

Sistema de instrumentación virtual para determinar la tensión mínima de activación en interruptores y seccionadores utilizados en redes eléctricas de baja, media y alta tensión

Virtual instrumentation system to determine the minimum activation voltage for switches and disconnectors used in low, medium and high voltage electrical networks

Javier VARGAS [1](#); Jhony REINA [2](#); Lauren ISAZA [3](#)

Recibido: 10/05/2018 • Aprobado: 25/06/2018

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

El artículo presenta el diseño e implementación de un prototipo de instrumentación virtual para determinar la tensión de activación de interruptores y seccionadores de baja, media y alta tensión. Este instrumento permite realizar la prueba de tensión mínima de excitación, esta prueba permite caracterizar los seccionadores e interruptores utilizados en las redes eléctricas información necesaria para la programación de mantenimiento de los dispositivos y mantener en óptimo funcionamiento una red de distribución o transmisión de energía eléctrica.

Palabras clave: Seccionador Eléctrico, Interruptor De Potencia Eléctrica, Bobina De Cierre/Apertura, Prueba De Tensión Mínima, Sistema De Instrumentación Virtual, Electrónica De Potencia.

ABSTRACT:

The article presents the design and implementation of a prototype of virtual instrumentation to determine the activation voltage of low, medium and high voltage circuit breakers and disconnectors. This instrument allows the minimum excitation voltage test to be carried out. This test allows the characterisation of the disconnectors and switches used in the electrical networks and the information necessary for programming the maintenance of the devices and for maintaining the optimum operation of an electrical energy distribution or transmission network.

Keywords: P

1. Introducción

Se entiende que una subestación eléctrica es el conjunto de diferentes dispositivos para transmitir, acoplar y distribuir la energía eléctrica, para ellos se necesita de los elementos de medición para identificar las diferentes magnitudes eléctricas, como Intensidad de corriente, tensión, frecuencia, factor de potencia, potencia activa y reactiva. (Kundur et al., 2004)

Para cada uno de los elementos de medición existen dispositivos de instrumentación capaces de transformar dichas variables en información entendible a las personas y poder dar diagnóstico a aplicar determinaciones; dicha transformación de variables pueden ser como números, letras, gráficas, videos, sonidos entre otros. (Orlikowski & Baroudi, 1990) (Hansman, Figliola, Sydenham, & Dieck, 1999) (Toquica, Garz, & Narvaez, 2017)

En el momento de la instalación de los equipos de las subestaciones eléctricas y después de la instalación, es necesario verificar y aplicar una serie de pruebas que permiten determinar el estado de los elementos instalados. Estas pruebas permiten al departamento de ingeniería y mantenimiento tomar acciones sobre el funcionamiento de los elementos. (Hansman et al., 1999) (Molina & Flórez, 2010)

De los elementos que conforman la subestación se encuentran los seccionadores e interruptores de potencia, estos elementos permiten encender y apagar la transmisión de corriente eléctrica en redes de distribución y/o transmisión y proteger otros elementos de la subestación. A este dispositivo se le realizan pruebas de tiempo de contactos, resistencia de contactos, aislamiento, rigidez dieléctrica, factor de potencia y Tensión mínima de activación. (Salazar Gómez & Cuervo Ramírez, 2013) (Genji et al., 1994)

El proyecto implementado se enfocó en la prueba de tensión mínima de activación, para esto se desarrolló un sistema de instrumentación virtual (Vargas, Almanza, & Guapacho, 2016) (Vargas-Guativa & Arango, 2012), el cual permitió monitorear la apertura de los contactos del interruptor determinando el voltaje suministrado a los bornes de activación. (Gondres Torné, Báez Prieto, Lajes Choy, & del Castillo Serpa, 2013)

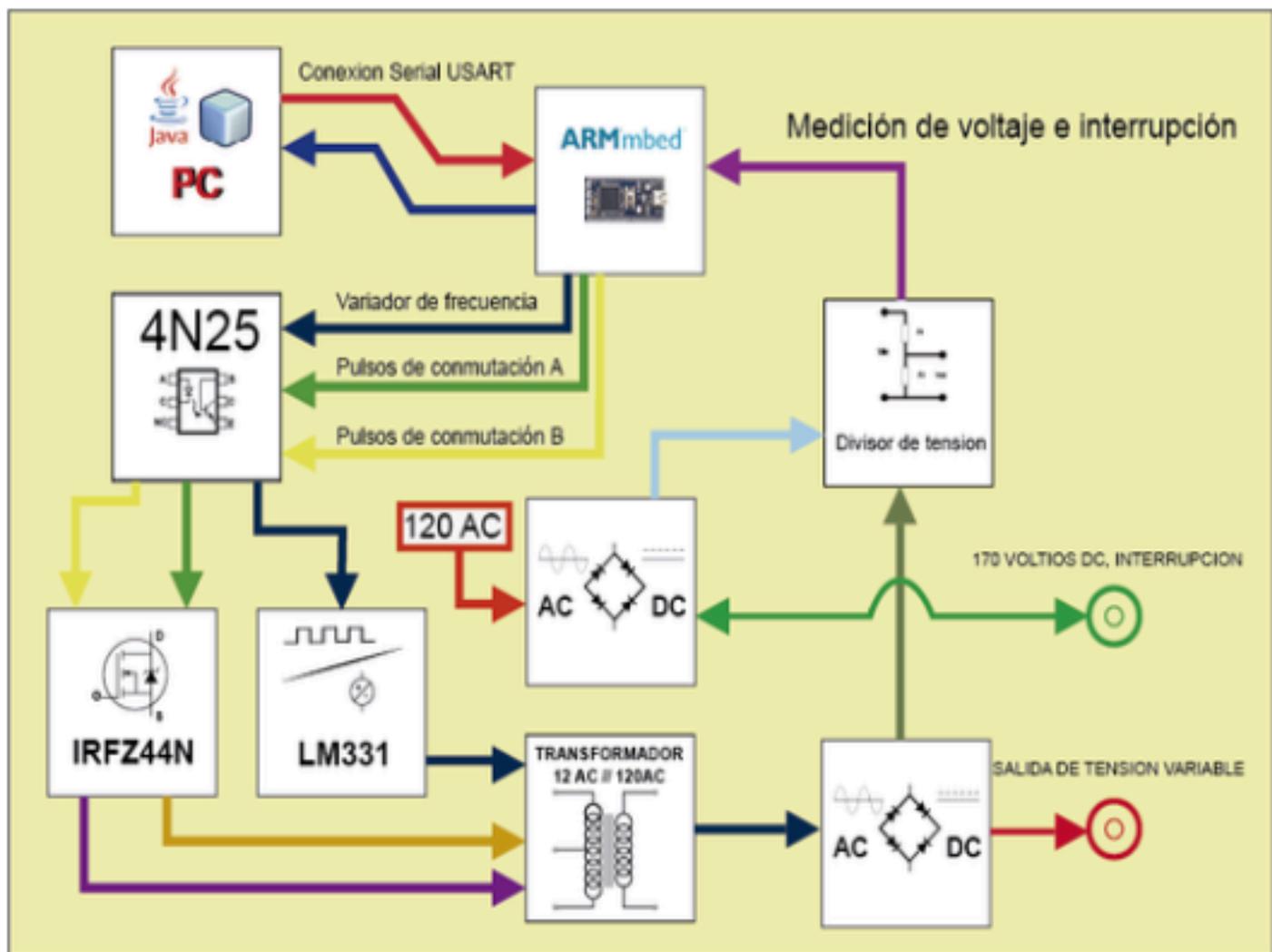
Como resultado del desarrollo tecnológico, se obtuvo una interfaz gráfica de usuario del instrumento implementado que permite crear un nuevo proyecto, ver tutorial de uso del instrumento, abrir el manual de usuario y salir del programa. Además permite generar una ayuda visual mediante una gráfica donde se visualizan intervalos contra voltaje. (Falco & Bossa, 2008) (Isaza, Vargas, & Velásquez, 2015)

2. Metodología

El desarrollo metodológico utilizado en la investigación es de tipo interactivo. Se dividió en 4 fases, la primera fase se denominó caracterización eléctrica del interruptor y seccionador, la fase 2, sistema de alimentación eléctrica, la fase 3, desarrollo de software y la fase 4, pruebas y puesta en funcionamiento.

En la figura 1, se observa el diagrama de bloques diseñado para la representación del sistema de instrumentación virtual que permita realizar la prueba de la tensión mínima de las bobinas de cierre o apertura de los interruptores de potencia. Las entradas del sistema son los valores de tensión obtenidos por teclado desde el software desarrollado por los autores en Netbeans IDE 8.1, los valores son, voltaje inicial, voltaje final e intervalos de voltaje. Las salidas del sistema son los voltajes correspondientes a su digitalización los cuales se inyectan a las bobinas de los interruptores para excitar la bobina que activa es el camino de interrupción, dicha interrupción determinará la finalización de la prueba.

