

# Prototipo de Generador Van de Graaff Controlado con Dispositivos Móviles e Instrumentación Virtual

## Van de Graaff Generator Prototype controled by Mobile Devices and Virtual Instrumentation

Javier Andrés Vargas Guatíva\*

Deisy Briyid Daza Morales\*\*

Jairo Alejandro Valero Rodríguez\*\*\*

### RESUMEN

El artículo presenta el desarrollo e implementación de un prototipo didáctico interactivo para prácticas en el área de la Física Eléctrica con el generador Van de Graaff. Este prototipo permite obtener mediciones de campo eléctrico en tiempo real en una central computarizada utilizando instrumentación virtual y la interacción entre el usuario. La máquina utiliza dispositivos móviles con sistema operativo Android; el proyecto se estructura bajo parámetros de funcionalidad, interactividad y usabilidad para aportar al proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física Eléctrica en las carreras de Ingeniería, permitiendo la experimentación real y aportando a un aprendizaje significativo. El prototipo es de forma modular con la finalidad de poder experimentar en cualquier ambiente de aprendizaje donde se cuente con dispositivos móviles y no exclusivamente para infraestructuras de laboratorios.

**Palabras clave:** Bluetooth, Interfaz LabView, Motor AC, Triac, Escala triboeléctrica, Dispositivos móviles, Instrumentación virtual, Telecontrol.

### ABSTRACT

The paper presents the development and implementation of prototype interactive educational practices in the area of electrical physics with a Van de Graaff generator. This prototype allows for electric field measurements in real time on a computer using virtual instrumentation core and the interaction between the user. The machine uses mobile devices with Android operating system; the project is structured as parameters of functionality, interactivity and usability to contribute to the process of teaching and learning physics electrical engineering careers, allowing real experimentation and contributing to a significant learning. The prototype is modular in order to be able to experience in any learning environment where mobile devices have obtained not only for infrastructure laboratories.

**Key words:** Bluetooth, LabView interface, AC Motor, Triac, Triboelectric scale, Mobile devices, Virtual instrumentation, Tele-monitoring.

\* Doctorando en Ciencias de la Educación, Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología, Msc. en Administración Educativa, Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología, Esp. en Pedagogía y Docencia Universitaria, Universidad La Gran Colombia, Ing. Electrónico Universidad de los Llanos, Profesor Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Adscrito al Grupo de Investigación Macrypt.  
javier.andres.vargas@unillanos.edu.co

\*\* Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad de los Llanos, pertenece al grupo de investigación BIATIC. Monitor FCBI Universidad de los Llanos.

\*\*\* Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad de los Llanos, pertenece al grupo de investigación BIATIC. Monitor FCBI Universidad de los Llanos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un aporte de la Ingeniería a las ciencias básicas es el desarrollo de tecnología que permita la experimentación de los fenómenos naturales; en el caso particular de la Física Eléctrica se hace necesario experimentar fenómenos como el campo eléctrico y la electricidad estática que facilitan un aprendizaje significativo en los estudiantes de las ciencias y de la Ingeniería; la tecnología educativa busca la apropiación de los desarrollos tecnológicos y las estrategias didácticas para la realización de tecnología útil para la enseñanza. Basados en estos conceptos se realizó el desarrollo tecnológico que se presenta, el cual permite la generación de electricidad estática mediante un generador de Van de Graaff, el que puede ser tele-controlado por dispositivos móviles con sistema operativo Android. El telecontrol está orientado a variar la generación de campo eléctrico; el prototipo está interconectado con un instrumento virtual, el cual monitorea la variable de campo eléctrico permitiendo visualizar en un computador las variables medidas.

Van de Graaff es un tipo de generador eléctrico de corriente constante que fue desarrollado inicialmente por el físico Robert J. Van de Graaff en el MIT alrededor de 1929 para realizar experimentos en Física Nuclear en los que se aceleraban partículas cargadas que se hacían chocar contra blancos fijos a gran velocidad.

Aplicando el funcionamiento del generador de Van de Graaff, el objetivo del proyecto se centró en generar energía estática de diferente magnitud de acuerdo a la orden del telecontrol y monitoreado a través de una interfaz de instrumentación virtual.

