

DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE CALIDAD DE POTENCIA

Karen María Niebles Tapias

Judy Marcela Ochoa Pinto

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2010**

DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE CALIDAD DE POTENCIA

Karen María Niebles Tapias

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Electricista

Judy Marcela Ochoa Pinto

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Electrónica

Director

Msc. César Antonio Duarte Gualdrón

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE

TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2010

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA	3
1.1 ¿QUÉ ES CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA?	3
1.2 ¿QUÉ ES CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA?.....	4
1.3 ¿POR QUÉ ES NECESARIO MEDIR?	5
1.4 EVENTOS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	7
1.4.1 Fenómenos que intervienen en la calidad de la potencia eléctrica	9
1.4.1.1 Flicker.....	9
1.4.1.2 Huecos de Tensión.....	9
1.4.1.3 Desequilibrio.....	10
1.4.1.4 Sobretensión	10
1.4.1.5 Transitorios.....	10
1.4.1.6 Interrupciones.....	12
1.4.1.7 Distorsión de la forma de onda.....	12
1.4.1.7.1 Armónicos.....	12
1.4.1.7.2 Distorsión Armónica Total.....	14
1.4.1.7.3 Muesca de Tensión (<i>Notch</i>).....	15
1.5 NORMAS EXISTENTES PARA LA MONITORIZACIÓN DE FENÓMENOS DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA	15
1.6 EQUIPOS PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	20
2. ESTRUCTURA DEL CURSO Y MANEJO DE LA PLATAFORMA	22
2.1 ESQUEMA DEL CURSO	22

2.2 PLATAFORMA MOODLE	24
2.3 ACCESO A LA PLATAFORMA	25
3. DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE CALIDAD	30
3.1 DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS	30
3.2 DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS	31
3.2.1 Estructura de las prácticas	32
4. DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS	34
4.1 PRÁCTICA DE DESBALANCE DE TENSIÓN	34
4.2 PRÁCTICA DE DE HUECOS DE TENSIÓN, SOBRETENSIONES E INTERRUPCIONES	37
4.3 PRÁCTICA DE <i>FLICKER</i>	45
4.4 PRÁCTICA DE ARMÓNICOS.....	47
4.5 PRÁCTICA DE TRANSITORIOS	51
4.6 MEDICIÓN DE COMPONENTES ARMÓNICAS Y HUECOS DE TENSIÓN USANDO EL ANALIZAR DE REDES POWER VISA	53
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS	54
5.1 CONCLUSIONES	54
5.2 RECOMENDACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS	55
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXO A. DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO	60
ANEXO B. GUÍAS PARA LA CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA PRÁCTICA DE LABORATORIO	109
ANEXO C. MONTAJES A REALIZAR PARA CONFIGURAR EL ANALIZADOR DE CALIDAD POWER VISA	140

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gráfica de huecos de tensión	9
Figura 2. Gráfica de sobretensiones	10
Figura 3. Interrupciones de energía debido a un transitorio tipo impulso	11
Figura 4. Transitorio oscilatorio causado por banco de capacitores	11
Figura 5. Interrupción momentánea debido a una falla del sistema	12
Figura 6. Gráfica de armónicos en corriente	12
Figura 7. Muesca de tensión causada por un convertidor	15
Figura 8. Portal de acceso a la plataforma moodle	25
Figura 9. Acceso al curso de calidad de potencia	26
Figura 10. Curso de calidad de potencia	26
Figura 11. Entorno del curso	27
Figura 12. Enlaces para acceder a las prácticas de armónicos	27
Figura 13. Contenido teórico de la práctica de armónicos	28
Figura 14. Acceso al curso desde el enlace "recursos"	28
Figura 15. Tabla de carpetas de las distintas prácticas	29
Figura 16. Quices de cada práctica	29

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia	8
Tabla 2. Componentes espectrales de una forma de onda	14
Tabla 3. Valores admisibles para los indicadores de calidad DES	44
Tabla 4. Valores admisibles para los indicadores de calidad DES y FES de acuerdo a los grupos	44
Tabla 5. Límites aceptables y niveles de compatibilidad teórica de PST y PLT para distintos niveles de tensión	46
Tabla 6. Niveles de compatibilidad para armónicos	48
Tabla 7. Niveles de compatibilidad para armónicos impares excluyendo los múltiplos de 3	48
Tabla 8. Niveles de compatibilidad en armónicos impares múltiplos de 3	49
Tabla 9. Niveles de compatibilidad para armónicos pares	49
Tabla 10. Niveles de compatibilidad en interarmónicos	49
Tabla 11. Valores de las tensiones armónicas individuales en los terminales de entrada para órdenes de hasta 25, dados en porcentaje de U_n	50
Tabla 12. Límites de distorsión de tensión	51
Tabla 13. Categorías y características de los transitorios en sistemas de potencia	52

RESUMEN

TÍTULO: Diseño de Prácticas de Laboratorio de Calidad de Potencia Eléctrica *

AUTORAS: NIEBLES TAPIAS, Karen María y OCHOA PINTO, Judy Marcela **

Palabras claves: Prácticas de laboratorio, EN 50160, CEI 61000-4-30, IEEE 1159, CREG, Calidad de potencia, Moodle.

Las nuevas tecnologías en cuanto al análisis de los fenómenos referentes a calidad de potencia eléctrica han conllevado a resolver gran parte de los problemas consecuentes debido a las perturbaciones presentes en los sistemas. Este avance permite que se conozca los orígenes de cada perturbación e igualmente permite determinar cómo mitigarlas con el fin de minimizar las pérdidas en un proceso.

Todo este conocimiento debe ser parte de la cotidianidad estudiantil por lo que se crearon unas prácticas de laboratorio con el fin de ampliar y reforzar el material teórico expuesto en las aulas de clases. Este trabajo de grado presenta de manera detallada el proceso de desarrollo de unas prácticas de laboratorio de Calidad de Potencia Eléctrica y las herramientas necesarias para soportarlas y garantizar su plena ejecución.

El contenido de este trabajo comprende lo relacionado con calidad de potencia eléctrica a nivel mundial y a nivel de nuestro país, la descripción de los diversos fenómenos y cuáles son las normativas que actualmente intervienen en el manejo (medición y evaluación) de la calidad de potencia. Se presenta en forma detallada una de las herramientas de apoyo del curso como lo es un entorno virtual en Moodle con material informativo sobre los montajes y mecanismos de evaluación. Cada práctica le permitirá al estudiante ser competitivo con el fin de afrontar retos tanto de la academia, a nivel laboral, en el ámbito cotidiano y nivel tecnológico.

* Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Mcs César A. Duarte G.

ABSTRACT

TITLE: Design of Power Quality Laboratory Practice^{*}.

AUTHORS: NIEBLES TAPIAS, Karen María y OCHOA PINTO, Judy Marcela^{**}.

Keywords: Practices of laboratory, EN 50160, IEC 61000-4-30, IEEE 1159, CREG, Power Quality, Moodle.

New technologies concerning the analysis of power quality phenomena have led to correct most of the problems caused by the disturbances on the electrical network. This advance allows knowing with great accuracy the origins of each disturbance and also makes it possible to determine their causes and to mitigate them in order to minimize losses within a process.

This knowledge must become part of our commonness as students, reason by which a set of laboratory practices were created to extend and reinforce the theoretical contents given in class. This Project Degree presents in a detailed the process of development of a set of laboratory practices about Power Quality and the necessary tools to support the practices and to guarantee their full execution.

The content of this paperwork is everything about power quality according to national and international regulations, including the description of the related phenomena and the dispositions that are involved in Power Quality (measures and evaluation). Also, a detailed description of one of the course support tools is presented. This tool is a virtual environment in Moodle, which contains information about the power quality assemblies and the evaluation mechanisms. Each practice will allow the student being competitive when facing academic, labour, technologic and commonness challenges.

^{*} Project Degree.

^{**}Faculty of Physics-Mechanical Engineering, School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director: Mcs. César A. Duarte G.

INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, la mayoría de las actividades que se realizan implican el uso de la energía eléctrica. Los procesos altamente automatizados utilizan equipos electrónicos que, en muchos casos, son susceptibles a las perturbaciones de la red ocasionando pérdidas importantes, principalmente en la industria y en comercios informatizados. Por otro lado, debido al constante crecimiento de la demanda de la energía tanto por parte del sector urbano y rural y por parte de la industria, los recursos energéticos de los que se dispone se deben aprovechar de la mejor manera posible.

Sabiendo que la energía no se puede almacenar, debe ser confiable y de calidad, se debe garantizar la continuidad del suministro y deben controlarse las tolerancias en cuanto a la variación de sus características de tal manera que no produzcan inconvenientes en el usuario final. Por tanto, para el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica es necesaria su medición y monitorización.

Debido a estas condiciones se plantea la necesidad que en la universidad se amplíe esta temática en vista de que el estudiante debe tener un amplio conocimiento en Calidad de Potencia Eléctrica manipulando cada uno de los aspectos referentes a esta en cuanto a fundamentos y posibles mitigaciones de las distintas perturbaciones.

El propósito de desarrollar estas prácticas de laboratorio es que los estudiantes adquieran un mejor conocimiento de lo relacionado con la Calidad de Potencia Eléctrica y nada mejor que esto sea de forma práctica.

Por otra parte es necesario a futuro considerar la evaluación por competencias, siendo la evaluación un proceso de medición, acompañamiento y ajuste

permanente del proceso educativo, además de ser una herramienta fundamental para abordar varios retos: la academia, lo laboral, la cotidianidad y la tecnología.

Este documento contiene los lineamientos desarrollados para la elaboración de las prácticas de laboratorio lo cual permite enfatizar sobre cada aspecto de una forma detallada y precisa ya que cada situación va de la mano con varias actividades y la interacción de herramientas tecnológicas como son los equipos de monitorización al igual que simulaciones y como soporte una plataforma donde se encuentra un curso virtual con diferentes vínculos que harán más fácil y ameno el desarrollo y aprendizaje del material.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA

1.1 ¿QUÉ ES CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA?

“Como ya es conocido, la materia prima básica más utilizada en las actividades industriales y comerciales del mundo desarrollado es la energía eléctrica”¹. Es por esto que la energía siempre debe estar disponible pues es imposible prescindir de ella ya que muchos equipos y sistemas se sostienen con su uso. Este servicio debe garantizarse, por tal, la continuidad del suministro debe controlarse con respecto a las tolerancias o límites de variación de sus características de tal manera que no creen problemas al usuario. Si los operadores de red no fueran capaces de controlar los niveles crecientes de distorsión en sus redes, creadas principalmente por efectos acumulativos de la gran cantidad de pequeñas cargas, sería inevitable el deterioro de la calidad de tensión provista a todos los usuarios. Es claro que sin acciones correctivas, los operadores de red y usuarios experimentarán un número creciente de fallas en sus sistemas y equipos, con los problemas subsecuentes, como pérdida de producción y competitividad. De esta situación proviene lo que hoy en día se conoce como Calidad de Potencia.

“Los fenómenos inherentes a la forma de onda de la tensión, que permite juzgar el valor de las desviaciones de la tensión instantánea con respecto a su forma y frecuencia estándar, así como el efecto que dichas desviaciones pueden tener sobre los equipos eléctricos u otros sistemas”², es una definición de Calidad de Potencia Eléctrica que introdujo la CREG, que analiza las perturbaciones desde el punto de vista de la señal de tensión, excluyendo totalmente a la señal de

¹ De Keulenaer, H., Chapman, D., Guía de la Calidad de la Energía Eléctrica, Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), Introducción, Noviembre 2001; p.1-2.

² Resolución 024 de 2005. Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, Colombia; p. 3.

corriente que es fundamental para proporcionar un estudio completo de los Sistemas de Potencia que brinde las herramientas para entender las causas de estas perturbaciones, resolver los problemas existentes y predecir futuros problemas.

Garantizar la calidad de la energía que es entregada a los usuarios no es una tarea fácil y no existe un procedimiento que permita retirar del sistema la energía que no cumpla las especificaciones exigidas o que ésta pueda ser devuelta por el usuario al operador de red.

1.2 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (CEM).

En muchos sistemas existen fenómenos que ocasionan Interferencia Electromagnética - IEM la cual es definida como “cualquier perturbación electromagnética que se manifiesta en la degradación de la operación, el mal funcionamiento o la falla de un dispositivo, equipo o sistema eléctrico, electrónico o de telecomunicaciones”³. Debido a esta situación actualmente se relacionan los sistemas con lo que se conoce como Compatibilidad Electromagnética - CEM, que es la capacidad que posee un equipo para funcionar adecuadamente en un entorno electromagnético.

Así pues para que la CEM de un dispositivo sea adecuada, esta debe involucrarse desde las primeras fases de diseño, teniendo en cuenta que se debe operar adecuadamente en un entorno electromagnético específico. Garantizando esto que las medidas para lograr la CEM y los costos de fabricación no afecten la competitividad del mismo en el mercado.

De manera general, los elementos básicos que deben ser examinados cuando existe una condición de perturbación son:

³ [Ángel, 05] Ángel Silva, Miguel. “Interrupciones y huecos de tensión: Diseño y construcción de un prototipo para su medición”, Pp. 22, Tesis de maestría, UIS, 2005

- La fuente de interferencia
- El sistema perturbado
- El canal de acople entre ambos.

El que una condición de perturbaciones constituya un suceso potencialmente perjudicial dependerá, entre otros factores, de:

- El nivel de la perturbación: magnitud y forma de onda, rango de frecuencia, contenido de energía, máxima tasa de variación, frecuencia de ocurrencia y duración.
- La susceptibilidad del receptor: respuesta de frecuencia, condiciones de diseño, presencia de elementos de protección, materiales.
- Las condiciones en las cuales se efectúe el acoplamiento: por conducción o por radiación, características del medio de propagación, atenuación, etc.

Por consiguiente, la solución a los efectos nocivos podrá encontrarse mitigando la emisión de la fuente, incrementando la inmunidad del receptor o amortiguando la propagación de la perturbación en el medio de acople, de manera que se reduzca la interacción emisor - receptor. Es preciso anotar que un sistema puede ser considerado simultáneamente como el receptor de una perturbación y como el emisor de otra. En este sentido vienen trabajando centros de investigación alrededor del mundo, incluido Colombia, con el fin de caracterizar electromagnéticamente el medio, diseñar y construir equipos eléctricos o electrónicos Compatibles Electromagnéticamente.

1.3 ¿POR QUÉ ES NECESARIO MEDIR?

Debido a los avances tecnológicos con los que contamos hoy en día, existen diversos procesos que por ser altamente automatizados hacen uso de equipos electrónicos, que en la mayoría de los casos son sensibles a las perturbaciones

que se pueden presentar en la red ocasionando pérdidas importantes, principalmente en la industria.

Además, se ha estimado que la demanda de energía aumenta en relación al crecimiento poblacional lo que ha permitido reconocer la importancia que tiene la utilización eficiente y racional de la energía. “El ahorro energético disminuye costos de producción, lo que hace aumentar la productividad. Por tanto, para una óptima utilización de la energía eléctrica es necesaria su medición y monitorización. El ahorro potencial que puede significar medir y monitorizar la energía eléctrica se puede cuantificar en un 2-4% de la facturación de tarifa eléctrica, un 2-5% de la inversión en la instalación eléctrica por el mejor aprovechamiento de la instalación y un 10% o más de la producción debido a la mejora de la calidad de suministro”⁴.

Una monitorización permanente puede ayudar a confirmar la efectividad de las medidas empleadas y el control de los gastos energéticos, lo cual permite:

- “El ahorro del consumo en energía activa. Con esto se puede determinar dónde se encuentra el mayor potencial de ahorro para actuaciones o cambios en el proceso de aprovechamiento para un mejor uso de la energía.
- El ahorro del consumo en energía reactiva. Las cargas eléctricas pueden tener un consumo de reactiva y, en el caso de que éste sea elevado, la energía reactiva se factura al cliente. En este caso, la instalación de filtros y bancos de condensadores está totalmente justificada.
- El ahorro en la potencia instalada, ya que en horas pico se desconectan cargas que no son significativas para el proceso productivo.
- Un menor dimensionado de instalación eléctrica, es decir, una menor inversión en la propia instalación.

⁴ Sumper, A.; Villafáfila, R.; Antoni, S. Equipos para la medida y monitorización de la Energía Eléctrica. CITCEA, Universidad Politécnica De Cataluña. Marzo 2005. p 1.

- Una mejora de la productividad debida a una eficiencia energética de los equipos y del mantenimiento⁵.

1.4 EVENTOS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Los parámetros que se ven afectados por las perturbaciones son:

Frecuencia: Frecuencia a la cual está operando el sistema. Para Colombia se trabaja a una frecuencia de 60 Hz.

Amplitud de la tensión de alimentación: El valor de la amplitud de la señal de alimentación no debe sobrepasar o caer 10% del valor de la onda establecido por el operador de red.

Las variaciones o eventos de la calidad de la energía eléctrica se pueden dividir en dos grupos, estos son:

- Perturbaciones definidas por su carácter transitorio y
- Variaciones de estado estable.

En los eventos transitorios se encuentran fenómenos como: huecos de tensión (sags o dips), sobretensiones de corta duración (swells), interrupciones de tensión y transitorios. En las variaciones de estado estable están: flicker, desbalances, armónicos, muescas de tensión y la variación de la frecuencia.

Los distintos fenómenos electromagnéticos asociados a la calidad de suministro de energía eléctrica se sintetizan en la tabla 1.

⁵ Sumper, A.; Villafáfila, R.; Antoni, S. Equipos para la medida y monitorización de la Energía Eléctrica. CITCEA, Universidad Politécnica De Cataluña. Marzo 2005. p 3.

Tabla 1. Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia.

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5ns de elevación	< 50ns	
1.1.2 Microsegundos	1µs de elevación	50ns - 1ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1ms de elevación	> 1ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	<5kHz	0.3 - 50ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500kHz	20µs	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5µs	0 - 4 pu
2.0 Variaciones de corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3s	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporales			
2.3.1 Interrupción		3s - 1min	< 0.1 pu
2.3.2 Caídas (Sag)		3s - 1min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Subidas (Swell)		3s - 1min	1.1 - 1.2 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1min	0.0 pu
3.2 Subtensiones		> 1min	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobretensiones		> 1min	1.1 - 1.2 pu
3.4 Corriente de Sobrecarga		> 1min	
4.0 Desbalance			
4.1 Tensión		Estado estable	0.5 - 2%
4.2 Corriente		Estado estable	1.0-30%
5.0 Distorsión en Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado estable	0 - 0.1%
5.2 Contenido armónico	0 - 9 kHz	Estado estable	0 - 20%
5.3 Interarmónicas	0 - 9 kHz	Estado estable	0 - 2%
5.4 Muecas en el voltaje		Estado estable	
5.5 Ruido	Banda amplia	Estado estable	0 - 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 - 7% 0.2 -2Pst
7.0 Variaciones en la frecuencia		< 10s	±0.10 Hz

Fuente: Traducción libre del Estándar Internacional IEEE 1159 - 2009.

1.4.1 Fenómenos que intervienen en la Calidad de Potencia Eléctrica.

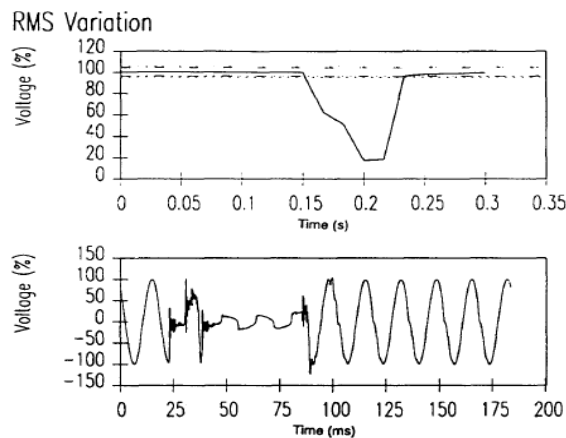
Como se mencionó anteriormente, existe una diversidad de factores medibles que determinan la calidad de potencia en un sistema. Estas definiciones son tomadas textualmente de la norma IEEE 1159-2009:

1.4.1.1 Flicker: “Impresión de inestabilidad de la sensación visual causada por un estímulo luminoso, cuya luminosidad o distribución espectral fluctúa en el tiempo”.

El flicker es visto como una perturbación de la onda de tensión que ocasiona que el valor eficaz de la tensión oscile normalmente entre 0,95 y 1,05 p.u. y con una frecuencia que varía entre 0 y 30 Hz.

1.4.1.2 Huevo (Sag o dips): De acuerdo el estándar IEEE 1159, la caída de tensión (“sag o dip”), es “la reducción del valor eficaz de la tensión entre el 0,1 y 0,9 p.u. de su valor nominal a la frecuencia industrial con una duración de 0.5 ciclos a 1 minuto”.

Figura 1. Gráficas de huecos de tensión

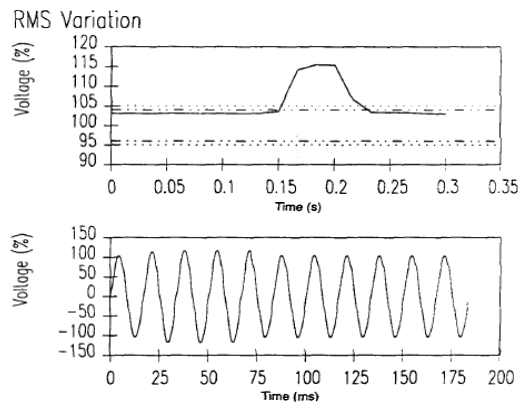


Fuente: Norma IEEE1159-2009. p.12

1.4.1.3 Desequilibrio: “(Llamado también desbalance) en un sistema trifásico está definido como la relación porcentual entre la magnitud de la componente de secuencia negativa y la magnitud de la componente de secuencia positiva. Esta definición se aplica tanto para corriente como para tensión. Típicamente, la tensión de desbalance de un sistema trifásico es que menor que el 3%. La corriente de desbalance se considera con un porcentaje mayor especialmente cuando existen cargas monofásicas en el sistema”.

1.4.1.4 Sobretensión: “Es un incremento en el valor eficaz de la tensión alrededor de 1,1 p.u. y 1,2 p.u. La magnitud de la sobretensión describe que la tensión residual siempre será mayor a 1,0 p.u.”.

Figura 2. Gráficas de sobretensiones



Fuente: Norma IEEE 1159-2009. p.14

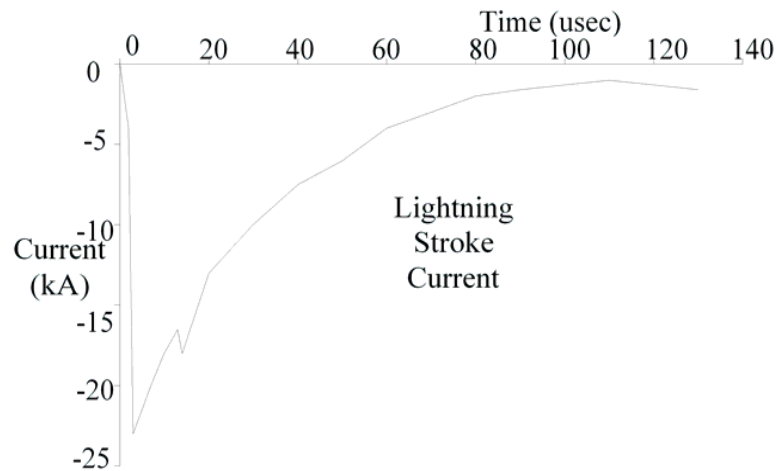
1.4.1.5 Transitorios: “Es una desviación indeseable de la tensión de alimentación o la carga de corriente en un periodo de tiempo pequeño. Son generalmente clasificados en dos categorías: tipo impulso y tipo oscilatorio”.

Transitorios tipo impulso: “es un cambio brusco en el comportamiento normal de la señal de tensión o de la corriente unidireccional en polaridad (o negativa o positiva). Los transitorios impulsivos son normalmente caracterizados por sus

tiempos de subida y caída”. Estos fenómenos también pueden ser descritos por su contenido espectral.

Las causas más comunes de transitorios impulsivos son los relámpagos.

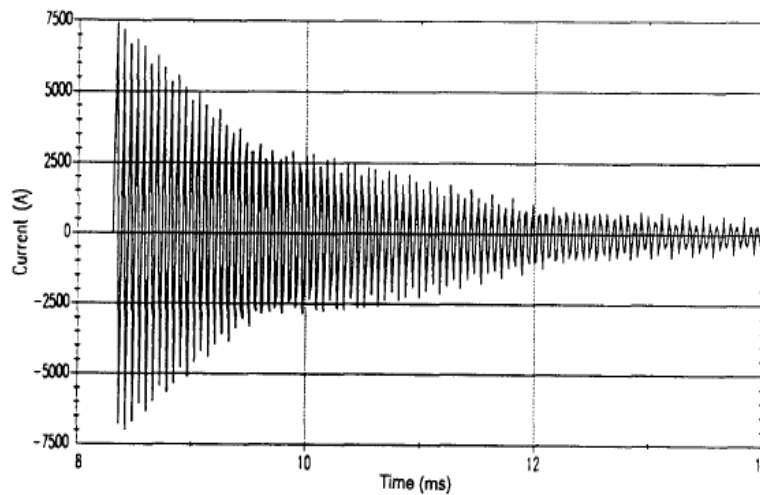
Figura 3. Interrupción de energía debido a un transitorio tipo impulso.



Fuente: Norma IEEE 1159-2009. p.8

Transitorios oscilatorios: Un transitorio oscilatorio consiste en una señal de tensión o corriente cuya polaridad de las muestras instantáneas cambia rápidamente.

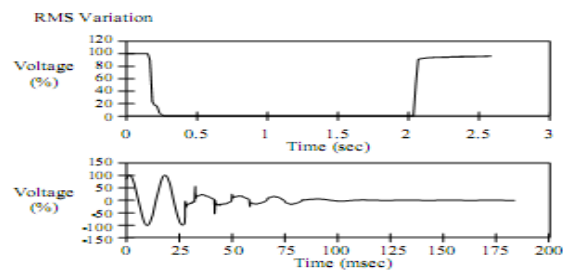
Figura 4. Transitorio oscilatorio causado por banco de capacitores.



Fuente: Norma IEEE 1159-2009. P.9

1.4.1.6 Interrupción: “Una interrupción ocurre cuando la tensión de alimentación o corriente de carga toman valores menores a 0.1 p.u. por un periodo de tiempo que no excede un minuto”.

Figura 5. Interrupción momentánea debida a una falla en un sistema.

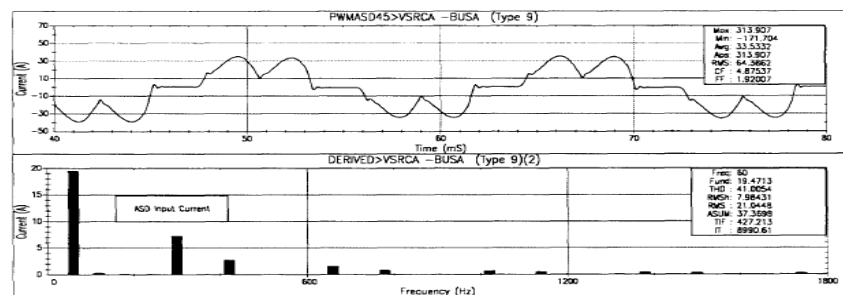


Fuente: Norma IEEE 1159-2009 p.11

1.4.1.7 Distorsión de la forma de onda: “La distorsión de la forma de onda es definida como la desviación en estado estable de una onda sinusoidal ideal cuya frecuencia es la frecuencia del sistema de potencia”.

1.4.1.7.1 Armónicos: “Un armónico es una onda sinusoidal de tensión o corriente cuya frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema. Una señal con distorsión armónica se define como la suma de varios armónicos los cuales pueden o no estar en fase con la componente fundamental. Se caracterizan con el espectro y la distorsión armónica total”.

Figura 6. Gráficas de armónicos en corriente.



Fuente: Norma IEEE 1159-2009.p 20.

- *Tipos de equipos que generan armónicos:*

Las corrientes de carga armónicas las generan las denominadas cargas no lineales. Entre ellas se incluyen:

Cargas monofásicas:

- ✓ Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS).
- ✓ Estabilizadores electrónicos de dispositivos de iluminación fluorescente.
- ✓ Pequeñas unidades de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI o UPS).

Cargas trifásicas:

- ✓ Motores de velocidad variable.
- ✓ Grandes unidades de UPS.

Cuando se habla de los armónicos en las instalaciones de energía, son los armónicos de corriente los más preocupantes, puesto que los armónicos se originan como corrientes y la mayoría de sus efectos negativos se deben a estas corrientes.

Para efectos de medición, los armónicos son referenciados de acuerdo a:

- *Interarmónicos:* Los interarmónicos son tensiones o corrientes cuya frecuencia es un múltiplo no entero de la frecuencia fundamental de suministro.
- *Subarmónicos:* Son componentes de tensiones o corrientes cuyo valor de la frecuencia es inferior a la frecuencia fundamental.

A continuación se incluye una tabla que resume las características de los armónicos e interarmónicos.

Tabla 2 - Componentes espectrales de una forma de onda (de frecuencia f).

Armónico	$f = nf_1$ donde n es un entero mayor que cero
Componente de cte. continua (cc)	$f = nf_1$ para $n = 0$
Interarmónico	$f \neq nf_1$ donde n es un entero mayor que cero
Subarmónico	$f > 0 \text{ Hz}$ y $f < f_1$
$f_1 =$ frecuencia fundamental de la tensión (armónico básico)	

Fuente: Guía de Calidad de la Energía Eléctrica. Armónicos-Interarmónicos Cap. 3⁶

1.4.1.7.2 Distorsión Armónica Total (THD): La distorsión armónica es un índice que indica qué porcentaje de la tensión o de la corriente tiene problemas de calidad. Es definida como la “relación entre el valor eficaz de las componente armónicas de tensión o intensidad y el correspondiente valor fundamental.”⁷ La distorsión armónica total (THD ó Total Harmonic Distortion) es usada para cuantificar el efecto de los armónicos en la tensión de sistemas de potencia de baja tensión, media tensión, y alta tensión. Ésta distorsión es expresada como un porcentaje de la fundamental y viene definida por:

$$THD = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=2}^N V_i^2\right)}}{V_1}$$

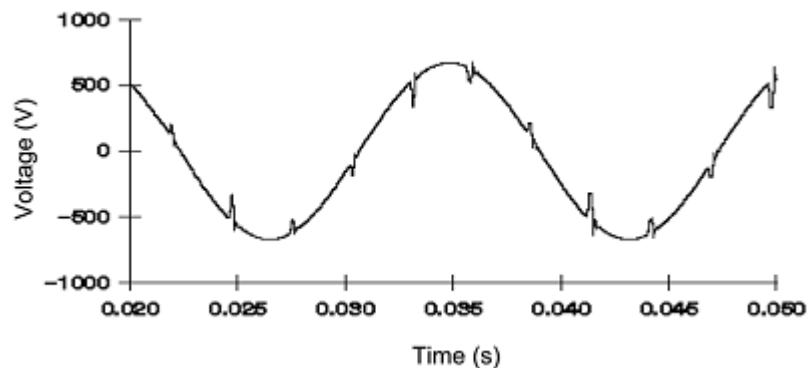
⁶ Guía de la Calidad de la Energía Eléctrica. Armónicos- Interarmónicos Cap. 3.1.1 pág. 1, tomado de www.lpqj.org.

⁷ UNE-EN 61000-4-7: “Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de suministro y a los aparatos conectados a estas”. España, 2004. Pág. 10

Se puede hablar de distorsión armónica total de tensión o de corriente según sea el caso a evaluar.

1.4.1.7.3 Muesca de tensión (*Notch*): “Se define como una perturbación periódica sobre la onda de tensión causada por la operación normal de equipos electrónicos de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra”.

Figura 7. Muesca de tensión causada por un convertidor



Fuente: Norma IEEE 1159-2009 p.21

1.5 NORMAS EXISTENTES PARA LA MONITORIZACIÓN DE FENÓMENOS DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA.

Existen dos normas europeas en calidad de potencia que actualmente son muy utilizadas: la norma propuesta por la CEI 61000-4-30⁸ y la norma EN50160⁹.

La norma EN 50160 describe las características principales de la tensión suministrada por una red general de distribución en baja tensión y en media tensión en condiciones normales de explotación, es decir, proporciona las

⁸ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003.

⁹ EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.

recomendaciones de los parámetros que deben medirse como un compromiso del operador de red con el cliente.

La propuesta del documento se concentra en los siguientes parámetros:

Frecuencia, amplitud de la tensión, variaciones de la tensión, variaciones rápidas de la tensión, huecos de tensión, interrupciones breves de la tensión, interrupciones largas de la tensión, sobretensiones temporales, sobretensiones transitorias, desequilibrio de la tensión, tensiones armónicas, tensiones interarmónicas y transmisión de señales de información por red.

La existencia de tal documento nos da una buena idea de qué parámetros serían necesarios medir y dar pauta a los requerimientos de los equipos de medición. Si bien es cierto que la EN50160 nos da la idea de qué parámetros medir no es suficiente con eso, hace falta describir la metodología de medición.

La norma CEI 61000-4-30 define los métodos de medida de la calidad de suministro con el fin de poder comparar resultados de medidas aunque se hayan realizado con diferentes marcas de monitores. Los parámetros definidos en esta norma son: frecuencia de la red, tensión nominal, flicker, variaciones lentas de tensión, huecos y subidas de tensión, transitorios de tensión, desequilibrios entre fases, armónicos, interarmónicos y tensiones de onda portadora. Esta norma establece la precisión tanto para las medidas de tensión, intensidad y frecuencia como para los parámetros derivados de estas magnitudes.

La parte más importante de la CEI 61000-4-30 se dirige a la especificación de los periodos de medida, la agregación de los datos y la precisión del reloj interno.

Se han definido dos clases de medida:

- Clase A: Es recomendada para instrumentos usados en medidas contractuales entre consumidor de electricidad y su proveedor para aclarar cuestiones de cumplimiento de normas o resolución de disputas.

- Clase B: Es recomendada para campañas de medidas para estadísticas, ingeniería, solución de problemas, etc. No es necesaria una elevada precisión.

Las normas americanas para la monitorización de parámetros eléctricos conocidas son: Norma IEEE 1159 -2009¹⁰ que define los parámetros para la monitorización de calidad de energía eléctrica y la Norma IEEE 519 -1992¹¹ que expone los requerimientos para el control de armónicos en sistemas de potencia eléctrica.

Para el caso de nuestro país, los lineamientos a seguir se refieren a lo establecido por la CREG, que es la entidad encargada de regular los servicios de electricidad y gas según se establece en la ley 142 y 143 de 1994. Fue creada por el Gobierno Nacional con el fin de regular las actividades de los servicios públicos. La misión de la CREG es la de regular los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible de manera técnica, independiente y transparente, promoviendo el desarrollo de estos sectores, además como ente regulador en el sector eléctrico colombiano, se encarga de legislar a monopolios donde no se pueda crear la competencia y en el resto de los casos, promover la competencia para que haya una buena calidad y el servicio sea eficiente.