Figura 1
Diagrama de bloques del prototipo



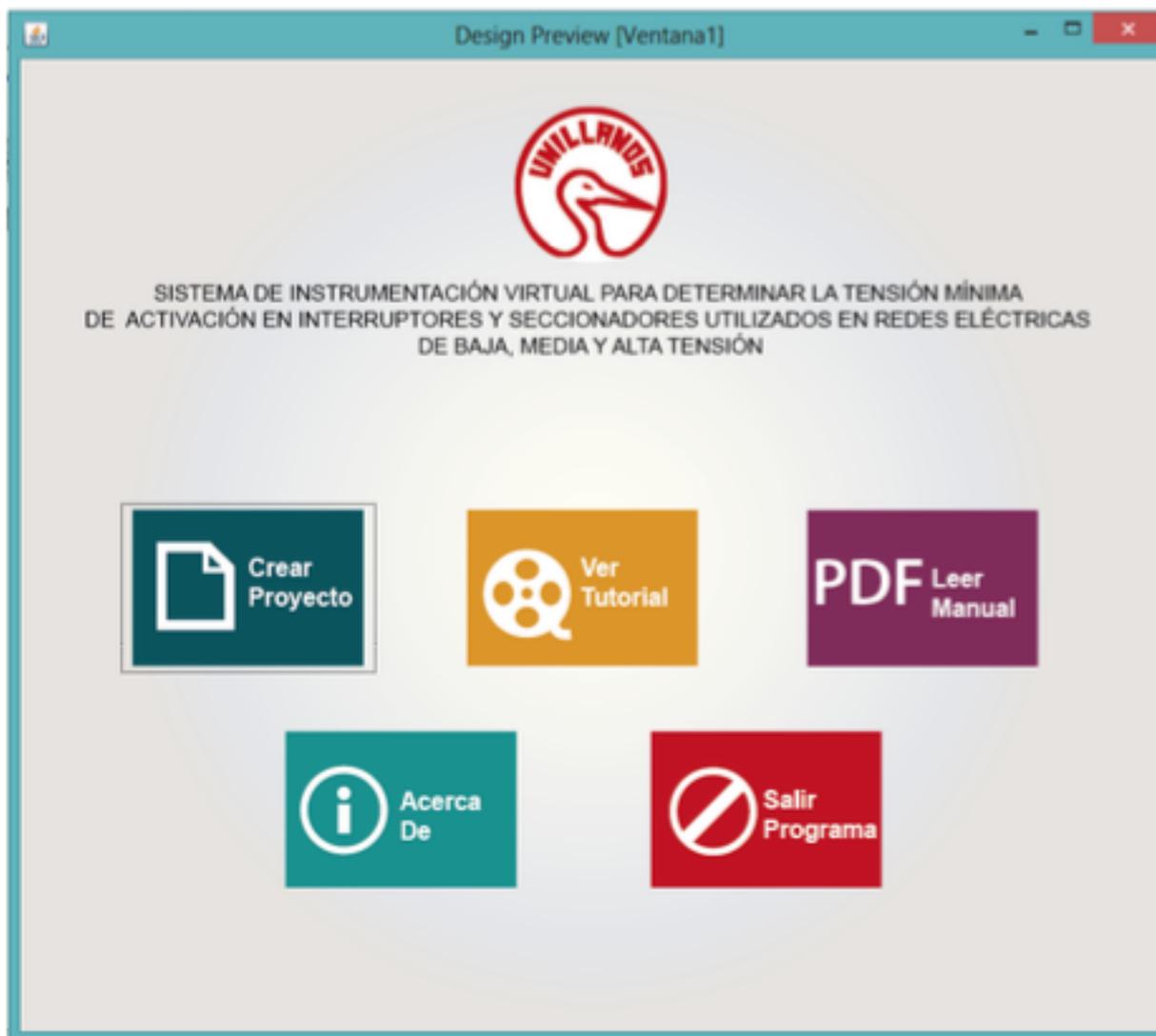
Fuente. Propia

3. Resultados

NetBeans IDE es un entorno de desarrollo. Es una herramienta que permite escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. El lenguaje de programación utilizado fue Java. Además existe un número importante de módulos para extender el NetBeans IDE. NetBeans IDE es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso.

En la figura 2, se presenta la ventana inicial de la aplicación desarrollada por los autores, donde se encuentran 5 botones de acceso a determinadas funciones. Botón "crear proyecto", al momento de ejecución del botón se despliega a la ventana de creación de proyecto. El botón "Ver Tutorial" direcciona a un video didáctico que orienta los pasos y parámetros para la ejecución de la prueba y generación del informe, la ejecución del video se visualiza con un reproductor de uso general. El botón "Leer Manual" despliega a la ejecución del manual en formato pdf. El botón "Acerca De" permite obtener la información de los desarrolladores del software y finalmente el botón "salir programa" que permite salir de la aplicación y volver al entorno operativo del sistema de cómputo.

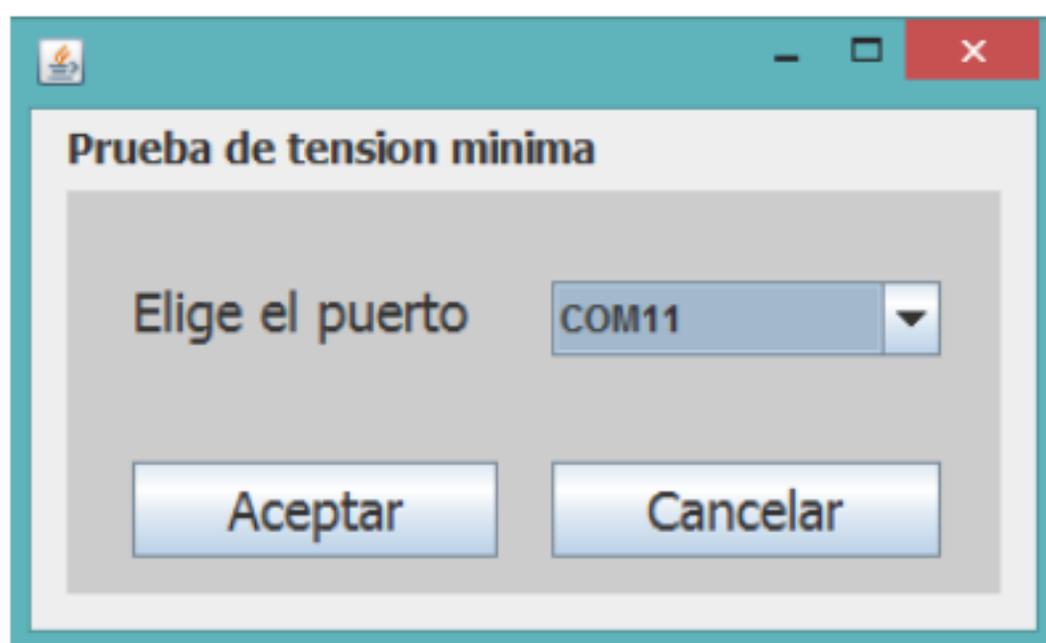
Figura 2
Menú



Fuente. Propia

Para la realización de la prueba de tensión mínima de activación fue necesario contar con una tarjeta electrónica para el control de los niveles de tension que se inyectan a la bobina de apertura o cierre, en este caso se utilizó un microcontrolador mbed, al cual se le programó una comunicación serial entre el microcontrolador y el software de instrumentacion. En la figura 3, se observa la ventana de comunicación para la selección del puerto serial del microcontrolador para proceder asi, la inicializacion de la prueba.

Figura 3
Selección del puerto serial



Fuente: Presentación propia del autor

Una herramienta del software Netbeans es denominada Spinner, es un componente de java donde que permite la direccion de aumento y de decremento, En la figura 4, se presenta el uso de esta herramienta para controlar 3 variables, las cuales son, voltaje inicial, voltaje final, intervalos de voltaje.

El usuario configura el Spinner 1 mediante el boton voltaje inicial en un rango de 0 a 170 voltios, este representa el valor de arranque de tensión que se inyecta a la bobina, el Spinner 2 denominado voltaje final controla el valor de tensión final y el Spinner 3 denominado Intervalos de tensión permite la configuracion de intervalos de voltaje representados en un rango de 0.00 a 10.00 voltios, el cual permite configura resolución.

