



DOI: 10.5377/revminerva.v6i2.17085

Nota Técnica | Technical Report

Diseño e Implementación de un Generador de Huecos de Tensión para Pruebas de Robustez

Design and Implementation of a Voltage Dip Generator for Robustness Tests

Byron Cantor Pérez¹

Cristóbal Isaías Chafoya Castro¹

Víctor Salomón Sagastume Peñate¹

Josué Giovanni Lúe González¹

José Roberto Ramos López¹

Correspondencia
byron.cantorperez.sv@ieee.org

Presentado: 23 de enero de 2023
Aceptado: 26 de mayo de 2023

¹ Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

RESUMEN

Los huecos de tensión (también llamados sags o dips) son uno de los fenómenos eléctricos más comunes existentes en la red eléctrica, y consiste en la reducción del valor eficaz de tensión durante un breve periodo. Ya que a los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos se le exige cierta tolerancia a este fenómeno eléctrico. Se requiere de un dispositivo capaz de generar huecos de tensión de forma controlada fuera de la red eléctrica, con el propósito de poder realizar pruebas de robustez y verificar que se cumplan las normativas que caracterizan el fenómeno como lo serían SEMI-F47, CBEMA y la curva ITIC. Teniendo en consideración lo anterior, se diseñó y construyó un equipo capaz de generarlos, y de alimentar una carga que demande una corriente considerable haciendo uso de equipo con suficiente capacidad para suministrar energía, y con a la opción de establecer parámetros como la magnitud, tiempo y velocidad de lectura de datos, mediante una interfaz gráfica intuitiva que fue diseñada mediante LabVIEW. A pesar de que existen pequeñas limitantes, estos equipos pueden ser despreciados si se tiene en consideración que el coste de implementación es hasta seis veces más económica que la opción comercial más barata existente en el mercado. El dispositivo puede ser utilizado para equipos que demanden 1 kVA.

Palabras Clave: generador de SAGS, bajo costo, curva ITIC, curva CBEMA, SEMIF47, LabVIEW

ABSTRACT

Voltage dips (also called sags) are one of the most common electrical phenomena existing in the electrical network, which consists of the reduction of the effective value of voltage for a short period of time. Since manufacturers of electrical and electronic equipment are required to have a certain tolerance to this electrical phenomenon, a device

capable of generating voltage dips in a controlled manner outside the electrical network is required, to be able to carry out robustness and verify that the regulations that characterize the phenomenon such as SEMI-F47, CBEMA and the ITIC curve are complied with. Considering the above, a device was designed and built that can generate them, being capable of feeding a load that demands a considerable current using equipment with sufficient capacity to supply energy and having the option of establishing parameters such as the magnitude, time and speed of reading data using an intuitive graphical interface that was designed using LabVIEW. Even though there are small limitations that are mentioned in this article, they can even be neglected if one takes into consideration that the cost of this implementation is up to six times cheaper than the cheapest commercial option on the market. The device can be used for devices that demand 1 kVA.

Keywords: SAGS generator, Low cost, ITIC curve, CBEMA curve, SEMIF47, LabVIEW

INTRODUCCIÓN

Los huecos de tensión, también conocidos como sags o dips, son las perturbaciones más comunes en la red eléctrica, y puede tener graves consecuencias para los equipos sensibles que no estén adecuadamente protegidos, hasta el punto en que un proceso industrial se detiene. Existen normativas que establecen que los equipos eléctricos y electrónicos deben poseer cierta tolerancia ante estos eventos, siendo mencionadas en este artículo las de (ITIC, 2000) y de (SEMI, 2006).

Es primordial poseer un equipo capaz de generarlos de forma controlada fuera de la red eléctrica, con diferentes amplitudes y duración, para tener mayor facilidad de estudiar el fenómeno eléctrico y poder comprobar la resistencia de equipos sensibles. Las pruebas son guiadas con el generador de SAGS de normativas como SEMIF47 (SEMI, 2006) y CBEMA (ITIC, 2000), y sus curvas de tolerancia. En este artículo se presenta el diseño e implementación de un generador de huecos de tensión, que

se basa en el uso de una tarjeta adquisidora de datos NI USB 6008 (National Instruments, 2008) que se utiliza para controlar el generador y, valga la redundancia, adquirir datos mediante una interfaz gráfica realizada con LabVIEW. El generador utiliza un transformador variable, fusibles, y componentes electrónicos como SSR y transistores 2N2222.