De otra parte, también es importante indicar que frente a la calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica, la Ley 142 de 1994 le asignó a la CREG, la función de fijar las normas de calidad a las que deben ceñirse las empresas de servicios públicos en la prestación de dicho servicio público domiciliario y la ley 143 de 1994 le asignó a esta, la facultad de definir y hacer operativos los criterios técnicos de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía eléctrica.

¹⁰ IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality: IEEE Std 1159-2009. New York: IEEE, 2009.

¹¹ IEEE Recommended Practice for Harmonic Control in Electrical Power Systems: IEEE Std 519-1992. New York: IEEE, 1992.

Es así, como la CREG, en cumplimiento de sus atribuciones legales, emitió y adoptó el Reglamento de Distribución de energía eléctrica a través de las Resoluciones CREG 070 de 1998, 025 y 089 de 1999, 096 de 2000 y demás modificaciones.

Respecto a la calidad, la CREG distinguió la Calidad de la Potencia Suministrada de la Calidad del Servicio Prestado. La Calidad de la Potencia se relaciona con las desviaciones de los valores especificados para las variables de tensión y con la forma de las ondas de tensión y corriente, mientras que la Calidad del Servicio Prestado se refiere a la confiabilidad del servicio (continuidad en la prestación).

La CREG, en el Reglamento de Distribución, fijó los estándares que miden la calidad de la potencia suministrada haciendo referencia a lo expuesto en la norma CEI 61000-4-15¹², CEI 61000-4-30, IEEE 519, IEEE 1159 y que corresponden a:

- Frecuencia y Tensión
- Contenido de Armónicos de las Ondas de Tensión y Corriente "*Flicker*"
- Factor de Potencia
- Transitorios Electromagnéticos y Fluctuaciones de Tensión.

De igual forma para efectos de garantizar la Calidad de la Potencia Suministrada, la CREG dispuso que los Operadores de Red (OR) deben constituir un instrumento financiero que ampare a los Usuarios conectados a su Sistema y además determinó la existencia de los indicadores de calidad (DES) y (FES) que deben ser respetadas por los prestadores del servicio público domiciliario de energía eléctrica.

En la resolución 025 de 1999 en el artículo 1 se definen los indicadores mencionados anteriormente, así:

¹² COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-15, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003.

-“Indicador de Duración Equivalente de las Interrupciones del Servicio (DES):

Es el tiempo total, medido sobre los últimos doce (12) meses, en que el servicio es interrumpido en un Circuito. Los OR deben calcular el Indicador DESc mensualmente para cada Circuito, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$DESc = \sum_{i=1}^{NTI} t(i)$$

Donde:

DESc: Sumatoria del Tiempo en horas de las interrupciones del servicio en un Circuito, durante los últimos doce (12) meses.

i: Interrupción *i*-ésima.

t(i): Tiempo en horas de la interrupción *i*-ésima.

NTI: Número Total de Interrupciones que ocurrieron en el Circuito durante los últimos doce (12) meses.

-Indicador de Frecuencia Equivalente de las Interrupciones del Servicio

(FES): Mide la confiabilidad de un STR¹³ y/o SDL¹⁴ como el número de interrupciones que presenta un Circuito durante los últimos doce (12) meses. Los OR deben calcular el Indicador FESc mensualmente para cada circuito, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$FESc = NTI$$

Donde:

FESc: Sumatoria del número de veces que el servicio es interrumpido en un circuito, durante los últimos doce (12) meses.”¹⁵

¹³ Siglas para: Sistema de Transmisión Regional

¹⁴ Siglas para: Sistema de Distribución Local

¹⁵ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 025 de 1999. Bogotá: CREG, 1999. Pág. 4-5.

1.6 EQUIPOS PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

“En los últimos años se ha avanzado significativamente en el campo de la medida y la verificación del ahorro de energía eléctrica, diferenciando entre la medida del flujo de la energía eléctrica (contadores eléctricos) y la predicción y verificación del ahorro energético, basadas en la medida”.¹⁶ Muchos de los sistemas o equipos disponibles en el mercado incorporan programas de análisis que en general permiten:

- Obtener datos históricos y perfiles de carga de la instalación.
- Contrastar facturas de la compañía.
- Asignar costos energéticos.
- Elegir la tarifa adecuada para el consumo.
- Realizar análisis de tendencias, así como informes y dibujos automatizados.

Están disponibles en el mercado diferentes tipos de instrumentos de monitorización, que a veces no son fáciles de comparar por sus características. Para poder elegir adecuadamente el instrumento correcto, es necesario analizar en primer lugar el tipo y las necesidades de monitorización, el intervalo de medición y la precisión.

Las características generales de los instrumentos de monitorización son:

- *Tipo de carcasa:* Por lo general varían si el equipo es portátil o fijo.
- *Condiciones ambientales:* Son especificadas por el fabricante.
- *Alimentación:* La tensión de la alimentación y la frecuencia, así como el funcionamiento de la batería deberían ser adecuados de acuerdo a la aplicación.

¹⁶ Sumper, A.; Villafáfila, R.; Antoni, S. Equipos para la medida y monitorización de la Energía Eléctrica. CITCEA, Universidad Politécnica De Cataluña. Marzo 2005. p 2.

- *Memoria:* Para registrar eventos, es posible la utilización de discos duros, disquetes y tarjetas de memoria RAM y PCMCIA internas.
- *Interface de usuario:* La comunicación entre el instrumento y el usuario se realiza a través de pantallas incorporadas en el monitor, a través de equipos externos de visualización o a través de computadores personales. Igualmente existen botones que facilitan la introducción de datos. Muchos equipos facilitan la comunicación remota, así como la visualización de datos en tiempo real.
- *Programas y herramientas de análisis de datos:* La mayoría de fabricantes desarrollan software para el análisis de las medidas y manipulación de datos.
- *Accesorios:* Cables, sondas, sensores, pinzas amperimétricas, etc., son accesorios proporcionados por el fabricante.
- *Garantía:* El fabricante debe proporcionar por lo mínimo un año de garantía.
- *Capacidad de actualización:* Debe ser considerada a la hora de adquirir el equipo.
- *Mantenimiento y calibración:* Este es un factor importante, ya que de esto depende la vida útil del instrumento.
- *Precisión:* Es especificada por el fabricante.
- *Resolución:* Es una medida del detalle que puede conseguir la conversión de señal analógica a señal digital.

Entre las marcas reconocidas que distribuyen equipos de monitorización y medida de la calidad del suministro eléctrico se tiene: Dranetz BMI, Fluke, Schneider Electric, Unipower, entre otros.

En la iniciativa de este proyecto se establecieron varias posibilidades para escoger los equipos adecuados y adaptables a las necesidades presentes.

CAPÍTULO 2

ESTRUCTURA DEL CURSO Y MANEJO DE LA PLATAFORMA

2.1 ESQUEMA DEL CURSO:

La temática del curso se desarrollará mediante la ejecución de varias prácticas las cuales se realizarán en el aula de clases donde se tenga acceso a Matlab¹⁷ que es la herramienta donde se simularán las perturbaciones a estudiar durante este curso e igualmente en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la E³T¹⁸ donde se realizarán montajes con el fin de conocer como configurar el equipo analizador de redes para la medición. Con el fin de efectuar cada una de las prácticas se debe acceder al grupo de Calidad de Potencia disponible en la plataforma de Moodle ya que no se tendrán guías de laboratorio impresas en papel sino que estas están en formato html con el fin de hacer más didáctico y ameno el contenido del curso, además en esta plataforma se tendrá toda la documentación necesaria para el desarrollo de cada una de las prácticas.

El estudiante debe interactuar con la plataforma de manera que participe en los foros y en debates, anexe cada uno de los informes, presente los quices para que conozca sus notas y en general que este al día con la información.

El propósito de desarrollar estas prácticas de laboratorio es que los estudiantes, adquieran un mejor conocimiento de lo relacionado con la Calidad de Potencia Eléctrica y nada mejor que esto sea de forma práctica, por lo tanto es necesario considerar un estilo de evaluación por competencias, siendo la evaluación un

¹⁷ Matlab

¹⁸ Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, perteneciente a la Universidad Industrial de Santander.

proceso de medición, acompañamiento y ajuste permanente del proceso educativo, convirtiéndose en una herramienta fundamental para abordar varios retos como lo son: la academia, el ámbito laboral, la cotidianidad y la tecnología.

Las prácticas a desarrollar durante el curso están divididas en dos grupos que están clasificados de acuerdo a las variaciones en estado estacionario o transitorio, así:

- **Estado Estacionario:**

- Medición de componentes Armónicos.
- Medición de Flicker.
- Medición de Desbalance.

- **Estado Transitorio:**

- Medición de Huecos, sobretensiones e interrupciones.
- Transitorios.

De manera general se enumeran los pasos que se deben seguir para el cumplimiento de cada práctica de laboratorio, esto es:

1. Lectura previa de la información del tema, la cual como ya se mencionó se encuentra en la plataforma.
2. Breve explicación de las actividades a realizar durante la práctica por el profesor. Es indispensable evaluar si el estudiante se encuentra apto para realizar la práctica.
3. Montaje respectivo en la herramienta de simulación de Matlab Simulink, toma de datos, gráficas, etc.
4. Elaboración del informe en el cual se consignará además de los datos obtenidos, una reseña del tema, toma de datos, resultados y conclusiones.

2.2 PLATAFORMA MOODLE

Se ha hablado de la plataforma Moodle en la que estará el curso de Calidad de Potencia pero no se ha definido qué es, por eso a continuación se da una breve introducción a lo relacionado con este escenario.

“Técnicamente, Moodle es una aplicación que pertenece al grupo de los Gestores de Contenidos Educativos (LMS, Learning Management Systems), también conocidos como Entornos de Aprendizaje Virtuales (VLE, Virtual Learning Managements)”¹⁹.

“Moodle promueve una pedagogía constructivista social (colaboración, actividades, reflexión crítica, etc.). Su arquitectura y herramientas son apropiadas para clases en línea, así como también para complementar el aprendizaje presencial. Tiene una interfaz de navegador de tecnología sencilla, ligera, y compatible”²⁰.

La instalación es sencilla requiriendo una plataforma que soporte PHP y la disponibilidad de una base de datos. Moodle tiene una capa de abstracción de bases de datos por lo que soporta los principales sistemas gestores de bases de datos. En la actualidad, Moodle está traducido a 75 idiomas e incluye más de 27.000 sitios registrados en todo el mundo.

Una de las principales ventajas de Moodle sobre los otros sistemas es que está construido sobre la base de la pedagogía social constructivista.

¹⁹ Baños S, Jesús. Moodle versión 1.8 - manual de consulta para el profesorado. Getafe, Octubre de 2007, pág. 9

²⁰ <http://www.josedomingo.org/web/mod/resource/view>

2.3 ACCESO A LA PLATAFORMA

Como ya se ha mencionado Moodle es una aplicación Web a la que se accede por medio de cualquier navegador Web (Mozilla Firefox, Internet Explorer, Opera, etc.). Esto quiere decir que, además de disponer de conexión a Internet, tendremos que conocer la dirección Web (URL) del servidor donde se encuentre alojado Moodle. Para este curso la dirección de acceso es: <http://cps.uis.edu.co/moodle>, en el vínculo Calidad de Potencia. La apariencia del aula virtual se puede apreciar en la Figura 8 que se presenta a continuación.

Figura 8. Portal de acceso a la plataforma

The screenshot displays the Moodle interface for the 'Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones'. At the top right, it indicates 'Usted no se ha autenticado. (Entrar)'. The main content area is titled 'Cursos disponibles' and lists several courses:

- Arquitectura de Computadores I**: Profesor: Carlos Angulo
- Procesadores**: Profesor: William Salamanca. Descripción: Durante el curso se estudiarán técnicas avanzadas de diseño digital que nos permitirán aplicar los conceptos aprendidos en arquitectura de computadores y sistemas digitales para el diseño e implementación de procesadores de propósito específico y de propósito general mediante HDL sobre FPGA.
- Laboratorio de Digitales**: Teacher: Sergio Abreo
- Laboratorio Microcontroladores**: Profesor: Carlos Angulo
- Sistemas Digitales**: Profesor: Carlos Angulo
- Calidad de Potencia**: Teacher: OCHOA PINTO JUDY MARCELA, Teacher: NIEBLES TAPIAS KAREN MARIA
- Medios de Transmisión**: José Rugeles : Jose Rugeles. Descripción: En este curso se estudian los parámetros característicos de los medios de transmisión aplicables a sistemas eléctricos y electrónicos modernos. Se espera que los estudiantes desarrollen habilidades de análisis para la solución de problemas de ingeniería que requieran estimar el comportamiento de un medio.

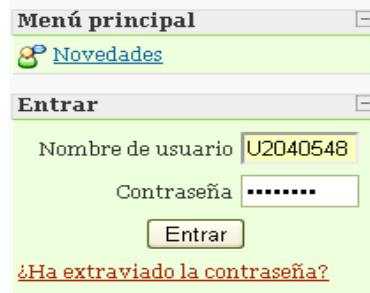
The left sidebar contains a 'Menú principal' with 'Novedades' and 'Entrar' (with fields for 'Nombre de usuario: u2040548' and 'Contraseña: *****'). The right sidebar includes 'Bienvenidos!!', 'Calendario', 'Usuarios en línea' (listing BARRERA MENDOZA OMAR, PENA SANCHEZ FABIAN, and PERALTA DIAZ JULIO CESAR), and 'Cursos' (listing Arquitectura de Computadores, Procesadores, Laboratorio de Digitales, Laboratorio, Microcontroladores, Sistemas Digitales, Calidad de Potencia, Medios de Transmisión, and Todos los cursos ...).

Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>.

Para poder acceder al sistema el estudiante debe estar registrado como usuario del mismo. El nombre de usuario está configurado para que sea la U seguido del código de estudiante y cuya contraseña es calidad, siendo esta en

principio igual para todos los inscritos en el curso. El acceso de entrada está ubicado en la parte superior izquierda de la página principal y tiene la vista que se muestra en la Figura 9, se muestra como ejemplo a un usuario de uno de los cursos que se encuentran en la plataforma y que pretende acceder a esta.

Figura 9. Acceso al curso de Calidad de Potencia.



Menú principal

[Novedades](#)

Entrar

Nombre de usuario

Contraseña

[¿Ha extraviado la contraseña?](#)

Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>

Una vez se ha ingresado a la plataforma, aparecen los cursos en los cuales se está matriculado, como un ejemplo se muestra en la Figura 16 el ingreso de un estudiante, que como se aprecia, sólo se encuentra matriculado en el curso de Calidad de Potencia.

Figura 10. Curso de Calidad de Potencia.



Menú principal

[Novedades](#)

Mis cursos

[Calidad de Potencia](#)

Teacher: [OCHOA PINTO JUDY MARCELA](#)

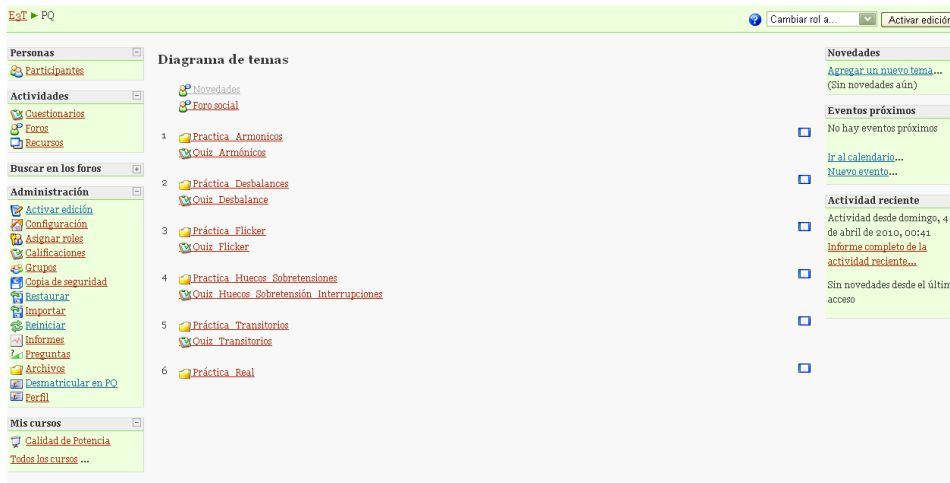
Teacher: [NIEBLES TAPIAS KAREN MARIA](#)

Buscar cursos:

Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>

Ahora el paso a seguir es hacer clic sobre el curso de Calidad de Potencia para tener acceso al curso donde se encuentra el diagrama de temas, tal y como se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11. Entorno del curso



Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>.

En la Figura 11 se ve la distribución de temas del curso, donde cada tema pertenece a una práctica de laboratorio y para cada una de estas hay un quiz asociado. Para acceder a la información correspondiente a cada una de las prácticas basta con hacer clic sobre el tema que desee, como ejemplo al hacer clic sobre el tema de Armónicos se abre la carpeta donde se tiene una corta introducción al contenido y se muestran los enlaces que esta tiene, tal y como se observa en la Figura 12, el documento html que aparece es la guía correspondiente a la práctica en cuestión y en la carpeta se encuentra la documentación que complementa el estudio de cada fenómeno.

Figura 12. Enlaces para la práctica de armónicos.

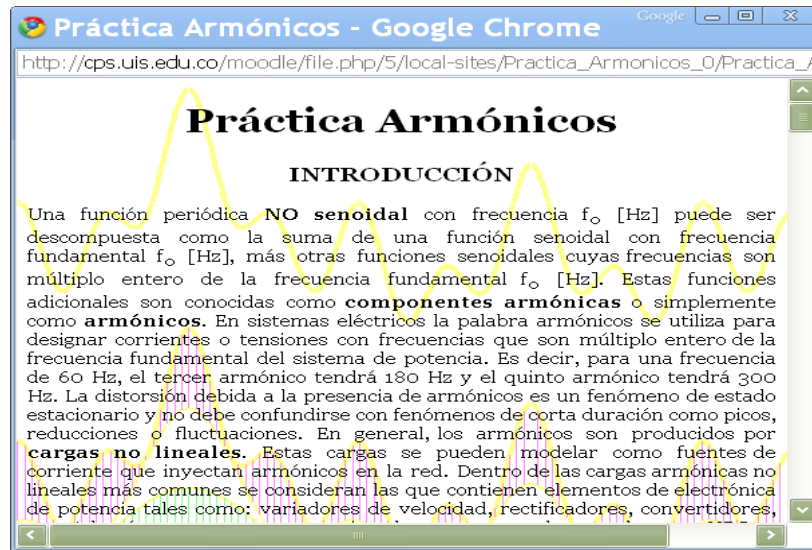
EgT ► PQ ► [Recursos](#) ► Practica_Armonicos

Nombre	Tamaño	Modificado
Imágenes	1.3Mb	24 de marzo de 2010, 00:58
Practica-de-Armonicos_4.html	21.8Kb	24 de marzo de 2010, 01:05
Vinculos	4.7Mb	26 de marzo de 2010, 01:31

Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>

Al hacer clic sobre el documento html se abre otra ventana con la información correspondiente a la guía de laboratorio, tal y como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Contenido teórico de la práctica de Armónicos.



Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>.

Otra opción para acceder a la información estando en la página principal del curso es hacer clic sobre el enlace de **recursos** que aparece en las actividades, como se puede ver en la Figura 14.

Figura 14. Acceso al curso desde el enlace “recursos”.



Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>.

Una vez se accede a ese link aparece la ventana que se muestra en la Figura 15 mostrando así en una tabla cada una de las carpetas de los temas tratados durante el curso, con un breve resumen.

Figura 15. Tabla de carpetas de las distintas prácticas.

Calidad de Potencia Ir a...

EgT ► PQ ► Recursos

Tema	Nombre	Resumen
1	Armonicos	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de Armónicos, además de la información necesaria para la preparación del mismo
2	Desbalances	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de Desbalances, además de la información necesaria para la preparación del mismo
3	Flicker	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de flicker, además de la información necesaria para la preparación del mismo
4	Huecos	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de Huecos de Tensión, además de la información necesaria para la preparación del mismo
5	Sobretensiones	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de Sobretensión, además de la información necesaria para la preparación del mismo
6	Interrupciones	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de Interrupciones de Tensión, además de la información necesaria para la preparación del mismo
7	Transitorios	En esta carpeta se encuentra la guía de laboratorio de medición de Transitorios Electromagnéticos, además de la información necesaria para la preparación del mismo

Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>.

Así mismo se puede acceder desde la página principal a los quices que se encuentren disponibles, haciendo clic en **lecciones** en el enlace de las actividades propuestas. Por tanto cuando se accede al link deseado aparece la ventana que se muestra en la figura 16, la cual muestra los quices disponibles con una pequeña información de cómo es la calificación y la fecha de cierre de cada uno de estos.

Figura 16. Quices de cada práctica.

Calidad de Potencia Ir a...

EgT ► PQ ► Lecciones

Tema	Nombre	Calificación	Fecha final
1	Quiz Armónicos	100	No deadline
2	Quiz Desbalance	100	No deadline
3	Quiz Flicker	100	No deadline
4	Quiz Huecos	100	No deadline
5	Quiz Sobretensiones	100	No deadline
6	Quiz Interrupciones	100	No deadline
7	Quiz Transitorios	100	No deadline

Fuente: <http://cps.uis.edu.co/moodle>

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE CALIDAD

3.1 DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS

Las prácticas del laboratorio de Calidad de Potencia Eléctrica le permiten al estudiante desarrollar destrezas básicas y herramientas para el conocimiento de los fenómenos relacionados con la Calidad de Potencia PQ y del tratamiento de los mismos, así como el dominio de conceptos básicos y comprensión del papel de la observación mediante el desarrollo de la práctica, la distinción entre las deducciones que se realizan a partir de la teoría y las que se realizan a partir de la parte experimental y también a destacar el proceso de observación del fenómeno - obtención de un dato experimental - análisis de los resultados - conclusiones. Las prácticas de laboratorio pueden desarrollarse de manera que el alumno interactúe con Matlab y pueda manipular la herramienta requerida para este experimento: Simulink e igualmente a la hora de aprender a utilizar el equipo analizador de calidad interactúe con elementos físicos con el fin de entender y conocer la funcionalidad de este tipo de medidores. Esto requiere la autopreparación por parte de los estudiantes, y esto es posible a través de materiales que se encuentran en formato digital (documentos expuestos en la plataforma Moodle).

Para el diseño de las prácticas de laboratorio y su planificación se tuvieron en cuenta múltiples factores, tales como: posibilidad de realizarse en forma real o de forma simulada, objetivos que se persiguen con cada una, equipos con los que cuenta el laboratorio entre otros, además se tuvo en cuenta lo que se trató en la novena reunión nacional de educación en la física y que se cita a continuación: "las prácticas de laboratorio deben ser un elemento importante del proceso integral de construcción de conocimiento científico, en el que las sesiones de introducción de conceptos, los problemas de lápiz y papel y las prácticas de laboratorio constituyan, como en la labor científica, distintas etapas a las que se recurra de

acuerdo a la situación en la que se encuentra y debieran exigir un esfuerzo creativo y crítico por parte de los estudiantes y no reducirse a directivas que impongan caminos preestablecidos, inmodificables o incuestionables”²¹.

3.2 DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS

Las prácticas para el laboratorio de calidad de potencia fueron desarrolladas teniendo en cuenta la necesidad de crear y utilizar un material educativo para la construcción de conceptos relacionados con Calidad de Potencia Eléctrica.

Aunque en Internet se encuentran variados sitios con información sobre calidad de Potencia Eléctrica, los siguientes argumentos justifican la necesidad de crear y utilizar un laboratorio de PQ:

- Acorde a las necesidades actuales provistas por el mercado, es esencial una mejor orientación para la preparación de los estudiantes previa al desarrollo de las actividades de prácticas en la universidad.
- La Universidad Industrial de Santander y propiamente la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones distan de poseer una herramienta para afianzar el conocimiento en Calidad de Potencia Eléctrica acordes con los nuevos tiempos y la tecnología utilizada para evaluar cada perturbación y relacionarla con los sistemas eléctricos reales.

Se determinó que una manera fácil de interactuar con las diversas perturbaciones es la simulación, con el fin de conocer la generación del fenómeno y su medición. Igualmente en el laboratorio de Máquinas Eléctricas se cuenta con equipos que pueden ser utilizados para generar algunas de las perturbaciones que se han

²¹ Salinas, J., Gil, D. y C. De Cudmani, L. (1995). La elaboración de estrategias educativas acorde a un modelo científico de tratar las cuestiones. Novena Reunión Nacional de Educación en la Física. (Salta, APFA).

considerado para este curso con el fin de aprender y manipular el analizador de redes que posee la universidad.

3.2.1 ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS.

Para la elaboración de este laboratorio, se quiso aprovechar la herramienta que actualmente maneja la escuela como especie de un aula virtual, ubicada en la plataforma Moodle. Para esto se abrió el grupo de Calidad de Potencia en el cual deben aparecer los temas de Calidad de Potencia que abordamos (Armónicos, Flicker, Huecos, Sobretensiones, Interrupciones, Transitorios, Desbalances y manipulación del analizador de redes PowerVisa).

Por tanto se estableció un prototipo de práctica provista de una serie de pasos de acuerdo a los estándares actuales en educación y en parte a la forma de cómo se realizan los distintos laboratorios en la universidad.

La idea parte de mostrar una práctica la cual inicie con una evaluación de conceptos previos a la realización del montaje y toma de datos. Para esto se tienen ciertos enlaces en el curso virtual donde están los fundamentos de la perturbación, además se brinda un rápido acceso a los siguientes materiales:

- Normas de Seguridad: Durante el desarrollo del curso los estudiantes tendrán la posibilidad de conocer y aprender las normas que se deben seguir en el laboratorio cuando tenga que ir a manipular el analizador de redes PowerVisa. Estas normas están expuestas de acuerdo al reglamento establecido en la universidad para laboratorios de electricidad y electrónica²².
- *Fundamentos teóricos*: Explicación de los contenidos relacionados con la práctica y cómo son analizados los fenómenos según las normas existentes (ecuaciones y cuadros comparativos).

²² << Manual de Seguridad >> Laboratorios de la E³T.

- *Orientaciones*: se dividen en tres aspectos: descripción (particularidades de los fenómenos), montaje experimental (descripción del montaje para implementarlo en Simulink o en el laboratorio), toma de datos y tareas (actividades que deben realizar los estudiantes como: investigaciones y conclusiones de la práctica). Estas tareas han demostrado que favorecen el aprendizaje, crean actitudes positivas en los estudiantes, los familiarizan con aspectos de la investigación y contribuyen al desarrollo de una percepción más integral de la realidad circundante por parte de ellos.

CAPÍTULO 4.

DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS

En este capítulo se mostrará paso a paso en qué consiste cada práctica, cuáles son los objetivos a alcanzar y cómo se evalúa de acuerdo a las normas existentes.

En la parte de anexos se mostrará cómo es efectuada una práctica en cuanto a descripción del montaje para la respectiva simulación, toma de datos (medición) y evaluación de los fenómenos de acuerdo a las normas actuales.

4.1 PRÁCTICA DE DESBALANCE DE TENSIÓN.

Esta práctica permite instruir al estudiante en el manejo de desbalances, esto es, ayudarlo a entender qué es, cómo se manifiesta, cómo disipar sus efectos y cómo es medido y evaluado según las normas actuales.

El desarrollo de la práctica está basado fundamentalmente en lo siguiente:

- Descripción del fenómeno.
- Establecimiento de los objetivos.
- Evaluación según la normativa.

En la parte de descripción del fenómeno, se hace un recuento de la teoría que se presenta para este curso en formato HTML tratando de abarcar todos los aspectos que surgen en el estudio de la perturbación.

Los objetivos a seguir en esta práctica son los siguientes:

- ✓ Simular y determinar la magnitud del desbalance presente en la práctica del laboratorio y comparar el resultado con base en las distintas normativas.
- ✓ Verificar cual de las componentes de secuencia es dominante en el sistema.

- ✓ Reconocer dentro del desarrollo de la práctica si el desbalance es debido a las fases o a las magnitudes de tensión medidos.

Para determinar un desbalance, se tiene en cuenta los siguientes lineamientos:

De acuerdo a la norma CEI 61000-4-30, el grado de desequilibrio se expresa usualmente como:

$$u_2 = \frac{U_2}{U_1} * 100$$

Donde U2 corresponde a la componente de secuencia negativa de la tensión de línea y U1 corresponde a la componente de secuencia positiva de la tensión de línea.

- ✓ **Fórmula alternativa según IEC 61000-4-30:**

En esta norma se propone que para un sistema trifásico el índice de desbalance definido en puede calcularse como:

$$u_2 = 100 * \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

Donde β se calcula así:

$$\beta = \frac{U_{abfund}^4 + U_{bcfund}^4 + U_{cafund}^4}{(U_{abfund}^2 + U_{bcfund}^2 + U_{cafund}^2)^2}$$

En donde las tensiones U_{ijfund} corresponden a la componente fundamental de la tensión entre la fase i y la fase j .

- ✓ **Fórmula alternativa según IEEE 1159**

En este caso el índice de desbalance se estima como la desviación máxima entre el valor de los voltajes de línea y el promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, según se expresa en:

$$u_2 = 100 * \text{máx} \left[\frac{U_{ij} - U_{media}}{U_{media}} \right]$$

En este caso los subíndices i y j corresponden a las fases a , b y c .

✓ **Fórmula según la IEC 61000-2-12:**

Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$u_N = \sqrt{\left(\frac{6(U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2)}{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}} - 2 \right)}$$

Para los límites de desbalances se tiene en cuenta la siguiente consideración:

La norma EN 50160 establece que, tanto para baja tensión como para media tensión, en condiciones normales, para cada intervalo de una semana, el 95% de los valores eficaces promediados en 10 minutos de la componente inversa de la tensión de alimentación debe situarse entre el 0% y el 2% de la componente directa. Se establece la salvedad que en baja tensión, para algunas regiones equipadas con líneas parcialmente monofásicas o bifásicas, los desequilibrios pueden alcanzar el 3% en los puntos de suministros trifásicos.

La norma CEI 61000-2-2²³, al igual que la norma IEEE 1159, recomienda que el índice de desbalance en un suministro eléctrico no debe superar el 2 % en cuanto a tensión, para la parte de corriente, esta norma recomienda que el desbalance debe estar entre 1,0 y el 30% de la corriente de carga.

En la norma CEI 61000-4-30 se establece que el período de medida debe ser de una semana con valores cada 10 minutos y/o cada 2 horas. Una de las

²³ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-2, International Rep.1990, Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 2-2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.

metodologías de comparación propuestas establece que uno o más de los valores semanales con 95% de probabilidad (expresada en por ciento) se debe comparar con el valor contractual establecido.

Evidentemente estos límites que establece la normativa internacional son adoptados generalmente por las reglamentaciones de calidad de servicio vigentes. La reglamentación Colombiana adopta explícitamente las recomendaciones tanto para la medición cómo para la evaluación del desbalance de la norma IEEE 1159.

Para determinar el índice de desbalance en corriente en forma precisa se deben determinar las componentes de secuencia para la corriente a partir de las componentes de las corrientes de línea con una transformación análoga a la de tensión:

$$i_2 = 100 * \frac{I_2}{I_1}$$

La normativa internacional no propone formulas alternativas para simplificar la determinación del desbalance en corriente. La fórmula propuesta por la norma CEI 61000-4-30 reformulada para la corriente, proporciona un cálculo exacto del índice de desbalance en corriente si el sistema de corrientes no tiene componente homopolar.

4.2 PRÁCTICA DE HUECOS DE TENSIÓN, SOBRETENSIONES E INTERRUPCIONES.

Esta práctica permite instruir al estudiante en la comprensión de los huecos de tensión y las sobretensiones, qué es cada una de estas perturbaciones, cómo se manifiestan, cómo neutralizar sus efectos y como se miden y evalúan según las normas correspondientes.

El desarrollo de la práctica, tiene los siguientes lineamientos:

- Descripción del fenómeno.
- Establecimiento de los objetivos.
- Evaluación según la normativa.

En la parte de descripción de huecos de tensión y sobretensiones, se hace un recuento de la teoría que se presenta para este curso en formato HTML tratando de abarcar todos los aspectos que surgen en el estudio de la perturbación.

Los objetivos a seguir en esta práctica son los siguientes:

- ✓ Identificar la presencia de huecos de tensión, las sobretensiones o interrupciones presentes en el sistema a representar.
- ✓ Determinar las diferencias existentes en la medición del valor eficaz de la señal con respecto a si la medición a realizar es cada ciclo, medio ciclo o por muestras.
- ✓ Caracterizar los huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones en magnitud y duración del evento.
- ✓ Caracterizar si el tipo de perturbación es de corta o larga duración de acuerdo con la normativa actual.

Para describir un hueco de tensión, se tienen en cuenta los siguientes lineamientos:

Según el estándar CEI 61000-4-30 un hueco de tensión se caracteriza por un par de datos, la tensión residual (U_{res}) o la profundidad y la duración:

- la tensión residual es el menor valor de $U_{ef(1/2)}$ ²⁴ medido en cualquier canal durante el hueco.

²⁴ Valor tensión eficaz. COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 8.

- la profundidad de un hueco de tensión es la diferencia entre la tensión de referencia (U_{din}^{25}) y la tensión residual. En general se expresa en porcentaje de la tensión de referencia.
- la duración de un hueco de tensión es la diferencia del tiempo entre el inicio y el fin del hueco de tensión.

Por consiguiente para determinar un hueco, se debe conocer el valor de la tensión eficaz, se debe tomar la medida de la profundidad del hueco y por último se debe determinar la duración del hueco.

“En los sistemas monofásicos un hueco de tensión comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ cae por debajo del umbral del hueco, y se termina cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ es igual o superior al umbral del hueco más la tensión de histéresis.

En los sistemas polifásicos, un hueco comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ de uno o varios canales cae por debajo del umbral del hueco y se termina cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ en todos los canales medidos es igual o superior al umbral del hueco más la histéresis”²⁶.

Los umbrales del hueco de tensión están generalmente en el margen del 85% al 90% de la referencia fijada de la tensión para la investigación de fallos o aplicaciones estadísticas, y del 70% para aplicaciones contractuales.

²⁵ Valor tensión de entrada declarada. COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 8.

²⁶ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 17.

La tensión residual se utiliza a menudo por el usuario final, y se prefiere porque está referida a cero voltios. Por el contrario, la profundidad se utiliza a menudo por los distribuidores de la red, en particular en las redes de alta tensión o en el caso de la utilización de una tensión de referencia deslizante.

Para la norma IEEE 1159 un hueco de tensión toma valores de entre 0,1 y 0,9 p.u. y puede ser clasificado en varios tipos: instantáneo cuya duración es de 0,5-30 ciclos, momentáneo cuya duración es de 30 ciclos a 3s y temporales cuya duración es de 3s a 1 min. Cuando el hueco es de larga duración, se presenta en tiempos mayores a 1min y toma valores de 0,8-0,9 p.u.