Con el fin de llevar a cabo el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta diferentes aspectos encontrados en algunos trabajos, los cuales se relacionan a continuación:

En [1] se presentan los resultados obtenidos de la construcción de un generador de Van de Graaff de 200kVcd, realizado en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad del Valle. Los resultados fueron verificados mediante la simulación en elementos finitos, con el programa ELCUT-3.40, estimando las intensidades de campo eléctrico entre esferas. La polaridad de la carga eléctrica generada fue determinada mediante el registro de la señal de corriente de descarga a tierra.

Guisasola presenta una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la Física, en la cual muestra las experiencias exitosas en trabajo con el generador de Van de Graaff y el reto de aplicar a los problemas relativos al aprendizaje y a la enseñanza de la Física [2].

Adriana Minor García en 2010, presenta las consecuencias académicas al adquirir el acelerador Van de Graaff de la fábrica y comercializadora de Boston la High Voltage Engineering Corporation. Tales consecuencias fueron la consolidación del Instituto de Física, el cual formó un grupo de investigación

en Física Nuclear, el proyecto de ciudad universitaria de la UNAM, la formación del programa nuclear mexicano y los procesos de internacionalización de la ciencia en la postguerra [3].

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En la realización del generador de estática se desarrollaron cuatro etapas principales: una de ellas fue la creación del prototipo del generador de Van de Graaff. La segunda fue el diseño de los circuitos para la adquisición de las magnitudes físicas a medir, el cual está constituido por los sensores de corriente, voltaje, temperatura y el cálculo computacional de la potencia, junto con los circuitos de potencia y telecontrol. En la tercera etapa se realizó la programación del sistema de microcontrolador, necesario para la adquisición de los datos cuantizados y el control de velocidad del generador mediante la comunicación remota con un dispositivo móvil. En la última fase se realizaron las interfaces de usuario para la visualización de las variables físicas en LabView y para el dispositivo móvil se utilizó ApplInventor, que es una aplicación de desarrollo para Android.

### A. Prototipo del Generador

El generador posee una esfera hueca, la cual se realizó con dos platos de aluminio, y debe estar aislada de tierra con el fin de llevar las cargas hacia allí, mediante una cinta aislante ortopédica de goma que se desplaza mediante un motor AC de ventilador y rodillos. El sistema de carga de la cinta transportadora es mediante fricción, por ello el rodillo superior es de vidrio de fusibles y el rodillo inferior es el eje del motor recubierto con teflón, ya que estos materiales según la escala triboeléctrica son opuestos, lo cual favorece que después de cierto tiempo alcancen el equilibrio y adquieran carga neta de diferente signo.

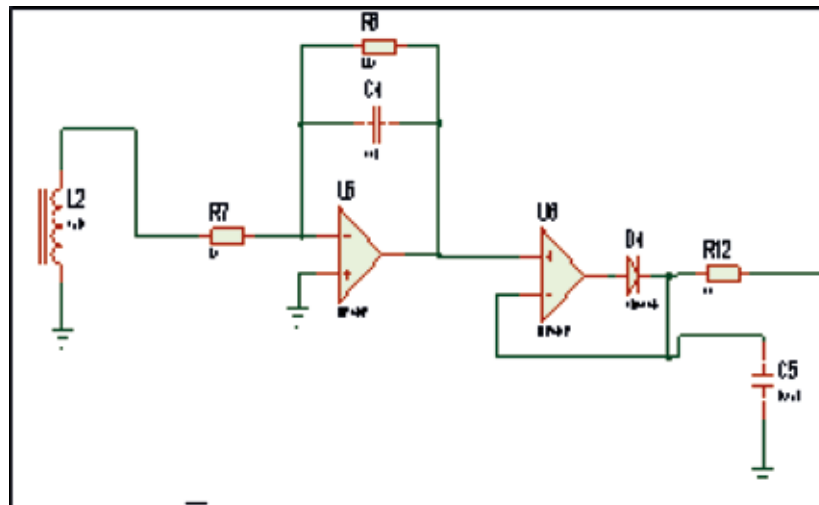
El generador requiere de dos peines de púas, estos se realizaron con cable UTP, para dar consistencia y se ubicaron próximos a la cinta, en la zona de los rodillos. El peine cercano al cilindro inferior se conecta a tierra y el cercano al cilindro superior, a la parte interior de la esfera metálica. De esta forma puede transferirse carga eléctrica neta de tierra a la esfera mediante el siguiente mecanismo: la carga del cilindro inferior atrae por inducción cargas de signo contrario a las puntas del peine inferior. Estas saltan, por efecto punta, a la cara exterior de la cinta y son transportadas por su movimiento. Cuando llegan a la zona del rodillo superior son repelidas por su carga siendo recibidas por el peine superior, en contacto con la cara interior de la esfera metálica. Por las propiedades electrostáticas de los conductores se deduce que todas las cargas así depositadas pasan a la superficie exterior de la esfera.

