 250 μ A.

6.1.2. – CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LOS DISPOSITIVOS

El análisis se enfocó en el cálculo del valor medio, la desviación estándar y el valor máximo y mínimo de los parámetros característicos de la resistencia, el diodo rectificador y el diodo Zener.

El parámetro obtenido para el caso de la resistencia es su valor (R), el cual se obtiene como el inverso de la pendiente de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales.

Como en el caso de los diodos rectificadores el procedimiento es el mismo tanto para el de silicio como para el diodo *Schottky*, se presentan solamente los resultados obtenidos para el primero de ellos. De este se obtuvo su tensión umbral en directa (V_D), que es la tensión con la cual un diodo con polarización directa comienza a aumentar su corriente y se dice que está conduciendo. Este parámetro se determina para una corriente de prueba denominada I_T [20]. Se obtuvo además su coeficiente de emisión (η) y su corriente de saturación inversa (I_S), los cuales se calculan a partir del ajuste de los datos a la ecuación de *Shockley* [21].

En el caso del diodo Zener se obtuvo su tensión de ruptura (V_{ZT}) y su resistencia de conducción inversa (R_{ZT}). Los parámetros V_{ZT} y R_{ZT} se determinan para una corriente de prueba denominada I_{ZT} . El valor de R_{ZT} fue calculado como el inverso de la pendiente de la recta que mejor se ajusta a los valores de corriente de alrededor de $\pm 10\%$ de I_{ZT} [19].

- Resistencia

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos para la resistencia medida.

Tabla 2
Resultados obtenidos para una resistencia.

Prueba		Valor medio R (Ω)	Desviación estándar R (Ω)	Valor mínimo R (Ω)	Valor máximo R (Ω)
Prueba 1		506.51	0.11	506.30	506.86
Prueba 2		506.52	0.11	506.22	506.92
Prueba 3	Día 1	506.55	0.04	506.50	506.61
	Día 2	506.54	0.06	506.47	506.70

El error relativo máximo entre el valor medio medido y el valor nominal es 0.68 %, que ocurrió durante la Prueba 1. Los valores máximo y mínimo obtenidos se encuentran dentro del rango de tolerancia de la resistencia por tanto son valores válidos. Se puede observar también que la menor dispersión en la medida (desviación estándar y diferencias entre los valores máximo y mínimo) ocurrió durante la Prueba 3, debido al régimen de trabajo menos exigente (en cuanto a la densidad temporal) al que estaba sometido el sistema.

- Diodo rectificador de silicio

La Tabla 3 muestra los resultados para el diodo rectificador de silicio.

Tabla 3

Resultados obtenidos para el diodo de silicio.

Prueba		Valor medio V_D (V)	Desviación estándar V_D (mV)	Valor mínimo V_D (V)	Valor máximo V_D (V)
Prueba 1		0.6488	0.961	0.6461	0.6514
Prueba 2		0.6486	0.954	0.6461	0.6508
Prueba 3	Día 1	0.6483	0.264	0.6480	0.6487
	Día 2	0.6485	0.267	0.6482	0.6490
Prueba		Valor medio I_S (nA)	Desviación estándar I_S (nA)	Valor mínimo I_S (nA)	Valor máximo I_S (nA)
Prueba 1		9.05	0.80	7.16	12.46
Prueba 2		9.07	0.67	6.95	10.66
Prueba 3	Día 1	7.68	0.32	7.04	8.30
	Día 2	7.65	0.43	7.25	8.81
Prueba		Valor medio η	Desviación estándar η	Valor mínimo η	Valor máximo η
Prueba 1		1.90	0.010	1.87	1.94
Prueba 2		1.90	0.010	1.86	1.92
Prueba 3	Día 1	1.89	0.005	1.88	1.89
	Día 2	1.88	0.004	1.88	1.89

La corriente de prueba utilizada para el cálculo de V_D fue $I_T = 5$ mA [17]. Según el *datasheet* de este diodo para este valor de corriente V_D es de 0.65 V. Los valores de I_S y n se corresponden con los valores teóricos (I_S debe estar en el orden de 10^{-6} a 10^{-15} A y el valor de η varía entre 1 y 2) [21]. Para el caso de V_D se observa que los diferentes valores medios y los de peor caso dan cercanos al valor esperado (la diferencia respecto al valor esperado es menor que 0.2%). Nuevamente la dispersión en la medida es mayor en las pruebas con repeticiones más frecuentes (Pruebas 1 y 2). En el caso de I_S la diferencia es más notable debido al mayor calentamiento que ocurre en el dispositivo en tales pruebas y la dependencia marcada de este parámetro con la temperatura.