La norma EN 50160 define que la tensión de entrada cuando ocurre un hueco toma valores menores al 60% cuando la duración es menor a un minuto. También se tiene en cuenta que las caídas de tensión en baja tensión y media tensión toman valores de 10-50% de la tensión de servicio.

La reglamentación Colombiana adopta explícitamente las recomendaciones de la norma IEEE 1159 en cuanto a la medición y evaluación de esta perturbación.

Para determinar una sobretensión, se tienen en cuenta los siguientes lineamientos:

Según el estándar CEI 61000-4-30 una sobretensión temporal se caracteriza por un par de datos, la amplitud máxima de la sobretensión temporal y su duración:

- La amplitud máxima de la sobretensión temporal es el mayor valor de $U_{ef(1/2)}$ medido en cualquier canal durante la sobretensión temporal.
- La duración de una sobretensión temporal es la diferencia de tiempo entre el comienzo y el final de la sobretensión temporal.

En los sistemas monofásicos, una sobretensión temporal comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ se eleva por encima del umbral de la sobretensión temporal, y se termina cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ es igual o inferior al umbral de la sobretensión temporal menos la tensión de histéresis.

En los sistemas polifásicos, una sobretensión temporal comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ de uno o más canales se eleva por encima del umbral de la sobretensión temporal, y se termina cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ en todos los canales de medida es inferior o igual al umbral de la sobretensión temporal menos la tensión de histéresis²⁷.

El umbral de la sobretensión temporal es en general superior al 110% de U_{din} y también se puede producir un desplazamiento de la fase cuando ocurre este fenómeno.

Según el estándar IEEE 1159 los valores de una sobretensión están entre 1,1 y 1,8 p.u. del valor de tensión nominal y puede ser clasificado en varios tipos: instantáneo cuya duración es de 0,5-30 ciclos y toma valores entre 1,1 y 1,8 p.u., momentáneo cuya duración es de 30 ciclos a 3 s y toma valores entre 1,1 y 1,4 p.u. y temporales cuya duración es de 3 s a 1 min y toma valores entre 1,1 y 1,2 p.u. Cuando la sobretensión es de larga duración el tiempo es mayor a 1 min y su valor oscila entre 1,1 y 1,2 p.u.

Para la norma EN 50160, cuando la sobretensión es temporal, para baja tensión toma valores de 1,5 p.u. y para media tensión si la conexión del sistema está

²⁷ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 17.

directamente a tierra toma valores hasta de 1,7 p.u. ó 2,0 p.u. sin toma de tierra o tierra compensada.

La reglamentación Colombiana adopta explícitamente las recomendaciones de la norma IEEE 1159 en cuanto a la medición y evaluación de esta perturbación.

Para determinar una interrupción, se tiene en cuenta los siguientes lineamientos:

De acuerdo a la norma CEI 61000-4-30, una interrupción se define de acuerdo al tipo de sistema:

“En los sistemas monofásicos, una interrupción de tensión comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ cae por debajo del umbral de interrupción de tensión y se termina cuando el valor de $U_{ef(1/2)}$ es igual o superior al umbral de interrupción de tensión más la histéresis.

En los sistemas polifásicos, una interrupción de tensión comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ de todos los canales cae por debajo del umbral de interrupción de tensión y se termina cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ de cualquier canal es igual o superior al umbral de interrupción de tensión más la histéresis”²⁸.

El umbral de interrupción de tensión y la tensión de histéresis las fija el usuario en función de la utilización. El umbral de interrupción de tensión no debe fijarse por debajo de la incertidumbre de medida de la tensión residual más el valor de la histéresis. El umbral de interrupción de tensión puede fijarse, por ejemplo, en el 5% de U_{din} .

²⁸ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 19.

Según el estándar IEEE 1159, una interrupción ocurre cuando el suministro de tensión decrece. Para efectos de evaluación se consideran las variaciones de corta duración en las que las interrupciones momentáneas toman un valor menor al 0,1 p.u. En un intervalo de 0,5 ciclos – 3 s, para interrupciones temporales tiene valores <0,1 p.u. en un intervalo de 3s – 1 min y para variaciones de larga duración se asume que las interrupciones toman un valor de 0,0 p.u. en intervalos mayores a 1min.

Para la norma EN 50160 la interrupción corta se asume a partir del tiempo de duración del evento el cual para baja y media tensión es de hasta 3 min y para interrupciones prolongadas de la tensión de suministro tanto para baja y media tensión se tiene para periodos mayores a 3min y estas deben ser menores a 10-50/año.

La CREG a parte de asumir los valores que toma esta perturbación según el estándar IEEE 1159, presenta unos indicadores de calidad del servicio prestado por parte de los operadores de red conocidos como DES (Indicador de duración equivalente a las interrupciones del servicio) y FES (Indicador de frecuencia equivalente de las interrupciones del servicio). Estos indicadores son mencionados en este proyecto como referencia con el fin de que el estudiante conozca la normativa colombiana, pero no serán aplicados durante la práctica debido a que para su medición se necesitan periodos de medida del fenómeno de aproximadamente tres meses para obtener un valor comparable con la Tabla 3 y Tabla 4.

Según la CREG 113-2003²⁹, los valores máximos admisibles anuales para los indicadores de calidad del servicio son:

²⁹ Resolución 113 de 2003. Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, Colombia; p. 2.

Tabla 3. Valores admisibles de acuerdo a los grupos

Grupo	DES (horas)	FES
1	11	26
2	19	44
3	29	51
4	39	58

Fuente: CREG 113-2003.

Estos grupos son definidos de acuerdo a los trimestres del año así: 1 de enero - 31 de marzo, 1 de abril – 30 de junio, 1 de julio – 30 de septiembre y 1 de octubre – 31 de diciembre. Estos valores máximos trimestrales serán únicos por empresa. Cada DESc trimestral deberá estar en horas, cada FESc trimestral deberá estar en número entero y la suma de los valores trimestrales en cada año no podrá superar los valores máximos admisibles anuales establecidos.

Si un operador de red no reporta los valores, o reporta valores que no cumplan con las condiciones establecidas se asumirán para su sistema para el año correspondiente, los siguientes valores máximos admisibles trimestrales:

Tabla 4. Valores admisibles de acuerdo a los grupos

GRUPO	DES (horas)				FES			
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
1	2,75	2,75	2,75	2,75	6	6	6	6
2	4,75	4,75	4,75	4,75	11	11	11	11
3	7,25	7,25	7,25	7,25	12	12	12	12
4	9,75	9,75	9,75	9,75	14	14	14	14

Fuente: CREG 113-2003.

4. 3 PRÁCTICA DE FLICKER

Esta práctica permite instruir al estudiante en el entendimiento del fenómeno flicker, qué es, cómo se manifiesta, cómo es medido y evaluado según las normas actuales.

El desarrollo de la práctica, se basa fundamentalmente en lo siguiente:

- Descripción del fenómeno.
- Establecimiento de los objetivos.
- Evaluación según la normativa.

En la parte de descripción del fenómeno, se hace un resume de la teoría que se presenta para este curso en formato HTML tratando de abarcar todos los aspectos que surgen en el estudio de la perturbación.

Los objetivos a seguir en esta práctica son los siguientes:

- ✓ Reconocer la presencia de flicker (parpadeo) en la señal.
- ✓ Desarrollar el esquema de simulación con el fin de conocer el medidor de flicker propuesto por la norma CEI 61000-4-15.
- ✓ Realizar las pruebas que propone la norma CEI 61000-4-15 en las tablas 1 y 2, con el fin de comprobar que el nivel instantáneo de Flicker (IFL) toma valor unitario.

Para determinar el fenómeno producido por el flicker, se tienen en cuenta los siguientes lineamientos:

De acuerdo a la CEI 61000-4-30, el flicker debe ser evaluado solo si la medida se toma con equipos clase A aplicando la norma CEI 61000-4-15.

El estándar CEI 61000-4-15 dice que la forma estándar de evaluación de la severidad del flicker es mediante el parámetro PST y el PLT. El PST evalúa la

severidad del flicker a corto plazo, con intervalos de observación de 10 minutos. El valor del PST se expresa en unidades de perceptibilidad (p.u.). Para PLT la evaluación de la severidad del flicker a largo plazo, con intervalos de observación de 2 horas.

La norma EN 50160 sólo indica límites de PLT el cual debe ser ≤ 1 para el 95% de los valores medidos.

La norma IEEE 1159-2009 no se refiere a este fenómeno. La reglamentación colombiana CREG establece que los límites máximos exigidos para PST serán definidos a partir de los resultados obtenidos en un estudio de diagnóstico del sistema colombiano³⁰.

La UIE (International Union for Electricity Applications) definen unos límites para los parámetros de PST y PLT mediante la siguiente tabla:

Tabla 5. Límites aceptables y niveles de compatibilidad teórica de PST y PLT para distintos niveles de tensión.

	límites aceptables de flicker	niveles de compatibilidad para planificación	
	BT	MT	AT
Pst	1,00	1,00	0,79
Plt	0,74	0,74	0,58

Fuente: Cuaderno Técnico Schneider Electric N°176, P.16.

Para fines de este proyecto, se realizará la medición del nivel instantáneo de flicker (IFL) el cual según la norma CEI 61000-4-15 toma valores unitarios para las pruebas realizadas de acuerdo a las tablas 1 y 2 de la presente norma.

³⁰ Resolución 024 de 2005. Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, Colombia; p. 9

4. 4 PRÁCTICA DE ARMÓNICOS

Esta práctica permite capacitar al estudiante sobre el fenómeno de los armónicos, qué son, cómo se manifiestan, cómo disipar sus efectos y cómo son medidos y evaluados según las normas actuales.

El desarrollo de la práctica, se basa fundamentalmente en lo siguiente:

- Descripción del fenómeno.
- Establecimiento de los objetivos.
- Evaluación según la normativa.

En la parte de descripción del fenómeno, se hace una recapitulación de la teoría que se presenta para este curso en formato HTML tratando de abarcar todos los aspectos que surgen en el estudio de la perturbación.

Los objetivos a seguir en esta práctica son los siguientes:

- ✓ Identificar los componentes armónicos presentes en el esquema a simular.
- ✓ Determinar el porcentaje de distorsión armónica presente en la señal.
- ✓ Comparar los resultados entre la toma de datos para la simulación de armónicos, interarmónicos y cuando existe frecuencia deslizante.

Para determinar la presencia de armónicos en la señal, se tienen en cuenta los siguientes lineamientos:

De acuerdo con la norma CEI 61000-4-30 los armónicos son evaluados según la norma CEI 61000-2-4³¹. Esta norma posee un criterio de evaluación el cual

³¹ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-4, International Rep.1994, Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 2-2: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.

permite verificar si los niveles de los armónicos están o no en el rango de compatibilidad.

Para el caso de la distorsión armónica total, esta se evalúa considerando el componente armónico 2° hasta el 40° incluyendo la contribución de los interarmónicos en el rango de frecuencia especificado. En la siguiente tabla se encuentran especificados los rangos de compatibilidad.

Tabla 6. Niveles de compatibilidad para armónicos.

	Class 1	Class 2	Class 3
Total harmonic distortion (THD)	5 %	8 %	10 %

Fuente: Norma CEI 61000-2-4:1994.

En este proyecto, sólo se tendrán en cuenta los equipos clase 1.

Los componentes armónicos según esta norma están divididos en varios grupos para facilitar su evaluación:

Niveles de compatibilidad para los armónicos:

- **Valores de las componentes armónicas impares excluyendo los múltiplos de 3.**

Tabla 7. Niveles de compatibilidad en armónicos excluyendo múltiplos de 3

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
19	1,5	1,5	4
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
> 25	$0,2 + 12,5/h$	$0,2 + 12,5/h$	$5 \times \sqrt{11/h}$

Fuente: Norma CEI 61000-2-4:1994.

- **Valores de las componentes armónicas impares múltiplos de 3.**

Tabla 8. Niveles de compatibilidad en armónicos impares múltiplos de 3

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,3	2
21	0,2	0,2	1,75
> 21	0,2	0,2	1

Fuente: Norma CEI 61000-2-4:1994.

- **Valores de las componentes armónicas pares.**

Tabla 9. Niveles de compatibilidad en armónicos pares

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
> 10	0,2	0,2	1

Fuente: Norma CEI 61000-2-4:1994.

En cuanto a los interarmónicos, estos se evalúan de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 10. Niveles de compatibilidad en interarmónicos

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
< 11	0,2	0,2	2,5
11 to 13 included	0,2	0,2	2,25
13 to 17 included	0,2	0,2	2
17 to 19 included	0,2	0,2	2
19 to 23 included	0,2	0,2	1,75
23 to 25 included	0,2	0,2	1,5
> 25	0,2	0,2	1

Fuente: Norma CEI 61000-2-4:1994.

Según norma IEEE 1159, la evaluación de los armónicos de una señal queda determinada por el valor de la distorsión armónica total, la cual no debe superar valores mayores al 5%, ya que partir de este valor de distorsión de tensión, las cargas se afectan considerablemente. Si la medida es de corriente, entonces los valores de THD serán para valores menores del 20% para pequeños consumidores y del 5% para grandes consumidores.

De acuerdo con la norma EN 50160, la medición de los armónicos debe cumplir con la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores de las tensiones armónicas individuales en los terminales de entrada para órdenes de hasta 25, dados en porcentaje de U_n

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden h	Tensión relativa (%)	Orden h	Tensión relativa (%)	Orden h	Tensión relativa (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Fuente: Norma EN 50160

Para la CREG, los porcentajes de conformidad se determinan de acuerdo a la norma IEEE 519-1992³². Esta define que los límites de la corriente están asociados al máximo valor de tensión armónica que no debe estar por encima del 3% y para el THD del 5%.

³² IEEE 519, 1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems, pág. 86.

Tabla 12. Limites de Distorsión de Tensión

Voltaje de Barra en el PCC	Distorsión de Voltaje Individual (%)	Distorsión de Voltaje Total THD (%)
69 kV y por debajo	3.0	5.0
69.001 V a 161 kV	1.5	2.5
161.001 V y por encima	1.0	1.5

Fuente: Estándar IEEE 519.

4. 5 PRÁCTICA DE TRANSITORIOS

Esta práctica permite instruir al estudiante en sobre el fenómeno de los transitorios, ayudándole a entender la definición de estos, cómo se manifiestan, cómo son medidos y evaluados según las normas actuales.

El desarrollo de la práctica, se basa fundamentalmente en lo siguiente:

- Descripción del fenómeno.
- Establecimiento de los objetivos.
- Evaluación según la normativa.

En la parte de descripción del fenómeno, se contempla la teoría que se presenta para este curso en formato HTML tratando de abarcar todos los aspectos que surgen en el estudio de la perturbación.

Los objetivos a seguir en esta práctica son los siguientes:

- ✓ Conocer el mecanismo de evaluación de un transitorio de acuerdo a su duración y a su representación.
- ✓ Identificar los transitorios electromagnéticos tipo impulso presentes en la señal de tensión a simular.

- ✓ Identificar el transitorio electromagnético tipo oscilatorio presente en la señal de tensión a simular.

Para determinar un transitorio, se tiene en cuenta los siguientes lineamientos:

La norma CEI 61000-4-30 no estandariza las medidas de transitorios de alta frecuencia o fenómenos relacionados con la corriente.

Para la norma IEEE 1159 el fenómeno de transitorio se clasifica en dos tipos: Transitorios tipo impulso y transitorios tipo oscilatorio. La forma de diferenciarlos se encuentra a continuación:

Tabla 13. Categorías y características de los transitorios en sistemas de potencia.

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5ns de elevación	< 50ns	
1.1.2 Microsegundos	1µs de elevación	50ns - 1ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1ms de elevación	> 1ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	<5kHz	0.3 - 50ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500kHz	20µs	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5µs	0 - 4 pu

Fuente: Traducción libre del Estándar Internacional IEEE 1159-2009.

De acuerdo con la norma EN 50160 se define la sobretensión transitoria como una sobretensión oscilatoria o no oscilatoria de corta duración generalmente fuertemente amortiguada y que dura como máximo algunos milisegundos. Se destaca el aspecto de variación brusca en la tensión, con valores que superan varias veces el valor máximo de la tensión nominal, y que pueden poner en peligro determinados elementos y equipos eléctricos.

Las sobretensiones transitorias, de acuerdo con la norma EN 50160, no sobrepasan generalmente los 6 kV de valor de cresta, pero a veces, pueden tomar valores más elevados. El tiempo de subida puede variar desde unos

microsegundos a varios milisegundos. Para el caso de media tensión, los transitorios no se encuentran definidos.

La normativa colombiana CREG no hace ninguna referencia sobre la monitorización del fenómeno de transitorio.

4.6 MEDICIÓN DE COMPONENTES ARMÓNICAS Y HUECOS DE TENSIÓN USANDO EL ANALIZADOR DE REDES POWER VISA

En la elaboración de este curso, al igual que la realización de las prácticas simuladas, también se planteó la implementación de una práctica con montaje real con el fin de aprender a configurar el equipo analizador de calidad al igual que conocer como se realiza la toma de datos y los informes finales que muestran un perfil del comportamiento del sistema.

Estos montajes se encuentran en el anexo A donde se caracterizan los montajes a realizar para simular y medir algunos de los fenómenos que se contemplan en este curso.

Los objetivos a seguir en esta práctica son los siguientes:

- ✓ Identificar el esquema de conexión del equipo de medida.
- ✓ Realizar el montaje requerido y configurar adecuadamente el equipo para realizar la medida.
- ✓ Obtener gráficos, diagramas y generar informes de calidad a partir del software del equipo.

5. CONCLUSIONES, OBSERVACIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

El desarrollo del presente trabajo permite el establecimiento de conclusiones y recomendaciones referentes al planteamiento de unas prácticas de laboratorio de calidad de potencia eléctrica simulado, al igual que la interpretación de varios montajes para aprender a utilizar el equipo de calidad apoyado en una plataforma de aula virtual con el objeto de que el estudiante se apropie y afiance el conocimiento de una forma didáctica a través de la experiencia misma.

5.1 CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

A continuación se listan las conclusiones y observaciones relacionadas con los objetivos que se plantearon para el presente proyecto:

- ✓ Se diseñaron cinco prácticas de laboratorio simuladas y una práctica real a partir del contexto que actualmente enmarca lo referente a calidad de potencia. Las prácticas fueron implementadas de acuerdo a los fenómenos más representativos. La estructura de cada práctica está basada en las actuales prácticas desarrolladas en los laboratorios de la universidad, específicamente en el modelo de ejecución tal como lectura previa, quices, montaje y simulación, toma de datos, evaluación y conclusión.
- ✓ Se identificaron las características referentes a cada fenómeno gracias a los aportes obtenidos de los estándares tales como IEC 61000-4-30, IEEE 1159 de 2009, EN 50160 y la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. Sin embargo no todos los fenómenos para la parte de evaluación son contemplados por cada normativa.
- ✓ El estudio de varios equipos analizadores de calidad de potencia permitió comprender la importancia que actualmente posee la monitorización de la

de fenómenos distorsionantes del suministro eléctrico, ya que el hecho de desglosar cada función para la medición y como evalúan de acuerdo a los estándares que los rigen permite afianzar los conocimientos sobre la normativa.

- ✓ Se realizó el diseño de un curso virtual como material de apoyo para el laboratorio en la que se encuentra de forma didáctica el contenido de cada practica con su respectivo manejo de información teórica, objetivos a desarrollar, estudio del fenómeno, métodos de medida, pruebas de conformidad y montaje. Este material se encuentra apoyado no sólo por la simulación a realizar durante la práctica sino que también por esquemas que muestran el funcionamiento y configuración de los equipos al igual que videos para soportar y facilitar el desarrollo de cada temática.
- ✓ La parametrización de los fenómenos y su respectiva evaluación no dista de una norma a otra. Los métodos de evaluación son similares lo que facilita el manejo de conceptos y aplicación de los mismos.
- ✓ Las guías para cada práctica de laboratorio están en formato html, lo que permite que el contenido no sea un texto plano sino que este sea interactivo con el fin de no cansar al lector, se dispone de contenido dinámico para la parte de medición de montajes reales que muestra la configuración del analizador de redes y en algunos montajes de este tipo se tiene videos para facilitar el proceso de aprendizaje.

5.2 RECOMENDACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

- ✓ Para trabajos futuros sería interesante contar con equipos trifásicos que pueda generar todas las perturbaciones que afectan la calidad de potencia

eléctrica de modo que se puedan aprovechar para fines pedagógicos los analizadores de red con los que cuenta la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

- ✓ Se sugiere implementar un laboratorio de PQ remoto con el fin de aprovechar el equipo ENCORE 61000 Systems que actualmente se encuentra en la universidad el cual permite ver los datos que se están midiendo en tiempo real desde cualquier sitio que tenga acceso a internet. Para esto se necesitaría un generador de perturbaciones que se pueda programar para que también trabaje en modo remoto.
- ✓ Es necesario que se adquieran equipos didácticos que soporten variaciones de todo tipo en su señal de tensión con el fin de que las prácticas también sean de carácter real el igualmente se realiza esta sugerencia con el fin de no someter los motores, cargas y el autotransformador presentes en el laboratorio de Máquinas Eléctricas a este tipo de perturbaciones ya que se está acelerando su proceso de vida útil.
- ✓ Para la parte de simulación, se sugiere la adquisición de la herramienta de Simulink: SimPowerSystem, ya que esta herramienta permite realizar aplicaciones de circuitos de todo tipo haciendo más sencillo el montaje de los esquemas.

BIBLIOGRAFÍA

ÁNGEL, Miguel. “Interrupciones y huecos de tensión: Diseño y construcción de un prototipo para su medición”, 2005, p. 22. Tesis de maestría (Ingeniería Eléctrica). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, electrónica y de Telecomunicaciones.

BAÑOS S, Jesús. Moodle versión 1.8 - Manual de consulta para el profesorado. Getafe, Octubre de 2007, p. 9.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 024 de 2005. Bogotá: CREG, 2005. p. 3.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 113 de 2003. Bogotá: CREG, 2005. p. 2.

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003.

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-15, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003.

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-2, International Rep.1990, Compatibilidad electromagnética

(CEM) – Parte 2-2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-4, International Rep.1994, Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 2-2: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-12, International Rep.2004, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-12: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de distribución pública en media tensión.

DE KEULENAER, H., CHAPMAN, D., Guía de la Calidad de la Energía Eléctrica, Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), Introducción, Noviembre 2001; p.1-2.

EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.

SALINAS, J., GIL, D. y C. DE CUDMANI, L. (1995). La elaboración de estrategias educativas acorde a un modelo científico de tratar las cuestiones. Novena Reunión Nacional de Educación en la Física. (Salta, APFA).

SANTOS, F., SERRANO, A., Generador de Interrupciones y Caídas de Tensión, 2004, Tesis de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad Industrial de Santander.

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, electrónica y de Telecomunicaciones.

SUMPER, A.; VILLAFÁFILA, R.; ANTONI, S. Equipos para la medida y monitorización de la Energía Eléctrica. CITCEA, Universidad Politécnica De Cataluña. Marzo 2005. p 1.

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality: IEEE Std 1159-2009. New York, 26 de Junio. IEEE, 2009.

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Recommended Practice for Harmonic Control in Electrical Power Systems: IEEE Std 519-1992. New York: IEEE, 1992.

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 519, Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems, pág. 86.

UNE-EN 61000-4-7, Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de suministro y a los aparatos conectados a estas. España, 2004. Pág. 10

ANEXO A. DESARROLLO PRÁCTICAS DE LABORATORIO

En esta parte del documento se muestra el desarrollo total de la práctica desde la parte del montaje a realizar para la simulación, toma de datos y evaluación según las normas actuales. El estudiante adicional a esto en su informe debe realizar una conclusión de lo visto y aprendido durante el desarrollo de la actividad.

El desarrollo de estas prácticas se presenta de la siguiente manera:

- Guía de laboratorio.
- Desarrollo de la guía, en cuanto al funcionamiento de los bloques. No se consignan datos experimentales de cada ejercicio.

Las guías de laboratorio se presentan en formato html en la plataforma, pero para efectos del libro son consignadas en este anexo.

A.1 PRÁCTICA DE HUECOS DE TENSIÓN, SOBRETENSIONES E INTERRUPCIONES

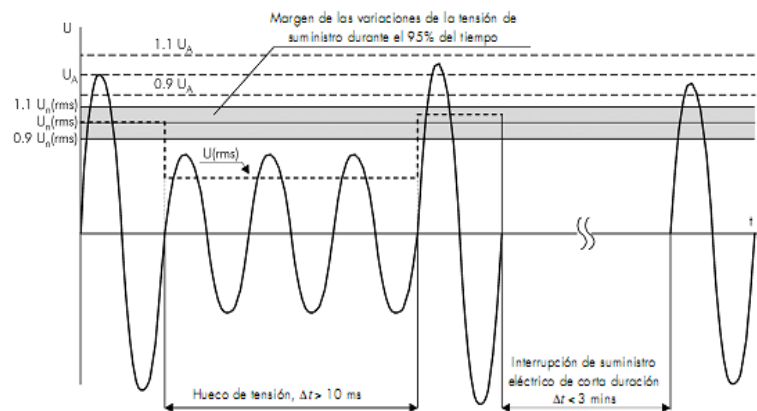
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Práctica de laboratorio # 1
Medición de Huecos, Sobretensiones e Interrupciones
INTRODUCCIÓN
HUECOS DE TENSIÓN <p>Los huecos de tensión, “sags” o “dips”, se manifiestan como las reducciones en el valor de la tensión eficaz entre el 10% y el 90% para duraciones comprendidas entre 10 ms a 1 min, según la IEC o entre el 1% y 90% para duraciones comprendidas entre 0.5 ciclos y 1 minuto para la IEEE.</p> <p>La profundidad de un hueco de tensión es definida como la diferencia entre la tensión eficaz mínima durante el hueco de tensión y la tensión declarada.</p> <p>Los huecos de tensión pueden estar originados por faltas producidas en la red (originados por descargas atmosféricas, animales, accidentes u otros, así como por errores en la operación), o por sobrecargas (arranque de motores de potencia elevada, conexión de grandes cargas, conexión de transformadores o sobrecarga en general de la red) que provocan una caída de</p>

tensión excesiva.

Los huecos de tensión pueden ser *simétricos* o *asimétricos*, en función del tipo de falta o del tipo de sobrecarga que los ha originado. Cuando el valor eficaz de la tensión de todas las fases disminuye en la misma proporción, y el desfase entre ellas se mantiene en 120° , se dice que el hueco es *simétrico*. Un cortocircuito trifásico, el arranque de un motor de potencia o la sobrecarga producida por cargas trifásicas, originan este tipo de hueco.

Un hueco de tensión es *asimétrico* cuando la disminución del valor eficaz de la tensión no es igual para las tres fases y/o el desfase entre las mismas no es de 120° . En este caso faltas fase-tierra, fase-fase y fase-fase-tierra, así como la conexión de transformadores de potencia, o la sobrecarga por cargas monofásicas o no simétricas, originan este tipo de huecos.

Figura A.1. Ilustración de un hueco de tensión clasificada según la norma EN50160.



Fuente: Chapman, David. Guía de Calidad de la Energía Eléctrica: "Perturbaciones de tensión, norma EN 50160"

En la figura A.1 se puede apreciar un hueco de tensión, el cual es caracterizado por la duración y la magnitud.

EFFECTOS PRODUCIDOS POR LOS HUECOS DE TENSIÓN:

Los huecos de tensión producen efectos en los equipos que se ven sometidos a ellos en función de las características propias del hueco, de la naturaleza del equipo afectado y del tipo de conexión a la red.

Entre los tipos de cargas que se ven afectados por los huecos de tensión se encuentran: motores de inducción, transformadores, motores síncronos, convertidores electrónicos, sistemas de control, ordenadores, etc.

De forma breve, los efectos producidos por los huecos de tensión en las diferentes cargas son:

- Motores de inducción: picos de intensidad, picos de par, pérdida de velocidad y posible parada del mismo
- Transformadores: picos de intensidad.
- Motores síncronos: picos de intensidad, picos de par y posible pérdida de sincronismo.
- Convertidores electrónicos: en muchos accionamientos de velocidad variable para máquinas de corriente alterna, la fuente de tensión que alimenta al inversor consiste básicamente en una capacidad que se alimenta a través de un rectificador trifásico en puente de diodos conectado a la red eléctrica. Los huecos de tensión de la red eléctrica causan caídas de tensión en el lado de continua que producen variaciones en la

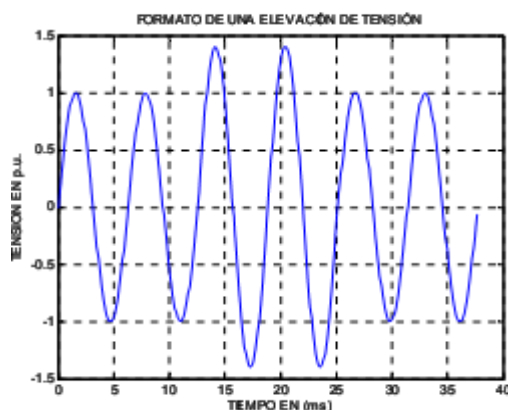
velocidad y en el par de la máquina y picos de corriente en el lado de alterna del rectificador que pueden provocar el disparo de las protecciones.

- Sistemas de control: su funcionamiento en tiempo real puede provocar que las informaciones captadas o enviadas a los sensores y actuadores, o bien el procesado del propio sistema de control se vean afectados en su funcionamiento cuando se produzca un hueco de tensión.

SOBRETENSIONES (Swells):

Son incrementos entre 1,1 y 1,8 pu del valor eficaz de la tensión, a frecuencia industrial, para duraciones de 0,5 ciclos a 1 minuto.

Figura A.2. Ilustración Sobretensión



Fuente: Chapman, David. Guía de Calidad de la Energía Eléctrica: "Perturbaciones de tensión, norma EN 50160".

Una sobretensión es un incremento en el valor eficaz de la tensión mayor de 110% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto. Las sobretensiones son generalmente el resultado de maniobras (por ejemplo, apertura de grandes cargas) o energización de bancos de condensadores. Las sobretensiones resultan porque el sistema es o muy débil para la regulación de tensión deseada o por controles de tensión inadecuados. Una posición incorrecta del conmutador de un transformador puede dar como resultado un sistema con sobretensión.

Al igual que las caídas, las subidas están generalmente asociadas con condiciones de falla del sistema, pero ellas no son tan comunes como las caídas de tensión. Una forma en que una subida puede ocurrir por el aumento de una tensión temporal sobre las fases no falladas durante una falla fase – tierra.

Las subidas pueden también ser causadas por maniobras de apertura de grandes cargas o energización de grandes bancos de condensadores. Las subidas se caracterizan por su magnitud (valor eficaz) y duración. La severidad de una subida de tensión durante una condición de falla es función de la localización de la falla, la impedancia del sistema y la puesta a tierra.

INTERRUPCIONES :

Las interrupciones están contenidas en las variaciones de corta y larga duración.

Interrupción de corta duración

Se define como la ausencia de tensión. Se considera como tal, cuando la señal de tensión decrece a menos de 0,1 p.u. para un tiempo mayor a 0,5 segundos.

Interrupciones sostenidas

Se definen como una tensión menor al 0,1 p.u. durante más de un (1) minuto. Son por naturaleza interrupciones permanentes y requieren de la intervención manual para restaurar el suministro.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de potencia, fallas de equipos o malas operaciones de control. Las interrupciones son medidas por su duración cuando la magnitud de tensión es menor del 10% del nominal. La duración de una interrupción debido a una falla en el sistema de distribución está determinada por el tiempo de operación de los equipos de protección.

ALCANCE Y OBJETIVOS

- **Alcance de la práctica:**

Con la ejecución de esta práctica se pretende que el estudiante afiance los conocimientos referentes al fenómeno de huecos, sobretensiones e interrupciones de una manera didáctica partiendo de que él mismo es el que elabora un montaje interactuando con Matlab a la hora de simular un esquema que permite generar señales que muestren como se presenta cada fenómeno.

- **Objetivos:**

- ✓ Identificar la presencia de huecos de tensión, las sobretensiones o interrupciones presentes en el sistema a representar.
- ✓ Determinar las diferencias existentes en la medición del valor eficaz de la señal con respecto a si la medición a realizar es cada ciclo, medio ciclo o por muestras.
- ✓ Caracterizar los huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones en magnitud y duración del evento.
- ✓ Caracterizar si el tipo de perturbación es de corta o larga duración de acuerdo con la normativa actual.

METODOLOGÍA

La práctica está dividida por etapas, cada una de éstas lleva a entender el fenómeno, a conocer la reglamentación colombiana y los estándares internacionales en cuanto a límites de medida y pruebas de conformidad que se deben cumplir en la medida de Huecos, Sobretensiones e Interrupciones. Estas especificaciones se encuentran en el curso de Calidad de Potencia en Moodle.

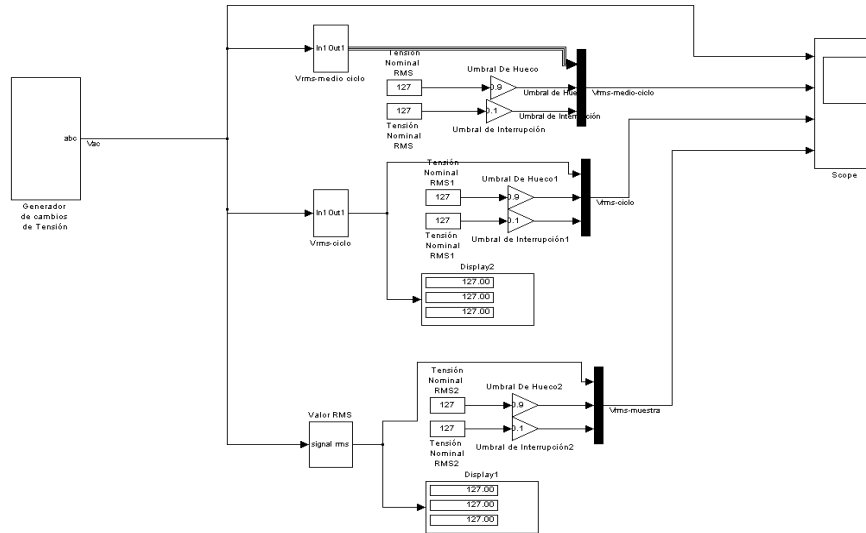
Por último se evaluará el fenómeno presente en el montaje asignado para la práctica de donde se podrán sacar las propias conclusiones a partir de la simulación del fenómeno en Matlab.

MONTAJE:

➤ **PRÁCTICA SIMULADA EN MATLAB:**

Para la práctica a realizar de forma simulada se tiene el montaje que se muestra en la Figura A.3. Este montaje consta de un generador de huecos trifásicos, medidores del valor RMS que refrescan los datos cada medio ciclo, cada ciclo y cada muestra, con el fin de ver las diferencias que presentan cada una de estas medidas y finalmente se encuentra un osciloscopio que permite ver el comportamiento de las señales en el tiempo.

Figura A.3. Montaje de la simulación de la práctica de Huecos y Sobretensiones.