### B. Circuitos Implementados

La instrumentación virtual se diseñó bajo los parámetros de cinco variables que tienen relación directa con el motor para la generación, presentándolas mediante LabView al usuario u operario. Para cada una de las variables se utilizaron diferentes sensores, algunos con circuito de acople para mejorar la calidad de la señal.

Para poder trabajar la señal de la red se realizó un acople mediante un transformador reductor de relación 10:1; de esta forma se disminuye el voltaje de entrada para poder hacer uso de los componentes electrónicos y para los sensores implementados.

El sensor de corriente implementado consta de una bobina toroidal y su salida debe enviarse a un circuito integrador para obtener una respuesta senoidal. El principio de funcionamiento en el que se basa este sensor es el de inducción, este fenómeno se da cuando a través de una bobina se atraviesa un cable por el cual circula una corriente variable, generando un campo magnético variable proporcional en la bobina. El circuito implementado para la caracterización de la bobina se puede observar en la Figura 4 [4] [5].



**Figura 1. Simulación del circuito caracterización de la bobina**

Fuente: Los autores

Para el sensor de temperatura se utilizó el sensor LM35, el cual se introdujo en la parte del estator del motor para supervisar la temperatura presente en el motor. El sensor entrega un voltaje proporcional a los cambios en la temperatura y la señal fue amplificada mediante un amplificador no inversor con ganancia de tres veces, en la Figura 2 se observa la simulación del sensor de temperatura [5].

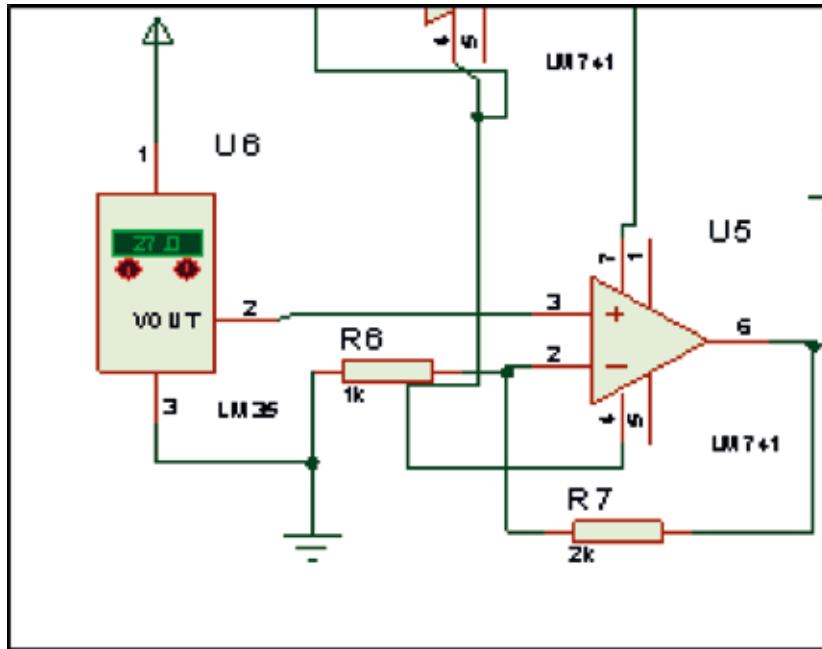
La ecuación correspondiente es:

$$G = 1 + \frac{Rf}{R1} \quad (1)$$

$$G = 1 + \frac{2k\Omega}{1k\Omega} \quad (2)$$

$$G = 3 \quad (3)$$

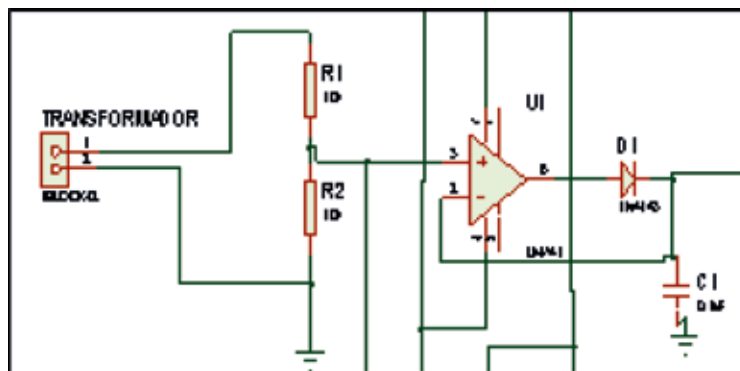
La ecuación presenta la ganancia de amplificación de un amplificador operacional no inversor



**Figura 2. Circuito sensor de temperatura**

Fuente: Los autores

Para el diseño del sensor de voltaje se utilizó la técnica de divisor de voltaje después del Transformador y la señal entregada se envió a un detector de picos [5].



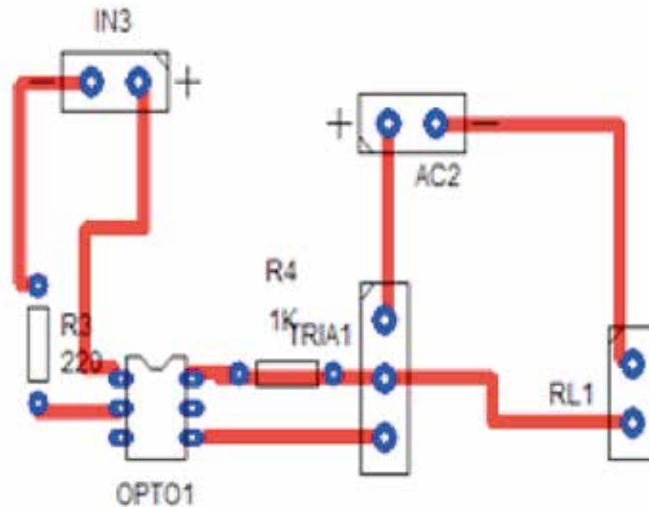
**Figura 3. Circuito sensor de voltaje**

Fuente: Los autores

En el caso de la medición de la potencia eléctrica se tomaron las respuestas del sensor de corriente y de voltaje, y teniendo en cuenta la fórmula de potencia, esta se introduce en el código del programa realizado para la interfaz de usuario en LabView, la cual es:

$$P = V * I \cos \phi \quad (4)$$

Además de los circuitos de acondicionamiento para los sensores, se implementó un circuito de potencia para la activación y control de velocidad del motor AC, el circuito consta de un opto-triac y un triac [6]. Este circuito controla la corriente de AC promedio de la carga conectada en serie. Los instantes de disparo en los cuales el triac se conmuta del estado de bloqueo al estado de conducción son controlados por el circuito de control de disparo de compuerta, al igual que un SCR. En este caso se usó un TRIAC BT138 y la activación de su compuerta se hizo con un Moc301, que es un optotriac que incluye un circuito de detección de paso por cero que permite sincronizar señales de la red eléctrica con señales de control para ajustar el ángulo de conducción, en la Figura 4 se observa el diseño de la tarjeta electrónica para el circuito de control de velocidad del motor [6].



**Figura 4. Diseño PCB del circuito de control de velocidad**

Fuente: Los autores

### C. Codificación del Microcontrolador

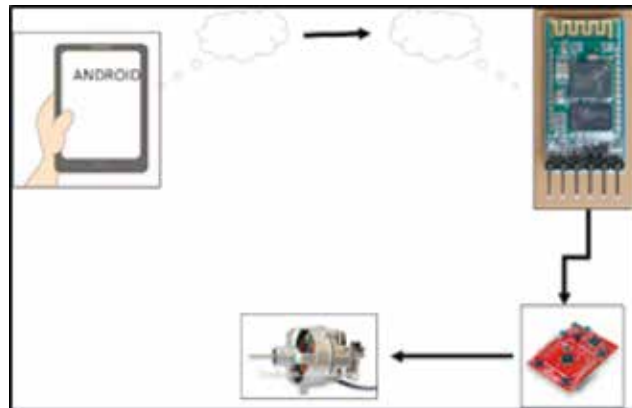
El código necesario para la adquisición de los datos a cuantificar como para el control remoto desde un dispositivo móvil de la velocidad del motor se desarrolló con la tarjeta Tiva C Series TM4C123G LaunchPad, junto con el Compilador Energía. En cuanto a la adquisición de las variables provenientes de los diferentes sensores, se utilizaron los pines analógicos, ya que este microcontrolador dispone de dos módulos ADC de 12 bits cada uno, de esta forma se hace una cuantización óptima de la información.