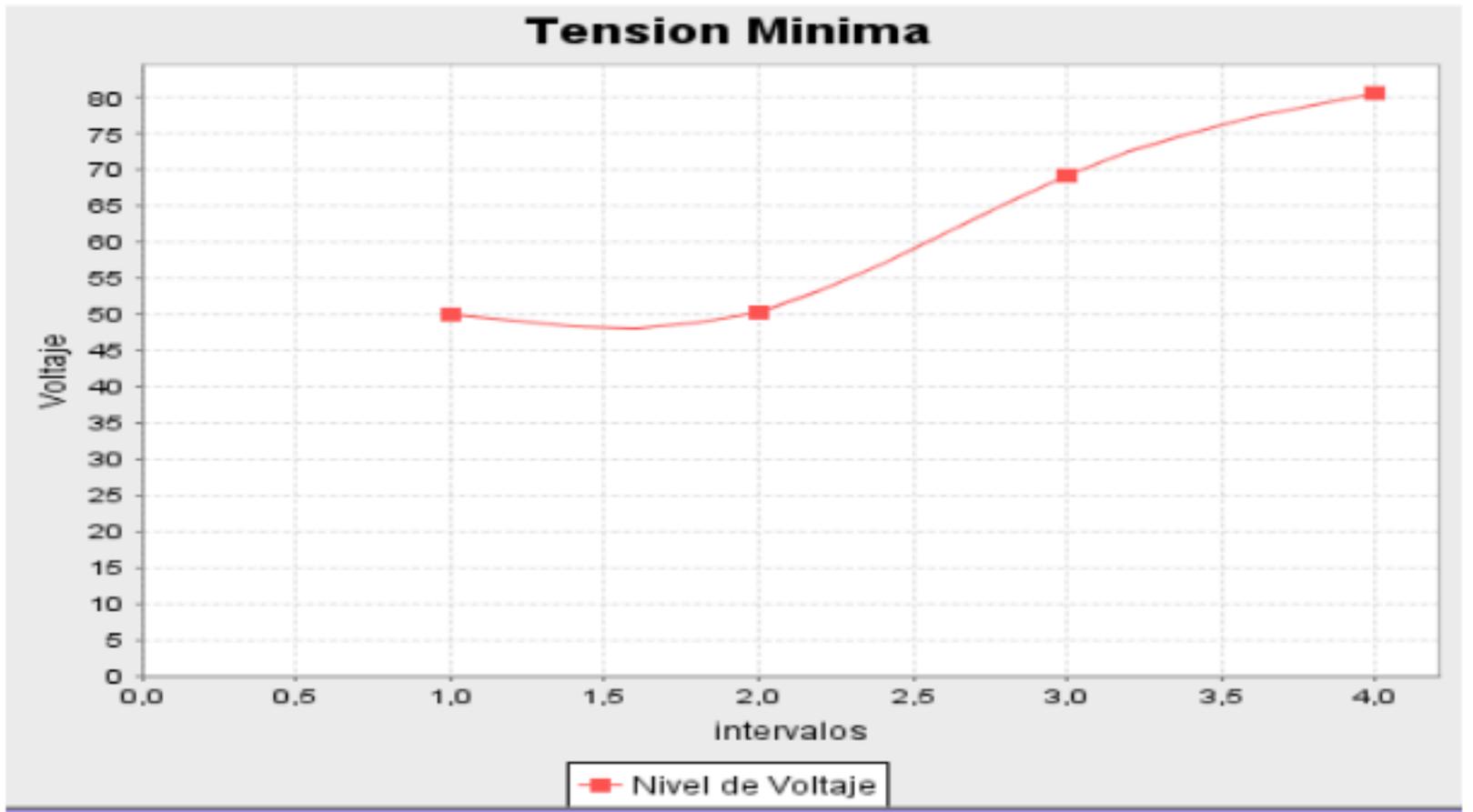
Figura 4
Parámetros de la prueba

The image shows a software interface for configuring test parameters. It is divided into three main sections, each with a light blue header and a white content area. The first section is labeled 'Voltaje Inicial' and contains a spinner control with the value 'p'. The second section is labeled 'Voltaje Final' and contains a spinner control with the value '125'. The third section is labeled 'Saltos de Voltaje' and contains two spinner controls: one for 'Unidades' with the value '1' and one for 'Decimales' with the value '00'.

Fuente: Presentación propia del autor

En la figura 5, se aprecia la gráfica entregado por el instrumento en tiempo real durante la realización de la prueba, esta grafica permite visualizar los niveles de tensiones aplicadas a las bobinas del interruptor en intervalos de tiempo constante; cada vez que un nuevo dato de tensión es inyectado la gráfica se actualizan hasta que aparezca un mensaje informando que la prueba ha llegado a su final.

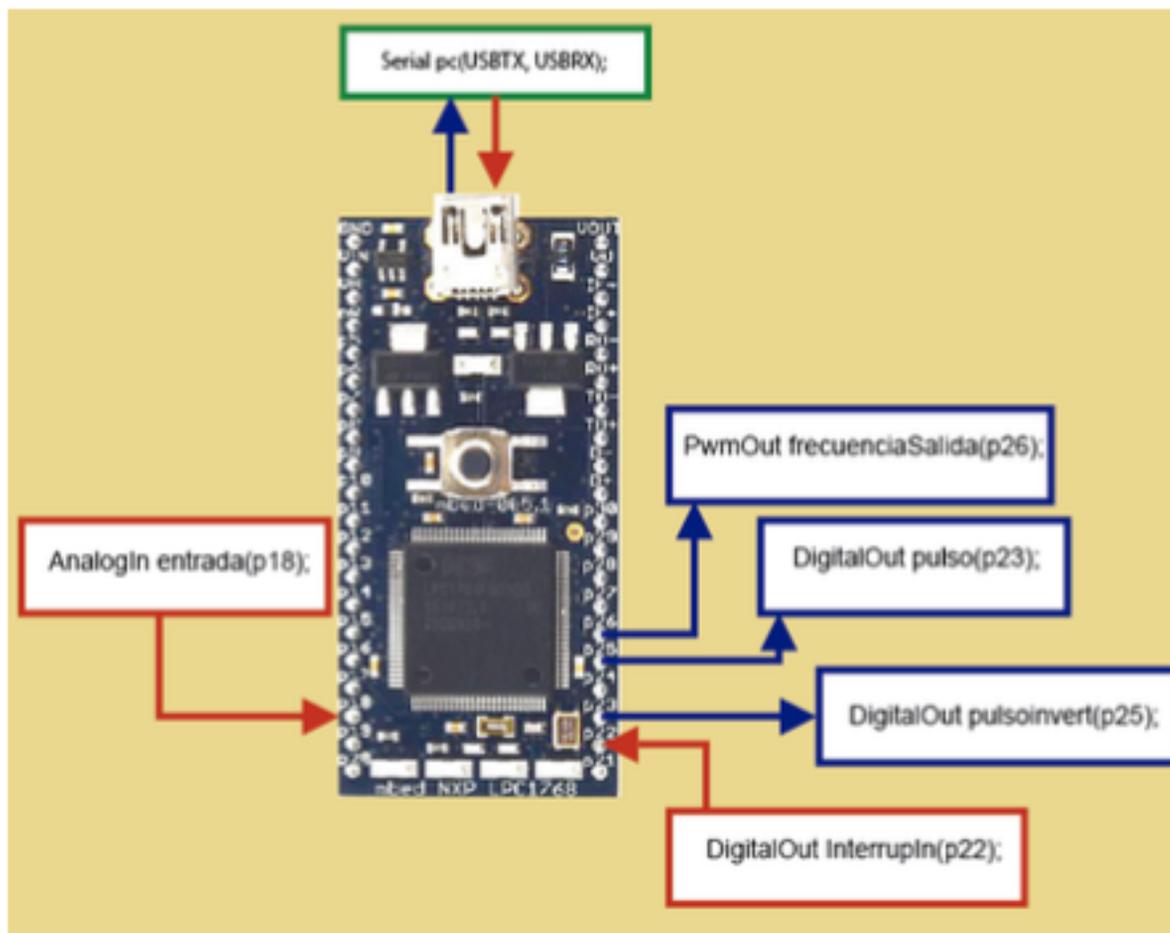
Figura 5
Grafica indica las tensiones aplicadas a las bobinas