Además se puede ver que en este diagrama de bloque hay un multiplexor para poder ver el valor RMS de las tres fases, el umbral de inicio huecos de tensión y el umbral de inicio de interrupción que corresponden al 90% y 10% de la señal nominal respectivamente, esto con el fin de tener una idea de cuándo empieza el hueco para su respectiva evaluación. El display muestra el valor instantáneo RMS de las señales trifásicas.

Con este montaje se realiza la medición de las muestras refrescadas cada $\frac{1}{2}$ ciclo, un ciclo y por muestras. A partir de este esquema se realiza la siguiente programación al igual que su respectiva medida:

Ejercicio 1:

- ✓ Se tiene una programación de huecos de tensión, para esto se tiene que la **amplitud de la señal de tensión de la fase A es de $127\sqrt{2}$ V, frecuencia del sistema de 60 Hz y fase= 0° .**

Los valores de amplitud y tiempo programados se relacionan la tabla A.1:

Tabla A.1. Datos para la programación.

Amplitud	Tiempo
$127\sqrt{2}$	0

50	0.1
$127\sqrt{2}$	0.18
75	0.3
$127\sqrt{2}$	0.4

Una vez ingresados estos valores se procede a ver los datos en el osciloscopio para poder analizar y evaluar los huecos de tensión.

Ejercicio 2:

- ✓ Se tiene una programación de sobretensiones, para esto se tiene que la **amplitud de la señal de tensión de la fase A es de $127\sqrt{2}$ V, frecuencia del sistema de 60 Hz y fase= 0°**.

Tabla A.2. Datos para la programación.

Amplitud	Tiempo
$127\sqrt{2}$	0
200	0.1
$127\sqrt{2}$	0.18
190	0.3
$127\sqrt{2}$	0.4

Una vez ingresados estos valores se procede a ver los datos en el osciloscopio para poder analizar y evaluar las sobretensiones.

Ejercicio 3:

- ✓ Se tiene una programación para una interrupción, para esto se tiene que la **amplitud de la señal de tensión de la fase A es de $127\sqrt{2}$ V, frecuencia del sistema de 60 Hz y fase= 0°**.

Tabla A.3. Datos para la programación.

Amplitud	Tiempo
$127\sqrt{2}$	0
0	1

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS:

Para determinar un **hueco de tensión**, se tiene en cuenta los siguientes lineamientos:

- **IEC 61000-4-30:**

Un hueco de tensión se caracteriza por un par de datos, la tensión residual (U_{res}) o la profundidad y la duración:

1. La tensión residual es el menor valor de U_{ef}^1 medido en cualquier canal durante el hueco.
2. La profundidad de un hueco de tensión es la diferencia entre la tensión de referencia (U_{din}^2) y la tensión residual. En general se expresa en porcentaje de la tensión de referencia.
3. La duración de un hueco de tensión es la diferencia del tiempo entre el inicio y el fin del hueco de tensión.

Por consiguiente para determinar un hueco, se debe conocer el valor de la tensión eficaz, se debe tomar la medida de la profundidad del hueco y por último se debe determinar la duración del hueco.

Los umbrales del hueco de tensión están generalmente en el margen del 85% al 90% de la referencia fijada de la tensión para la investigación de fallos o aplicaciones estadísticas, y del 70% para aplicaciones contractuales.

La tensión residual se utiliza a menudo por el usuario final, y se prefiere porque está referida a cero voltios. Por el contrario, la profundidad se utiliza a menudo por los distribuidores de la red, en particular en las redes de alta tensión o en el caso de la utilización de una tensión de referencia deslizante.

- **IEEE 1159:**

Un hueco de tensión toma valores de entre 0.1 y 0.9 p.u. y puede ser clasificado en varios tipos: instantáneo cuya duración es de 0.5-30 ciclos, momentáneo cuya duración es de 30 ciclos a 3s y temporales cuya duración es de 3s a 1 min. Cuando el hueco es de larga duración, se presenta en tiempos mayores a 1min y toma valores de 0.8-0.9 p.u.

- **EN 50160:**

Define que la tensión de entrada cuando ocurre un hueco toma valores menores al 60% cuando la duración es menor a un minuto. También se tiene en cuenta que las caídas de tensión en baja tensión y media tensión toman valores de 10-50% de la tensión de servicio.

- **CREG:**

La reglamentación Colombiana adopta explícitamente las recomendaciones de la norma IEEE 1159.

Para determinar una **sobretensión**, se tiene en cuenta los siguientes lineamientos:

- **IEC 61000-4-30:**

Una sobretensión temporal se caracteriza por un par de datos, la amplitud máxima de la sobretensión temporal y su duración:

1. La amplitud máxima de la sobretensión temporal es el mayor valor de U_{ef} (1/2) medido en cualquier canal durante la sobretensión temporal.
2. La duración de una sobretensión temporal es la diferencia de tiempo entre el comienzo

y el final de la sobretensión temporal.

El umbral de la sobretensión temporal es en general superior al 110% de U_{din} y también se puede producir un desplazamiento de la fase cuando ocurre este fenómeno.

- **IEEE 1159:**

Los valores de una sobretensión están entre 1.1 y 1.8 p.u. del valor de tensión nominal y puede ser clasificado en varios tipos: instantáneo cuya duración es de 0.5-30 ciclos y toma valores entre 1.1 y 1.8 p.u., momentáneo cuya duración es de 30 ciclos a 3s y toma valores entre 1.1 y 1.4 p.u. y temporales cuya duración es de 3s a 1 min y toma valores entre 1.1 y 1.2 p.u. Cuando la sobretensión es de larga duración el tiempo es mayor a 1 min y su valor oscila entre 1.1 y 1.2 p.u.

- **EN 50160:**

Cuando la sobretensión es temporal a la frecuencia de la red, para baja tensión toma valores de 1.5 p.u. y para media tensión si la conexión del sistema está directamente a tierra toma valores hasta de 1.7p.u ó 2.0p.u sin toma de tierra o tierra compensada.

Como en el caso de los Huecos de Tensión, la reglamentación Colombiana adopta explícitamente las recomendaciones de la norma IEEE 1159.

Para determinar una **interrupción**, se tienen en cuenta los siguientes lineamientos:

- **IEC 61000-4-30:**

Una interrupción se define de acuerdo al tipo de sistema:

"En los sistemas *monofásicos*, una interrupción de tensión comienza cuando la tensión eficaz refrescada cada semiperiodo $U_{ef(1/2)}$ cae por debajo del umbral de interrupción de tensión y se termina cuando el valor de la tensión eficaz refrescada cada semiperiodo $U_{ef(1/2)}$ es igual o superior al umbral de interrupción de tensión más la histéresis.

En los sistemas *polifásicos*, una interrupción de tensión comienza cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ de todos los canales cae por debajo del umbral de interrupción de tensión y se termina cuando la tensión $U_{ef(1/2)}$ de cualquier canal es igual o superior al umbral de interrupción de tensión más la histéresis."

- **IEEE 1159:**

Una *interrupción* ocurre cuando el suministro de tensión decrece. Para efectos de evaluación se consideran las variaciones de corta duración en las que las interrupciones momentáneas toman un valor menor al 0,1 por unidad en un intervalo de 0,5 ciclos – 3 s, para interrupciones temporales tiene valores < 0,1 por unidad en un intervalo de 3 s – 1 min y para variaciones de larga duración se asume que las interrupciones toman un valor de 0,0 por unidad en intervalos mayores a 1min.

- **EN 50160:**

La *interrupción* corta se asume a partir del tiempo de duración del evento el cual para baja y media tensión es de hasta 3 min y para interrupciones prolongadas de la tensión de suministro tanto para baja y media tensión se tiene para periodos mayores a 3min y estas deben ser menores a 10-50/año.

- **CREG:**

Toma los mismos lineamientos de la IEEE 1159.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Con la realización de esta práctica de laboratorio se quiere evaluar que tanto el estudiante conoció y afianzó sus conocimientos básicos en cuanto al manejo de huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones, para esto debe realizar lo siguiente:

1. Evaluar las gráficas correspondientes a las medidas realizadas de acuerdo a la normativa expuesta en la guía.
2. Concluir y justificar los resultados obtenidos.
3. Investigar y responder las siguientes preguntas:
 - ✓ ¿Qué aprendió durante el desarrollo de esta actividad?
 - ✓ ¿Cuáles son los efectos más representativos cuando se presenta una sobretensión o huecos en el sistema?
 - ✓ ¿Cómo son penalizados estos fenómenos si la perturbación es producto del operador de red?
 - ✓ ¿Cuáles son los efectos más representativos cuando se presenta una interrupción en un sistema?

 - ✓ ¿Cuáles son los indicadores de calidad que actualmente maneja la CREG en cuanto a interrupciones y cómo se aplica esta normativa cuando no se cumple con los parámetros para ese fenómeno?

BIBLIOGRAFÍA

1. Valor tensión eficaz. COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 8.
2. Valor tensión de entrada declarada. COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. P 8.
3. Chapman, David. Guía de Calidad de la Energía Eléctrica: "Perturbaciones de tensión, norma EN 50160- características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución".
4. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 024 de 2005. Bogotá: CREG, 2005.
5. EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.
6. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality: IEEE Std 1159-1995. New York: IEEE, 1995.
7. SANTOS, Ferley y SERRANO, Álvaro. Generador de interrupciones y caídas de tensión. Bucaramanga 2006, Trabajo de Grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, electrónica y de Telecomunicaciones.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

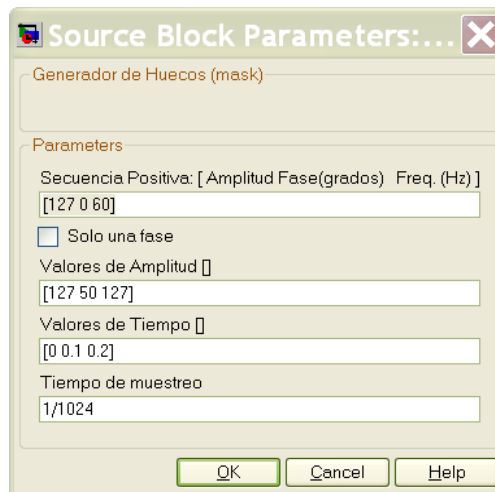
Para la práctica de huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.3. El consta de un

generador de huecos trifásicos, medidores del valor RMS de las señales trifásicas refrescadas cada medio ciclo, cada ciclo y cada muestra, también se cuenta con un osciloscopio que permite ver el comportamiento de las señales en el tiempo.

Además se puede ver que en este diagrama de bloque hay un multiplexor para poder ver el valor RMS de las tres fases, el umbral de inicio huecos de tensión y el umbral de inicio de interrupción que corresponden al 90% y 10% de la señal nominal respectivamente, esto con el fin de tener una idea de cuándo empieza el hueco para su respectiva evaluación. El display muestra el valor instantáneo RMS de las señales trifásicas.

Al hacer clic en el bloque de generador de cambios de tensión se abre la ventana para ajuste de los parámetros de simulación, tal y como se muestra en la figura A.4.

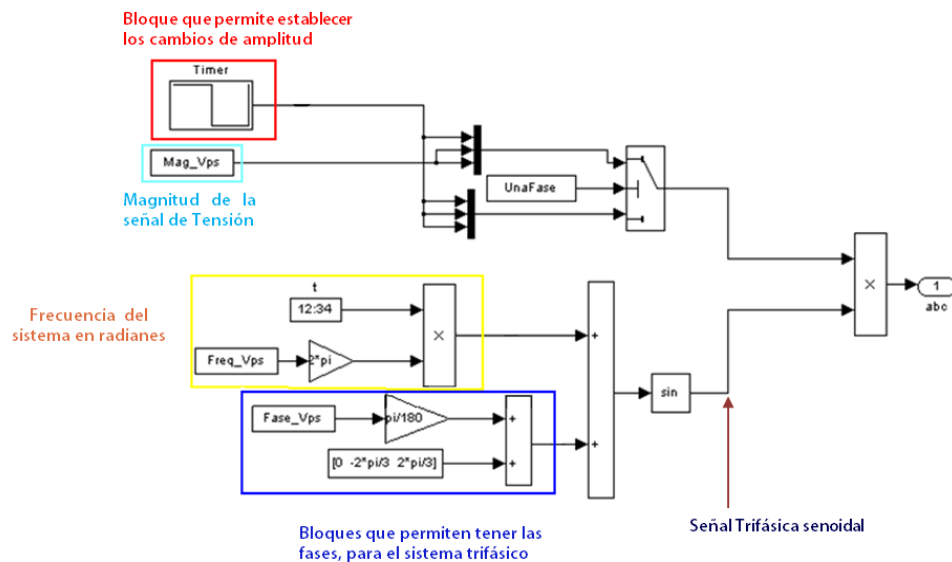
Figura A.4. Ventana para el ajuste de los parámetros de simulación.



El primer parámetro que se debe establecer es el que indica la amplitud, fase y frecuencia de la señal, siguiendo una secuencia positiva, esto es, ABC. En seguida se debe seleccionar si se quieren los cambios en una sola fase o no, luego se deben escribir los valores de amplitudes que se desean programar al igual que los tiempos en los que van a ocurrir estos cambios. Finalmente se debe ingresar el tiempo de muestreo T_s .

Si se quiere explorar el bloque es necesario hacer clic derecho y seleccionar Look Under Mask con lo cual se abre otra ventana que permite ver el diagrama de bloques que integran a este generador de cambios de tensión. El bloque generador de cambios de tensión está conformado por varios bloques que permiten hacer los cambios de amplitud deseados, este diagrama se puede apreciar en la figura A.5.

Figura A.5 Bloque generador de cambios de tensión compuesto por otros bloques

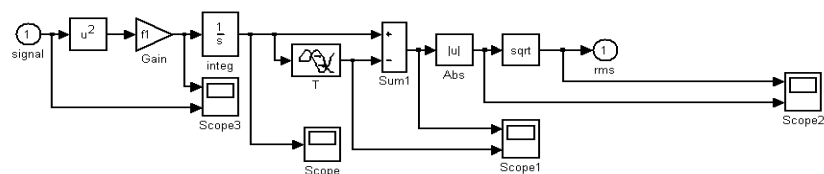


Como se aprecia en la figura A.5 los bloques que componen este diagrama son: **Timer** el cual es el encargado de generar los cambios de amplitud con la respectiva duración, esta señal del Timer va a dos **multiplexores**, en uno de ellos se sacan 3 señales que representan las 3 fases, y en el otro multiplexor solo una señal, esto para hacer el cambio en una sola fase, las señales del multiplexor van a un **Switch o Conmutador** el cual de acuerdo a la señal de control que en este caso es una constante cuyo valor depende de si se quiere el cambio de tensión en una sola fase o en todas, si se supera el valor de 0.5 en la señal de control se tiene el cambio de amplitud monofásica, por lo que el seleccionar que sea de una sola fase es interpretado como 1 y si no se tiene seleccionado se interpreta como un 0, indicando entonces que el cambio de amplitud se va a aplicar a todas las

fases. El bloque de la constante llamado **Mag_Vps** tiene almacenado el valor de la amplitud de la tensión que se necesita por si los cambios son de tipo monofásico. El rectángulo amarillo encierra los bloques que permiten establecer la frecuencia del sistema en radianes con el fin de poder operar las señales, este está formado por una constante que indica el valor de la frecuencia en Hz ingresado en la configuración de los parámetros, seguido por una ganancia que es de 2π , para tener ω , y este producto multiplicado por un reloj digital para tener el tiempo de simulación actual en cada paso de esta simulación, los bloques encerrados por el rectángulo azul permiten crear los desfases del sistema trifásico en radianes y estos bloques involucran un valor constante llamado **Fase_Vps** que se ingresa con los parámetros que se piden que corresponden a la fase A, dado que es de secuencia positiva, este valor es multiplicado por $\pi/180$ para convertir este valor a radianes, el otro bloque es un vector de valores constantes que indican las 3 fases y que son sumados con el valor dado en **Fase_Vps** para tener las fases de las señales trifásicas, con secuencia positiva, esto es ABC. Los valores tenidos en frecuencia y fase son sumados para después ir al bloque de funciones trigonométricas que en este caso es **sin**, que permite tener la función senoidal con amplitud 1 a estas frecuencias y fases. Finalmente las señales trifásicas senoidales son multiplicadas con el valor tenido después del **Switch** para así tener la señal con los respectivos cambios de amplitud.

El bloque Valor RMS está conformado por bloques que simulan la ecuación necesaria para hacer este cálculo del valor eficaz, esto se puede apreciar en la figura A.6.

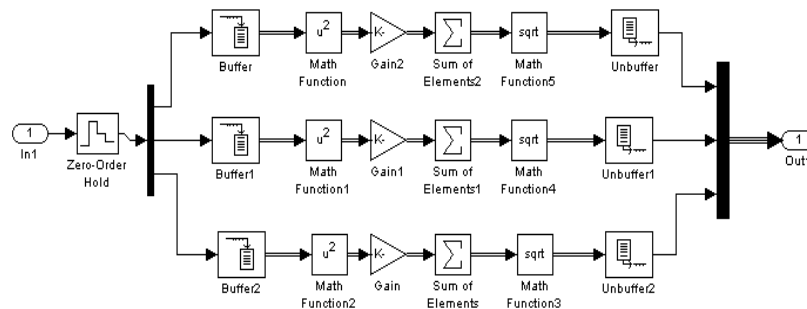
Figura A.6 Bloque valor RMS



Los bloques que hacen posible tener el valor rms son square que eleva al cuadrado la señal de entrada, seguido por una ganancia que corresponde al valor de la frecuencia fundamental del sistema, para ir luego al integrador, la salida de este integrador va a un sumador y a un bloque que proporciona un retardo de un periodo, la salida del retardo se va a restar con la salida del integrador, el resultado de esa operación va al bloque que entrega el valor absoluto y finalmente se tiene la raíz cuadrada aplicada a la ecuación compuesta por las operaciones ya mencionadas.

Los bloques Vrms-medio-ciclo y Vrms-ciclo están conformados por los bloques que se muestran en la figura A.7, el cual consiste en un tratamiento discreto.

Figura A.7. Diagrama de bloques para el cálculo del Vrms discreto



Dependiendo de si se refrescan los datos cada ciclo o cada medio ciclo para el cálculo del valor eficaz se establece el tamaño de la ventana en el buffer, en este caso se está trabajando con 128 muestras por ciclo, por lo tanto el tamaño para un ciclo es de 128 y para medio ciclo es de 64, y esto corresponde a una frecuencia de muestreo de 7680 Hz, también es importante resaltar que el factor de ganancia es igual a $1/N$, siendo N el tamaño de la ventana y debido al buffer implementado se introduce en el resultado un retraso correspondiente a un ciclo o medio ciclo según sea el caso.

A.2 PRÁCTICA DE DESBALANCE

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Práctica de laboratorio # 2
Medición de Desbalance
INTRODUCCIÓN
DESBALANCE DE TENSIÓN <p>El desbalance de tensión se define como la relación entre la componente de secuencia negativa o cero con respecto a la componente de secuencia positiva, en un sistema trifásico. Las tensiones de secuencia negativa o cero en un sistema trifásico resultan del desbalance de cargas. El desbalance de tensión (DT) es algunas veces definido como la desviación máxima del promedio de las tres fases de tensiones o corrientes, dividido por el promedio de las tensiones o corrientes de las tres fases, expresado en tanto por ciento.</p> <p>Un sistema trifásico se califica como desbalanceado cuando los módulos de la componente fundamental de las tensiones del sistema no son iguales y/o cuando los ángulos de desfase entre las tensiones del mismo no son iguales. El principal motivo para la existencia de redes trifásicas desbalanceadas lo constituye la distribución de cargas monofásicas no equilibradas a lo largo de la red, que a su vez cambia a lo largo del tiempo dependiendo de la hora del día. Existen otros motivos menores como la diferencia en las impedancias vistas de los conductores debido a que generalmente es prácticamente imposible hacer transposiciones en redes de baja tensión y las asimetrías en las impedancias de los transformadores convencionales.</p> <p>El desbalance en las redes de distribución provoca pérdidas adicionales por calentamiento así como disminución en la eficiencia de los motores de inducción trifásicos tan frecuentemente utilizados en la industria.</p>
FÓRMULAS PARA DETERMINAR DESBALANCES
✓ Fórmula según la IEC 61000-4-30:
De acuerdo a la norma IEC 61000-4-30 , el grado de desequilibrio se expresa usualmente con :
$u_2 = 100 \cdot \frac{U_2}{U_1}$
donde U_2 y U_1 corresponden a la componente de secuencia negativa de la tensión de línea y la componente de secuencia positiva de la tensión de línea respectivamente.
✓ Fórmula alternativa según IEC 61000-4-30:
En esta norma se propone que para un sistema trifásico el índice de desbalance definido

puede calcularse como:

$$u_2 = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

donde β se calcula así:

$$\beta = \frac{U_{abfund}^4 + U_{bcfund}^4 + U_{cafund}^4}{(U_{abfund}^2 + U_{bcfund}^2 + U_{cafund}^2)^2}$$

donde las tensiones U_{ijfund} corresponden a la componente fundamental de la tensión entre la fase i y la fase j .

✓ **Fórmula alternativa según IEEE 1159**

En este caso el índice de desbalance se estima como la desviación máxima entre el valor de los voltajes de línea y el promedio de los voltajes de línea, dividida entre el promedio de los voltajes de línea, según se expresa en:

$$u_2 = 100 \cdot \text{máx}\left[\frac{U_{ij} - U_{media}}{U_{media}}\right]$$

donde los subíndices i y j corresponden a las fases a , b y c .

✓ **Fórmula según la IEC 61000-2-12:**

Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$u_N = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot (U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2)}{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}} - 2\right)}$$

EFFECTOS DE LOS DESBALANCES DE TENSIÓN

En resumen algunos de los efectos son el sobrecalentamiento de las máquinas asíncronas trifásicas, reducción de capacidad de transformadores, cables y líneas, entre otras.

ALCANCE Y OBJETIVOS

- **Alcance de la práctica:**

Con la ejecución de esta práctica se pretende que el estudiante afiance los conocimientos referentes a la presencia de desbalances en un sistema de una manera didáctica partiendo de que él mismo es el que elabora un montaje ya establecido por el docente e igualmente interactúe con Matlab a la hora de simular un esquema que permite generar señales y describir desbalance en tensión e igualmente realizar su medición.

- **Objetivos:**

- ✓ Simular y determinar la magnitud del desbalance presente en la práctica del laboratorio y comparar el resultado con base en las distintas normativas.
- ✓ Verificar cual de las componentes de secuencia es dominante en el sistema.
- ✓ Reconocer dentro del desarrollo de la práctica si el desbalance es debido a las fases o a las magnitudes de tensión medidas.

METODOLOGÍA

La práctica está dividida por etapas, cada una de éstas lleva a entender el fenómeno, a conocer la reglamentación colombiana y los estándares internacionales en cuanto a límites de medida y pruebas de conformidad que se deben cumplir en la determinación de desbalances. Estas especificaciones se encuentran en el curso de Calidad de Potencia en Moodle.

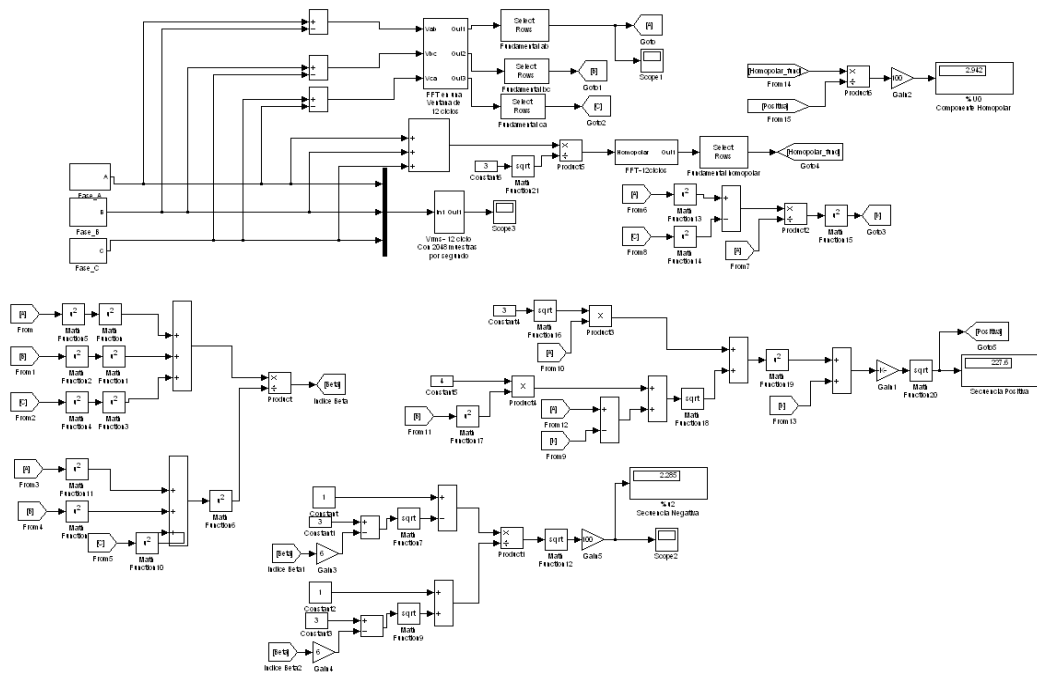
Por último se evaluará el fenómeno presente en el montaje en Simulink con el fin de obtener las respectivas conclusiones.

MONTAJE:

➤ **PRÁCTICA SIMULADA EN MATLAB:**

Para la práctica de desbalances de tensión en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.8, el cual consta de fuentes de tensión trifásica independientes y cuya forma de generación de este fenómeno es variar los valores de las entradas de las mismas, e igual se tiene que esta práctica viene combinada con presencia de armónicos en la señal.

Figura A.8 Diagrama de bloques general de desbalance



Como se puede ver en la figura A.8, se encuentran los bloques que permiten hacer el cálculo de la componente de secuencia negativa lo cual se realiza a partir de los procesos de la obtención de las tensiones de línea y el cálculo de los parámetros beta (β) y u_2 definidos en el estándar IEC 61000-4-30. También se cuenta con un display que permite visualizar el % de desbalance obtenido.

Con este montaje se realiza las siguiente medidas:

Ejercicio 1:

- ✓ Se propone una medida del nivel de desbalance. La **frecuencia de alimentación del sistema es 60 Hz** y los valores de tensión para cada una de las fases se plantean en la tabla A.4. En el primer caso se simula sin contenido armónico, por tanto en esas fuentes se deben igualar todos los parámetros a cero.

Tabla A.4 Valores de a simular

Fase	Tensión de alimentación Vrms	Fase en grados °
a	127	-2.55
b	119.6	-118.47
c	122.8	118.52

Ejercicio 2:

- ✓ A la primera medida se le adiciona el contenido armónico de acuerdo a la siguiente tabla siendo estos valores los mismos para todas las fases:

Tabla A.5 Valores de a simular

Amplitud	Frecuencia
$A_3=1.03836\sqrt{2}$	$f_3=3 \times 60$
$A_5=1.1694\sqrt{2}$	$f_5=5 \times 60$
$A_7=0.8197\sqrt{2}$	$f_7=7 \times 60$

Ejercicio 3:

- ✓ Realizar dos mediciones más de acuerdo al los conceptos sobre desbalances. Variar los datos de entrada en cuanto a magnitud, ángulo y componentes armónicos presentes en cada una de las fases. Consignar estos datos supuestos para dichas mediciones en el informe con sus respectivos resultados.

Ingresados estos datos se procede a ver las formas de onda en el osciloscopio y a analizar el fenómeno de acuerdo a la normativa establecida.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS:

Para determinar una interrupción, se tienen en cuenta los siguientes lineamientos:

- **IEC 61000-4-30:**

Recomienda que el índice de desbalance en un suministro eléctrico no debe superar el 5%. Esta norma también establece que el período de medida debe ser de una semana con valores cada 10 minutos y/o cada 2 horas. Una de las metodologías de comparación propuestas establece que uno o más de los valores semanales con 95% de probabilidad se debe comparar con el valor contractual establecido. Estos límites que establece la normativa internacional son adoptados generalmente por las reglamentaciones de calidad de servicio vigentes.

- **IEC 61000-2-2:**

Recomienda que el índice de desbalance en un suministro eléctrico no debe superar el 2 %.

- **EN 50160:**

Esta norma establece que, tanto para baja tensión como para media tensión, en condiciones normales, para cada período de una semana, el 95% de los valores eficaces promediados en 10 minutos de la componente inversa de la tensión de alimentación debe situarse entre el 0% y el 2% de la componente directa. Se establece la salvedad que en baja tensión, para algunas regiones equipadas con líneas parcialmente monofásicas o bifásicas, los desequilibrios pueden alcanzar el 3% en los puntos de suministros trifásicos.

- **IEEE 1159:**

Esta norma recomienda que el índice de desbalance en un suministro eléctrico no debe superar el 2 %.

- **CREG:**

La reglamentación Colombiana adopta explícitamente las recomendaciones de la norma IEEE 1159.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Con la realización de esta práctica de laboratorio se quiere evaluar que tanto el estudiante conoció y afianzó sus conocimientos básicos en cuanto al manejo de desbalances, para esto debe realizar lo siguiente:

1. Verificar que el resultado obtenido con el medidor propuesto este de acuerdo a los porcentajes de desbalance que se obtienen al utilizar las fórmulas propuestas en la guía e igualmente comprobar que los resultados cumplan con la normativa.
2. Concluir y justificar los resultados obtenidos.
3. Investigar y responder las siguientes preguntas:
 - ✓ ¿Qué aprendió durante el desarrollo de la práctica?
 - ✓ ¿Cuáles son los efectos más representativos cuando se presenta desbalance en un sistema?
 - ✓ ¿Qué casos reales conoce donde se presente desbalances en tensión y cómo han sido minimizados o anulados?

BIBLIOGRAFÍA

- IEEE std 1159", IEEE, Tech. Rep., 1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring

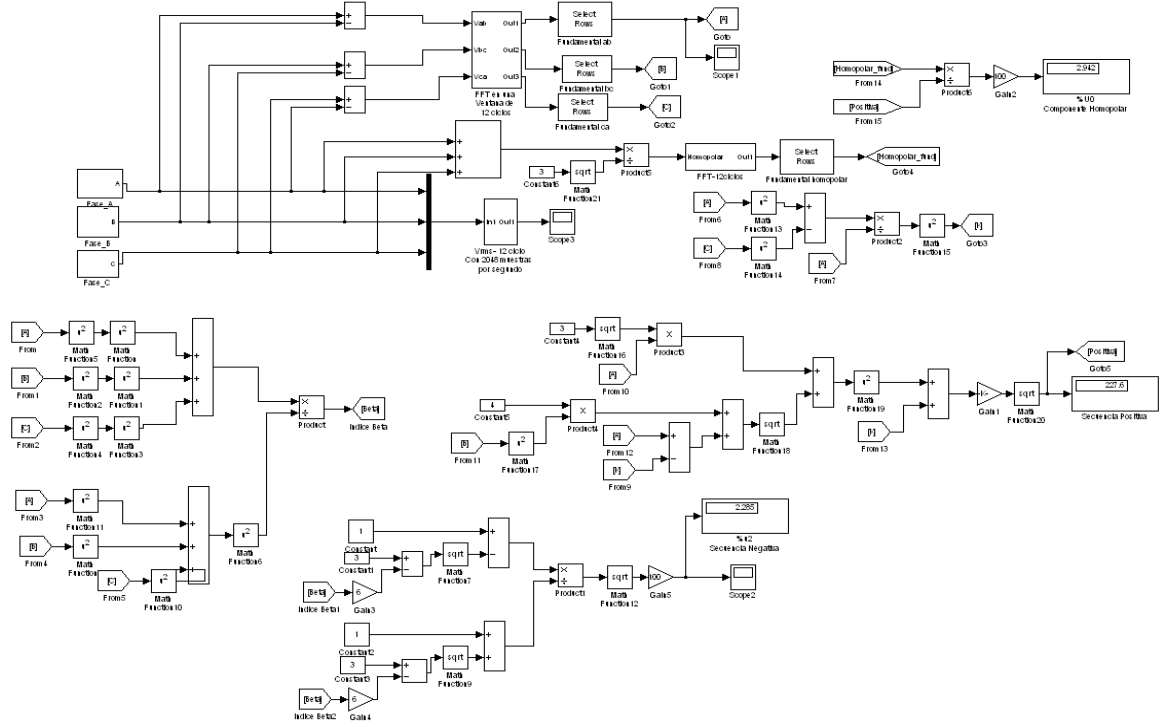
Electric Power Quality.

- Chapman, David Guía de Calidad de la Energía Eléctrica: “Perturbaciones de Tensión- Introducción al desequilibrio”. Marzo 2001.
- CEI-EN 61000-4-30: “Técnicas de ensayo y de medida: Métodos de medida de la calidad del suministro”. España, 2004.
- Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-2, International Rep.1990, Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 2-2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

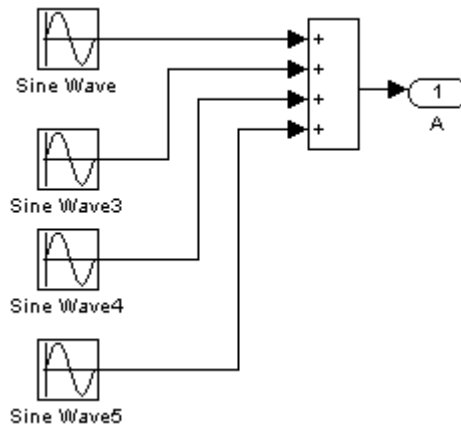
Para la práctica de desbalances de tensión en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.9, el consta de las fuentes de tensión trifásica, estos valores van a un multiplexor para entrar a la ventana que calcula la tensión RMS de 12 ciclos con una frecuencia de muestreo de 2048 muestras por segundo, también se hace el cálculo de las tensiones de línea para luego hacer la respectiva transformación de Fourier con una ventana de duración de 0.2 s como se establece en el estándar IEC 61000-4-30. También se encuentran los bloques que permiten hacer el cálculo de la componente de secuencia negativa o índice de desbalance componente inversa se realiza a partir de los procesos de la obtención de las tensiones de línea y el cálculo de los parámetros beta (β) y u_2 definidos en el estándar IEC 61000-4-30 como fórmula alternativa, de la componente homopolar y de secuencia positiva También se cuenta con un display que permite visualizar el % de desbalance obtenido.