Se tienen como objetivos que el generador tenga un coste más bajo que los de uso comercial, siendo capaz de poder establecer la magnitud y duración de estos mediante una interfaz gráfica que debe de ser intuitiva, y que el usuario pueda visualizar datos relevantes, como valores RMS y gráficas relacionadas a las curvas de las normativas SEMI F47 y a la CBEMA.

METODOLOGÍA

Acerca de los huecos de tensión

Los huecos de tensión, también conocidos como sag o dip, son de las perturbaciones más importantes que puede afectar a la mayoría de los equipos electrónicos sensibles. Organismos internacionales como IEEE e IEC definen estos eventos como:

Según IEEE: es la disminución en el valor RMS del voltaje entre 0.1 p.u y 0.9 p.u para duraciones de 0.5 ciclos a 1 minuto (IEEE, 2019). Estos a su vez se pueden clasificar según como lo describe la Tabla 1.

Según IEC: es “una repentina reducción del voltaje en un punto particular de un sistema de suministro de electricidad, por debajo de un límite de caída especificado seguido por su recuperación después de un breve intervalo” (IEC, 2017).

Las principales causas de los huecos de tensión son los cortocircuitos provocados por fallas en la red, lo que ocasiona una caída brusca y posterior recuperación rápida una vez resuelta la falla. Existen otras razones por las cuales pueden existir estas perturbaciones, como lo sería el arranque de grandes motores o la energización

Tabla 1

Clasificación de los SAGS de tensión

Variación	Duración	Magnitud
Instantáneos	0.5 a 30 ciclos	10% - 90%
Momentáneos	30 ciclos a 3 segundos	10% - 90%
Temporales	3 segundos a 1 minuto	10% - 90%

Nota. Elaborado mediante datos tomados de "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", in IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), vol., no., pp.1-98, 13 Aug. 2019, DOI: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486

de transformadores. Estos últimos generan huecos de tensión de forma no rectangular, pues a pesar de tener una caída de tensión brusca, su recuperación es paulatina (Dugan et al., 2002). Sin embargo, los originados por la energización de transformadores tienen la característica de inyectar armónicos, siendo esta característica la que los distingue de los huecos generados por el arranque de grandes motores de inducción (Tan & Ramachandaramurthy, 2015).

Normas de calidad de potencia: Se exige que los equipos cumplan con estándares de los huecos de tensión, por lo que los fabricantes de equipos deberán incorporar tolerancia en sus equipos. Algunos estándares para mencionar son las normativas SEMI-F47 (SEMI, 2006), CBEMA y la curva ITIC (ITIC, 2000).

Normativa SEMI F47: Según (SEMI, 2006), se requiere que los equipos toleren los huecos de tensión de forma que:

50 % voltaje restante, 50 % voltaje perdido, durante 200 milisegundos.

70 % voltaje restante, 30 % voltaje perdido, durante 500 milisegundos.

80 % voltaje restante, 20 % voltaje perdido, durante un segundo.

Considerando estos requerimientos, es como se forma la curva de tolerancia SEMI F-47, cuya

representación se aprecia en la figura 1. Esta figura posee dos ejes, el horizontal en el que está la duración del hueco y el vertical que es la magnitud de la tensión. Los fabricantes deben garantizar que los equipos tengan la tolerancia para poder funcionar sin problema estando encima de la curva.

Curva ITIC (normativa CBEMA): La norma CBEMA96 en la actualidad se utiliza para definir la calidad de energía. Cataloga como eventos a los huecos de tensión que están sobre el 10 % de caída. Según (ITIC, 2000), se permite:

Caídas al 80 % del valor nominal con una duración típica de hasta 10 segundos.