Fuente. Propia

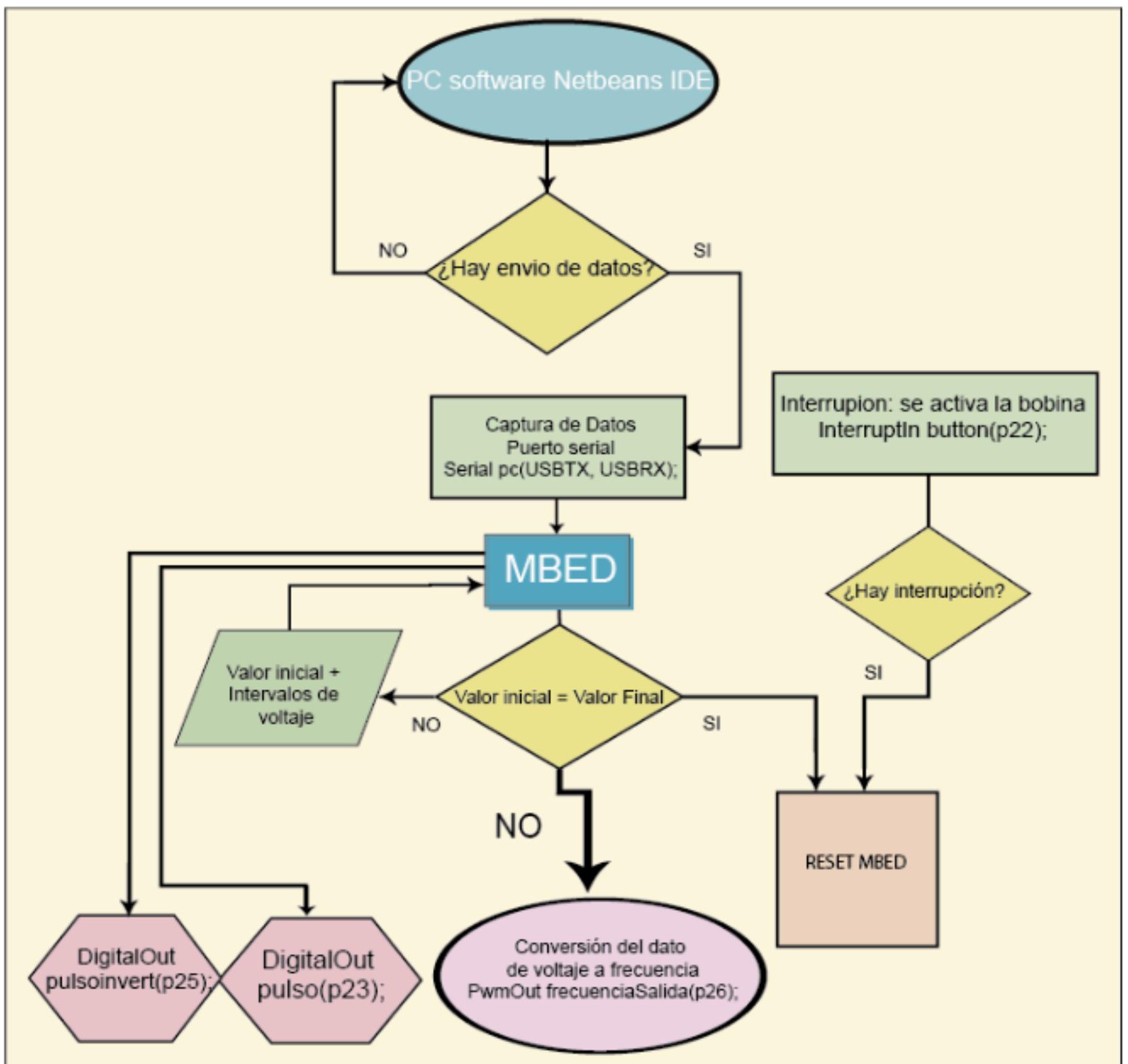
En la figura 6, se presenta el microcontrolador MBED utilizado para el control de entradas y salidas de información del instrumento virtual hacia las bobinas de apertura o cierre de los interruptores y/o seccionadores de potencia.

Figura 6
Entradas y salidas del Mbed



En la figura 7, se muestra el diagrama de flujo del código del MBED donde se indican cuáles son sus salidas y sus entradas.

Figura 7
Diagrama de flujo

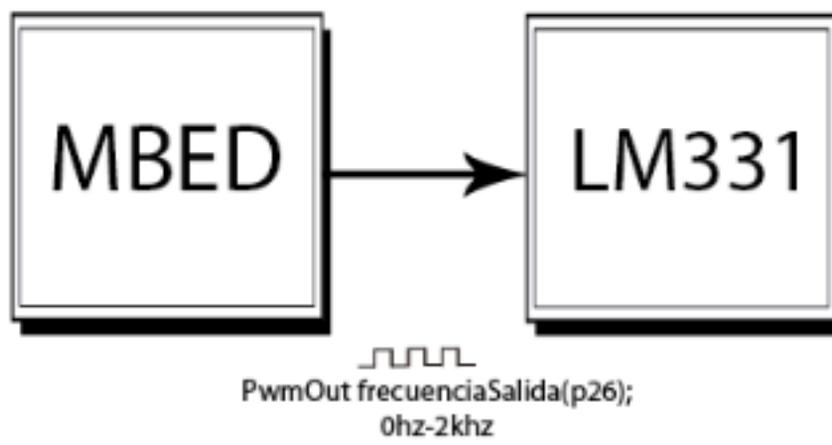


Fuente. Los Autores

La entrada por el puerto serial USART, recibe tres valores de tipo "STRING" el primer valor el "Voltaje Inicial" el segundo valor "Voltaje Final" y tercer valor "Intervalos De Voltaje".

La entrada de interrupción por el pin22 su variable designada es "InterruptIn Button(p22);". Esta entrada recibe un valor lógico si es '0' la inyección continua su aumento de inyección de tensiones, si el valor lógico es '1' el microcontrolador envía el valor 'm' por el puerto serial para indicar que la prueba ha finalizado y se reinicia el MBED.

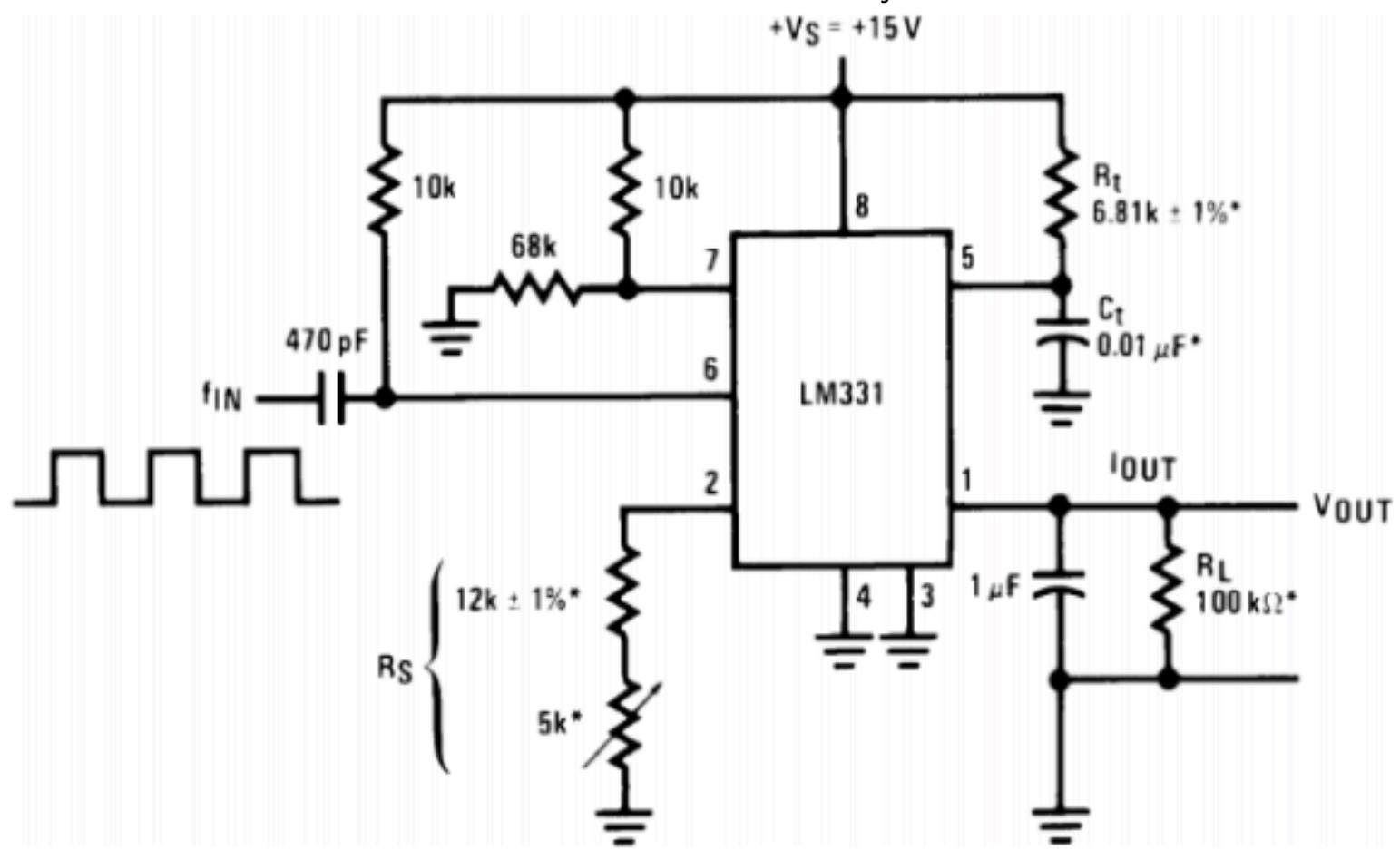
Figura 8
Salida de frecuencia variable



Fuente. Los Autores

Como se muestra en la figura 8, esta salida tiene una variación de frecuencia de un rango de 0hz a 2khz. Esta frecuencia variable es conectada a un convertor de frecuencia a voltaje dc (lm331), este circuito convierte las señal de salida de frecuencia variable en señal de salida de voltaje directo variable. En la figura 9, se muestra el diagrama de conversión de frecuencia a voltaje dc con el integrado lm331 y su fórmula para calcular el voltaje de salida.