- Diodo Zener

La Tabla 4 ofrece los valores de V_{ZT} , R_{ZT} y R_Z para el diodo Zener.

Tabla 4

Resultados obtenidos para el diodo Zener.

Prueba		Valor medio V_{ZT} (V)	Desviación estándar V_{ZT} (mV)	Valor mínimo V_{ZT} (V)	Valor máximo V_{ZT} (V)
Prueba 1		4.704	1.097	4.702	4.706
Prueba 2		4.704	0.977	4.701	4.707
Prueba 3	Día 1	4.705	0.289	4.704	4.705
	Día 2	4.705	0.354	4.704	4.705
Prueba		Valor medio R_{ZT} (Ω)	Desviación estándar R_{ZT} (Ω)	Valor mínimo R_{ZT} (Ω)	Valor máximo R_{ZT} (Ω)
Prueba 1		66.049	2.303	61.264	73.102
Prueba 2		66.157	1.794	62.081	71.760
Prueba 3	Día 1	66.560	0.771	65.682	68.279
	Día 2	66.221	0.716	65.327	67.746

La corriente de prueba utilizada fue $I_{ZT} = 5$ mA, según especificaciones del fabricante [19]. En el *datasheet* también se especifica que para este valor de corriente V_{ZT} es de 4.7 V y R_{ZT} de 70 Ω . Para el caso de V_{ZT} se observa que los diferentes valores medios y los de peor caso dan cercanos al valor esperado (la diferencia respecto al valor esperado es menor que 0.2%). Mientras que la desviación estándar da en el orden de los mV (para el peor caso la desviación estándar representa un

0.02% del valor medio). Para R_{ZT} el error relativo máximo es de 5.64 % durante la Prueba 1. La máxima dispersión, el mínimo valor mínimo y el máximo valor máximo ocurrieron también durante la Prueba 1.

6.1.3. – TIEMPO DE PROCESAMIENTO

La Tabla 5 muestra el valor medio del tiempo que se demora el servidor en dar respuesta a una petición para cada uno de los dispositivos, es decir el tiempo que transcurre entre el momento en que el usuario solicita la obtención de la curva I-V y el servidor le envía la característica I-V correspondiente. La tabla muestra los resultados para cada uno de los días durante los cuales fueron realizadas la Prueba 3. Se muestra también la desviación estándar y el tiempo máximo.

Tabla 5
Tiempo de respuesta del servidor para cada dispositivo.

Dispositivo	Valor medio t (s)		Desviación estándar t (s)		Valor máximo t (s)	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
Resistencia	1.34	1.35	0.024	0.024	1.37	1.4
Diodo de silicio	2.20	2.21	0.021	0.042	2.24	2.33
Diodo Zener	7.69	7.77	0.033	0.062	7.76	7.87
Diodo Schottky	3.79	3.84	0.106	0.021	3.91	3.89

El dispositivo con que más se demora el servidor en generar la respuesta es con el diodo Zener, ya que esta es la curva más compleja de caracterizar. Se puede observar que para el peor de los casos en que se obtenga la curva del diodo Zener, cuyo proceso está alrededor de los 8 segundos, se obtendría el buen resultado de que es posible realizar muchas más mediciones que con el caracterizador disponible con el cual habría que recoger la información de forma manual.

7.- CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el diseño y validación experimental de un sistema formado por un conjunto hardware-software que permite caracterizar dispositivos electrónicos de dos terminales con posibilidad de acceso remoto a través de páginas web. Desde el punto de vista de hardware el desarrollo del trabajo radicó fundamentalmente en el diseño del circuito acondicionador de señal y de excitación para la medición de las curvas I-V en cuatro componentes electrónicos de dos terminales (resistencias, diodos rectificadores y diodos Zener). Mientras que el software se basó en la programación de un instrumento virtual remoto. El empleo de este instrumento está dirigido fundamentalmente a realizar prácticas de laboratorio sobre el tema de caracterización de dispositivos, el cual es objetivo de la asignatura Electrónica Analógica y afines de varias carreras de la CUJAE.

El diseño presentado permite además la configuración de los recursos hardware (TAD y experimentos) de forma remota.