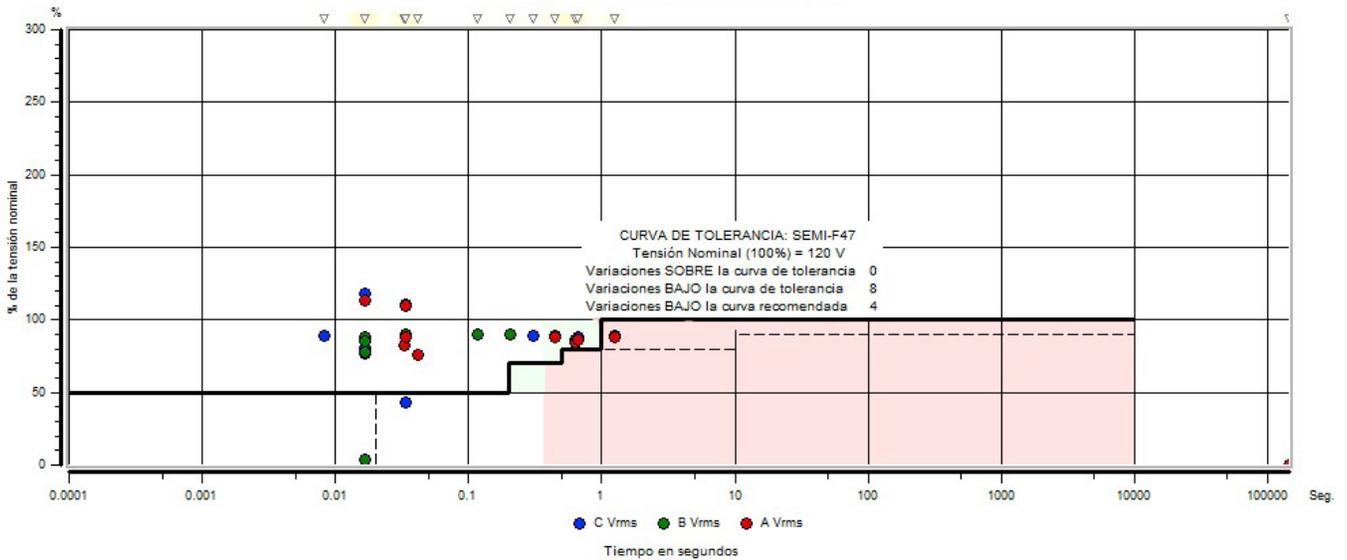
Caídas al 70 % del valor nominal con una duración de hasta 0.5 segundos.

Igual que la normativa SEMI F-47, existe una curva de tolerancia que se ve representada en la figura 2. La novedad es que es evidente son dos curvas. La curva superior sirve para análisis de sobretensiones, mientras que la inferior es para el análisis de los huecos de tensión, siendo esta última interpretada de la misma forma que la SEMI F-47.

Curva ITIC (normativa CBEMA): La norma CBEMA96 en la actualidad se utiliza para definir la calidad de energía. Cataloga como eventos a los huecos de tensión que están sobre el 10 % de caída. Según (ITIC, 2000), se permite:

Figura 1

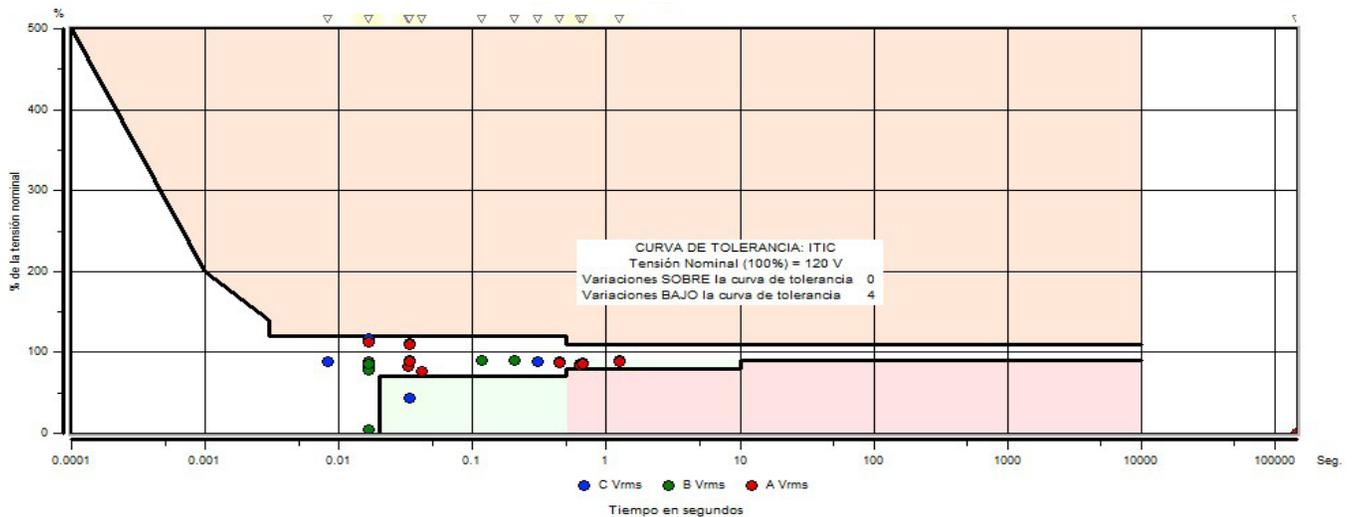
Curva de SEMI F-47 Diagrama de magnitud/duración



Nota. Figura obtenida del analizador de energía PowerGuide® 4400 (DRANETZ, 2005), en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.

Figura 2

Curva ITIC (CBMEA) diagrama de magnitud/duración



Nota. Figura obtenida del analizador de energía PowerGuide® 4400 (DRANETZ, 2005), en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.

Caídas al 80 % del valor nominal con una duración típica de hasta 10 segundos.

Caídas al 70 % del valor nominal con una duración de hasta 0.5 segundos.

Igual que la normativa SEMI F-47, existe una curva de tolerancia que se ve representada en la figura 2. La novedad es que es evidente son dos curvas. La curva superior sirve para análisis de sobretensiones, mientras que la inferior es para el análisis de los huecos de tensión, siendo esta última interpretada de la misma forma que la SEMI F-47.

Diseño de generador de huecos de tensión para pruebas de robustez

Para el diseño, se tomó como referencia los artículos realizados por (Senturk & Hava, 2010), (Ma & Karady, 2008) y (Yang et al., 2012). Además, fue consultado el texto de (Horowitz & Hill, 2015) para el desarrollo del generador de huecos de tensión.

El equipo generador de huecos de tensión diseñado es capaz de intercambiar dos señales con distinta tensión en distintos tiempos, con misma frecuencia y fase, es capaz de alimentar una carga que demande una corriente considerable por lo que se utilizó un equipo con suficiente capacidad para suministrar energía.

La entrada de voltaje del equipo, generador de huecos de tensión, alimenta un transformador variable (VARIAC), modelo TDGC-2 KM, el cual recibe 110 V@60Hz y es capaz de entregar tensiones desde 0 V hasta 130 V@60Hz, posee un dial capaz de regular la tensión en sus terminales de salida. El VARIAC puede proporcionar una salida máxima de hasta 20 A. Mediante el VARIAC se entrega la tensión reducida, la cual pasará por SSR que son controlados desde un software, desarrollado en LabVIEW, y se comunica a través de una tarjeta de adquisición de datos que controla los transistores a una etapa de control, proporcionando precisión a la hora de generarlos.

De acuerdo con la metodología, el equipo generador, de huecos de tensión, fue diseñado en dos partes: el hardware y el software. Cada una de ellas se describirá a continuación

Descripción de la implementación del hardware:

En la figura 3 podemos observar el diagrama del generador de huecos de tensión, diseñado para proteger de daños a dispositivos bajo pruebas de robustez y al mismo equipo, por lo que se están utilizando protecciones para la alimentación principal y en la salida de los relés de estado sólido (SSR). Para el correcto funcionamiento del equipo, se diseñó un sistema que es capaz de combinar dos señales con diferentes amplitudes sin que se generen problemas eléctricos, a través de un SSR que funciona como transición entre las dos señales. Se logra identificar una etapa de control, una etapa de potencia y una etapa de medición. Cada una de estas etapas serán brevemente descritas:

1. La etapa de control: se tiene un rectificador de onda completa, un capacitor y un integrado que logran dar una señal de 12 V_{DC}. Para controlar los tres SSR, se hace uso de los puertos P0.0, P0.1 y P0.2 del dispositivo NI USB 6008 (National Instruments, 2008) con el objetivo de abrir y cerrar conexiones mediante transistores.
2. La etapa de potencia: se utilizan tres SSR para manejar tres señales distintas, señal normal de AC (SSR1), señal de salida del autotransformador (SSR2) y señal de transición (SSR3), conectadas todas a la misma salida. En la figura 3 se puede apreciar la existencia de tres LEDs indicadores, dos para los SSR y uno conectada a la tarjeta de adquisición de datos.
3. Etapa de medición: para poder mostrar en la pantalla del software el dato exacto de tensión que se está introduciendo a la carga, es necesario medir con un transformador, el cual reduce la tensión a valores que pueden ser introducidos directamente a la NI USB 6008 (National Instruments, 2008).

Construcción de generador de SAGS y presupuesto estimado

Con el diagrama unifilar presentado antes, se procedió a realizar la construcción física (Figura 4 y 5). Se utilizó una caja metálica de 8×6×12 chapa 14, sin perforaciones en el cual se colocarán todos los dispositivos utilizados para el generador de SAGS monofásico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El equipo generador de huecos de tensión es capaz de generarlos sin limitante en magnitud (Figura 6), siendo capaz de asignarle un tiempo de duración. Existen limitantes, como que la duración se limita a periodos de tiempo de

semiciclos completos. Debido a cuestiones de seguridad con respecto a los SSR, el programa no puede generar huecos menores a los 23 milisegundos. Los parámetros de los huecos de tensión pueden ser modificados mediante el software VSS 1.0. En el panel frontal se encuentran cinco pestañas (Figura 7).

En la pestaña de configuración se puede definir el tiempo de duración del hueco de tensión (SAG) en milisegundos o en ciclos, y a su vez se puede dar un pequeño tiempo de “delay” para que inicie el hueco de tensión, además de otras configuraciones (Figura 8).

A su vez, el programa permite visualizar datos relevantes, como lo serían valores RMS y gráficas

Figura 4

Interior del equipo generador de SAGS monofásico construido



Figura 5

Exterior del equipo generador de SAGS monofásico construido



Nota. Vista lateral izquierda, vista lateral derecha y vista frontal, respectivamente..