Figura A.9 Diagrama de bloques general de desbalance



Al hacer clic sobre cada una de las fuentes de tensión de fases A, B y C se abre la ventana que permite ingresar los valores de los parámetros necesarios para el funcionamiento de las ondas de alimentación, tal y como se muestra en la figura A.10:

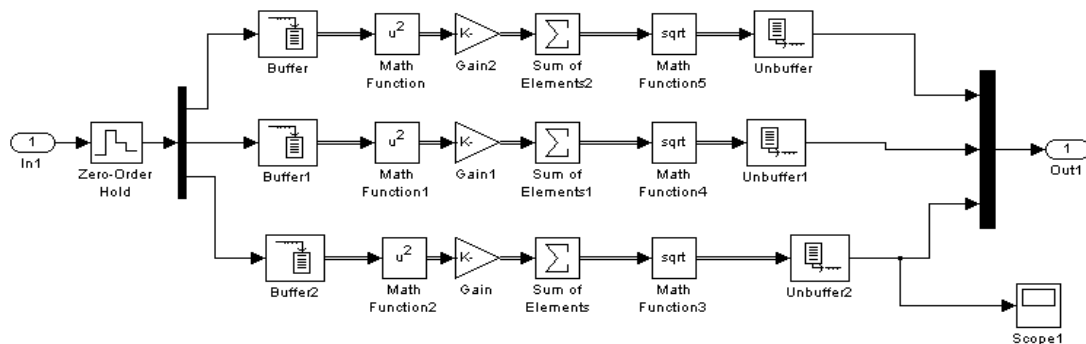
Figura A.10 Diagrama de bloque interno de las fuentes de tensión



De acuerdo a la figura A.10 se tiene la opción de ingresar los datos de la componente fundamental de la tensión y respectivos componentes armónicos 3, 5 y 7, los datos a ingresar en cada una de estas fuentes de tensión son la amplitud de cada una de las componentes, la frecuencia fundamental y las frecuencias armónicas según sea el caso y las fases de cada una de las señales.

El bloque que permite hacer el cálculo del valor RMS para la ventana de 12 ciclos está compuesto por los bloques que se muestran en la figura A.11.

Figura A.11. Diagrama de bloques interno del Vrms-con ventana de 12 ciclos



De acuerdo a la figura A.11 el primer elemento que aparece es el bloque que permite muestrear las señales de tensión, este tiene un periodo de muestreo de 1/10240 s en seguida se tiene el de multiplexor que permite separar las señales, se encuentra también el bloque buffer que permite almacenar las muestras de 12 ciclos para hacer el respectivo tratamiento de la señal de acuerdo a la fórmula

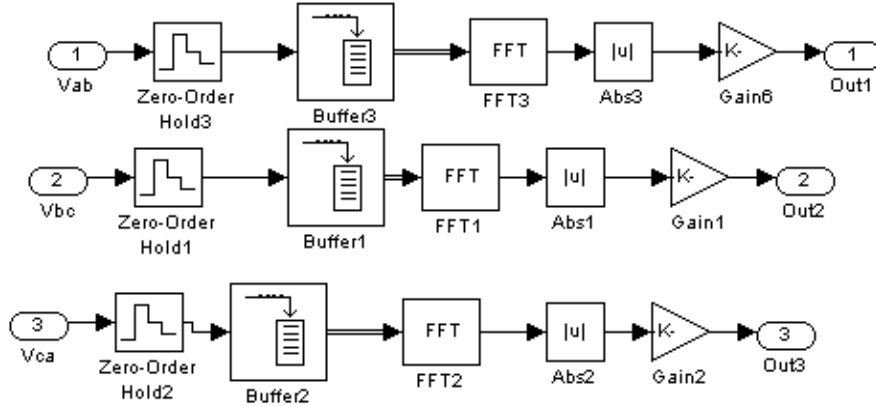
$$V_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{M} \cdot \sum (V(k))^2\right)}$$

donde M representa el valor muestras contenidos

en 12 ciclos, en este caso es 2048.

Con las tensiones de línea se procede a hacer el cálculo de la FFT en la ventana de 12 ciclos, este bloque está conformado por los elementos que se muestran en la figura A.12 que se abre cuando se hace clic sobre este componente.

Figura A.12. Diagrama de bloques interno del bloque FFT para la ventana de 0.2s



Como se puede apreciar en la figura A.12 el primer bloque que aparece es el muestreador para poder hacer el tratamiento discreto a las señales, en seguida aparece el buffer que permite seleccionar la ventana con duración de 12 ciclos para luego proceder a hacer el respectivo proceso de transformación FFT, del cual se toma el valor absoluto con el fin de extraer de ella la magnitud del valor eficaz de doce ciclos de la componente fundamental de las tensiones de línea escalada un factor $\frac{\sqrt{2}}{2048}$ y esto se hace con el fin de atenuar las componentes armónicas. La salida de este bloque va finalmente a un selector de fila que permite coger solamente la componente fundamental para hacer los respectivos cálculos que permiten tener el % de desbalance.

Los parámetros β y U_2 (componente de secuencia negativa), son calculados de acuerdo a las expresiones presentadas en el estándar IEC 61000-4-30 sección 5.71, mostradas en las ecuaciones (1) y (2)

$$\beta = \frac{U_{abfund}^4 + U_{bcfund}^4 + U_{cafund}^4}{(U_{abfund}^2 + U_{bcfund}^2 + U_{cafund}^2)^2} \quad (1)$$

$$u_2 = \sqrt{\left(\frac{1 - \sqrt{1 - 6\beta}}{1 + \sqrt{1 - 6\beta}} \right)} \times 100 \quad (2)$$

Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo a los diagramas de bloques que se presentan en las figuras A.13 y A.14 respectivamente, que obedecen a las ecuaciones anteriormente mencionadas.

Figura A.13 Diagramas de bloques para el cálculo de β

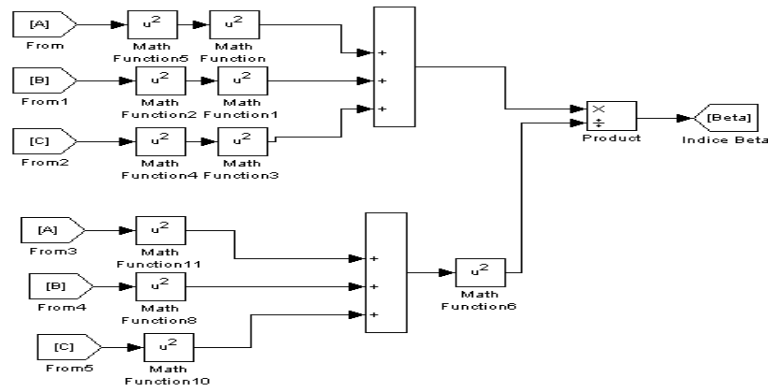
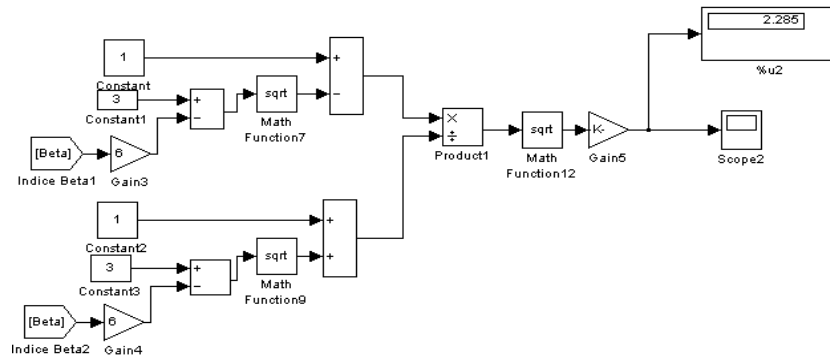


Figura A.14 Diagramas de bloques para el cálculo de u_2



Es importante resaltar que para esos cálculos solo se trabaja con la componente fundamental de cada una de las tensiones de línea.

Además también se hace el cálculo de la componente de secuencia cero u homopolar como $u_0 = \frac{\text{Tensión_secuencia_cero}}{\text{Tensión_positiva}}$ (3) y la **tensión de secuencia cero**

$$u_0 = \frac{\text{Tensión_secuencia_cero}}{\text{Tensión_positiva}} \quad (3)$$

se obtiene mediante la suma de las tensiones de fase escaladas por un factor

igual a $\frac{1}{\sqrt{3}}$. A esta función resultante, se le calcula el valor eficaz de la componente fundamental utilizando la FFT de 12 ciclos como en los anteriores casos. Y la tensión positiva se calcula de acuerdo a la ecuación (4)³³, cuyas variables corresponden a la tensión eficaz de doce ciclos de la componente fundamental de las tensiones de línea obtenida a través del proceso de transformación FFT.

$$Tensión_positiva = \sqrt{\left(\frac{1}{12} \cdot K + \sqrt{3}U_{abfund} + \sqrt{U_{bc}^2 + (U_{ab} - K)^2}\right)} \quad (4)$$

$$K = \frac{(U_{abfund}^2 - U_{cafund}^2)}{U_{abfund}} \quad (5)$$

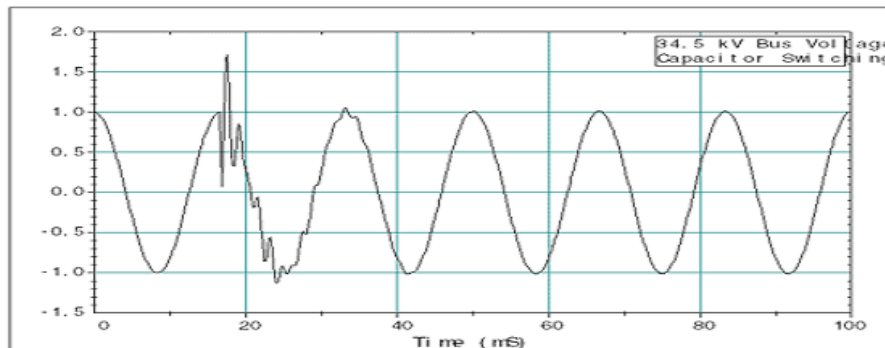
A.3 PRÁCTICA DE TRANSITORIOS:

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Práctica de laboratorio # 3 TRANSITORIOS
INTRODUCCIÓN
TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS <p>Los transitorios son definidos como desviaciones indeseables de la tensión de alimentación o la carga de corriente en un periodo de tiempo pequeño. También definidos como cambios imprevistos e indeseables de naturaleza momentánea en la señal de tensión o de corriente.</p> <p>El estándar IEEE define los transitorios electromagnéticos como eventos de corta duración que se caracterizan por el alto contenido de componentes de alta frecuencia y son clasificados en dos categorías: transitorios tipo impulso y transitorios tipo oscilatorio.</p> <p>TRANSITORIO TIPO OSCILATORIO: Es el cambio repentino a una frecuencia diferente a la de suministro en la condición de estado estacionario de la tensión o la corriente cuyos valores</p>

³³ Baggini, 2008

instantáneos cambian de polaridad rápidamente. Un ejemplo de este tipo de transitorio se presenta en la Figura A.15.

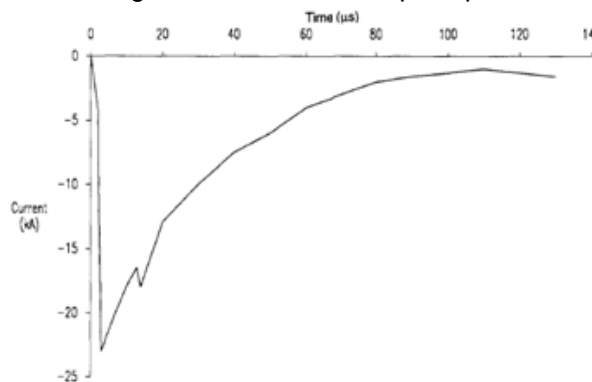
Figura A.15. Transitorio causado por la energización de condensadores



Fuente: <http://www.powerstandards.com/tutorials/TransientOvervoltages.htm>

TRANSITORIO TIPO IMPULSO: Es definido como un cambio brusco en el comportamiento normal de la señal de tensión o de la corriente unidireccional en polaridad (o negativa o positiva). Los transitorios impulsivos son normalmente caracterizados por sus tiempos de subida y caída. Estos fenómenos también pueden ser descritos por su contenido espectral. Las causas más comunes de transitorios tipo impulso son los relámpagos.

Figura A.16 Transitorio tipo impulso



Fuente: <http://www.powerstandards.com/tutorials/TransientOvervoltages.htm>

ALCANCE Y OBJETIVOS

- **Alcance de la práctica:**

Con la ejecución de esta práctica se pretende que el estudiante afiance los conocimientos referentes a la presencia de transitorios en un sistema de una manera didáctica partiendo de que él mismo es el que elabora un montaje ya establecido por el docente e igualmente interactúe con Matlab a la hora de simular un esquema que permite generar un transitorio e igualmente su

medición.

- **Objetivos:**

- ✓ Conocer el mecanismo de evaluación de un transitorio de acuerdo a su duración y a su representación.
- ✓ Identificar los transitorios electromagnéticos tipo impulso presentes en la señal de tensión a simular.
- ✓ Identificar el transitorio electromagnético tipo oscilatorio presente en la señal de tensión a simular.

METODOLOGÍA

La práctica está dividida por etapas, cada una de éstas lleva a entender el fenómeno, a conocer la reglamentación colombiana y los estándares internacionales en cuanto a límites de medida y pruebas de conformidad que se deben cumplir cuando se produce un transitorio. Estas especificaciones se encuentran en el curso de Calidad de Potencia en Moodle.

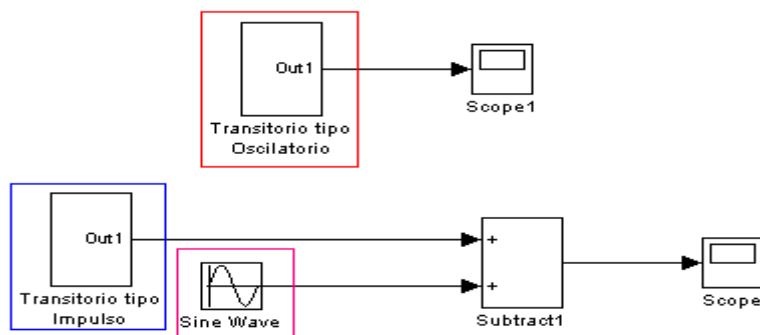
MONTAJE:

➤ **PRÁCTICA SIMULADA EN MATLAB:**

Simulación monofásica:

Para la práctica de Transitorios electromagnéticos monofásicos en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.16 el consta de una fuente de alimentación senoidal, bloque que permite generar una onda transitoria tipo impulso que se suma a la fundamental para tener la resultante con una perturbación con impulso, además se cuenta con un bloque que permite generar un transitorio tipo oscilatorio.

Figura A.16 Diagrama de bloques de la simulación de transitorios monofásicos



Se cuenta con osciloscopios que permiten ver la forma de onda de las señales de tensión en el tiempo.

Con el montaje de la figura A.16 se realiza la siguiente medida:

- ✓ Se tiene una tensión de alimentación con **Tensión de 170 Vp, frecuencia de alimentación de 60 Hz, ángulo de fase= 0.**

Los valores de amplitud y tiempo programados en el bloque generador de *transitorio tipo*

oscilatorio se relacionan la tabla A.6:

Tabla A.6 Datos de entrada

Amplitud	Tiempo
A0=0	0
A1=102	0.05
A2=0	0.053

Frecuencia del transitorio $f_c=1\text{KHz}$.

Los valores programados en el bloque que genera el **transitorio tipo impulso** son: **Amplitud=1500; alfa $\alpha=1/(53\mu\text{s})$; beta $\beta=1/(1.1\mu\text{s})$.**

Finalizada la configuración de todos los parámetros se procede a iniciar la simulación con una duración de 0.1 s. proceder a evaluar los resultados.

- ✓ Aprovechando las características que se presentan en la tabla A.7 ingresar datos que permitan simular transitorios tipo impulso y tipo oscilatorio, de acuerdo a la clasificación que se menciona en dicha tabla.
- ✓ Otra prueba que se plantea es agregar al diagrama de simulación el medidor de FFT de 12 ciclos que está presente en el montaje de desbalance con el fin de ver el espectro en frecuencia y determinar los errores que se cometen al usar un medidor que no es el adecuado.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS:

Para determinar qué tipo de transitorio se presenta, se analiza la forma de onda en el tiempo en la cual se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos:

- **IEEE 1159:**

Como se mencionó al principio, esta norma clasifica el fenómeno transitorio en dos categorías: tipo impulso y tipo oscilatorio. En la tabla A.6 se puede ver como son clasificados de acuerdo a la duración.

Tabla A.7 Clasificación de los Transitorios Electromagnéticos

CATEGORIA	CONTENIDO TIPICO ESPECTRAL	DURACION	MAGNITUD TIPICA TENSION
Transitorios			
Impulsos			
Nanosegundos	5ns de elevación	< 50 ns	
Microsegundos	1 μs de elevación	50 ns - 1ms	
Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	

Oscilatorios			
Baja frecuencia	< 5kHz	0.3 - 50 ms	0 -4 pu
Frecuencia media	5 - 500kHz	20 μs	0 - 8 pu

Fuente: Estándar IEEE 1159

La normativa colombiana CREG no hace alusión al fenómeno de transitorios.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Con la realización de esta práctica de laboratorio se quiere evaluar que tanto el estudiante conoció y afianzó sus conocimientos básicos en cuanto a la presencia de transitorios, para esto debe realizar lo siguiente:

1. Evaluar las gráficas correspondientes a las medidas realizadas de acuerdo a la normativa expuesta en la guía, tanto para el montaje real como para la simulación.
2. Concluir y justificar los resultados obtenidos.
3. Investigar y responder las siguientes preguntas:
 - ✓ ¿Qué aprendió durante el desarrollo de la práctica?
 - ✓ ¿Cuáles son los efectos más representativos cuando se presenta un transitorio tipo impulso? ¿Es diferente cuando se presenta un transitorio tipo maniobra? Explique.
 - ✓ ¿Qué casos reales conoce donde se hayan presentado transitorios? ¿Actualmente como se disminuyen los efectos de los transitorios?

BIBLIOGRAFÍA

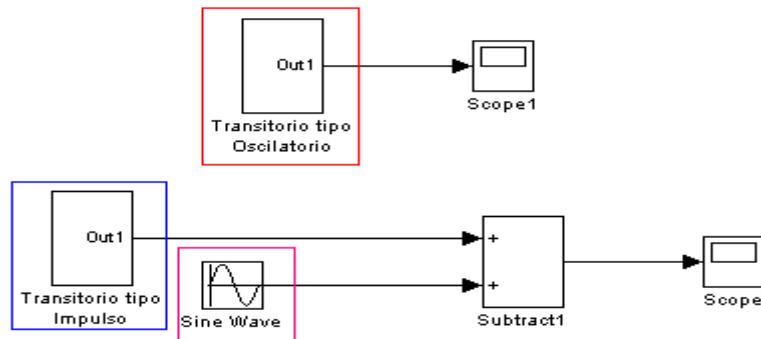
- IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality: IEEE Std 1159-1995. New York: IEEE, 1995.
- COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003.
- Chapman, David. Guía de Calidad de la Energía Eléctrica. Marzo 2001.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Para la práctica de Transitorios electromagnéticos monofásicos en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.17 el consta de una fuente de alimentación senoidal, bloque que permite generar una onda transitoria tipo

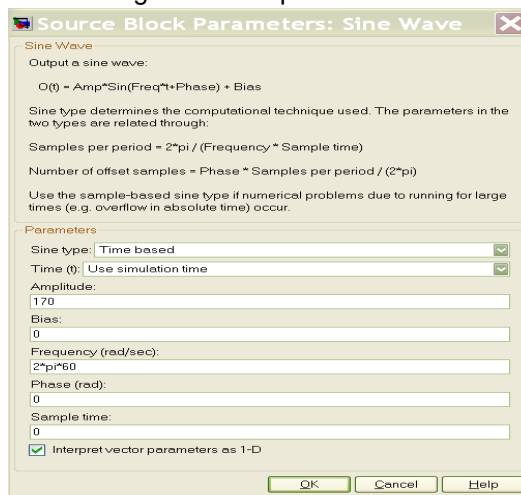
impulso que se suma a la fundamental para tener la resultante con una perturbación con impulso, además se cuenta con un bloque que permite generar un transitorio tipo oscilatorio.

Figura A.17 Diagrama de bloques de la simulación de transitorios monofásicos



Una vez se tenga todo conectado, se procede a configurar cada uno de los parámetros necesarios para la simulación, empezando con la fuente de alimentación que haciendo clic, se abre la ventana de configuración de parámetros, la ventana que aparece es como la que se muestra en la figura A.18.

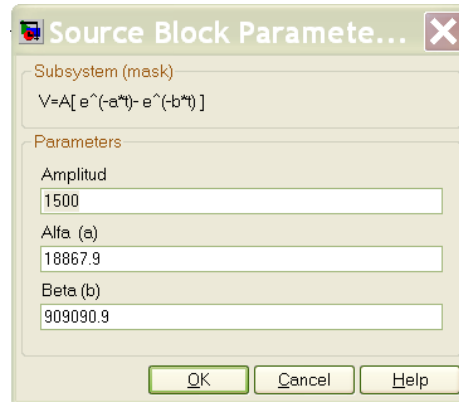
Figura A.18. Ventana de configuración de parámetros de la fuente de alimentación



Como se observa en la figura A.18, los valores a ingresar son la amplitud de la señal de alimentación, así como la fase y la frecuencia a la que va a trabajar el sistema.

En la figura A.19 se muestra la ventana que permite la configuración de parámetros del bloque generador de transitorio tipo impulso.

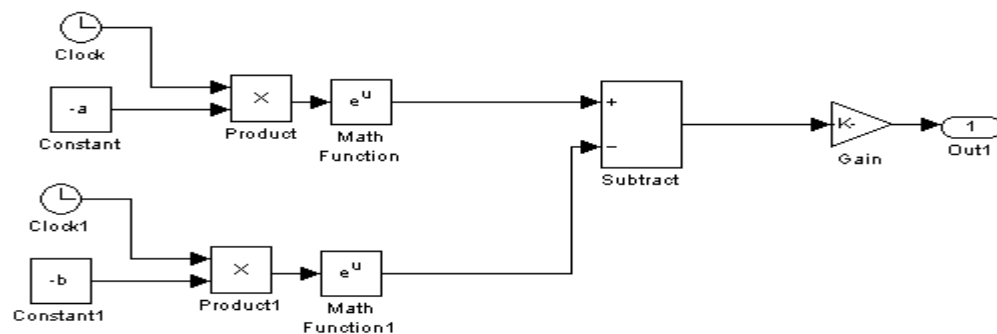
Figura A.19. Ventana de configuración de datos del bloque generador de transitorios



De acuerdo a la figura A.19 los datos que se deben ingresar son primero la amplitud pico del impulso, y las constantes de tiempo alfa α y beta β que definen la forma de onda del impulso.

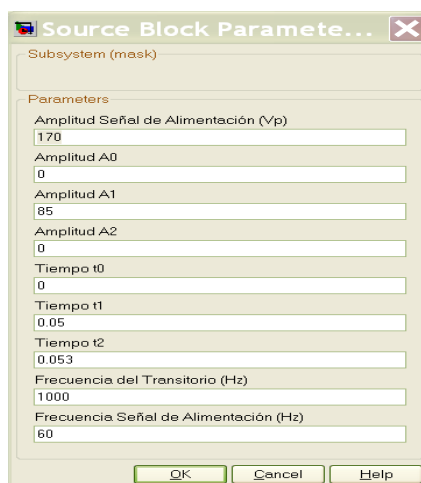
En la figura A.20 se muestra el diagrama de bloques interno del generador del transitorio tipo impulso, el cual representa la ecuación de estado transitorio de un impulso.

Figura A.20 Diagrama de bloques para generar el impulso



En la figura A.21 se muestra la ventana que permite configurar el bloque generador de transitorio oscilatorio.

Figura A.21 Ventana de configuración del bloque transitorio oscilatorio



En esta ventana se debe incluir la amplitud del sistema de alimentación, la frecuencia de alimentación, y las amplitudes correspondientes al evento transitorio tipo oscilatorio, con los respectivos tiempos y la frecuencia del transitorio.

A.4 PRÁCTICA DE ARMÓNICOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Práctica de laboratorio # 4 Medición de componentes Armónicas
INTRODUCCIÓN
<p>Una función periódica NO senoidal con frecuencia f_0 [Hz] puede ser descompuesta como la suma de una función senoidal con frecuencia fundamental f_0 [Hz], más otras funciones senoidales cuyas frecuencias son múltiplo entero de la frecuencia fundamental f_0 [Hz]. Estas funciones adicionales son conocidas como componentes armónicos ó simplemente como armónicos. En sistemas eléctricos la palabra armónicos se utiliza para designar corrientes o tensiones con frecuencias que son múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Es decir, para una frecuencia de 60 Hz, el tercer armónico tendrá 180 Hz y el quinto armónico tendrá 300 Hz.</p>

La distorsión debida a la presencia de armónicos es un fenómeno de estado estacionario y no debe confundirse con fenómenos de corta duración como picos, reducciones o fluctuaciones. En general, los armónicos son producidos por **cargas no lineales**. Estas cargas se pueden modelar como fuentes de corriente que inyectan armónicos en la red. Dentro de las cargas armónicas no lineales más comunes se consideran las que contienen elementos de electrónica de potencia tales como: variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. Además, son comunes otro tipo de cargas como: hornos de arco, UPSs y computadores.

Figura A.22. Onda con componentes armónicas

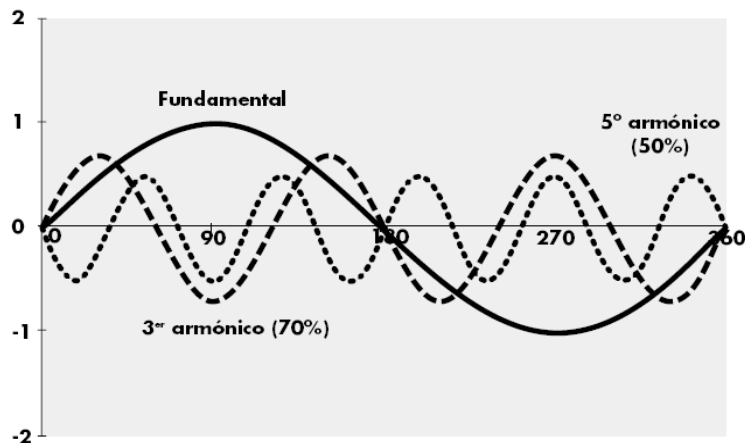


Figura 1 - Onda fundamental con 3º y 5º armónicos

Fuente: Chapman, David. Power Quality Application Guide: "Harmonics Causes and Effects"

En la figura A.22, se observan las características de los armónicos 3º y 5º, los cuales tienen amplitud menor a la de la frecuencia fundamental. Si las 3 ondas son sumadas el resultado será una onda que no es senoidal, lo que supone que los equipos de medida diseñados para medir ondas senoidales, darán lecturas inexactas.

Por otro lado, también se presentan otro tipo de componentes conocidos como interarmónicos que son tensiones o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Ellos pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda ancha. Los interarmónicos se pueden encontrar en redes con diferentes valores nominales de tensión.

Los efectos de los interarmónicos son por ejemplo: el ruido en amplificadores de audio, pares adicionales en motores y generadores, perturbaciones en la detección del paso por cero, ruido adicional en las bobinas inductivas de los reguladores de tensión, y el bloqueo o funcionamiento imprevisto de receptores de telecontrol.

El fenómeno de los armónicos es un problema creciente, tanto para los suministradores de electricidad como para los usuarios. Este fenómeno se atribuye al uso, cada vez mayor, de equipos electrónicos en todos los ambientes, y concierne a todas las redes eléctricas de los sectores, terciario, industrial y doméstico. Ningún entorno moderno puede escapar a esta distorsión debida a equipos tales como: microprocesadores, tubos fluorescentes, variadores de velocidad, UPSs, hornos de microondas, televisores, iluminación halógena, entre otros

Distorsión Armónica Total: La distorsión armónica total (THD) es usada para definir el efecto de los armónicos de tensión o corriente del sistema de potencia. Está usada en sistemas de baja tensión, media tensión, y alta tensión. Ésta es expresada como un porcentaje de la

fundamental y viene definida por:

$$THD = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=2}^N V_i^2\right)}}{V_1}$$

Donde V_i es el valor de las componentes armónicas presentes en la señal analizada y V_1 es el valor de la componente fundamental.

Se puede hablar de distorsión armónica total de tensión o de corriente según sea el caso a evaluar.

ALCANCE Y OBJETIVOS

- **Alcance de la práctica:**

Con la ejecución de esta práctica se pretende que el estudiante afiance los conocimientos referentes al fenómeno de armónicos de una manera didáctica partiendo de que él mismo es el que elabora un montaje ya establecido por el docente e igualmente interactúe con Matlab a la hora de simular un esquema que permite generar una señal con componentes armónicas e igualmente realizar su medición.

- **Objetivos:**

- ✓ Identificar los componentes armónicos presentes en el esquema a simular.
- ✓ Determinar el porcentaje de distorsión armónica presente en la señal del sistema.
- ✓ Comparar los resultados entre la toma de datos para la simulación de armónicos, interarmónicos y cuando existe frecuencia deslizante.

METODOLOGÍA

La práctica está dividida por etapas, cada una de éstas lleva a entender el fenómeno, a conocer la reglamentación colombiana y los estándares internacionales en cuanto a límites de medida y pruebas de conformidad que se deben cumplir en la medida de armónicos. Estas especificaciones se encuentran en el curso de Calidad de Potencia en Moodle.

Por último se evaluará el fenómeno presente en el montaje a simular, de donde se podrán sacar las propias conclusiones.

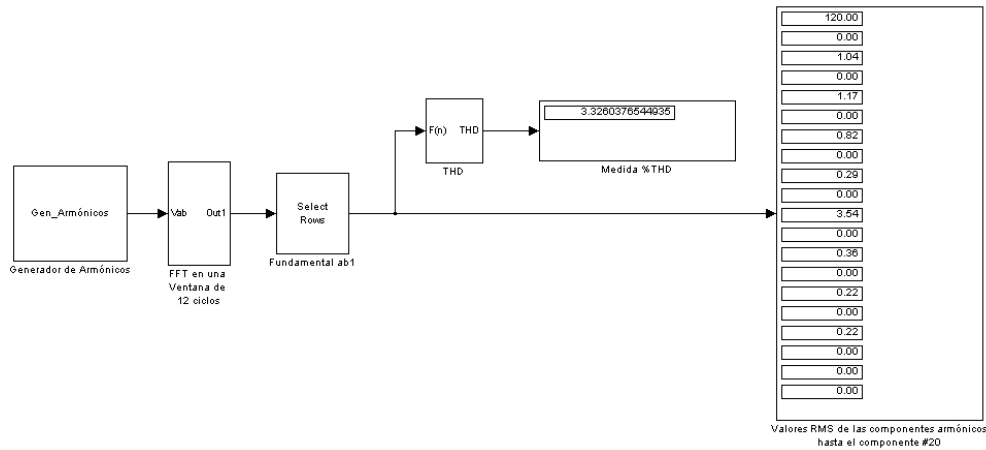
MONTAJE:

- **PRÁCTICA SIMULADA EN MATLAB**

Para la práctica de armónicos en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.23 el cual consta de un generador de armónicos, el bloque FFT para una ventana de 12 ciclos, con 2048 muestras en la ventana de 12 ciclos, que corresponden a una frecuencia de muestreo de

10240 muestras por segundo, el bloque que calcula el % de distorsión armónica total de la señal analizada, también cuenta con dos medidores que muestran los resultados del porcentaje de distorsión armónica total (%THD) y los valores RMS de las componentes armónicas presentes en la señal medida, se tiene una medida hasta el componente armónico número 20.

Figura A.23. Diagrama de bloques general del montaje de armónicos



Con el montaje de la figura A.23 se realiza la siguiente medida:

- ✓ Se tiene una señal **con amplitud de la fundamental de $120\sqrt{2}$, frecuencia de alimentación de 60 Hz, ángulo de fase= 0**. En la tabla A.7 se dan los valores de las componentes armónicas correspondientes a una fuente conmutada

Tabla A.8 Valores ingresados

Amplitud	Frecuencia
$A_2=1.03836\sqrt{2}$	$f_2=3 \times 60$
$A_3=1.1694\sqrt{2}$	$f_3=5 \times 60$
$A_4=0.8197\sqrt{2}$	$f_4=7 \times 60$
$A_5=0.2923\sqrt{2}$	$f_5=9 \times 60$
$A_6=0.285\sqrt{2}$	$f_6=11 \times 60$
$A_7=0.3622\sqrt{2}$	$f_7=13 \times 60$
$A_8=0.2202\sqrt{2}$	$f_8=15 \times 60$
$A_9=0.2174\sqrt{2}$	$f_9=17 \times 60$

Fuente: Felizzola. J, Cadena, L. Límites de emisión de armónicos en baja tensión. Tesis de grado, UIS 2003

Una vez ingresados estos valores se procede a ver los datos que arrojan los display para ver el contenido armónico de la señal analizada.

Cuando se hace una simulación con interarmónicos se tiene:

- ✓ Se tiene una señal **con amplitud de la fundamental de $120\sqrt{2}$, frecuencia de alimentación de 60 Hz, ángulo de fase= 0**. En la tabla 2 se dan los valores de las componentes interarmónicas.

Tabla A.9 Valores ingresados

Amplitud	Frecuencia
$A_2=1.03836\sqrt{2}$	$f_2=\frac{3}{2} \times 60$
$A_3=1.1694\sqrt{2}$	$f_3=\frac{5}{2} \times 60$
$A_4=0.8197\sqrt{2}$	$f_4=7 \times 60$
$A_5=0.2923\sqrt{2}$	$f_5=\frac{15}{2} \times 60$
$A_6=0.285\sqrt{2}$	$f_6=11 \times 60$
$A_7=0.3622\sqrt{2}$	$f_7=13 \times 60$
$A_8=0.2202\sqrt{2}$	$f_8=\frac{35}{3} \times 60$
$A_9=0.2174\sqrt{2}$	$f_9=17 \times 60$

- ✓ Proponer la medida para frecuencias deslizantes con el fin de observar los valores que toma el THD y las componentes del espectro. Comparar los resultados con los ejercicios anteriores.

Una vez ingresados estos valores se procede a ver los datos que arrojan la simulación para ver el contenido armónico de la señal analizada y proceder a evaluar.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la evaluación de cada gráfica se tiene en cuenta las siguientes normas:

- IEC 61000-4-30
- IEC 61000-2-4
- IEEE 1159-2009
- EN 50160

- **CREG**
- **IEEE 519-1192.**

Investigar según cada norma los mecanismos que se tiene en cuenta para evaluar los armónicos presentes en una señal. Tener en cuenta cómo evaluar armónicos pares, impares, interarmónicos y distorsión armónica total.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Con la realización de esta práctica de laboratorio se quiere evaluar que tanto el estudiante conoció y afianzó sus conocimientos básicos en cuanto a los armónicos, para esto debe realizar lo siguiente:

1. Evaluar las gráficas correspondientes a las medidas realizadas de acuerdo a la normativa expuesta en la guía.
2. Concluir y justificar los resultados obtenidos.
3. Investigar y responder las siguientes preguntas:
 - ✓ ¿Qué aprendió durante el desarrollo de la actividad?
 - ✓ ¿Qué diferencias y similitudes observa en la realización de la práctica con un montaje real y la simulación?
 - ✓ ¿Qué casos reales conoce en los que los armónicos hayan afectado de manera significativa un sistema?
 - ✓ ¿Qué estrategias se conocen o actualmente se emplean para la mitigación de los armónicos?