Para la transmisión de la información del microcontrolador hacia el computador se empleó por comunicación serial, donde la tarjeta Tiva envía cada tiempo un solo dato, que contiene a los demás y en LabView se utiliza la función *String subset* para separar toda la información en el siguiente orden: voltaje, corriente y temperatura.

**D. Interfaz de Usuario**

Se realizaron dos esquemas para la interfaz de usuario, una para el telecontrol y la otra para la visualización de las variables del motor.

El sistema de telecontrol se implementó según se muestra en la Figura 5. El dispositivo remoto que se utilizó fue una Tablet con sistema operativo Android, utilizando como herramienta de desarrollo la plataforma AppInventor. La interfaz que se desarrolló se presenta en la Figura 6, esta interfaz le permite al usuario ver el estado de la conexión Bluetooth, en qué porcentaje está la velocidad del motor y cómo puede aumentarla o disminuirla, conjuntamente de un reset para desenergizar el motor.



**Figura 5. Esquema de la comunicación Bluetooth**

Fuente: Los autores

La interfaz del instrumento virtual se realizó con el software LabView que permite visualizar las variables del generador, presentando las variables del motor. En la Figura 6 se puede apreciar esta interfaz, la cual presenta un reloj para la medición de Voltaje RMS, intensidad de corriente eléctrica, temperatura del sistema, siendo interactiva y usable.



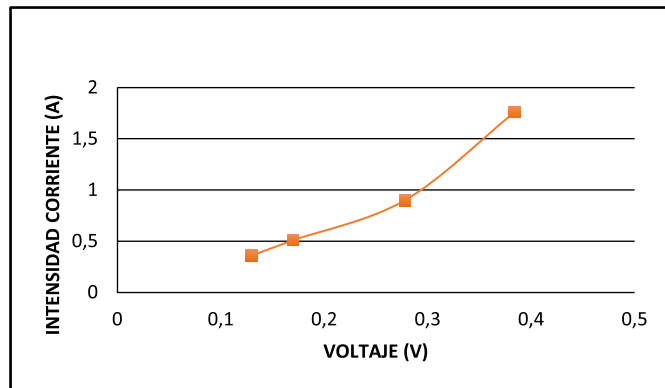
**Figura 6. Interfaz de usuario en LabView**

Fuente: Los autores

### 3. RESULTADOS

Se obtuvo la linealización del sensor de corriente, la interfaz de usuario y el prototipo del generador culminado. Teniendo como resultado que al variar la velocidad del motor, se producía una respuesta de carga eléctrica proporcional.

La caracterización del sensor de corriente se realizó teniendo el circuito acondicionador; se utilizó un amperímetro como patrón de medida de la corriente y el voltaje registrado por la Tiva como la variable de salida y una vez obtenidos los datos experimentales de las respuestas de los sensores se realizó una regresión lineal para ajustar y linealizar la respuesta del sensor, se halló la ecuación e ingresó en LabView para obtener los datos deseados en la visualización. La Figura 7 presenta la curva característica del sensor de corriente.



**Figura 7. Curva de Respuesta del sensor de corriente**

Fuente: Los autores

La ecuación 5, es la ecuación encontrada con la técnica regresión.

$$I = 5,374690523 * V - 0,410113071 \quad (5)$$

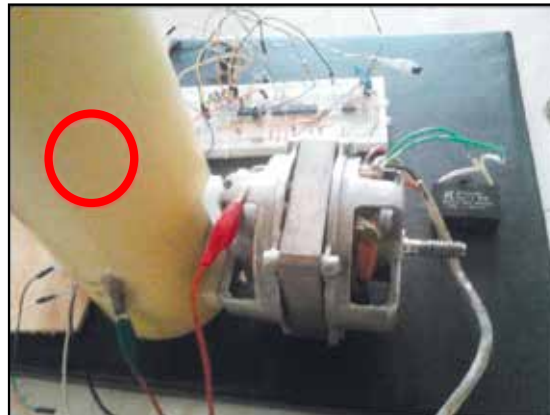
Las Figuras 8 y 9 presentan una vista descriptiva del prototipo implementado.