Figura 6

Hueco de tensión producido con el generador, capturado con un osciloscopio

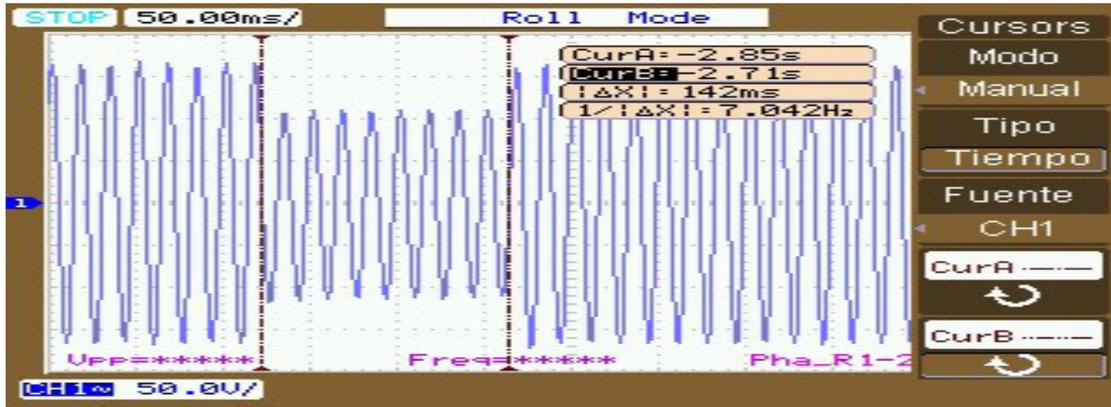


Figura 7

Hueco Interfaz gráfica del software VSS, versión 1.0



Figura 8

Pestaña de configuración del software

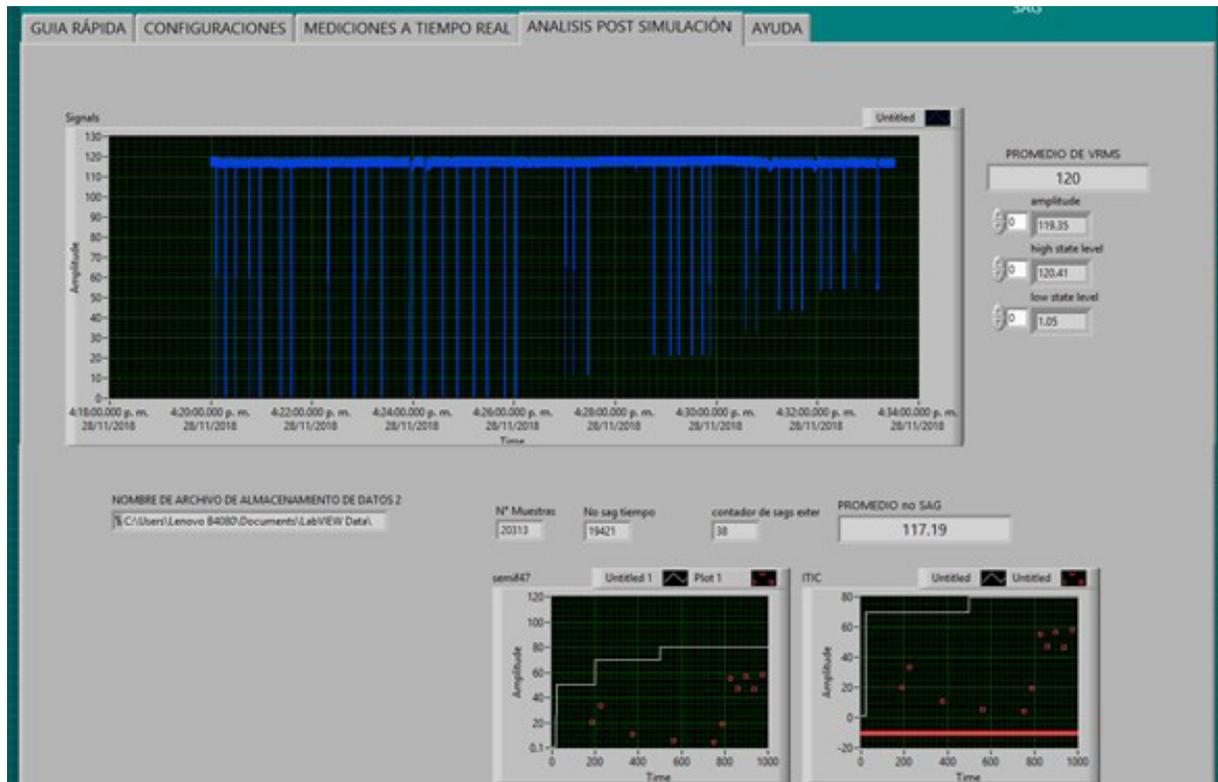


relacionadas a las curvas de las normativas SEMI F47 y a la CBEMA. La velocidad de lectura de datos dependerá del número de muestras que se establezca, por lo que existirá incertidumbre con los tiempos dados (Figura 9).

que el comercial más económico se encontró en USD 4128.00 (precios de septiembre 2022), siendo una opción viable a pesar de algunas limitantes existentes.

Figura 9

Pestaña de análisis post simulación



Para la construcción del generador de SAGS se tuvo que implementar varios elementos, los cuales se enlistan a continuación, junto con una estimación de sus costos.

Para la estimación de precios, se cotizó en comercios existentes a nivel nacional (Tabla 2). Para el caso en que cierto artículo no se encontrara disponible a nivel nacional, se cotizaron precios en sitios web. Realizando una breve investigación, se encontró que el equipo generador comercial más económico es el modelo VDT S100 (emcsosin, 2021), cuyo precio se cotizó en USD 4128.00

El equipo generador de huecos de tensión

comercial posee mayores características para facilitar el análisis de estos fenómenos, pero en lo que respecta a la capacidad de generar huecos de tensión se puede afirmar que no existen diferencias que puedan considerarse en lo que respecta a aspectos como la corriente de salida. Existen ligeras diferencias a considerar, como que la tensión de alimentación del generador comercial es de 240V.