Una de las facilidades incorporadas al instrumento es que el usuario podrá salvar los datos obtenidos para su posterior procesamiento, con un formato compatible con los procesadores de hojas de cálculo.

Para aumentar la eficiencia del proceso de medición, se implementaron algoritmos basados en las particularidades fundamentales de la característica I-V de los distintos tipos de dispositivos.

La programación modular del instrumento virtual y la metodología utilizada para la caracterización basada en las particularidades de cada dispositivo permiten incorporar nuevas prácticas de laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al profesor MsC. Ing. Roberto A. Bistel Esquivel por todo el apoyo brindado en la revisión de este artículo.

REFERENCIAS

1. Liberty Test Equipment. Curve Tracers. [citado 2017 octubre]. Disponible en: <http://www.libertytest.com/store/equipment.asp?idCategory=40>
2. AliExpress. Curve Tracer. [citado 2017 octubre]. Disponible en: https://www.aliexpress.com/price/curve-tracer_price.html
3. Tektronix. Keithley PCT Parametric Curve Tracer Configurations. [citado 2017 octubre]. Disponible en: <https://www.tek.com/keithley-semiconductor-test-systems/keithley-pct-parametric-curve-tracer-configurations>

4. Buitrago J.A. Propuesta de un laboratorio de acceso remoto para la enseñanza de la robótica industrial. *World Engineering Education Forum*. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), *International Federation of Engineering Education Societies* (IFEES), 2013. [citado 2017 marzo]. Disponible en: <http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/86/24>
5. Loyarte A, Blas M.J. Laboratorio virtual remoto: una herramienta para la enseñanza de control automático. AADECA 2012 - Semana del Control Automático - 23o Congreso Argentino de Control Automático. 2012 Jun [citado 2017 marzo]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ariel_Loyarte/publication/265126284_Laboratorio_Virtual_Remoto_Una_Herramienta_Para_la_Ensenanza_de_Control_Automatico/links/53ffb2ae0cf24c81027db38e/Laboratorio-Virtual-Remoto-Una-Herramienta-Para-la-Ensenanza-de-Control-Automatico.pdf
6. Rodríguez E, Quiroz U. Diseño e implementación de un laboratorio virtual para el aprendizaje de robótica móvil. *Revista Vínculos*. Julio 2013 [citado 2017 marzo]; 10 (2): 455-460. Disponible en: <http://revistavinculos.udistrital.edu.co/files/2013/09/Diseño-e-implementación-de-un-laboratorio-virtual-para-el-aprendizaje-de-robotica-movil.pdf>
7. Morales C, Zozaya RG, Rojo A, Torres A. Laboratorios virtuales como alternativa para el desarrollo de competencias profesionales. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. Julio - diciembre 2015. [citado 2017 marzo]; ISSN 2007 – 8412. Disponible en: www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/376/415
8. Fiad SB, Galarza OD. El Laboratorio Virtual como Estrategia para el Proceso de Enseñanza – Aprendizaje del Concepto de Mol. *Revista Formación Universitaria*. 2015. [citado 2017 marzo]; 8(4): 3-14. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/formuniv/v8n4/art02.pdf>
9. Buitrago-Molina J. T, Carvajal-Guerrero J. S, Zapata-Castillo C. A. Plataforma virtual para el mando local y remoto de un brazo robótico de apoyo para la educación en ingeniería. *Tecno Lógicas*. Enero – junio 2014. [citado 2017 marzo]; 17 (32): 67-74. Disponible en: <https://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n32/v17n32a07.pdf>
10. Peng Y, Zhang K. *Based on LabVIEW Remote Virtual Electronic Laboratory Desing and Implementation. The Open Cybernetics & Systemics Journal*. 2014 [citado 2017 marzo]; 8: 754-761. Disponible en: <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOCSJ/TOCSJ-8-754.pdf>
11. Ipanaqué W, Belupú I, Valdiviezo J, Vásquez G. Laboratorios Virtuales y Remotos para la experimentación. *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático*. 2014 Oct. [citado 2017 marzo]. Disponible en: <https://amca.mx/memorias/amca2014/articulos/0214.pdf>
12. Velázquez R, Valdés E.E. Sistema para la caracterización de Filtros Pasivos utilizando Instrumentación Virtual. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones RIELAC*. Septiembre - diciembre 2014 [citado 2017 marzo]; XXXV (3): 76-89; ISSN: 1815-5928. <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/rieac/article/download/253/pdf>
13. *National Instruments Corporation*. User Guide and Specifications: NI-USB-6008/6009. 2004-2007. Austin, Texas, USA.
14. *Texas Instruments*. *TLE206x, TLE206xA, TLE206xB Excalibur JFETInput High-Output-Drive μ Power Operational Amplifiers Datasheet*. 2004. Dallas, Texas.
15. *Burr-Brown*. *INA118, Precision, Low Power Instrumentation Amplifier Datasheet*. Abril, 1998.
16. *Hamlin*. *HE700 D.I.L. Relay Features and Benefits Datasheet*.
17. *Fairchild Semiconductor*. *1N4001-1N4007 Datasheet*. 2001.
18. *Vishay Intertechnology, Inc*. *Vishay General Semiconductor*. *1N5820, 1N5821, 1N5822. Schottky Barrier Plastic Rectifier*. 2013. Revision: 08-Feb-17.
19. *Microsemi Corp*. *Silicon 500mW Zener Diodes, 1N5985 thru 1N6031 Datasheet*.
20. Sedra AS, Smith KC. *Microelectronics Circuits*. Oxford University Press, 5ta Edición, 2011.
21. Rashid, MH. *Circuitos Microelectrónicos: Análisis y diseño*. International Thomson Editores. México. 2000.