Figura 9
Convertor frecuencia a voltaje



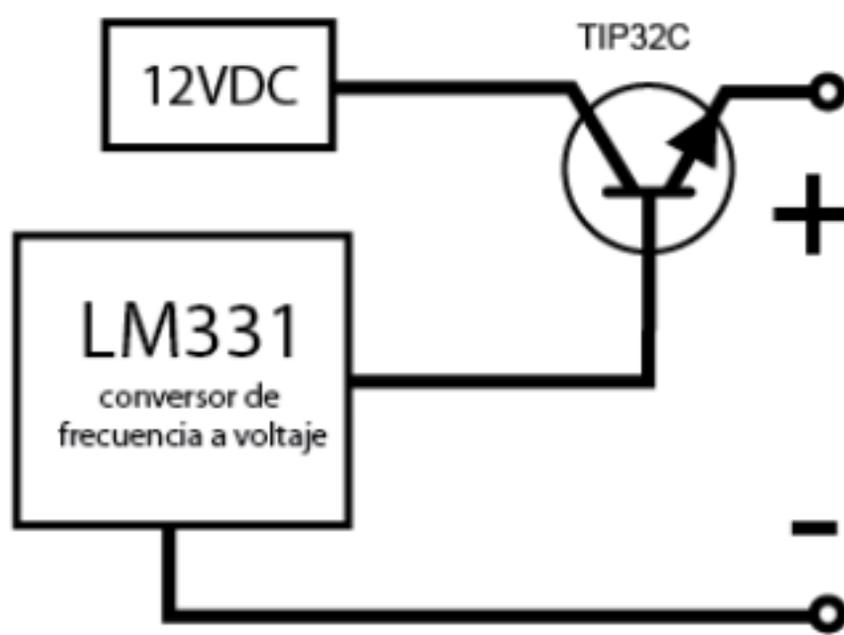
Fuente. Los Autores

En la ecuación (1), muestra las variables utilizadas en el diagrama de circuito implementado LM331, como convertor de frecuencia a voltaje, determinado por los parámetros establecidos, para amplificar la corriente se utilizó la conexión de la figura 10.

(1)

En la figura 10, muestra la configuración entre el lm331 y el transistor TIP32C, para ganancia de corriente, evitando caidas de tensión cuando la exigencia de potencia se mayor.

Figura 10
Diferencial de potencia. (MOSPEC, n.d.)



Fuente. Los Autores

En la tabla 1, se muestra la conversión entre las frecuencias generadas por el microcontrolador MBED y la salida en voltaje de corriente directa del LM331.

Tabla 1
Comparación entre frecuencia de entrada y voltaje

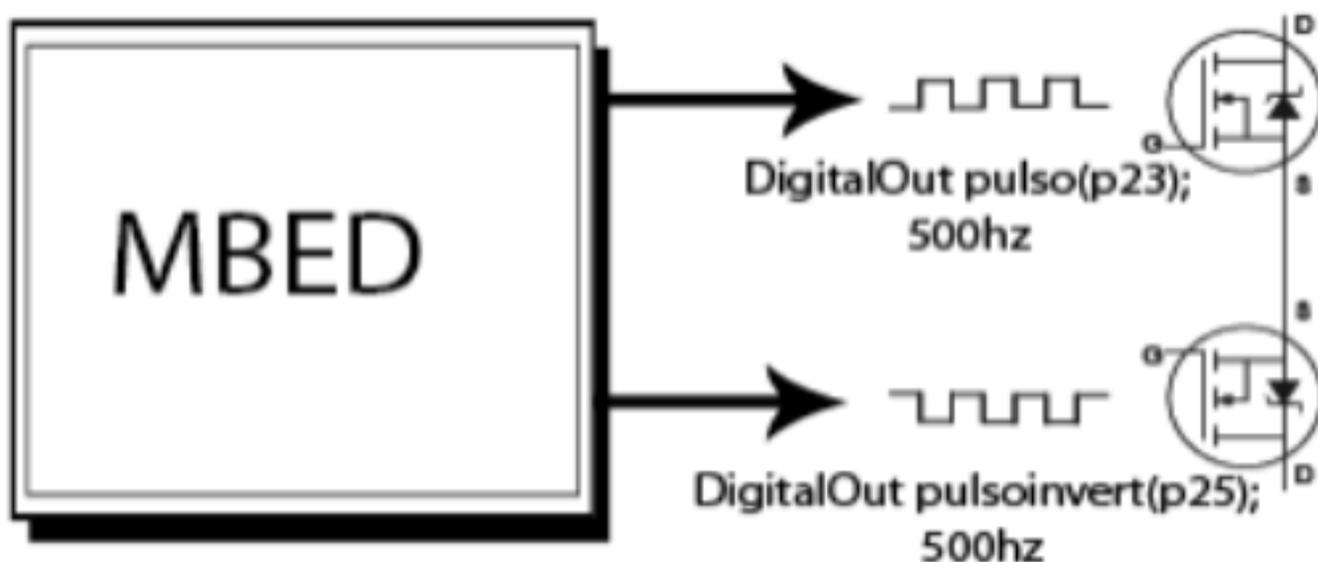
Frecuencia (Hz)	Voltaje (Voltios DC)
0	0
80	0,029304
160	0,231502
240	0,843956
320	1,119414
400	1,775824
480	2,027839
560	2,47326
640	3,150183
720	3,534066
800	3,786081
880	4,202198
960	4,57729
1.040	5,254213
1.120	5,494506

1200	5,948718
1.280	6,490843
1.360	6,816117
1440	7,299634
1.520	7,654213
1.600	8,105494
1680	8,498169
1.760	8,94066
1.840	9,286448
1920	9,74359
2.000	10,074726

Fuente. Los Autores

En la figura 11, se observa el circuito de potencia para la activación de las bobinas del interruptor o seccionador. Esta conformado por dos salidas con frecuencia de 500hz que van conectadas a las compuertas de un par de transistores mosfet, la activación del sistema es push-pull, por tanto mientras la señal 1 esta en "ON" la señal 2 se encuentra en "OFF", intercambiando su estado atravez del tiempo, a esto se le denomina metodo de conmutacion.