CONCLUSIONES

Si se compara con productos comerciales, el generador de SAGS construido llega a ser al menos seis veces más económico, ya que su implementación cuesta USD 708.65, mientras

Tabla 2
Elementos utilizados y presupuesto estimado en USD (septiembre 2022).

Unidad	Elemento	Coste unidad USD	Coste total USD
1	Interruptor termomagnético de 16 A	5.50	5.50
3	Fusible tipo americano de 10 A	0.24	0.72
1	Transformador variable TDGC-2 KM	221.18	221.18
1	Transformador de alimentación LP-433, 120/18V @ 1 A	15.00	15.00
2	Transformador de medición, 120/5 V	15.00	30.00
1	Puente rectificador de onda completa BR-3.	0.20	0.20
1	Capacitor radial 2200nF, 25V	0.70	0.70
1	Regulador de tensión LM7812	1.60	1.60
3	Transistores BJT 2N2222	1.25	3.75
3	Relé de Estado Solido 120V@10A	10.00	30.00
1	Tarjeta de adquisición de datos NI USB 6008	300.00	300.00
1	Otros gastos (materiales secundarios, logística, etc.)	100.00	100.00
		TOTAL	708.65

Al equipo base que se expuso acá se le pueden realizar algunos cambios de componentes según las necesidades requeridas. Para nuestro caso, el equipo generador diseñado fue enfocado a equipos que puedan demandar una cantidad significativa de potencia, siendo de hasta 1kVA.

El generador de huecos de tensión que fue implementado tiene la capacidad de generar SAGS cuya magnitud sea de incluso hasta 0 % de tensión, y la asignación del tiempo de duración puede ser la que sea necesaria, logrando cumplir lo explicado en la norma IEEE std. 1159.

El panel de control del programa VSS 1.0 llega a ser muy intuitivo y fácil de utilizar, estando claramente indicados los datos de interés a ingresar y también existiendo dentro del programa un instructivo con los pasos necesarios a seguir para el manejo básico del programa. Por medio del programa se pueden observar valores como la tensión RMS y las curvas SEMI-F47 e ITIC.

REFERENCIAS

- DRANETZ. (2005). PowerGuide® 4400 USER'S GUIDE.
- Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H. W. (2002). Electrical Power Systems Quality (Second). McGraw-Hill.
- emcsosin. (2021). Single phase 10A cycle drop generator VDT S10.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). The art of electronics (3rd ed.). Cambridge University Press.
- IEEE. (2019). 1159-2019 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality | IEEE Standard | IEEE Xplore. IEEE Std 1159-2019.
- Information Technology Industry Council (ITIC). (2000). ITIC (CBEMA) curve application note.
- International Electrotechnical Commission. (2017). Electromagnetic compatibility

(EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. International Standard, 1.

Ma, Y., & Karady, G. G. (2008). A single-phase voltage sag generator for testing electrical equipments. Transmission and Distribution Exposition Conference: 2008 IEEE PES Powering Toward the Future, PIMS2008. <https://doi.org/10.1109/TDC.2008.4517185>

National Instruments. (2008). User Guide and Specifications: USB-6008/6009. System, 1-32. <https://doi.org/371303L-01> May08

SEMI. (2006). Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity. SEMI F47-0706.

Senturk, O. S., & Hava, A. M. (2010). A simple sag generator using SSRs. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2010 - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2010.5618292>

Tan, R. H. G., & Ramachandaramurthy, V. K. (2015). A Comprehensive Modeling and Simulation of Power Quality Disturbances Using MATLAB/SIMULINK. In Power Quality Issues in Distributed Generation. <https://doi.org/10.5772/61209>

Yang, Y., Blaabjerg, F., & Zou, Z. (2012). Benchmarking of voltage sag generators. IECON Proceedings. <https://doi.org/10.1109/IECON.2012.6389164>