**Figura 8. Sensor de corriente**

Fuente: Los autores





**Figura 9. Sensor de temperatura instalado**

Fuente: Los autores

La Figura 10 presenta la interfaz realizada para visualizar en el dispositivo móvil y el código de programación en Applinventor.



**Figura 10. Aplicación y código de programación en Applinventor**

Fuente: Los autores

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La realización de prototipos útiles para los procesos de enseñanza-aprendizaje son necesarios para incrementar la posibilidad de experimentación en las ciencias básicas, la Ingeniería cada día aporta más a estas temáticas como la tratada en este desarrollo. Se aprecia que existe un gran interés por los estudiantes cuando se les permite la experimentación de fenómenos, comprobando e ideando situaciones sin el temor de ocasionar averías a sistemas no aptos para la experimentación, el tema de la electricidad estática se encuentra con antecedentes como se presentó en los diferentes artículos y proyectos realizados en otras instituciones.

La inclusión de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje cada día se hace más evidente y es por eso que el aporte a los modelos tradicionales de este prototipo utiliza dispositivos móviles, los cuales motivan al estudiante a hacer uso de la tecnología no solo para el ocio sino también para el aprendizaje [7].

La interacción entre instrumentos virtuales facilita que el estudiante se enfoque en la experimentación, debido al gusto y conocimiento por los equipos computacionales, dado que se desprenden un poco del típico laboratorio análogo y se les permite la interacción con dispositivos móviles que son útiles para la realización de laboratorios [8].

## 5. CONCLUSIONES

Las interferencias eléctricas sobre los dispositivos electrónicos se evidenciaron en forma de ruido, por lo cual fue necesario realizar un sistema de filtro de alta ganancia que permitiera una visualización limpia de las variables.

La interactividad de la plataforma de visualización del instrumento virtual permitió al usuario monitorear la generación del campo eléctrico sin necesidad de estar cerca, brindando confianza para quienes son temerosos de los efectos de la electricidad.

La usabilidad del aplicativo móvil permitió la activación y manipulación del prototipo por sistema de telecontrol sin intervención física del usuario y apropiando el uso de las tecnologías en la educación.

Como herramienta educativa presenta ventajas considerables ante los laboratorios o módulos de entrenamiento análogos, como la apropiación y el uso de dispositivos móviles como tabletas, smartphone, computadores portátiles, entre otros. El factor motivacional por el uso de estas herramientas con tecnología computacional permite aportar a las ciencias básicas en busca de aprendizajes significativos y desde la Ingeniería utilizando estrategias de aprendizaje basado en proyectos (ABP).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E.M. Sáenz, & R.Á. Patiño, "Construcción de un generador de Van de Graaff de 200kVcd", *El Hombre y la Máquina*, n°. 026, pp. 48-57, 2006.
- [2] J. Guisasola, et al. Una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la Física, en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 30, n°. 1, pp. 61-70, 2012.
- [3] A. Minor García, *El acelerador Van de Graaff mexicano. Entre el internacionalismo científico de la posguerra, la modernización y la consolidación de la Física en México*, 2010. Disponible en: <https://seminariodeinstrumentos.files.wordpress.com/2011/11/minor.pdf>
- [4] R. Pallas Areny, *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo, SA., 2001.

- 
- [5] TL. Floyd & RN Salas, *Dispositivos electrónicos*. México: Pearson Educación, 2008.
- [6] T.J. Maloney, *Electrónica industrial moderna*. México: Pearson Educación, 2006.
- [7] P.J. Lambea, A. Larrén, J.S. Artal, J. Mur, A. Usón, J. Letosa & C.T. del Actur, "Una experiencia de innovación docente en la enseñanza del electromagnetismo", *XI Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, CIEET*, vol. 3, 2003.
- [8] A. Usón, J.S. Artal, J. Mur, J. Letosa & M. Samplón, "Incorporación de experimentos en las clases teóricas de electromagnetismo", *Memorias del XI Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas CIEET'03*, 2003.