Figura 11
Frecuencias de conmutación

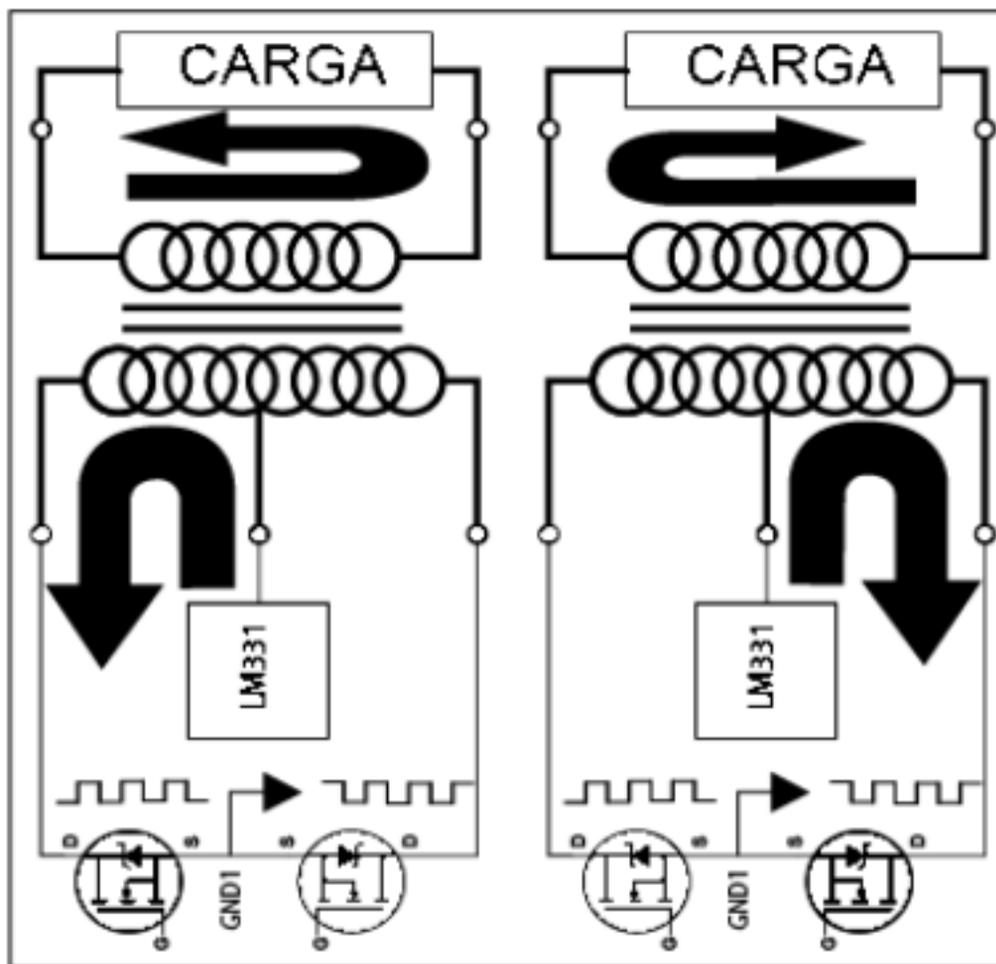


Fuente. Los Autores

La configuración utilizada para el inversor elevador se muestra en la figura 12, donde se utiliza dos transistores MOSFET funcionando como conmutadores, con el fin de realizar un conversor de corriente continua a corriente alterna, esta inversion de corriente permite amplificar el valor del voltaje dc suministrado por el sistema computacional y elevarlo a 170 voltios, valor maximo necesario para la prueba de la tension minima.

Figura 12

Diagrama de conexión entre LM331, IRFZ4N, y el transformador, conformado el inversor PUSH PULL.

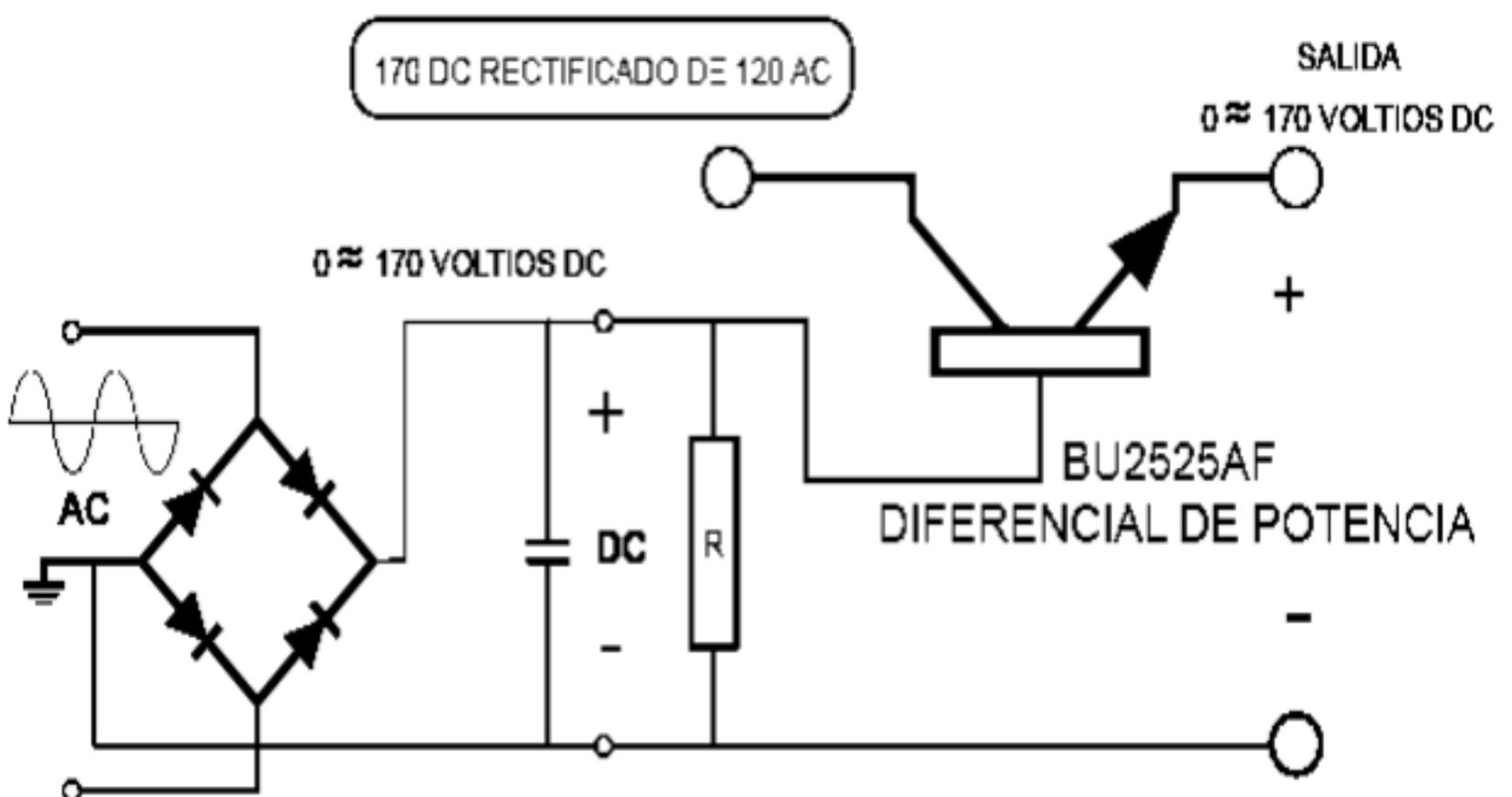


Fuente. Los Autores

La figura 13, presenta la etapa final del conversor con un circuito de rectificación de onda completa y regulado por transistor bipolar para obtener un voltaje de salida de 170 voltios con una intensidad de corriente eléctrica máxima de 2 amperios.

Figura 13

Rectificador conectado al diferencial de potencial con BU2525AF (Semiconductors, 1997).



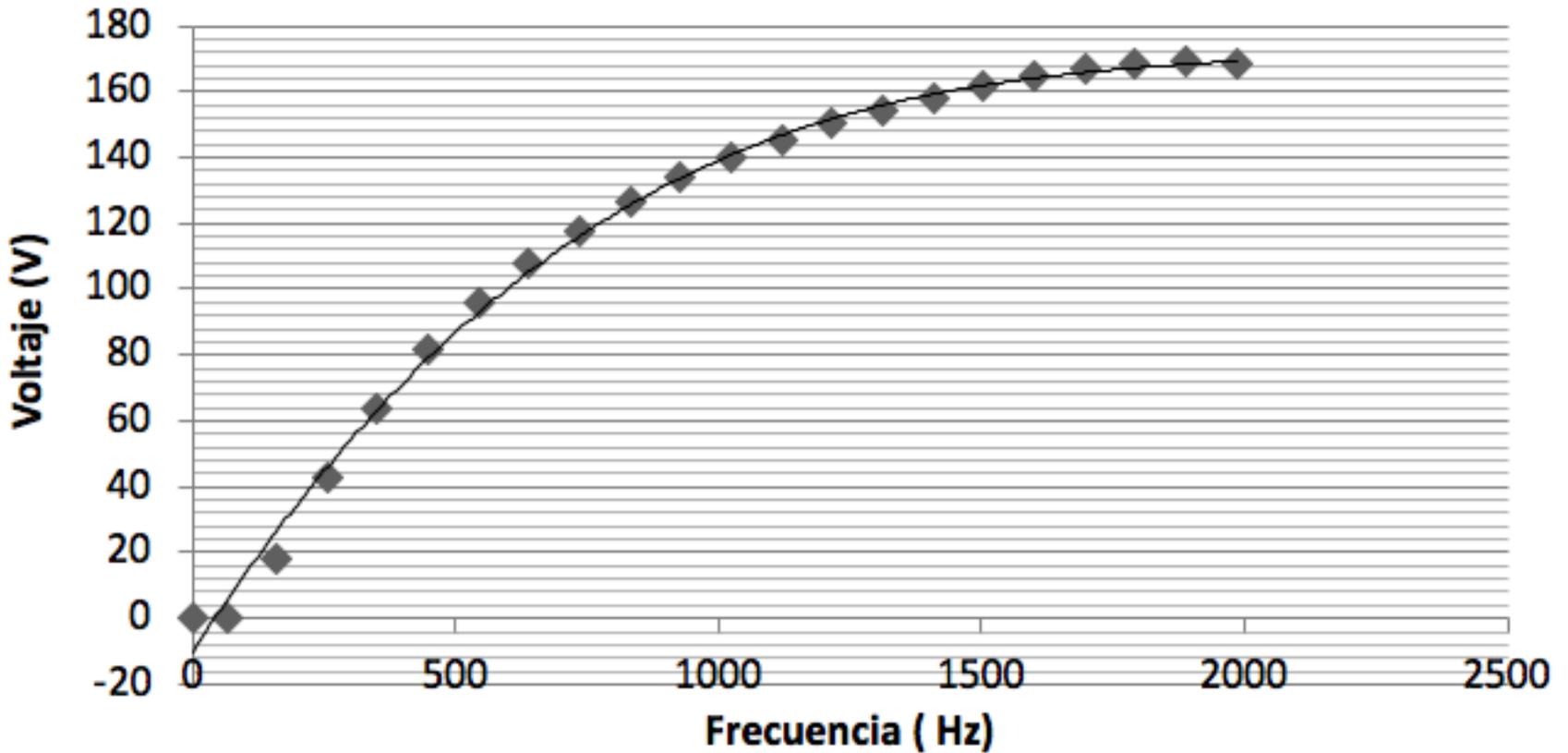
La figura 14. Muestra la comparación entre frecuencia y el voltaje, donde la frecuencia es la salida del microcontrolador MBED y los valores de voltaje es la salida del sistema de circuito

implementado en el diseño.