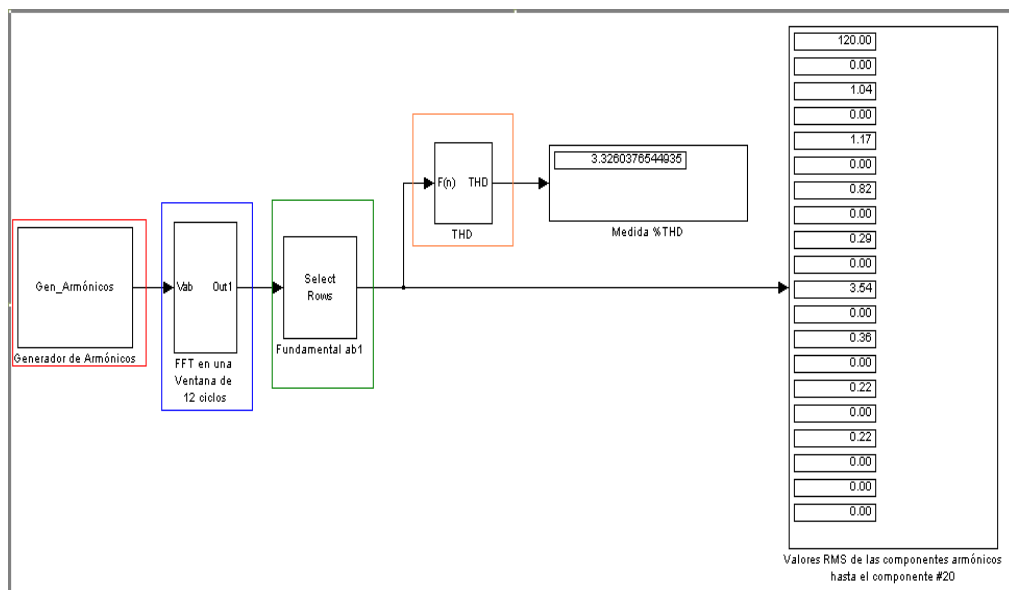
BIBLIOGRAFÍA

- Chapman, David. Power Quality Application Guide: "Harmonics Causes and Effects". Marzo 2001, Cap. 3.1, pág. 3, disponible en: http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/115.
- UNE-EN 61000-4-7: "Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de suministro y a los aparatos conectados a estas". España, 2004.
- Manual del producto 601 series, Eurotherm drives, ref HA464518
- IEEE 519, Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems, pág. 86.
- COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-2-4, International Rep.1994, Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 2-2: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.
- Norma EN 50160.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

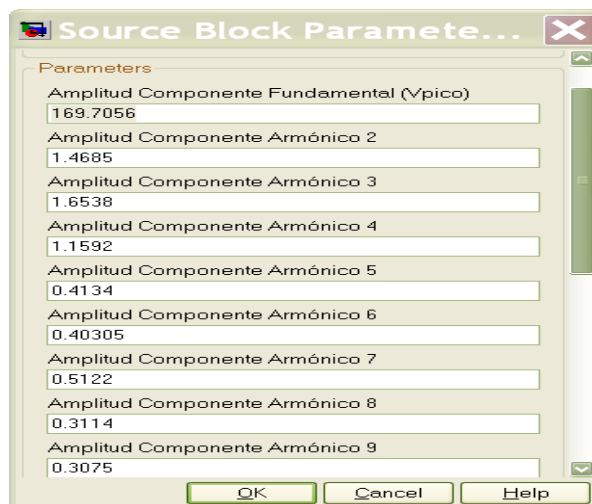
Para la práctica de armónicos en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.24 el cual consta de un generador de armónicos que permite el ingreso de 8 componentes armónicas a parte de la componente fundamental, el bloque FFT para una ventana de 12 ciclos, con 2048 muestras en la ventana de 12 ciclos, que corresponden a una frecuencia de muestreo de 10240 muestras por segundo, el bloque que calcula el % de distorsión armónica total de la señal analizada, también cuenta con dos medidores que muestran los resultados del porcentaje de distorsión armónica total (%THD) y los valores RMS de las componentes armónicas presentes en la señal medida, se tiene una medida hasta el componente armónico número 20.

Figura A.24 Diagrama de bloques general del montaje de armónicos



De acuerdo al diagrama de bloques, al hacer clic en el generador de armónicos se abre una ventana como la que aparece en la figura A.25.

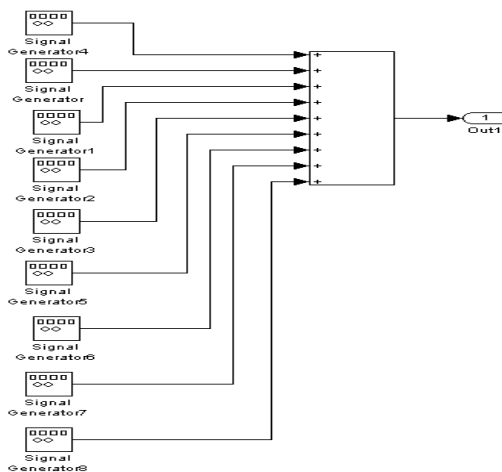
Figura A.25 Ventana de configuración de parámetros del generador de armónicos



Como se puede observar en la figura se deben ingresar los datos de amplitud pico de la señal fundamental, y se permite el ingreso de 8 componentes armónicas, adicionales a la componente fundamental. En este caso se está simulando las componentes armónicas presentes en una fuente conmutada.

Si se desea ver con más detalle el generador de armónicos se hace clic derecho y se escoge Look Under Mask, lo que abre una ventana tal y como se muestra en la figura A.26.

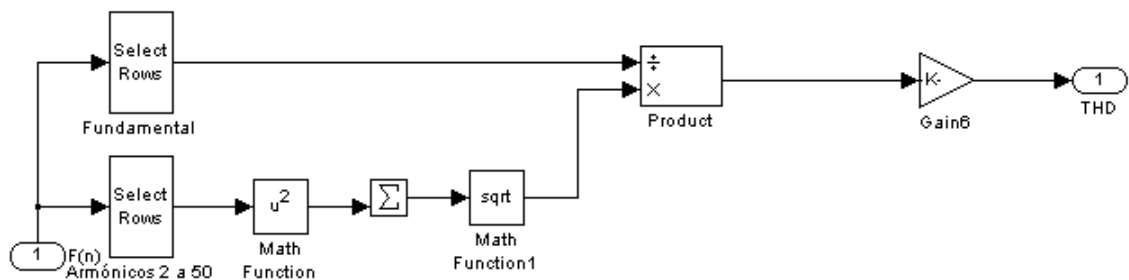
Figura A.26. Diagrama de bloques interno del generador de armónicos



En la anterior figura se puede apreciar la composición interna del generador de armónicos que es la suma de señales senoidales, es decir a la componente fundamental se le sobrepone el resto de ondas con contenido armónico.

El bloque que calcula la distorsión armónica total solo pide para su configuración el valor de la frecuencia fundamental. Su estructura interna es como la que se muestra en la figura A.27.

Figura A.27. Diagrama interno del bloque de THD

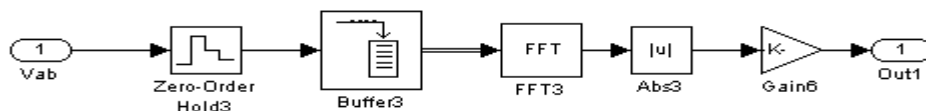


En la figura A.27 se da la ilustración de la ecuación para hallar el porcentaje de distorsión armónica total, a partir de la ecuación que se presenta a continuación:

$$\%THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} V_i^2}}{V_1} * 100$$

El bloque de FFT en una ventana de 12 ciclos está conformado por el diagrama de bloques que se muestra en la figura A.28.

Figura A.28. Diagramas de bloques del bloque FFT en una ventana de 12 ciclos

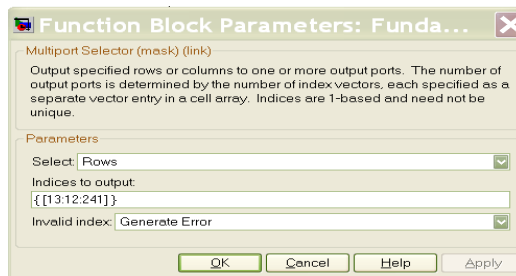


Como se puede apreciar en la figura A.27 el primer bloque que aparece es el encargado de muestrear la señal de entrada para poder hacer el tratamiento discreto, en seguida aparece el buffer que permite seleccionar la ventana con

duración de 12 ciclos para luego proceder a hacer el respectivo proceso de transformación FFT, del cual se toma el valor absoluto con el fin de extraer de ella la magnitud del valor eficaz de doce ciclos de las componentes armónicas y esto se consigue multiplicando por un factor $\frac{\sqrt{2}}{2048}$. La salida de este bloque va finalmente a un selector de filas que permite coger las componentes armónicas que se desean.

Al hacer clic en el selector de fila se abre una ventana como la que se muestra en la figura A.29.

A.29 Configuración del selector de fila



De acuerdo a la figura A.29 el primer parámetro que se debe establecer es el de seleccionar fila, para tomar las filas y no las columnas, lo siguiente que se debe hacer es seleccionar los índices o filas que se desean mostrar, en este caso como se sabe que la ventana tiene una duración de 12 ciclos y que además se incluye el retraso de 12, se selecciona desde la fila 13 que corresponde al componente fundamental y se selecciona hasta el componente número 20 que corresponde a $20 \cdot 12 = 240$, pero por configuración del bloque se debe poner hasta el $N+1$, por esto es que aparece `{ [13:12:241] }`. El display que está conectado directamente a la salida de este bloque muestra el valor de los primeros 20 componentes armónicos presentes en la señal.

A.5 PRÁCTICA DE FLICKER

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Práctica de laboratorio # 5 Medición de Flicker
INTRODUCCIÓN
<p>El "<i>Flicker</i>" o parpadeo es el fenómeno de variación de la intensidad luminosa que afecta la visión humana, principalmente en el rango de frecuencias de 0 a 30 Hz. Estas variaciones son oscilaciones del valor eficaz de la tensión y normalmente están entre 0,95 y 1,05 por unidad.</p> <p>"El <i>flicker</i> se relaciona con variaciones luminosas; es el resultado de pequeñas fluctuaciones de tensión provocadas por el funcionamiento de cargas variables tales como: hornos de arco, equipos de soldadura, motores, entre otros. Provoca una fatiga física y psíquica a los usuarios de iluminación conectada cerca de la carga perturbadora"¹.</p> <p>También es el resultado de fluctuaciones rápidas de pequeña amplitud de la tensión de alimentación, provocadas por la puesta en tensión o fuera de tensión, de cargas importantes como arranque de motores, maniobra de bancos de condensadores, etc.</p> <p>Este fenómeno depende de los niveles de percepción de los individuos. Sin embargo, se ha comprobado estadísticamente que la visión humana responde a una curva de respuesta de frecuencia cuya sensibilidad máxima está en 8.8 Hz, en que variaciones de 0.25% de tensión ya producen fluctuaciones luminosas en lámparas que son perceptibles como "parpadeo".</p> <p>El <i>flicker</i> es especialmente estudiado para las lámparas de incandescencia y es más o menos importante según el tipo de fuente luminosa.</p> <p>La evaluación final de la severidad del <i>flicker</i> según la norma IEC 61000-4-15 se expresa por dos parámetros: el PST (corta duración) y el PLT (larga duración), estas son las unidades de medida del flicker, magnitudes sin dimensiones físicas.</p> <p>El Pst se calcula sobre un período de 10 minutos, y el PLT es calculado basándose en 12 mediciones sucesivas del PST (para un período de 2 horas).</p> <p>El Pst es calculado a través del método de medición "<i>Flickermeter</i>", según la norma IEC 61000-4-15, en intervalos de 10 min y como se expresa en la siguiente ecuación:</p> $P_{st} = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_{1s} + 0,0657 P_{3s} + 0,28 P_{10s} + 0,08 P_{50s}}$ <p>Los percentiles $P_{0,1}$, P_1, P_3, P_{10}, P_{50} son niveles de flicker excedidos en 0.1, 1, 3, 10 y 50 % del tiempo de medición.</p> <p>En BT, estos valores de límites aceptables tienen un significado físico. Están basados en unas sensaciones de molestia real: El valor PST = 1 corresponde a un umbral de molestia experimentada por un observador. El límite para la severidad de larga duración PLT es, lógicamente, más bajo, para tener en cuenta el efecto acumulativo de la molestia. Por el contrario, en MT y AT los valores límites de compatibilidad no tienen un significado directo.</p> <p>La calidad de la electricidad frente al flicker se expresa según las dos magnitudes: PST y PLT</p>
ALCANCE Y OBJETIVOS

- **Alcance de la práctica:**

Con la ejecución de esta práctica se pretende que el estudiante afiance los conocimientos referentes al fenómeno de flicker de una manera didáctica ya que se desarrollará un montaje en Matlab mediante la herramienta de Simulink, donde se conocerá cómo generar una señal modulada y cómo es medida de acuerdo a las normas actualmente establecidas para calidad de potencia. En la medición solo se calculará la parte del IFL(Nivel Instantáneo de *flicker*)³⁴ debido a la complejidad del fenómeno.

- **Objetivos:**

- ✓ Reconocer la presencia de flicker (parpadeo) en la señal.
- ✓ Desarrollar el esquema de simulación con el fin de conocer el medidor de flicker propuesto por la norma CEI 61000-4-15.
- ✓ Realizar las pruebas que propone la norma CEI 61000-4-15 en las tablas 1 y 2, con el fin de comprobar que el nivel instantáneo de Flicker (IFL) toma valor unitario.

METODOLOGÍA

La práctica está dividida por etapas, cada una de éstas lleva a entender el fenómeno, a conocer la reglamentación colombiana y los estándares internacionales en cuanto a límites de medida y pruebas de conformidad que se deben cumplir en la medida y evaluación del *Flicker* hasta la parte del cálculo del IFL. Estas especificaciones se encuentran en el curso de Calidad de Potencia en Moodle.

Por último se evaluará el fenómeno presente en el montaje realizado en Simulink, con el fin de manipular mejor esta perturbación ya que la ejecución con equipos reales es difícil de desarrollar en el laboratorio de Máquinas pues no se cuenta con el equipo adecuado para generarlo.

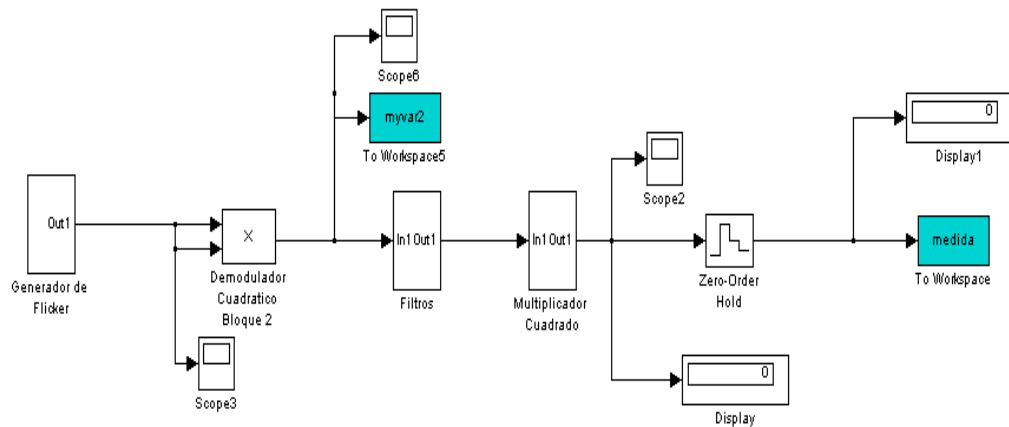
MONTAJE:

➤ **PRÁCTICA SIMULADA EN MATLAB:**

Para la práctica de *Flicker* en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.30 que consta de un generador de flicker monofásico, un demodulador cuadrático, los filtros analógicos, un multiplicador cuadrático que da la salida del nivel instantáneo de flicker IFL.

Figura A.30. Diagrama de bloques general del montaje de flicker

³⁴ Nivel Instantáneo de Flicker, CEI 61000-4-15.



Ahora para detallar el diagrama de bloques del *Flickermeter* se revisa cada uno de los bloques. Con este montaje se realiza la siguiente medida:

- ✓ Como la idea es obtener solo el dato del cálculo del IFL a continuación se tiene un ejemplo de generación de flicker en tensión, para esto se tiene que la **amplitud de la señal de tensión es de $127\sqrt{2}$ V, frecuencia del sistema de 60 Hz y fase= 0°; cambios de tensión cuadrado con frecuencia de 0.008 Hz, con cambios de tensión.**

$$\frac{\Delta V}{V} = 3.166\%$$

Una vez ingresados estos datos se procede a correr la simulación que dan resultado a las figuras que ilustran el fenómeno y los respectivos niveles instantáneos de flicker IFL medidos.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS:

De acuerdo a la normativa IEC 61000-4-15 se evaluarán los datos correspondientes a la tabla 2 de la norma. Se deben realizar todas las pruebas requeridas y analizar si los resultados cumplen respecto a conformidad.

Tabla 2
Repuesta normalizada del medidor de flicker para fluctuaciones de tensión rectangulares
 (fluctuación de tensión relativa de entrada $\Delta V/V$ para una unidad de perceptibilidad en la salida 5)

Hz	Fluctuación de tensión %		Hz	Fluctuación de tensión %	
	lámpara de 120 V sistema de 60 Hz	lámpara de 230 V sistema de 50 Hz		lámpara de 120 V sistema de 60 Hz	lámpara de 230 V sistema de 50 Hz
0,5	0,600	0,514	10,0	0,264	0,205
1,0	0,547	0,471	10,5	0,280	0,213
1,5	0,504	0,432	11,0	0,297	0,223
2,0	0,471	0,401	11,5	0,309	0,234
2,5	0,439	0,374	12,0	0,323	0,246
3,0	0,421	0,355	13,0	0,369	0,275
3,5	0,407	0,345	14,0	0,411	0,308
4,0	0,394	0,333	15,0	0,459	0,344
4,5	0,371	0,316	16,0	0,513	0,376
5,0	0,349	0,293	17,0	0,580	0,413
5,5	0,323	0,269	18,0	0,632	0,452
6,0	0,302	0,249	19,0	0,692	0,498
6,5	0,282	0,231	20,0	0,752	0,546
7,0	0,269	0,217	21,0	0,818	0,586
7,5	0,258	0,207	22,0	0,853	0,604
8,0	0,255	0,201	23,0	0,946	0,680
8,8	0,253	0,199	24,0	1,072	0,743
9,5	0,257	0,200	33,33	Ensayo no requerido	1,67
			40,0	3,46	Ensayo no requerido

Fuente: IEC 61000-4-15.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Con la realización de esta práctica de laboratorio se quiere evaluar que tanto el estudiante conoció y afianzó sus conocimientos básicos en cuanto al fenómeno de flicker, para esto debe realizar lo siguiente:

1. Evaluar las gráficas correspondientes a las medidas realizadas de acuerdo a la normativa expuesta en la guía.
2. Concluir y justificar los resultados obtenidos.
3. Responder las siguientes preguntas:
 - ✓ ¿Qué aprendió durante el desarrollo de la actividad?
 - ✓ ¿Qué casos reales conoce en los que la presencia de flicker haya afectado de manera significativa un sistema?
 - ✓ ¿Qué estrategias se conocen o actualmente se emplean para la mitigación del flicker?

BIBLIOGRAFÍA

- Cuaderno Técnico Schneider Electric N°176, P. 4
- UIE, International Union for Electricity Applications.
- Connection of fluctuating loads. C. MIRRA; IUE : International Union for Electroheat, WGdisturbances, Tour Atlantique - Cedex 6 - 92080 Paris-la Défense. 1988
- COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. Estándar Internacional CEI/IEC 61000-4-30, Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4, Técnicas de ensayo y medida. Ginebra: Secretaria Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 2003. Pág. 19.
- IEC-EN 61000-4-15: "Técnicas de ensayo y de medida Sección 15: Medidor de flicker Especificaciones funcionales y de diseño". España, 2003.
- EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.
- COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 024 de 2005. Bogotá: CREG, 2005.

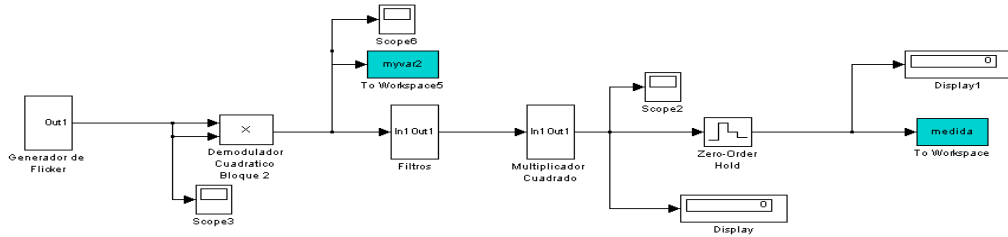
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

El estándar básico usado para medir la tensión *flicker* es la norma CEI 61000-4-15. El dispositivo de medición es conocido como "*Flickermeter*", que consta de 5 bloques básicos y da resultados en intervalos sucesivos de 10 minutos (valores Pst), así como en intervalos de dos horas (Plt). Por lo tanto, para cuantificar el nivel de molestia se utiliza un parámetro de severidad de corta duración, Pst, evaluado cada 10 minutos, y un parámetro de severidad de larga duración, Plt, evaluado cada 2 horas.

Generalmente un flickermeter es un dispositivo que demodula la señal flicker, y desarrolla un análisis estadístico con los datos procesados.

Para la práctica de Flicker en Simulink se tiene el montaje que se muestra en la figura A.31 que consta de un generador de flicker monofásico, un demodulador cuadrático, los filtros analógicos, un multiplicador cuadrático, un retenedor de orden cero para luego entregar los datos de IFL al workspace de modo que se pueda calcular el PST de acuerdo a la función creada `texsolver.m`

Figura A.31 Diagrama de bloques general del medidor de flicker



Ahora para detallar el diagrama de bloques del Flickermeter se revisa cada uno de los bloques.

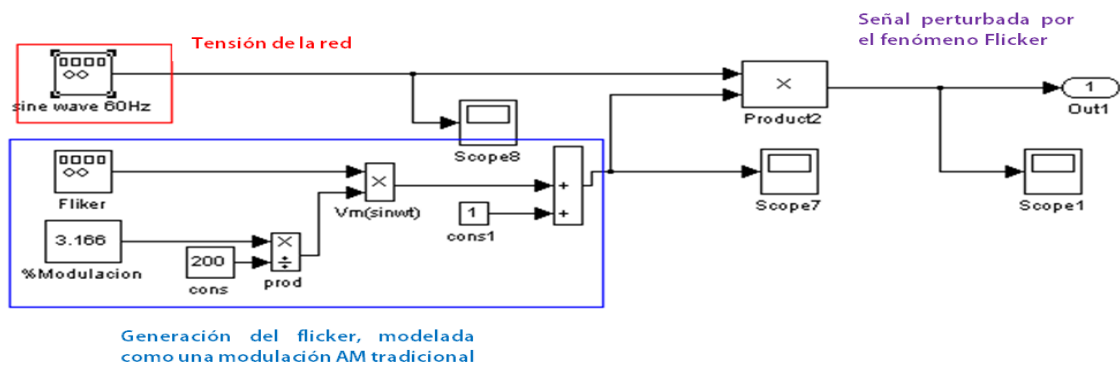
El generador de flicker está compuesto por los bloques que se pueden apreciar en la figura A.32, en la que se puede ver que consta de un adaptador de señal para proporcionar una señal normalizada, por esto es que se divide la señal de salida entre 120, dado que se supone la tensión eficaz en 120Vrms, esto es:

Figura A.32 Generador de Flicker



Ahora se muestra con más detalle el bloque denominado onda con flicker y se presenta en la figura A.33.

Figura A.33 Onda generada con la perturbación de flicker



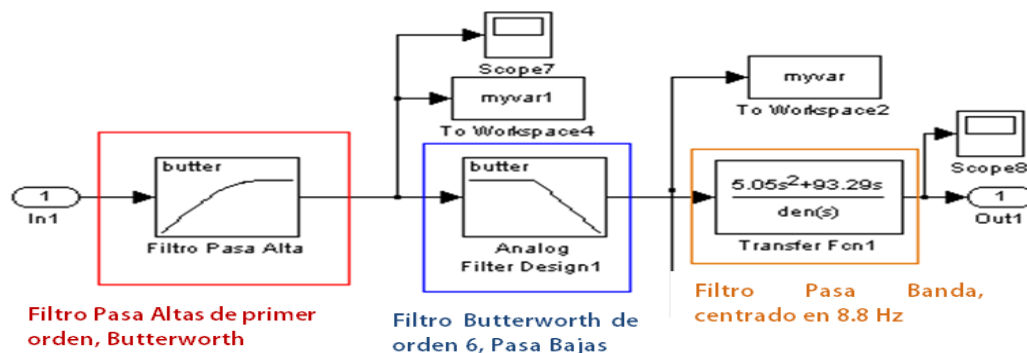
Como se observa esta figura está compuesta por un generador de señales que simula la señal de alimentación de 120Vrms con frecuencia de 60 Hz, esta señal

va al bloque del producto donde se multiplica esta señal con la señal que representa el fenómeno de flicker modelado como una modulación AM como se puede ver en la figura A.33 encerrada por un rectángulo en azul, el resultado de esta multiplicación es la señal perturbada por el fenómeno flicker.

De acuerdo a la figura A.31 el siguiente bloque a tratar es el demodulador cuadrático, este bloque incluye un multiplicador cuadrado usado como demodulador. El objetivo de este elemento es recuperar las señales moduladas en el bloque 1, mientras que simultáneamente suprime la principal frecuencia de la señal portadora. La salida del bloque 2, es aplicada a la entrada del bloque 3 que corresponde a los filtros analógicos.

Siguiendo con la figura 1 ahora se estudia el bloque 3 que corresponde al bloque de los filtros, compuesto por 3 filtros, tal y como se muestra en la figura A.34.

Figura A.34 Bloque de filtros



Los filtros tienen el objetivo de filtrar las componentes de frecuencia entre 0.05 y 35HZ. Tal y como se aprecia en la figura el primer filtro es un filtro pasa altas de primer que tiene que cortar frecuencias empezando en 0.05Hz. El segundo filtro es un filtro pasa bajas, es un filtro de Butterworth de sexto orden con una frecuencia de corte de 3 dB a alrededor de 42 Hz para sistemas de 120 V/60 Hz. El tercer filtro, mientras tanto provee una respuesta centrada en 8.8 Hz, descrito con la siguiente función de transferencia:

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)} \quad (1)$$

Los valores indicativos para los parámetros se enseñan en la Tabla A.1. Este filtro carga las componentes espectrales de la señal de salida dentro de la banda de frecuencias de interés entre 0.05 y 30Hz. Este bloque modela la parte del conjunto ojo-cerebro para un observador humano promedio.

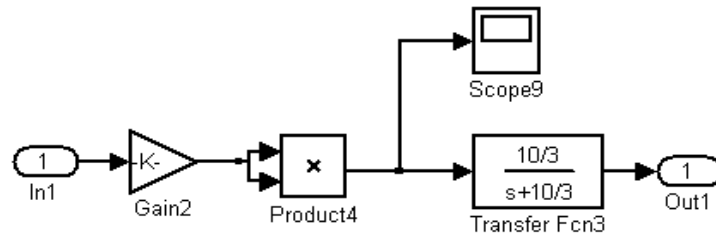
Tabla A.8. Valores indicativos para los parámetros en una lámpara a 120V/60Hz.

Variable	Lámpara 120 V / 60 Hz
k	1,6357
λ	$2 \cdot \pi \cdot 4,167375$
ω_1	$2 \cdot \pi \cdot 9,077169$
ω_2	$2 \cdot \pi \cdot 2,939902$
ω_3	$2 \cdot \pi \cdot 1,394468$
ω_4	$2 \cdot \pi \cdot 17,31512$

Fuente: Estándar Internacional CEI 61000-4-15. 2003.

El bloque que sigue a analizar, de acuerdo a lo que se plantea en la figura A.30 es el multiplicador cuadrado, este bloque modela el resto del conjunto ojo-cerebro para la percepción del flicker. El operador cuadrado simula la respuesta no lineal ojo-cerebro característica, mientras que el filtro de primer orden simula el efecto porcentual almacenado en el cerebro este puede ser implementado como un filtro pasa. Los requisitos de este filtro son que debe tener una respuesta equivalente a un filtro paso bajo resistivo/capacitivo de primer orden con una constante de tiempo $\tau=300$ milisegundos. El bloque está compuesto por los bloques que se presentan en la figura A.35.

Figura A.35. Bloque de multiplicador cuadrado



De acuerdo a la figura A.35, este bloque está compuesto por un valor de ganancia que se debe ajustar cuidadosamente para tener medidas acertadas, seguido por el multiplicador cuadrático que entrega la señal al filtro de primer orden.

ANEXO B. GUÍAS DE CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS USADOS EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

En este anexo se presentan las configuraciones de algunos de los equipos usados para el desarrollo de las prácticas.

B1. CONFIGURACIÓN DEL GENERADOR DE INTERRUPCIONES Y CAÍDAS DE TENSIÓN (HUEQUER)³⁵

El equipo está diseñado de modo tal que se puede escoger entre 3 bases de tiempo, las cuales son semiciclos, milisegundos y segundos.

Cabe aclarar que el equipo es monofásico y se alimenta con 120V AC.

Lo primero que se debe hacer es conectar el equipo a la fuente de alimentación luego se procede a encenderlo y ahora en la pantalla aparecen 3 opciones, las cuales son: (1) Programar, (2) Ejecutar y (3) Modo.

Lo primero que debe hacer el usuario es oprimir la tecla #3 para seleccionar el modo de operación del equipo, ya sea en semiciclos, milisegundos o segundos.

Si se oprime la tecla #1 se elige el modo de operación en milisegundos, la tecla #2 elige semiciclos y la tecla #3 el modo de operación en segundos. Luego de elegir se oprime la tecla **CLEAR**, para volver al menú principal.

El usuario debe oprimir la tecla # 1, para iniciar la programación del evento que deseé. Al oprimir esta tecla, aparece en la pantalla un mensaje que dice:

³⁵ SANTOS, Ferley y SERRANO, Álvaro. Generador de interrupciones y caídas de tensión. Bucaramanga 2006, Trabajo de Grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, electrónica y de Telecomunicaciones.

Figura B.1 Pantalla que aparece luego de oprimir la opción de programar

<<Existe en la memoria una configuración anterior, desea editarla! >>

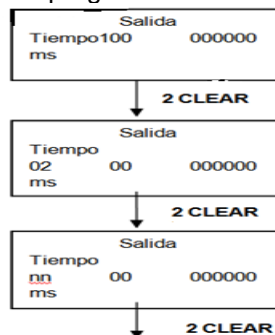
Fuente: Las Autoras

Al presionar **ENTER** se trabaja con lo que se tiene almacenado en la memoria e inmediatamente se pasa a elegir si el evento empieza en el flanco de subida o de bajada de la señal. En la pantalla aparecen los números 1 y 2, el 1 corresponde al flanco de subida, mientras que el 2 corresponde al flanco de bajada.

Por otro lado si se desean borrar los datos almacenados en la memoria se procede a oprimir la tecla **CLEAR**, al hacer esto aparece en el display una confirmación de la eliminación, para confirma basta con oprimir la tecla **ENTER** y el sistema pasa a otra ventana, en cambio si se oprime la tecla **CLEAR**, se vuelve a la pantalla de inicio.

La ventana que aparece al oprimir **ENTER**, es la pantalla que permite establecer la base de tiempo y la duración de la perturbación, al tener esos datos configurados se debe oprimir 2 veces la tecla **CLEAR** para continuar con la programación del tiempo de funcionamiento de cada tap del transformador. Para establecer la base de tiempo de cada perturbación aparecen las ventanas en una secuencia como se muestra en la figura B.2

Figura B.2 Secuencia de programación de duración de la perturbación



Fuente: Las Autoras

Lo que se hace es introducir las duraciones en tiempo de cada tap, seguido de la tecla **CLEAR**, para que aparezca la siguiente ventana, que es una ventana de confirmación, para saber si se continua programando las duraciones de los eventos, para eso se oprime la tecla **CLEAR**, en cambio si se oprime la tecla **ENTER** significa que la programación ha terminado y se confirman los datos por lo que el sistema volverá a la pantalla principal.

Al volver a la pantalla principal se oprime la tecla #2 para ejecutar los datos que se programaron, debe aparecer en el display una ventana que indica que el programa se está ejecutando, si se desea detener la ejecución del programa y volver al menú de inicio se debe oprimir la tecla **CLEAR**.

A continuación se presenta la tabla, que contiene la magnitud de tensión correspondiente a cada tap.

Tabla B.1

NÚMERO DE TAP	MAGNITUD DE LA TENSIÓN (%)
1	0
2	16
3	26.1
4	40
5	49
6	100
7	94
8	89
9	71
10	0

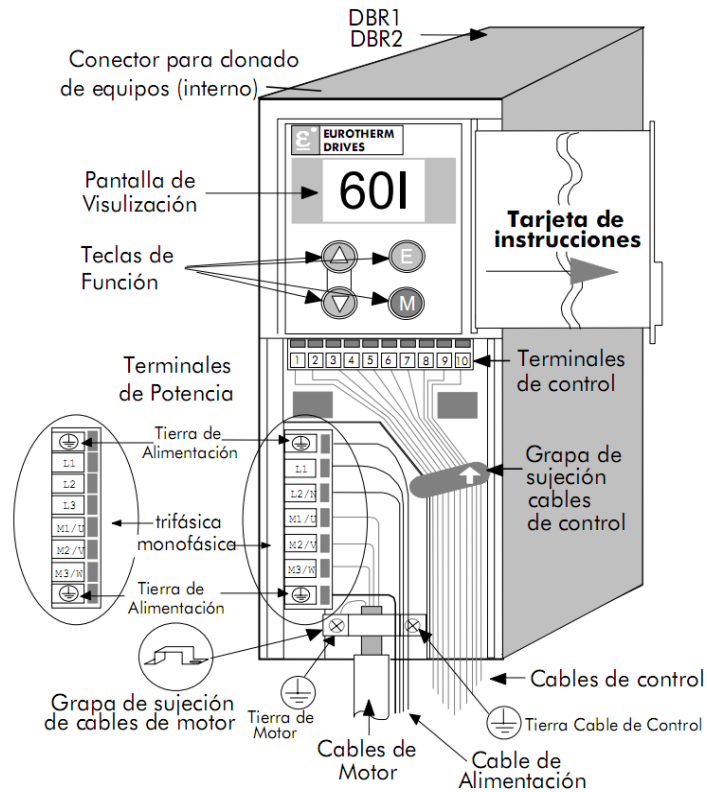
Fuente: Generador de interrupciones y caídas de tensión³⁶

³⁶ SANTOS, Ferley y SERRANO, Álvaro. Generador de interrupciones y caídas de tensión. Bucaramanga 2006, Trabajo de Grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Industrial de

B.2 CONFIGURACIÓN VARIADOR DE VELOCIDAD EURO THERM DRIVES 601

El variador de velocidad Eurotherm drives 601, debe ser alimentado con una tensión de 220/240 V para que opere adecuadamente.