AUTORES

Lisandra Pérez Roche, Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor Instructor de la Universidad Tecnológica de la Habana – Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CUJAE-CIME), La Habana, Cuba, e-mail: lperezr@cime.cujae.edu.cu. Actualmente es Profesora Instructora de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE y ha impartido asignaturas como Electrónica Analógica e Instrumentación Virtual. Ha cursado diferentes posgrados impartidos en el marco de la Maestría Diseño de Sistemas Electrónicos del CIME. Sus principales intereses de trabajo radican en el desarrollo de aplicaciones de la Instrumentación Virtual y la Instrumentación Virtual Remota, tema sobre el cual desarrolló su tesis de graduación y perfila su Tesis de Maestría en la actualidad.

Jorge L. González Ríos, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Máster en Diseño de Sistemas Electrónicos, Profesor Asistente de CUJAE-CIME, La Habana, Cuba, e-mail: jorgeluis.gr@cime.cujae.edu.cu. Es Profesor Asistente de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE y ha impartido asignaturas como Electrónica Analógica y Circuitos Eléctricos. Obtuvo el título de Máster en Diseño de Sistemas Electrónicos del CIME en el 2009. Obtuvo el título de Doctor en Ciencias Técnicas en el 2018 en la CUJAE. Su trabajo está enfocado al diseño de circuitos microelectrónicos analógicos y de radiofrecuencia, tema sobre el que ha realizado estancias de investigación en el Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE), España, y en el Grupo de Microelectrónica de la Universidad Federal de Itajubá (UNIFEI), Brasil. Trabaja además en el desarrollo de aplicaciones de Instrumentación Virtual e Instrumentación Virtual Remota.

Ricardo Rodríguez Gómez, Ingeniero en Automática, Profesor Instructor de CUJAE-CIME, La Habana, Cuba. Fue Profesor Instructor de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE donde ha impartió las asignaturas Electrónica Analógica e Instrumentación Virtual. Cursó diferentes posgrados impartidos en el marco de la Maestría Diseño de Sistemas Electrónicos del CIME. Su trabajo estaba enfocado al diseño de sistemas de medición y de instrumentación.

Enrique E. Valdés Zaldívar, Ingeniero en Equipos y Componentes Electrónicos, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular de CUJAE-CIME, La Habana, Cuba, e-mail: enrique.valdes@cime.cujae.edu.cu. Alcanzó el grado de Doctor en Ingeniería Electrónica en 1998 (Instituto de Microelectrónica de Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, España). Es profesor Titular del Departamento Docente del CIME de la CUJAE. Imparte docencia de pregrado y postgrado en los campos relacionados con la electrónica, los circuitos eléctricos y la instrumentación virtual. En la investigación trabaja las líneas relacionadas con la instrumentación asociada a sensores, la Instrumentación Virtual y la Instrumentación Virtual Remota. Ha realizado estancias de investigación en el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB), España, y en el Laboratorio de Investigación en baterías del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Oviedo, España.



Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License