$$y = 9E-12x^4 - 1E-08x^3 - 8E-05x^2 + 0,230x - 8,877$$

Figura 14

Grafica de la conversión entre frecuencia a voltaje



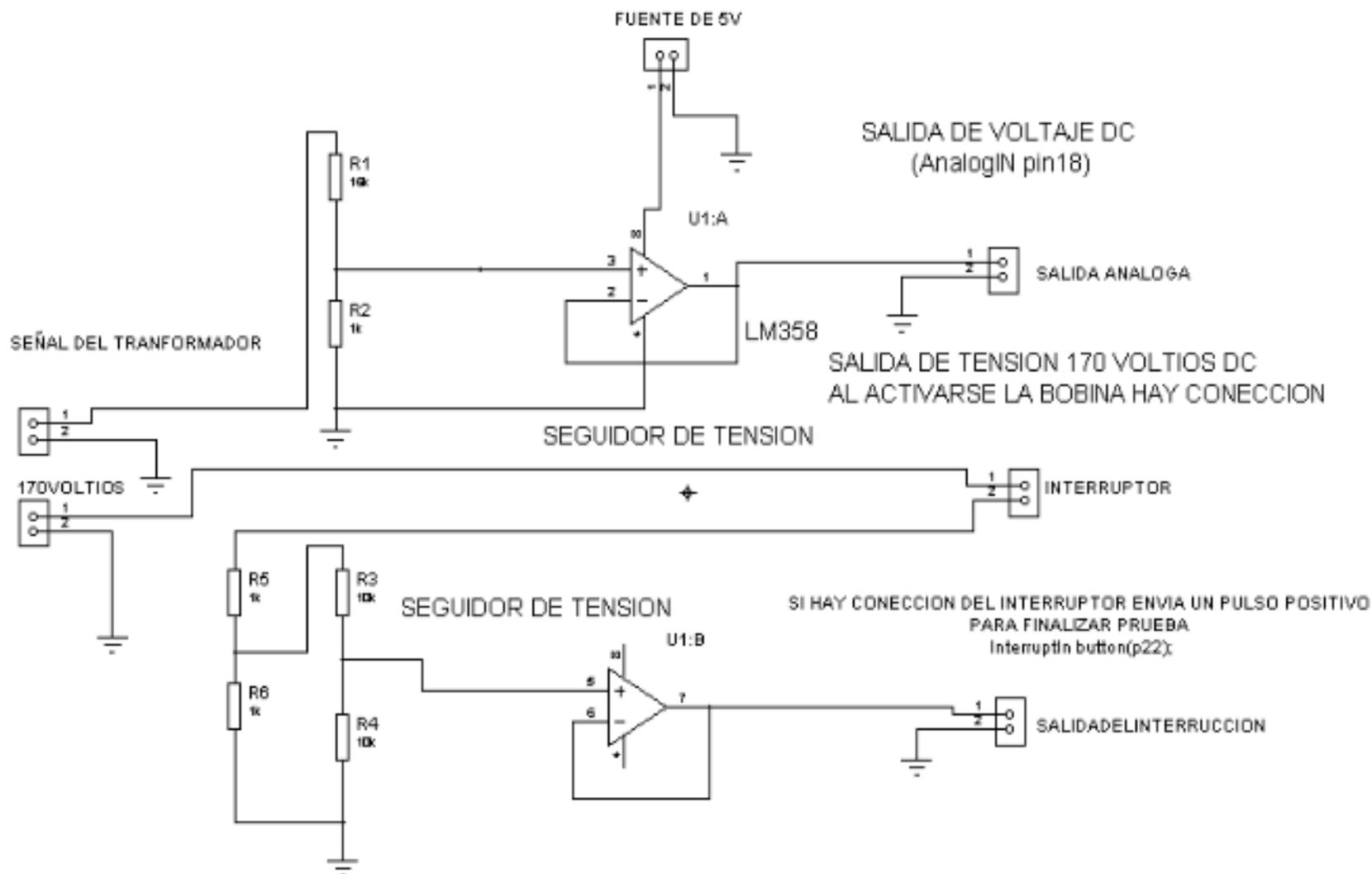
Fuente. Los Autores

Divisores y seguidores de tensión

Los divisores de tensión se utilizan para dividir el voltaje y poder enviarlo al micro controlador para su medición, en la figura 37, se muestra dos seguidores de tensión el primero es para dividir el voltaje que se le va inyectando a la bobina y poder medir su voltaje, el segundo seguidor es cuando se excita la bobina activa un camino donde fluye corriente esto hace que divida 170 voltios y envíe un nivel lógico al microcontrolador que me indica que la prueba a finalizado.

Figura 15

Divisores de tensión y seguidores de voltaje Im358p. (INSTRUMENTS, 2005)



Fuente. Los Autores

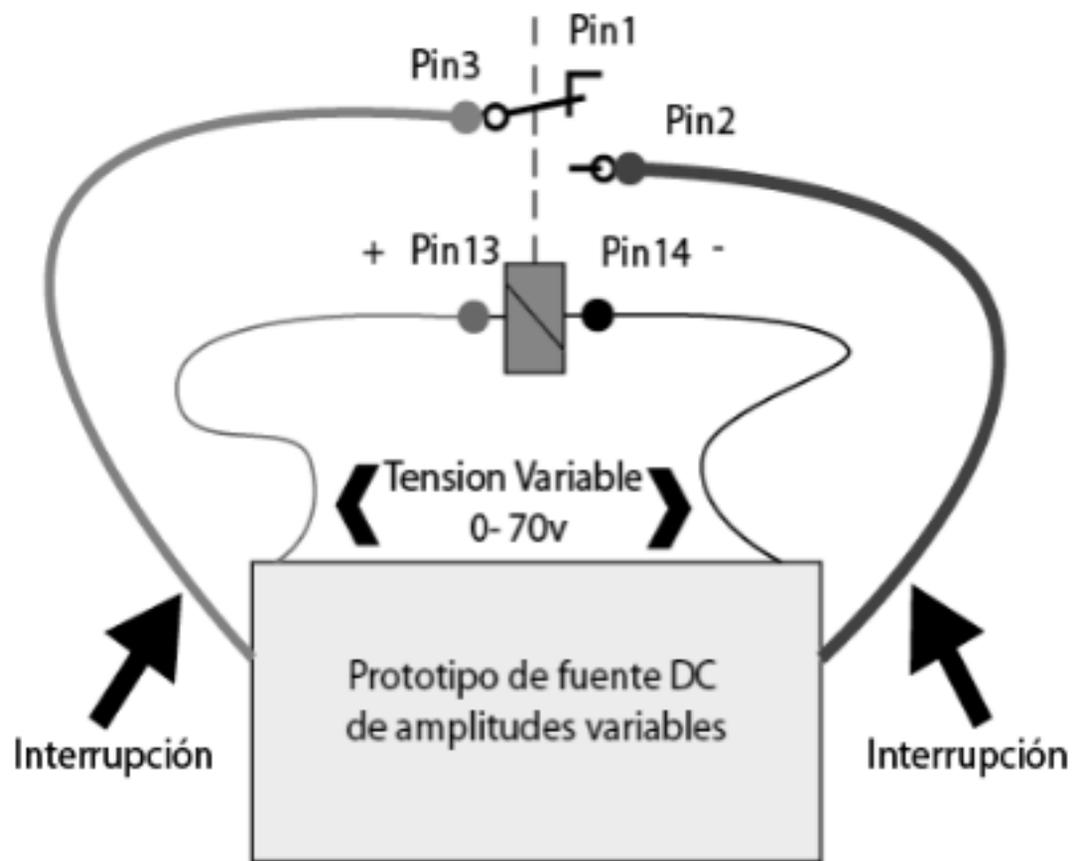
Elaboración de la prueba

En la puesta en marcha del sistema de instrumentación virtual para determinar la tensión mínima de las bobinas de los interruptores de potencia, se utilizó el relé C4-A 40, para determinar la tensión mínima por medio del sistema de instrumentación virtual realizado en este proyecto, mostrando los niveles de tensiones inyectadas. La configuración implementada se muestra en la figura 16, donde a la bobina se le inyecta se las tensiones en corriente directa de forma ascendente hasta llegar su activación.