Figura B.3 Terminales del variador de velocidad³⁷



Fuente: Manual de usuario Variador de velocidad

En la figura B.3 se pueden apreciar cada uno de los terminales del equipo y las teclas que permiten hacer la configuración y puesta en marcha.

Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, electrónica y de Telecomunicaciones, pág. 88

³⁷ Manual del usuario 601. Eurotherm Drives Limited 1999. Pág. 119

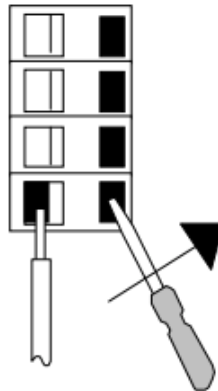
La pantalla está formada por tres displays de 7 segmentos que nos dan la información de parámetros del variador. Las teclas de función se usan para recorrer parámetros dentro del menú de configuración, además en el modo local estas teclas son las teclas de función del variador.

Lo primero que se debe hacer con el equipo es hacer la conexión a los terminales de alimentación y los terminales de salida que van al motor de inducción trifásico.

Para hacer el cableado de los terminales de potencia se deben seguir los siguientes pasos:

1. Extraer la cubierta del variador, para que quede como se muestra en la figura B.3, de modo que se puedan hacer las conexiones.
2. Introducir un destornillador pequeño en el hueco más pequeño, como se muestra en la figura B.4.

Figura B.4 Ilustración de conexión a terminales







Fuente: Manual de Usuario

3. Introducir el cable pelado en el hueco manteniendo el destornillador en la misma posición.
4. Retirar el destornillador y estar seguro que el cable este bien agarrado, de modo tal que se asegure la conexión.







Eso lo debe hacer para los cables de alimentación y de salida, los demás terminales no serán usados pues se va a trabajar en modo local, esto es sin hacer uso de los terminales de control.










Una vez el equipo tiene conectada su alimentación, se procede a elegir el modo local de operación. Esto se consigue de la siguiente manera:

Desde el nivel de estado “**RDY**” Se deben presionar simultáneamente las teclas de subida y bajada   , para pasar al modo local de manera tal que en el display aparezca “**LOC**”. Al presionar nuevamente y simultáneamente las teclas   se vuelve al nivel de estado “**RDY**”.

La configuración de los parámetros se hace desde el nivel de estado “**RDY**”.

El variador trae configurado algunos valores por defecto siendo estos adecuados para la mayoría de las aplicaciones, sin embargo si se desean modificar algunos de estos valores se deben seguir los siguientes pasos:

- Presionar la tecla de menú  para ingresar al menú de parámetros.
- Con la tecla de subida  se recorren los diferentes parámetros por la derecha y la tecla de bajada  se usa para recorrer los parámetros por la izquierda.
- Presione nuevamente la tecla de menú  para ingresar al menú de valores seleccionado con las teclas de subida o de bajada.
- Estando en el menú de valores usar las teclas de subida o de bajada para escoger el valor deseado en cada parámetro.
- Una vez fijado un valor se presiona la tecla de escape  para validar el valor escogido y volver al menú de parámetros.
- Estando en el menú de parámetros presionar la tecla de escape  para volver al estado “**RDY**”.

Una vez configurados estos parámetros, se vuelve al estado “**LOC**”, estando allí, en el display se muestra el punto de consigna que se puede subir con la tecla  o para bajar se usa la tecla . Al presionar la tecla de escape  se da marcha al equipo. La tecla de menú  se usa para detener el variador. Cuando el variador se encuentra detenido, si se presiona la tecla  se muestra el sentido de giro con el que se está trabajando. Si se desea cambiar el sentido de giro basta con presionara simultáneamente las teclas  y  para giro a la derecha o  y  para giro a la izquierda.

A continuación se presenta una tabla con los parámetros ajustables por el usuario:

Tabla B.2 Parámetros ajustables por el usuario.

Parámetro	Significado	Descripción	Rango	Valor por defecto
P1	Velocidad mínima	Frecuencia de salida del variador cuando la consigna es 0	0-240 Hz	0 Hz
P2	Velocidad máxima	Frecuencia de salida del variador cuando la consigna esta en el valor máximo.	0-240 Hz	60 Hz
P3	Rampa de subida	Tiempo que tarda el convertidor en llegar desde la velocidad 0 a la velocidad máxima.	0.1-999 s	10 s

P4	Rampa de bajada	Tiempo que tarda el convertidor en llegar desde la velocidad máxima a la velocidad 0.	0.1-999 s	10 s
P5	Límite de corriente	Con este parámetro se acota la corriente de salida máxima. Así al sobrepasar este valor se trabaja en el límite.	50-150 %	100 %
P6	Sobretensión		0-25 %	5 %
P7	Frecuencia Base	Frecuencia a la que el convertidor entrega la máxima tensión de salida	25-240 Hz	60 Hz
P8	Velocidad a marcha por impulsos	Velocidad del convertidor cuando el terminal de RUN y de control están a 24 V.	0-240 Hz	10 Hz
P9	Velocidad programada 3	Velocidad del convertidor para P12=2 con el terminal 8 a 24 V y el terminal 9 a 0 V.	0-240 Hz	25 Hz
P10	Palabra de acceso	Los parámetros de ajuste se pueden proteger mediante	0-999 s	0 s

		una palabra de acceso. Fijar un número de tres cifras como clave de acceso.		
P11	Modo de paro	Están disponibles 3 formas de paro: Rampa, Paro libre e Inyección.	0= Rampa 1=Paro libre 2= Inyección CC	0
P12	Selección modo de par	Cuando se selecciona 2 o 3 en este parámetro deshabilita disparo por bloqueo.	0= Lineal 1= Cuadrático 2= Lineal 3= Cuadrático	0
P13	Selección del punto de consigna		0= 0-10 V 1= 4-20 mA 2= Velocidades programadas	0
P14	Selección de la salida digital		0= Sin alarmas 1= En marcha 2= A vel min 3= A velocidad	0
P15	Parámetro modo copia		0= Normal 1=Lectura externa 2=Escritura externa	

Fuente: Manual de usuario, variador de velocidad

También a continuación se presenta una tabla con los posibles estados del variador, estos estados aparecen en el display:

Tabla B.3 Estados del Convertidor

Nemónico	Descripción	Posible causa
RDY	Ready/ healthy el variador no tiene alarmas	
OC	Sobrecorriente. 44 A	Rampa de subida y bajada muy pequeña para la carga. Cortocircuito entre fase y tierra. La distancia entre el convertidor y el motor es muy grande.
OU	Sobretensión. La tensión en el bus de CC sobrepasa 410 V dc.	La tensión de alimentación sube. El tiempo de rampa de bajada es muy pequeño para esta carga.
It	Ixt Sobrecarga. La carga del convertidor 150% sobrepasa 30 seg.	La carga es muy grande. Voltaje Boost está muy alto.
St	Desconexión del convertidor. Ha trabajado más de 200 seg al límite de corriente.	La carga es muy grande. Voltaje Boost está muy alto.
Ot	Sobretemperatura. La temperatura del variador sobrepasa 100°C.	La temperatura ambiente es muy alta ó la ventilación es insuficiente.
Err	Error grabando. Problemas en los parámetros para ser guardados en la EEPROM	Problemas de la tensión de alimentación cuando se han estado grabando los parámetros.
Cl	Pérdida del lazo. Cuando el punto de consigna es 4mA20	El punto de consigna baja a 1 mA. Solo SP 4mA20.

	corriente baja 1mA.	
PAS	Antes de cambiar parámetros hay que introducir la palabra de acceso.	Introducir la palabra de acceso antes de cambiar un parámetro.
- - -	Palabra de acceso errónea. Mal introducida la palabra de acceso.	La palabra de acceso introducida no coincide con la programada.
LOC	Local. Modo de trabajo local.	
rst	RESET. Parámetros por defecto.	
UU	Baja Tensión. La tensión en el bus de continua no supera los 200 Vdc.	La alimentación ha sido interrumpida o está por debajo del valor especificado.

Fuente: Manual variador de velocidad.

B.3 ANALIZADOR DE REDES POWER VISA

Primero que todo se da una información a grandes rasgos del equipo usado para hacer las medidas de los diferentes fenómenos que se pretendían ver con el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

B.3.1 GENERALIDADES DEL ANALIZADOR POWER VISA

El Dranetz-BMI Power Visa es un medidor de red de 8 canales, por tanto este equipo puede monitorizar, registrar y visualizar datos de cuatro canales de tensión y cuatro canales de intensidad simultáneamente. Es un equipo portátil, con una pantalla a color de cristal líquido sensible al tácto. Además el equipo fue diseñado para cumplir con las normas IEEE 1159 e IEC 61000-4-30 Clase A en cuanto a

precisión y requisitos de medida. También incluye un paquete de análisis estadístico denominado calidad de alimentación (QOS), con funciones y protocolos de monitorización para determinar si las medidas realizadas cumplen con la norma EN50160. La norma española EN50160 requiere que los parámetros medidos se encuentren dentro de unos porcentajes específicos durante el 95% del tiempo.

En la parte superior del equipo están los conectores de entrada de los canales de tensión y de corriente, en la parte lateral derecha se encuentra la entrada del conector de alimentación, en la vista frontal esta la pantalla táctil LCD y en la vista inferior se tienen dos ranuras para insertar la tarjeta de memoria, también se tienen indicadores led y el botón de on/off.

B.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL POWER VISA

Para acceder a cada una de las funciones del equipo se hace por medio de la pantalla táctil, entonces se debe usar el dedo o un lápiz tipo PDA y aplicar presión sobre la pantalla para que se reconozca la operación.

- **Modo Osciloscopio:** Permite la visualización en tiempo real de las formas de onda de tensión y corriente, además aparece información textual sobre los valores eficaces, escalas de los ejes y la frecuencia de las señales monitoreadas.
- **Modo multímetro:** Cumple con funciones de voltímetro y amperímetro de verdadero valor eficaz. La información se muestra en modo texto y gráfico.
- **Armónicos:** En este modo se muestran la amplitud y el ángulo de fase de cada armónico hasta el orden 63, en formato texto y gráfico.
- **Diagrama de Fasores:** En esta pantalla se muestra un gráfico que indica las relaciones de fase entre todas las tensiones y todas las corrientes a la frecuencia fundamental, obtenidas a partir del análisis de Fourier. Funcionando como un medidor de ángulo de fase, el equipo puede

visualizar condiciones de desequilibrio e indicar esta información en formato texto. La visualización de los ángulos también permite verificar si las conexiones se han realizado correctamente.

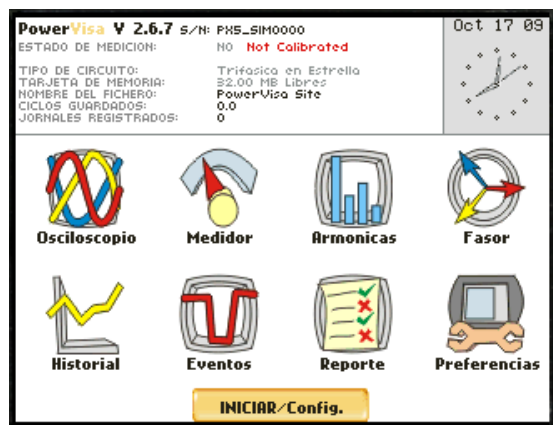
- **Evento:** En esta ventana se pueden visualizar los eventos ocurridos sabiendo que un evento se produce cuando se cruza el umbral programado. Un evento contiene ciclos antes/durante/después del disparo.
- **Tendencias:** En esta ventana los usuarios pueden generar gráficos de las lecturas tomadas a intervalos programables de los valores mínimos, medios y máximos del parámetro seleccionado, en los canales disponibles.
- **Informes:** Los usuarios tienen dos opciones para visualizar informes de conformidad: **EN50160** que muestra informes estadísticos de cumplimiento o conformidad basados en un análisis de la tensión según se indica en la norma EN50160, en este los datos se presentan en gráficos de barras, tablas estadísticas y otros gráficos y generan un resultado de tipo PASA/NO PASA. **Estado PQ** presenta un resumen de la calidad a través de un panel de resultados. El panel está codificado por colores de forma que el verde indica que el parámetro está dentro de límites y/o no se han producido eventos desde la última vez que se borró. El Rojo indica que el parámetro está fuera de límites y/o se han producido eventos desde la última vez que se inicializó. El Estado PQ monitoriza el cumplimiento constantemente, y no está basado en periodos de una semana con el EN50160.
- **Tarjeta de Datos:** El equipo soporta el uso de tarjetas de memoria Compact Flash desde 32 MB de capacidad. La tarjeta es el soporte primario de almacenamiento de datos. La monitorización no puede llevarse a cabo sin la tarjeta de memoria.
- **Configuración Automática, paso a paso o avanzada:** La configuración consiste en la programación de los umbrales y parámetros que controlarán el registro de datos del equipo. Los usuarios pueden realizar esta configuración de tres maneras: vía Automática que utiliza funciones de autoconfiguración; Paso a Paso donde el usuario va a través de una

secuencia de pantallas de configuración del circuito; o Avanzada que permite al usuario modificar los parámetros de disparo, intervalos de lectura y otras opciones avanzadas de configuración.

B.3.3 MANEJO DEL EQUIPO

Lo primero que se hace es encender el equipo e inmediatamente debe aparecer la pantalla principal que contiene los diferentes iconos para acceder a las funciones del equipo. La ventana que debe aparecer es como la que se muestra en la figura B.5.

Figura B.5 Pantalla principal del Power Visa



Fuente: Emulador del equipo Power Visa³⁸.

En la pantalla principal aparece información tal como el nombre de la unidad y modelo, versión del equipo y mensajes de estado aparecen en la parte superior de la pantalla principal. La información que aparece en los mensajes de estado son: el estado de monitorización, la configuración del circuito, porcentaje de tarjeta de memoria utilizado durante la monitorización.

B.3.3.1 Conexión de los cables de medida de tensión y sondas de corriente:

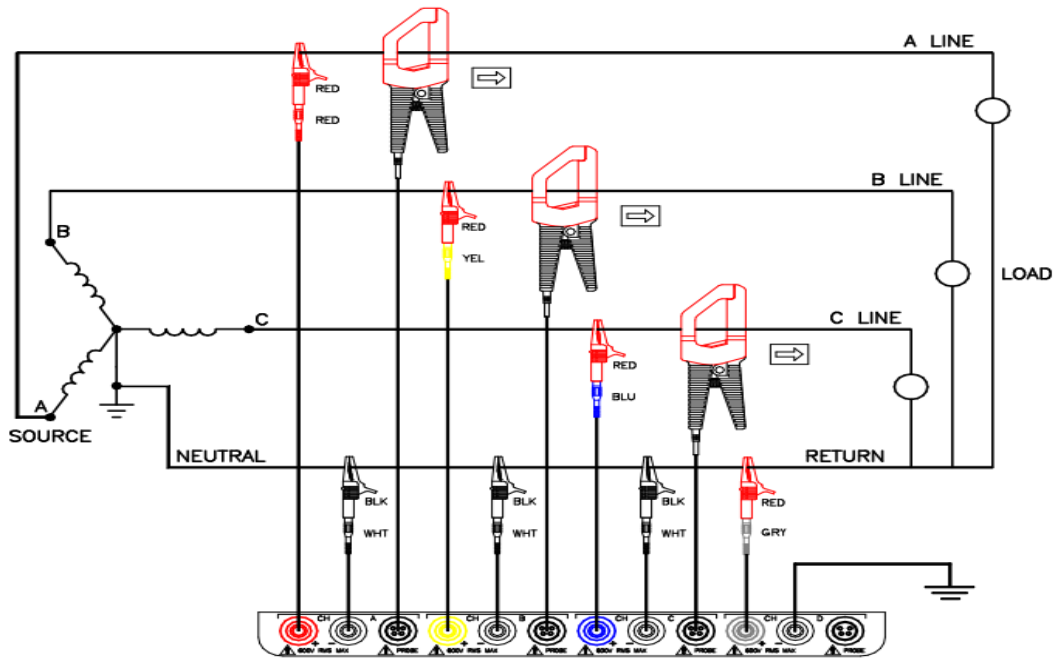
Se debe tener precaución en la conexión, ya que una conexión incorrecta puede causar graves efectos.

³⁸ Emulador Power Visa, disponible en la página web:

<http://www.gossenmetrawatt.com/english/produkte/mavowatt30.htm>

Los cables de tensión son diferenciales, esto es tienen terminales + y -. En la figura B.6 se muestra un ejemplo de conexión de un circuito.

Figura B.6 Conexión Y-Y



Fuente: Manual de usuario Power Visa³⁹

Como se puede apreciar en la figura el canal D es usado como entrada diferencial para medir la tensión neutro-tierra, conectándose el neutro al terminal D+ y tierra al terminal D-.

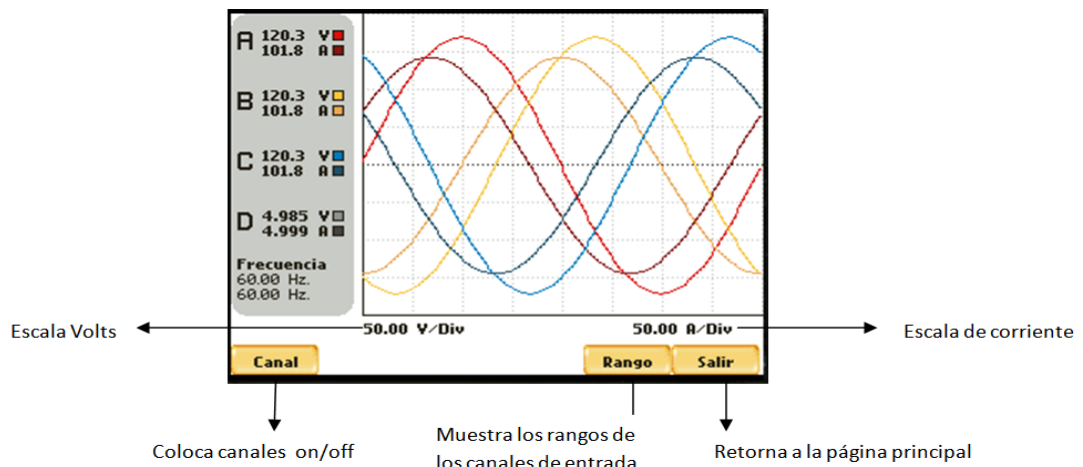
Las sondas de corriente tienen una flecha en el asa de la sonda que sirve de guía para asegurar que su posición es tal que, la flecha apunta en dirección a la carga. Tal y como se puede ver en la figura B.6

³⁹ User's Guide. Power Visa. Dranetz-BMI. Pág. E-9

B.3.3.2 Visualización de los datos en tiempo real: El equipo es capaz de capturar y procesar datos en tiempo real para visualizarlos en Modo Osciloscopio, Modo Medidor, Armónicos y Diagramas Fasoriales.

Modo Osciloscopio: Al presionar el icono de osciloscopio en la pantalla principal, aparece una ventana como la que se muestra en la figura B.7

Figura B.7 Ventana de Osciloscopio

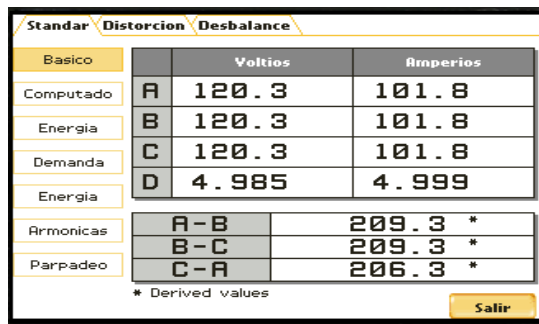


Fuente: Emulador del equipo Power Visa

Si se oprime en *Canal* se tiene la posibilidad de activar o desactivar los canales de tensión o de corriente que se deseen. Si se oprime en *Rango* se puede visualizar el rango detectado para todos los canales, los rangos que pueden aparecer son: Bien, que quiere decir que se está dentro del rango, Sobre que esta sobre el rango, Bajo que está bajo el rango, N/A que el canal está desactivado y Clip que está recortado. Si el rango de entrada es Sobre, Bajo o Clip, entonces las lecturas rms no serán precisas. Estos rangos no se pueden cambiar. Al presionar *Salir* se vuelve a la pantalla principal.

Modo Medidor: Si se presiona medidor aparece una ventana tal y como se muestra en la figura B.8. Todas las pantallas del medidor son visualizadas en formato tabular.

Figura B.8 Ventana de Medidor

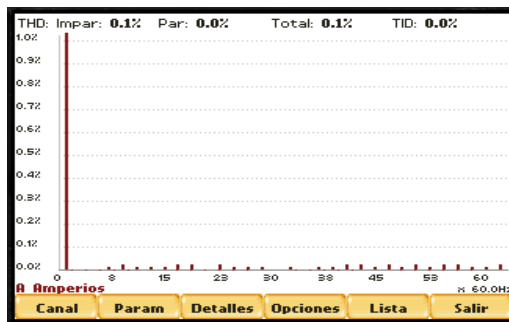


Fuente: Emulador equipo Power Visa

Acá los valores de las variables disponibles están separados por medio de carpetas que corresponden a cada pestaña de la parte superior de la ventana, estas son: Estándar, Distorsión, y Desequilibrios.

Armónicos: El equipo permite la visualización de los armónicos de tensión y corriente en modo gráfico y en forma de lista. Al presionar el icono de armónicos aparece una ventana como la que se muestra en la figura B.9

Figura B.9 Ventana de Armónicos



Fuente: Emulador del equipo Power Visa

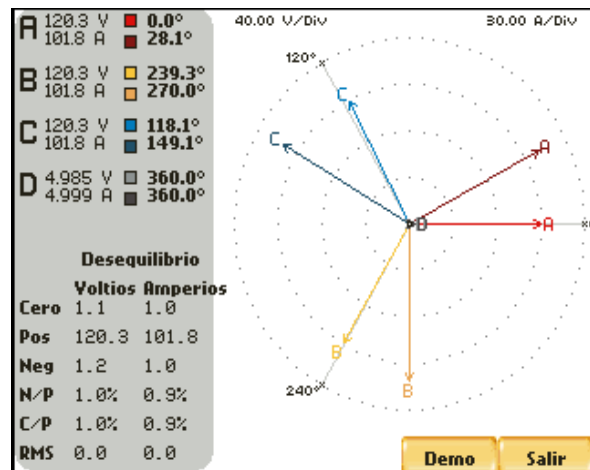
La pantalla muestra por defecto los armónicos en modo gráfico, en el cual se muestra el espectro armónico.

Al oprimir en *Canal* se cambia el grafico de los armónicos a otro canal; si se oprime en *Parámetro* cambia a V, I o W, según en lo que se encuentre; si se oprime en *Detalles* se puede hacer zoom sobre el área deseada; si se oprime *Opciones* aparece una nueva ventana que permite escoger lo que se muestra en

la grafica o en la lista, esto es se desean ver solo armónicos o además de estos se quieren ver los interarmónicos y también permite elegir las unidades de las gráficas; si se oprime *Lista* aparece los armónicos en forma lista con la información detallada; si se presiona *Salir* se vuelve a la pantalla principal.

Fasores de Tensión y Corriente: Al presionar el icono de fasores aparece una ventana como la que se muestra en la figura B.10. Se puede apreciar que la pantalla de fasores visualiza un gráfico que indica las relaciones de ángulo de fase entre las tensiones y corrientes.

Figura B.10 Ventana de Fasores



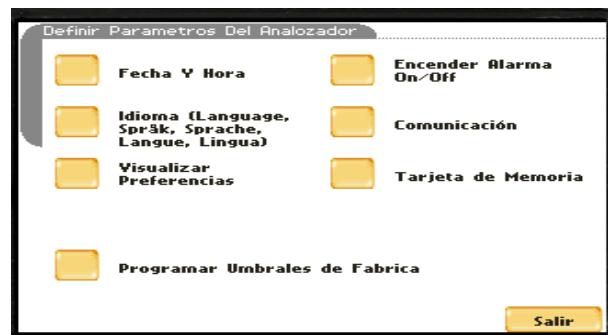
Fuente: Emulador equipo Power Visa

Como se aprecia en la anterior figura la barra de la izquierda muestra los valores RMS para las tensiones y/o corrientes de los canales A, B, C y D, así como sus ángulos de fase, y los valores de las secuencias cero, positivas y negativas para las tensiones y corrientes.

Si se oprime la pestaña de *Demo* aparece una nueva ventana donde se puede visualizar una ilustración gráfica en forma de rotación de fasores, relativa a una onda senoidal de un circuito estrella a cuatro hilos. Al presionar *Salir* se vuelve a la pantalla principal.

B.3.3.3 Configuración del Equipo: A continuación se describen algunas tareas para mantener el equipo funcionando adecuadamente. Para iniciar con la configuración de lo básico se presiona el icono de **Preferencias** que aparece en la pantalla principal, luego de hacer esto aparece una nueva ventana que permite definir los parámetros del analizador, tal y como la que se muestra en la figura B.11.

Figura B.11 Ventana de Preferencias



Fuente: Emulador del equipo Power Visa

Como se puede ver en la anterior figura, aparecen una serie de carpetas que permiten configurar algunos parámetros del analizador. Estas carpetas se describen a continuación:

Fecha Y Hora: Al presionar esta carpeta, se abre una ventana que permite configurar la hora y fecha exacta, así como de seleccionar el formato con el que se mostrarán en la pantalla.

Idioma: Permite al usuario seleccionar el idioma en el que aparecerán las pantallas.

Visualizar Preferencias: Al presionar esta carpeta, aparece una ventana que permite programar las características de la pantalla LCD incluyendo el apagado automático, contraste, colores de los canales y calibración de la pantalla táctil.

Encender Alarma: Si se hace clic sobre esta carpeta, aparece una ventana que permite activar o desactivar la alarma de umbral. Cuando se coloca en ON, el

equipo emitirá un "bip" cuando se cruza un límite o se produce otra condición de disparo.

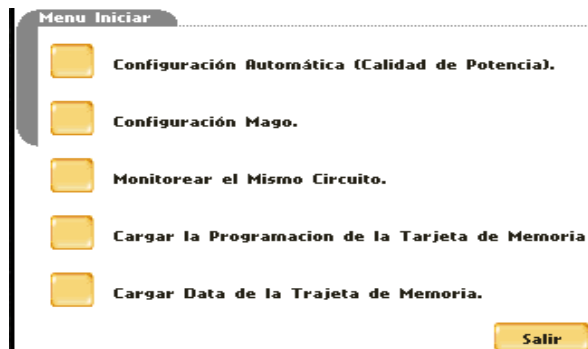
Tarjeta de Memoria: La pantalla de la tarjeta de memoria muestra información de la tarjeta insertada en la ranura de datos, incluyendo la capacidad total, el espacio disponible, y el espacio utilizado. La pantalla de Tarjeta de Memoria también permite al usuario visualizar los ficheros almacenados y formatear la tarjeta.

Programar los Umbrales de Fabrica: Al presionar esta carpeta aparece una ventana que pregunta si realmente se quiere programar los valores de fábrica o no.

Cuando se han configurado la totalidad de las carpetas del menú de preferencia se hace clic en *Salir* para volver a la pantalla principal.

Estando en la pantalla principal, se oprime el botón de **Inicio/Configuración** inmediatamente se abre una nueva ventana como la que se muestra en la figura B.12.

Figura B.12 Ventana del menú de inicio



Fuente: Emulador equipo Power Visa

El menú Inicio permite al usuario realizar lo siguiente: configurar el Power Visa para monitorizar, cargar configuraciones almacenadas previamente en la tarjeta de memoria y cargar datos desde la tarjeta de memoria. Las carpetas disponibles en este menú son: Configuración Automática, Configuración Mago o Paso a Paso, Monitorear el Mismo Circuito, Cargar la Programación de la Tarjeta de Memoria y Cargar Datos de la Tarjeta de Memoria.

Configuración Automática: Al oprimir la carpeta de configuración automática se abre una ventana como la que se muestra en la figura B.13 donde se puede apreciar que se auto configura el equipo en un paso para proceder directamente con la monitorización. El usuario tiene la opción de visualizar la lista de los parámetros auto configurado, modificar la información de la sonda de corriente, proceder directamente con la monitorización, o cancelarla para realizar una configuración manual.

Configuración Paso a Paso: Al hacer clic sobre esta carpeta se da una guía al usuario a través de una serie de pantallas en donde se solicita información sobre el circuito que se va a monitorizar. El equipo activa automáticamente los canales correctos, configura los umbrales de los parámetros y captura de formas de onda dependiendo del tipo de circuito detectado, valores nominales de tensión y corriente, y modo de monitorización especificado por el usuario. La primera pantalla que aparece es como la que se muestra en la figura B.13.

Figura B.13 Ventana de Configuración Paso a Paso



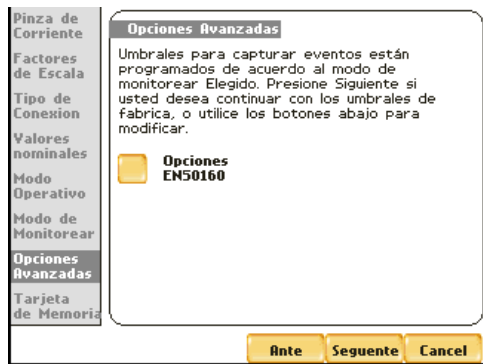
Fuente: Emulador equipo Power Visa

Como se puede observar en la anterior figura la primera ventana corresponde a la selección de las pinzas de corriente, en este caso se deben elegir las sondas de la marca *Dranflex 3K 300 A*, que son las pinzas que trae el equipo. La siguiente ventana permite configurar los factores de escala de corriente y tensión. La ventana de *Tipo de Conexión* permite seleccionar el tipo de circuito que se va a

monitorizar, el equipo visualizará el circuito detectado y comparará las tensiones, corrientes y secuencia de fases detectadas con el tipo de circuito seleccionado, si no coincide con lo seleccionado aparece una ventana de advertencia. La siguiente ventana en aparecer es la de *Valores Nominales* que muestra los valores de frecuencia, tensión y corriente del circuito que va a monitorizar. La otra ventana es la de *Modo Operativo* o *Modo de Funcionamiento* donde se pregunta si el equipo se va a usar como multímetro o si se continúa programando los umbrales y demás datos, si se selecciona modo multímetro la configuración termina. La otra ventana en aparecer después de seleccionar continuar con la programación es la de *Modo de Monitorear* apareciendo entonces una ventana que permite escoger el modo de monitorización, las opciones son las siguientes: análisis de calidad de potencia, demanda y energía; registros a largo plazo; grabación continua; y análisis de Calidad EN50160.

Si se elige el análisis de calidad EN 50160 la siguiente ventana en aparecer es como la que se muestra en la figura B.14, que corresponde a las opciones avanzadas EN 50160.

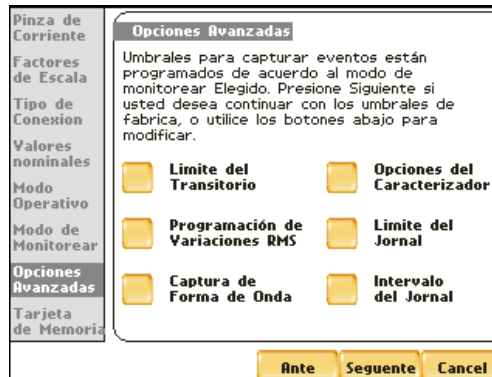
Figura B.14 Ventana de Opciones Avanzadas EN 50160



Fuente: Emulador equipo Power Visa

Pero si se elige cualquier otro modo de monitorización diferente a la EN 50160, la siguiente ventana en aparecer de *Opciones Avanzadas* es como la que se muestra en la figura B.15.

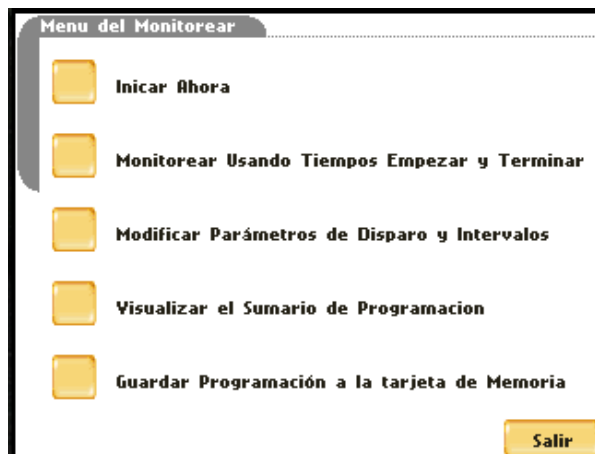
Figura B.15 Ventana Opciones Avanzadas



Fuente: Emulador equipo Power Visa

Sin abrir ninguna de las carpetas que se muestran en la ventana de *Opciones Avanzadas*, la siguiente ventana en aparecer es la ventana de *Tarjeta de Memoria* que informa el estado de la tarjeta y además permite modificar el nombre de la medida, si en la ventana de tarjeta de memoria se presiona finalizar, aparece otra ventana como la que se muestra en la figura B.16.

Figura B.16 ventana de Menú de Monitorear



Fuente: Emulador equipo Power Visa

Como se puede apreciar en la figura B.16 en esta ventana se puede iniciar la monitorización de una vez, o programar los tiempos de empezar y terminar, así como también se pueden modificar parámetros de disparo e intervalos, también se puede visualizar un resumen de la programación y guardar esta programación en la tarjeta de memoria.

Opciones Avanzadas: La ventana de opciones avanzadas es como la que se muestra en la figura B.15. Las Opciones Avanzadas muestran los umbrales de parámetros disponibles para su revisión o modificación. Se permite al usuario adaptar la configuración de umbrales a las necesidades de su aplicación.

Para revisar o modificar los *Límites de Transitorios* haga clic sobre esta carpeta y entonces aparecerán una serie de ventanas que permiten modificar el pico límite, el umbral de duración de la forma de onda, el límite de distorsión rms y el número de ciclos pre y post evento.

Para visualizar o modificar los *Límites de Variación RMS* haga clic sobre esta carpeta, la primera ventana en aparecer permite programar los umbrales Alto, Bajo y Muy Bajo tanto de Tensión como de corriente, luego aparece otra ventana que permite definir el número de muestras rms y de ciclos rms que serán almacenados en memoria.

Para visualizar o modificar la *Captura de la Forma de Onda* se hace clic en esta carpeta apareciendo entonces una ventana con una serie de tablas que permiten al usuario la configuración de los canales/parámetros de disparo para la captura de forma de onda.

Para visualizar o modificar las *Opciones del Caracterizador* haga clic sobre esta carpeta y aparecerá una ventana que permite seleccionar el modo de caracterización, las opciones son: ninguno, estándar IEEE 1159 o el estándar CEI 61000-4-30.