Figura 16

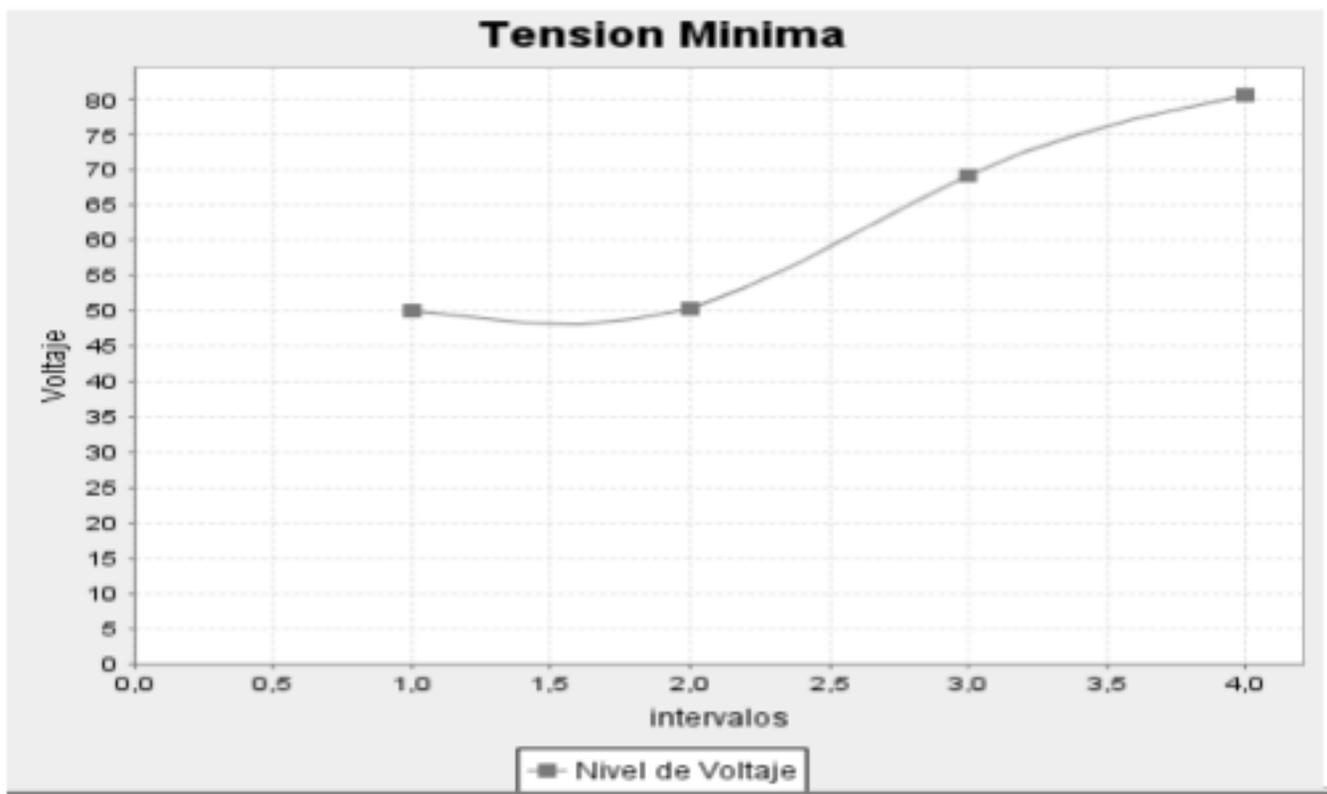
Conexión del prototipo implementado en este proyecto para determinar la tensión mínima.

Relé industrial de 4 polos C4-A40



Como se observa en la figura 17, los niveles de tensión, inyectados en la prueba, concluyendo que el relé requiere para su activación 80 voltios mínimos. Los parámetros utilizados fueron voltaje inicial 50 voltios, voltaje final 100.

Figura 17
Grafica de tensiones aplicada al relé C4-A40.



La prueba indicó que la bobina del relé C4-A40, necesita como mínima tensión 80.01454 V dc.

4. Conclusiones

Las pruebas de tensión de activación, permite caracterizar el comportamiento de la bobina de activación del interruptor de potencia. Aporta a determinar el voltaje mínimo de activación y de desactivación. Con el fin de realizar maniobras de mantenimiento.

El sistema de instrumentación virtual implementado, logro la articulación del sistema

electrónico de potencia y una base de datos para la gestión de la información en programación del mantenimiento eléctrico.

La respuesta de activación del interruptor de potencia, permitió determinar el voltaje de accionamiento de la bobina. La implementación del sistema electrónico de potencia permitió controlar el nivel de tensión de 0V a 170V logrando la excitación de la bobina de activación del elemento de potencia.

La evaluación del sistema de instrumentación indicó que el tiempo de respuesta es óptimo. La lectura de la señal de activación proveniente del dispositivo de potencia es adecuada para el reset del elemento.

Referencias bibliográficas

- Falco, C., & Bossa, J. (2008). AADECA 2008 – Semana del Control Automático – XXI Congreso Argentino de Control Automático 1.
- Genji, T., Nakamura, O., Isozaki, M., Yamada, M., Morita, T., & Kaneda, M. (1994). 400V Class High-Speed current Limiting Circuit Breaker for Electric Power System. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9(3), 1428–1435. <https://doi.org/10.1109/61.311172>
- Gondres Torné, I., Báez Prieto, R., Lajes Choy, S., & del Castillo Serpa, A. (2013). Determinación de la confiabilidad en interruptores de potencia: caso de estudio Determination of reliability in high voltage breakers: case study. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 21(2), 271–278. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000200010>
- Hansman, R. J., Figliola, R. S., Sydenham, P. H., & Dieck, R. H. (1999). Measurement, Instrumentation & Sensors Contents Measurement Characteristics. *Measurement*.
- Isaza, L., Vargas, J., & Velásquez, F. (2015). Diseño de una interfaz gráfica de usuario para el control de un prototipo de banda seleccionadora de piezas industriales. *Ingenium*, 17(34).
- Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., ... Vittal, V. (2004). Definition and classification of power system stability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19, 1387–1401. <https://doi.org/10.1109/Tpwr.2004.825981>
- Molina, J., & Flórez, D. (2010). APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR IEC 61850 EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN Eduardo, 9, 53–59.
- Orlikowski, W., & Baroudi, J. (1990). STUDYING INFORMATION TECHNOLOGY IN ORGANIZATIONS: RESEARCH APPROACHES AND ASSUMPTIONS. *Center for Digital Economy Research Stern School of Business*, 1–31. <https://doi.org/10.1287/isre.2.1.1>
- Salazar Gómez, A. J., & Cuervo Ramírez, D. K. (2013). Protocolo de pruebas de seguridad eléctrica para equipos electromédicos: caso de estudio de equipos de telemedicina. *Revista de Ingeniería, Universidad de Los Andes*, 27–32. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i38.87>
- Toquica, D. V., Garz, C., & Narvaez, A. (2017). Análisis de Confiabilidad en Subestaciones Eléctricas Tipo Maniobra Implementando el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia. *Revista Ingeniería*, 65–82.
- Vargas-Guativa, J., & Arango, J. (2012). Sistema de instrumentación virtual para la medición de radiación ionizante presente en el medio 1. *Ingeniería Solidaria*, 8(14), 34–40.
- Vargas, J., Almanza, C., & Guapacho, J. (2016). Sistema de instrumentación virtual utilizando un sensor RTD experimental. *Ingenium*, 17(34), 31–46.

1. Profesor Investigador grupo Macrypt. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad de los Llanos. Doctor en Ciencias de la Educación, Magister en Administración Educativa, Especialista en Mecatronica industrial, Ingeniero electrónico. javier.andres.vargas@unillanos.edu.co

2. Ingeniero Electrónico Universidad de los Llanos, Auxiliar de Investigación Grupo Macrypt.

3. Candidata a Doctora en Sustentabilidad, Magister en Gestión Tecnológica, Ingeniera Electromecánica. Profesora Investigadora del Grupo de Investigación Trabajo de Llano. Corporación Universitaria minuto de Dios – Uniminuto. lauren.isaza@uniminuto.edu