Para visualizar los *Límites del Jornal* se oprime esta carpeta y aparece entonces una ventana que contiene 2 carpetas, estas son *lista común* y *distorsión*, al presionar la carpeta de *lista común* aparece una ventana que contiene parámetros tales como: Básicos que corresponde a tensión, corriente y frecuencia; Básico Calculado que corresponde a factor de potencia desplazado vectorial y aritmético, corriente residual y corriente neta; Potencia que corresponde a potencia activa, aparente, reactiva, factor de potencia real y factor de potencia desplazado; Demanda que corresponde a demanda de potencia activa, reactiva, aparente y demanda de corriente RMS; Energía que corresponde a Vatios hora, VAR hora,

VA hora; Armónicos que corresponde a THD en tensión y corriente y energía armónica sin signo; Parpadeo que corresponde a Pst, Plt y Plt deslizante.

Al presionar la carpeta de **Distorsión** aparece una ventana con los siguientes parámetros: Distorsión Armónica Total THD, Distorsión Interarmónica Total TID, Factor de Influencia Telefónica TIF, Factor de Cresta FC, Potencia y Transformador.

Para visualizar o modificar los *Intervalos del Jornal* basta con presionar esta carpeta e inmediatamente se abre una ventana que contiene 4 carpetas que corresponden a: Valores de Potencia, que al ser presionada permite modificar los tiempos de captura y también permite decidir si se captura la forma de onda o no; Energía y Demanda, que al ser presionada permite modificar los tiempos; Armónicos que permite modificar el tiempo de captura de los armónicos; y Parpadeo que permite modificar los tiempos de Pst de periodos cortos y largos.

Configurar el Mismo Circuito: Al presionar la carpeta de configuración del mismo circuito aparece una ventana como la que se muestra en la figura B.16 para iniciar la monitorización.

Cuando la monitorización inicia debe aparecer una ventana como la que se muestra en la figura B.17

Figura B.17 Ventana Principal Monitorizando



Fuente: Emulador equipo Power Visa

Como se puede ver en la figura B.17 se da la opción de parar la medida cuando se desee, si se presiona el botón de **Parar** aparece una ventana que pide confirmación de si realmente quiere parar ahora o si desea abortar, y también se permite visualizar un sumario de la plantilla de la monitorización.

B.3.4 MANEJO DEL SOTFWARE DRAN-VIEW 6.

Con el fin de obtener los datos de una forma más clara y de acuerdo a la normativa que actualmente se maneja sobre calidad de potencia, el equipo Power Visa posee una herramienta la cual permite conocer de forma más detallada la forma de onda de un sistema y realizar un informe en el cual se presenta todos los eventos que son programados en la medición.

Este software maneja una llave la cual permite desplegar todo el contenido. Esta llave es un dispositivo usb que se denomina: HASP 25404389 (F486BA5h).

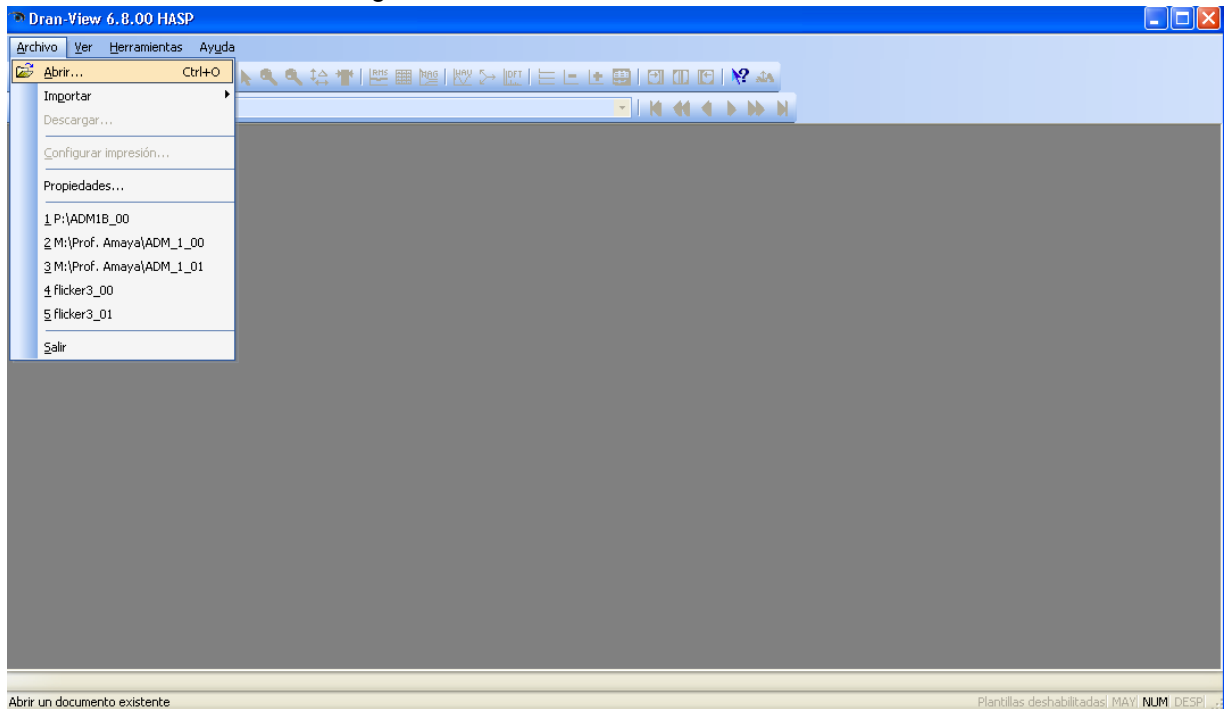
Cuando se introduce la llave en el puerto USB del computador que posee este programa y se da click para manejarlo aparece el pantallazo de la Figura 1, que indica el inicio del programa.

Figura B.18 Inicio del Dran-View 6



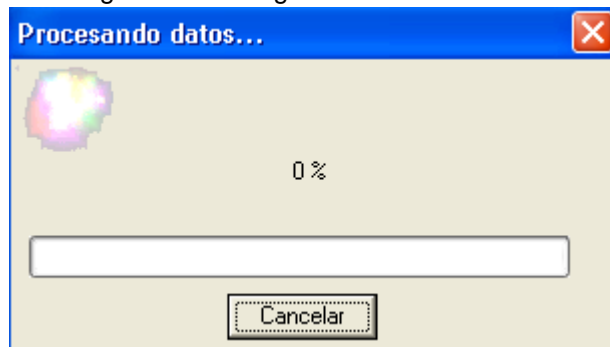
Seguido a esto se abre una ventana con opciones básicas como: Archivo, Ver, Herramientas y Ayuda que son las operaciones básicas a realizar en la manipulación del software. A continuación en la Figura B.19, se muestra dicha ventana:

Figura B.19. Ventana básica del software



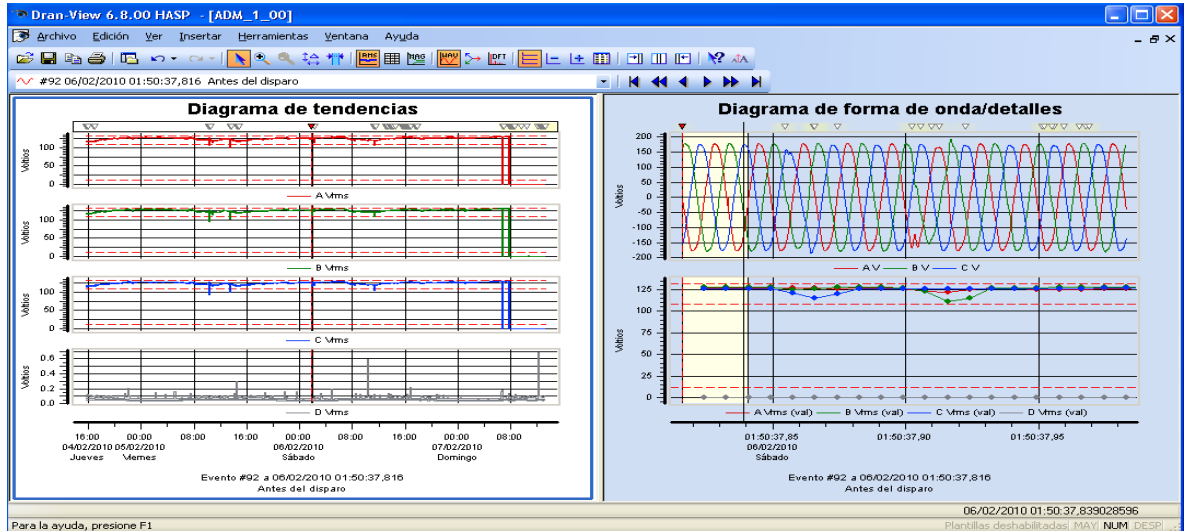
Al abrir un archivo se observa una pequeña ventana (Figura B.20) que indica que los datos de dicho archivo se están cargando con el fin de visualizar la onda y los distintos eventos capturados.

Figura B.20. Cargando datos de archivo



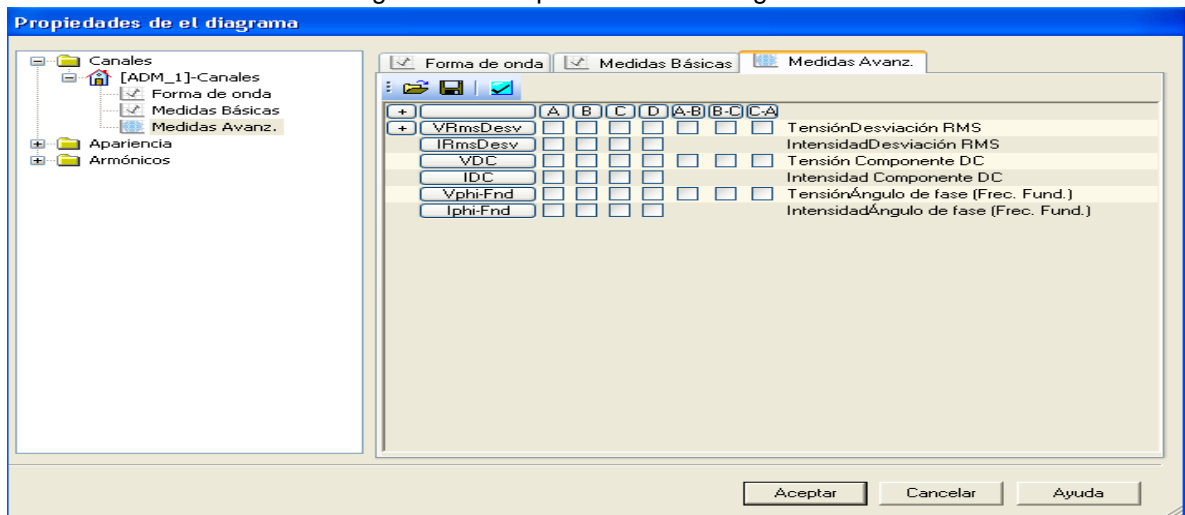
Luego al cargar todos los datos se muestra un registro de la forma de onda en las tres fases y un diagrama de tendencias (Figura B.21). Igualmente al hacer click derecho sobre las gráficas se puede programar los datos que se quieren visualizar como corrientes y tensiones en sus valores rms, valores DC tanto para tensión y corriente, etc. Esto se realiza dando click en la parte de propiedades.

Figura B.21 Diagrama de tendencias y de forma de ondas de una medida



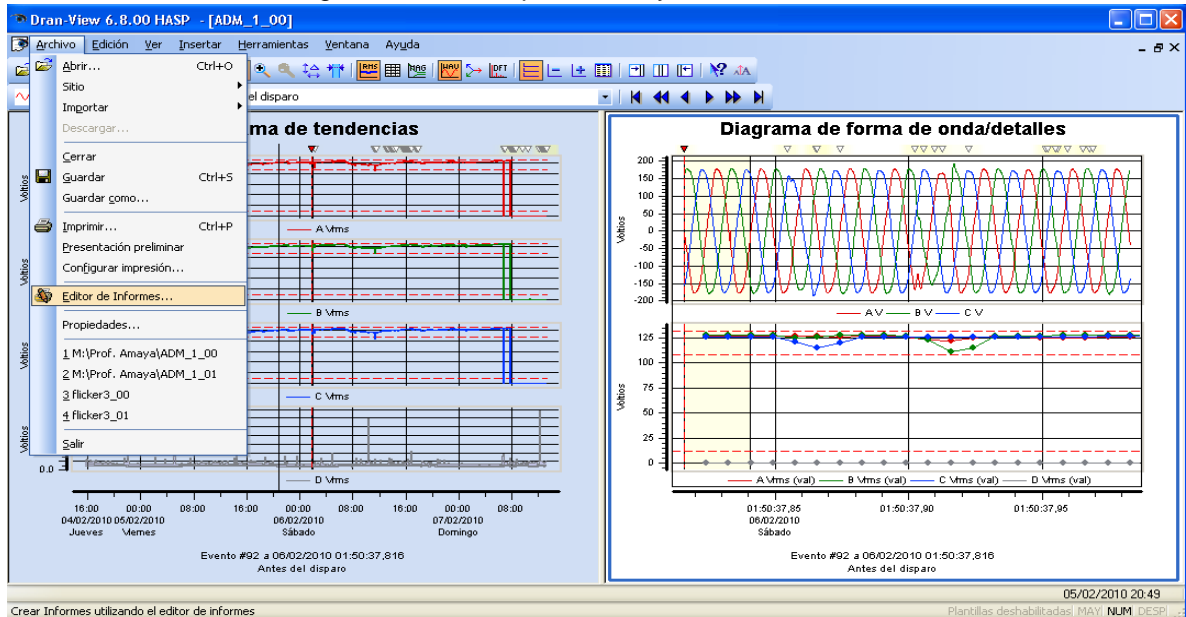
En la figura B.22 se muestra las distintas opciones a la hora de visualizar la gráfica que más se ajuste a la medida realizada.

Figura B.22 Propiedades en el diagrama.



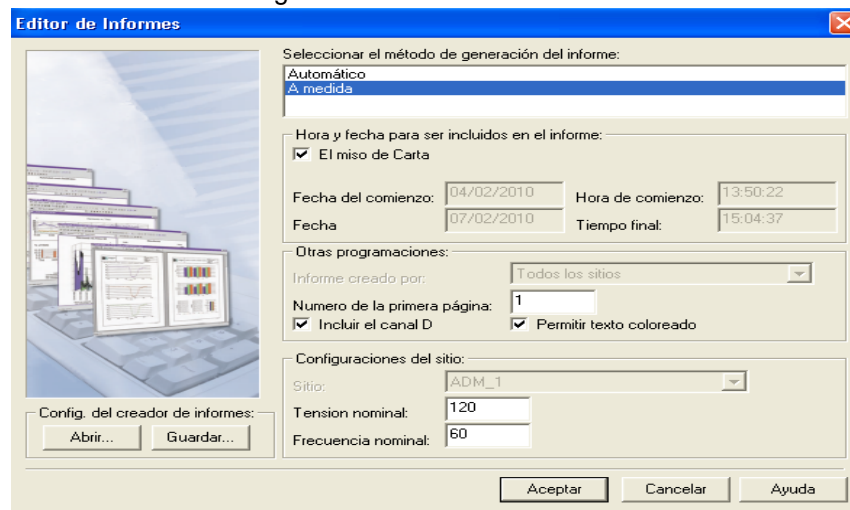
En la parte de archivos también se encuentra la herramienta que es más útil en este software y permite conocer el comportamiento del sistema en cuanto a calidad de la potencia eléctrica que es el editor de informe. En la Figura B.23 se muestra donde se encuentra.

Figura B.23 Pasos para editar y realizar el informe



Existen dos formas a la hora de editar un informe de calidad: automático y a medida. En la figura B.24 se muestra la opción a escoger para realizar el informe.

Figura B.24 Editor de informes.

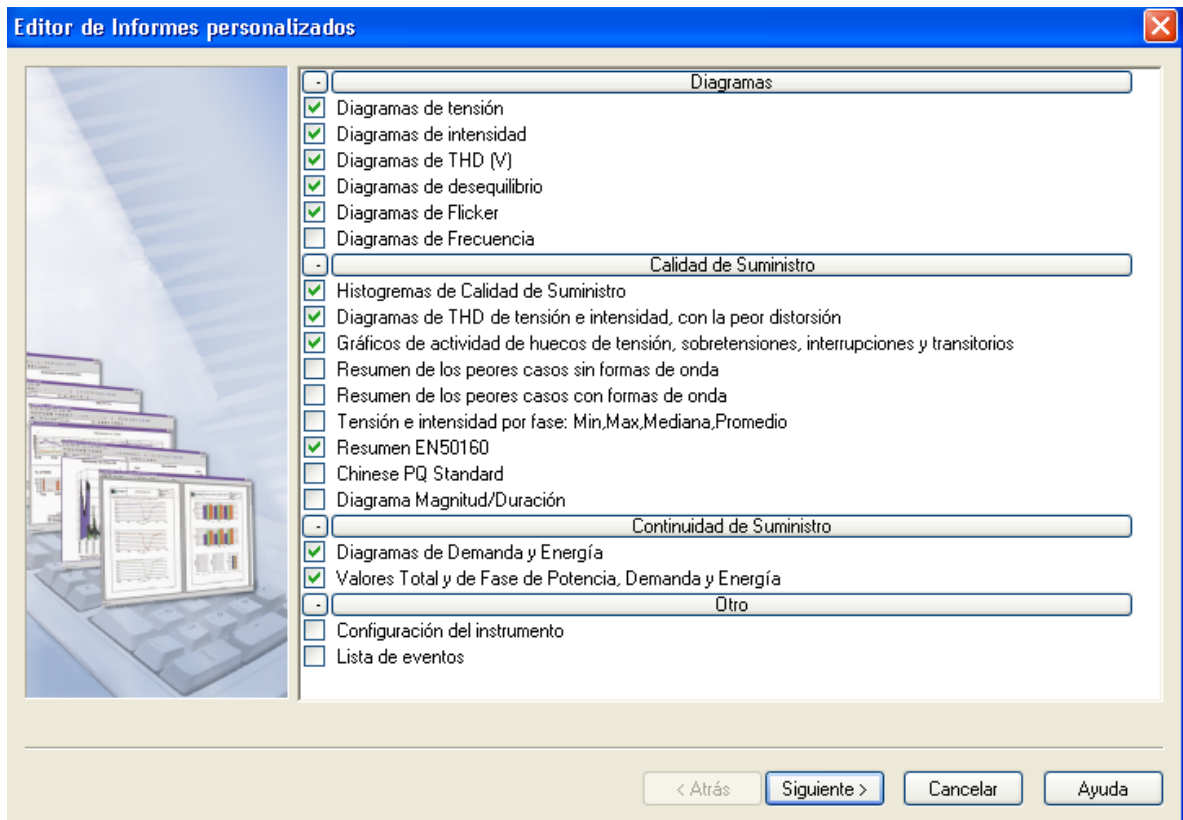


El resumen de calidad automático realiza una toma de datos de acuerdo a:

- Calidad de Suministro Eléctrico.
- Intensidad de arranque.
- Registro de perturbaciones.
- Registro de datos a largo plazo.
- Registro de datos continuo.
- EN 50160.

Para la parte del informe que se realiza a medida se muestra la opción de escoger que alternativas se van a mostrar en el informa. En la figura B.25 se muestra la ventana con las distintas opciones a tener en cuenta:

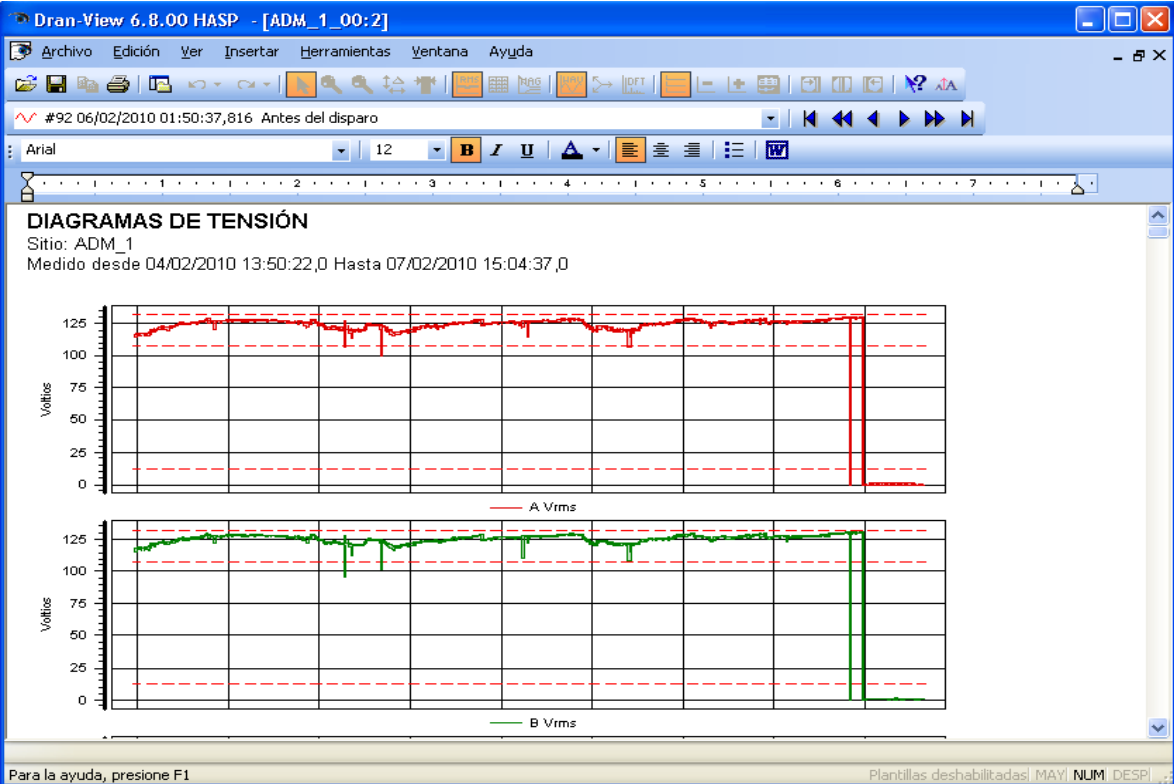
Figura B.25 Editor de informes a medida.



Luego de escogido la forma de visualizar los datos e obtiene el informe el cual se presenta en la figura B.26. Igualmente este informe puede ser convertido y

visualizado en Word. De ahí se escoge las gráficas que hacen parte de la respectiva evaluación.

Figura B.26 Informe de la medición realizada archivo ADM_1.



ANEXO C. MONTAJES PARA APRENDER A CONFIGURAR EL ANALIZADOR DE CALIDAD POWER VISA.

Aprovechando los recursos con los cuales cuenta el laboratorio de Máquina Eléctricas, se han implementado una serie de esquemas con el fin de conocer como se configura el equipo de medición. La ventaja de estas pruebas es que son montajes que se asemejan a procesos reales.

C.1 MONTAJE PARA LA MEDICIÓN DE ARMÓNICOS

Aprovechando que el laboratorio de máquinas cuenta con variadores de velocidad, los cuales son fuentes de armónicos y hoy en día hacen parte de sistemas que impliquen arranque de motores, se implementó un montaje en el cuál se utilizará este dispositivo con el fin de que el montaje sea parecido a una situación real.

Equipos a utilizar para el montaje en el laboratorio.

- Analizador de redes Power Visa
- Autotransformador
- Variador de frecuencia
- Motor de inducción trifásico

Cabe aclarar que este tipo de variador de velocidad es de alimentación monofásica, y con salida trifásica al motor. El motor trabajará en vacío. Los manuales del variador de velocidad y del analizador de redes se encuentran en la plataforma. Igualmente en la plataforma se encuentra un video de cómo realizar el montaje siguiente.

- Diagrama de armónicos en tensión, que se genera a la hora de realizar el informe de eventos.

Se realizarán tres medidas, una a 25Hz, la segunda a 50Hz y la última a 60Hz.

C.2 MONTAJE PARA LA MEDICIÓN DE HUECOS Y SOBRETENSIONES

Aprovechando el Generador de Interrupciones, se implementó un montaje en el cuál se utilizara este equipo con el fin de simular estos fenómenos.

Equipos a utilizar para el montaje en el laboratorio.

- Analizador de redes Power Visa
- Autotransformador
- Generador de interrupciones.

Cabe aclarar que el generador de interrupciones es de alimentación y salida monofásica. Los manuales del generador de perturbaciones y del analizador de redes se encuentran en la plataforma. Igualmente en la plataforma se encuentra un video de cómo configurar el generador para simular un hueco o una sobretensión.

Figura C.2. Montaje de la práctica de Huecos y Sobretensiones



Fuente: Las Autoras.

Para la medida, se debe configurar el generador para la captura de datos, en este caso gráficas de sobretensiones y huecos, de acuerdo a lo establecido que será expuesto a continuación. Al finalizar la toma de datos, estos se deben descargar mediante el software del equipo. La tensión de alimentación del circuito es de 110V.

Gráficas a obtener:

- Gráficas de las respectivas programaciones en cuanto a sobretensiones y huecos que se genera a la hora de realizar el informe de eventos.

PROGRAMACIÓN DEL GENERADOR PARA HUECOS DE TENSIÓN:

Primera medida:

Modo de operación: Milisegundos (ms).

Periodo: 48 ms

Flanco: 1

Tabla C.1. Programación HUEQUER

Paso	Salida	Duración	Valor RMS salida
1	09	24	83.1V
2	03	24	30.6V

Segunda medida:

Modo de operación: semiciclos.

Periodo: 16 semiciclos

Flanco: 1

Tabla C.2. Programación HUEQUER

Paso	Salida	Duración	Valor RMS salida
1	09	8	83.1V
2	04	8	47.6V

PROGRAMACIÓN DEL GENERADOR PARA SOBRETENSIONES

Primera medida:

Modo de operación: semiciclos.

Periodo: 16 semiciclos.

Flanco: 2.

Tabla C.3. Programación HUEQUER

Paso	Salida	Duración	Valor RMS salida
1	05	10	57.4V
2	06	6	117.1V

Segunda medida:

Modo de operación: semiciclos.

Periodo: 20 semiciclos.

Flanco: 2.

Tabla C.4. Programación HUEQUER

Paso	Salida	Duración	Valor RMS salida
1	09	16	83.1V
2	06	4	117.1V

C.3 PRÁCTICA EN EL LABORATORIO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Práctica de laboratorio # 6
Medición de componentes armónicas y huecos de tensión utilizando el Analizador de calidad
INTRODUCCIÓN
“En los últimos años se ha avanzado significativamente en el campo de la medida y la verificación del ahorro de energía eléctrica, diferenciando entre la medida del flujo de la energía eléctrica (contadores eléctricos) y la predicción y verificación del ahorro energético, basadas en la medida”. ⁴⁰ Muchos de los sistemas o equipos disponibles en el mercado incorporan programas de análisis que en general permiten:

⁴⁰ Sumper, A.; Villafáfila, R.; Antoni, S. Equipos para la medida y monitorización de la Energía Eléctrica. CITCEA, Universidad Politécnica De Cataluña. Marzo 2005. p 2.

- Obtener datos históricos y perfiles de carga de la instalación.
- Contrastar facturas.
- Asignar costos energéticos.
- Elegir la tarifa adecuada para el consumo.
- Realizar análisis de tendencias, así como informes y dibujos automatizados.

Teniendo esto como referencia, se hace necesario que el estudiante conozca las nuevas tecnologías en cuanto al manejo de calidad de potencia mediante la manipulación de equipos y de esta forma poder definir como se encuentra un sistema de potencia en cuanto a calidad del suministro y como poder mitigar las consecuencias producto de las perturbaciones.

ALCANCE Y OBJETIVOS

- **Alcance de la práctica:**

Con la ejecución de esta práctica se pretende que el estudiante conozca el manejo del equipo analizador de redes Power Visa, aprenda a configurarlo de acuerdo al tipo de medición y descargue y genere informes a partir del manejo del software DRAN-VIEW 6.

- **Objetivos:**

- ✓ Identificar el esquema de conexión del equipo de medición.
- ✓ Realizar el montaje requerido y configurar adecuadamente el equipo para la medición.
- ✓ Obtener gráficos, diagramas y generar informes de calidad.

METODOLOGÍA

La práctica está dividida por etapas, cada una de éstas lleva a entender el manejo del analizador de redes, qué equipos en el laboratorio se pueden utilizar para generar armónicos y huecos de tensión, cómo configurarlos y sobre todo como obtener los datos de calidad en un sistema de potencia. En cuanto al montaje y configuración del equipo de medida, en la plataforma se encuentran videos que facilitan el desarrollo de la práctica.

Para la práctica de armónicos se utiliza un montaje variador de velocidad-motor y en la práctica de huecos se utiliza un generador de huecos de tensión.

- **MONTAJE ESQUEMA DE ARMÓNICOS:**

Aprovechando que el laboratorio de máquinas cuenta con variadores de velocidad, los cuales son fuentes de armónicos y hoy en día hacen parte de sistemas que impliquen arranque de motores, se implementó un montaje en el cuál se utilizara este dispositivo con el fin de que el montaje sea parecido a una situación real.

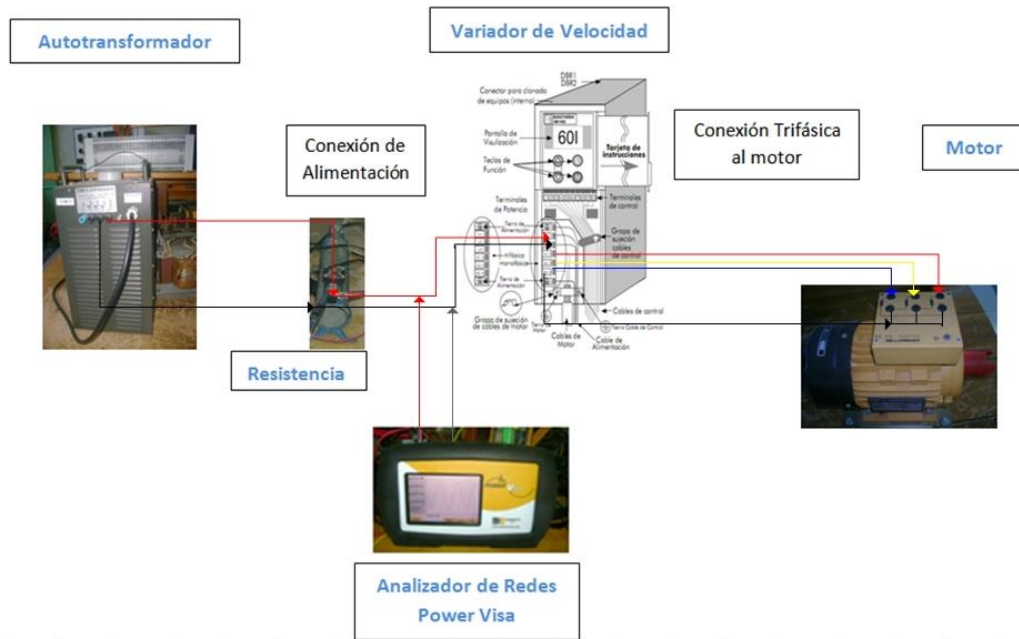
Equipos a utilizar para el montaje en el laboratorio.

- Analizador de redes Power Visa
- Autotransformador
- Variador de velocidad

- Motor de inducción trifásico

Cabe aclarar que este tipo de variador de velocidad es de alimentación monofásica, y con salida trifásica al motor. El motor trabajará en vacío. Los manuales del variador de velocidad y del analizador de redes se encuentran en la plataforma.

Figura C.3 Esquema del montaje



Fuente: Las Autoras.

TOMA DE DATOS Y RESULTADOS:

➤ PRÁCTICA REALIZADA EN EL LABORATORIO:

Para la medida, se debe configurar el analizador para las capturas de datos, en este caso gráficas y listas de armónicos, de acuerdo al tiempo establecido que como mínimo debe ser de 10 minutos. La forma de configurar el analizador se presenta en la plataforma. Al finalizar la toma de datos, estos se deben descargar mediante el software del equipo. La tensión de alimentación del circuito es de 220V.

Gráficas a obtener:

- Diagrama de armónicos en tensión, que se genera a la hora de realizar el informe de eventos.

Se realizarán tres medidas, una a 25Hz, la segunda a 50Hz y la última a 60Hz.

MONTAJE ESQUEMA PARA LA MEDICION DE HUECOS DE TENSION:

Aprovechando el Generador de Interrupciones, se implementó un montaje en el cuál se utilizara este equipo con el fin de simular estos fenómenos.

Equipos a utilizar para el montaje en el laboratorio.

1. Analizador de redes Power Visa
2. Autotransformador
3. Generador de interrupciones.

Cabe aclarar que el generador de interrupciones es de alimentación y salida monofásica. Los manuales del generador de perturbaciones y del analizador de redes se encuentran en la plataforma.

Figura C.4. Montaje de la práctica de Huecos de tensión.



Fuente: Las Autoras.

TOMA DE DATOS Y RESULTADOS:

➤ PRÁCTICA REALIZADA EN EL LABORATORIO:

Para la medida, se debe configurar el generador para la captura de datos, en este caso gráficas de sobretensiones y huecos, de acuerdo a lo establecido que será expuesto a continuación. Al finalizar la toma de datos, estos se deben descargar mediante el software del equipo. La tensión de alimentación del circuito es de 110V.

Gráficas a obtener:

- Gráficas de las respectivas programaciones en cuanto a huecos que se genera a la hora de realizar el informe de eventos.

PROGRAMACIÓN DEL GENERADOR PARA HUECOS DE TENSIÓN:

Primera medida:

Modo de operación: Milisegundos (ms).

Periodo: 48 ms

Flanco: 1

Tabla C.5. Programación HUEQUER

<i>Paso</i>	<i>Salida</i>	<i>Duración</i>	<i>Valor RMS salida</i>
1	09	24	83.1V
2	03	24	30.6V

Segunda medida:

Modo de operación: semiciclos.

Periodo: 16 semiciclos

Flanco: 1

Tabla C.6. Programación HUEQUER

<i>Paso</i>	<i>Salida</i>	<i>Duración</i>	<i>Valor RMS salida</i>
1	09	8	83.1V
2	04	8	47.6V

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Con la realización de esta práctica de laboratorio se quiere evaluar que tanto el estudiante aprendió sobre el manejo del equipo, cómo se configura de acuerdo al sistema a medir y cómo obtener informes de calidad. Para esto el estudiante debe presentar:

4. Informe de eventos que se descarga a partir del software.
5. Evaluación de las gráficas correspondientes a las medidas realizadas de acuerdo a la normativa conocida.
6. Concluir y justificar los resultados obtenidos.
7. Responder las siguientes preguntas:
 - ✓ ¿Qué aprendió durante el desarrollo de la actividad?
 - ✓ ¿Qué diferencias y similitudes observa en la realización de la práctica con un montaje real y la simulación?

BIBLIOGRAFÍA

- Manual del producto 601 series, Eurotherm drives, ref HA464518
- IEEE 519, Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems, pág. 86.