

**DISEÑO DE TABLERO DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS
RELACIONADAS CON CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA**

**DIEGO ANDRÉS GUTIÉRREZ OCHOA
JULIÁN DAVID RODRÍGUEZ VELANDIA**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C.
2014**

**DISEÑO DE TABLERO DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS
RELACIONADAS CON CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA**

**DIEGO ANDRÉS GUTIÉRREZ OCHOA
JULIÁN DAVID RODRÍGUEZ VELANDIA**

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingenieros Electricistas**

Director

**Luis Hernando Correa Salazar
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C.
2014**

Nota de aceptación:

Firma del Director de Tesis

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Bogotá, Septiembre de 2014

DEDICATORIA

Para mis padres quienes con su empeño y dedicación me brindaron la oportunidad de tener una formación profesional, moral y ética, además de brindarme su apoyo incondicional ante las adversidades que se presentan en la vida.

A mi hermana por su apoyo, su cariño y confianza incondicional siempre y en el transcurso de mi vida universitaria.

A todos mis compañeros y amigos que estuvieron a mi lado en el desarrollo de esta etapa de mi vida; A los ingenieros y profesores que me transmitieron conocimientos importantes y me dejaron aprendizajes de vida y conocimientos muy valiosos.

DIEGO ANDRÉS GUTIÉRREZ OCHOA

Dedico esta tesis a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que nunca esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supusieron que no lo lograría, a todos ellos les dedico esta tesis.

JULIAN DAVID RODRÍGUEZ VELANDIA

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar este proceso. A mis padres y hermana por acompañarme siempre en mi camino y por su incondicional apoyo, por estar siempre a mi lado en el transcurso de esta etapa y brindarme ánimo y fortaleza. Gracias a mi familia, amigos y compañeros por apoyar sinceramente mi desarrollo profesional.

Agradecimiento especial al Ingeniero Luis Hernando Correa Salazar, Director del presente proyecto de grado, por el tiempo dedicado, los consejos dados y la asesoría brindada durante el desarrollo del proyecto.

DIEGO ANDRÉS GUTIÉRREZ OCHOA

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, sobre todo a mis padres y hermanos. A mi director de proyecto de grado quien hizo posible culminar esta etapa en mi vida.

JULIAN DAVID RODRÍGUEZ VELANDIA

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

RESUMEN10

ABSTRACT11

INTRODUCCIÓN12

OBJETIVOS14

OBJETIVO GENERAL14

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

1. LA CALIDAD DE POTENCIA15

1.1. DEFINICIÓN 15

1.2CALIDAD DE POTENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA17

1.3. NATURALEZA Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PERTURBACIONES18

1.3.1SAGS19

1.3.2SWELLS 20

1.3.3ARMÓNICOS21

1.3.4INTERRUPCIONES 23

2.

ANTECEDENTES

25

2.1 INTRODUCCIÓN25

2.2 PROYECTOS Y TRABAJOS DESARROLLADOS 25

2.3ESTADO DEL ARTE 26

| | Pág. |
|--------------------------------------|------------------|
| 3. DISEÑO CONCEPTUAL | |
| 29 | DIDÁCTICO |
| 3.1INTRODUCCIÓN | 29 |
| 3.2DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 29 |
| 3.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | 30 |
| 3.3.1 DISEÑO COMPACTO | 31 |
| 3.3.2.1 Criterios de diseño | 31 |
| 3.3.2.2 Seguridad | 31 |
| 3.3.2.3 Flexibilidad | 32 |
| 3.3.2.4 Reserva | 33 |
| 3.3.2.5 Dimensionamiento del tablero | 34 |
| 3.3.2.6 Alimentación y protecciones | 35 |
| 3.3.3DISEÑO MODULAR | 37 |
| 3.3.3.1 criterios de diseño | 37 |
| 3.3.3.2 Seguridad | 37 |
| 3.3.3.3 Flexibilidad | 38 |
| 3.3.3.4 Reserva | 38 |
| 3.3.3.5 Dimensionamiento del tablero | 39 |
| 3.3.3.6 Alimentación y protecciones | 41 |

3.3.4 DISEÑO HÍBRIDO 42**3.3.4.1 criterios de diseño 42****3.3.4.2 Seguridad 42****3.3.4.3 Flexibilidad 43****3.3.4.4 Reserva 43****3.3.4.5 Dimensionamiento del tablero 44****3.3.4.6 Alimentación y protecciones 46****3.4 Descripción de Componentes de los diseños 47****3.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE ALTERNATIVAS 50****3.6 ALTERNATIVA SELECCIONADA 51**

| | |
|---|-----------|
| 3.6.1 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE ALTERNATIVA | 51 |
| SELECCIONADA (PROYECCIÓN ECONÓMICA). | |

| | |
|--|-----------|
| 4. IDENTIFICACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE PRÁCTICAS | 55 |
| A IMPLEMENTAR | |

4.1 INTRODUCCIÓN 55**4.2 ESTRUCTURA TÍPICA DE UNA PRÁCTICA 56****4.3 LISTADO DE PRÁCTICAS 57**

| | | |
|------------------------|----------|------------------------|
| 5. CONCLUSIONES | Y | RECOMENDACIONES |
| 58 | | |

BIBLIOGRAFÍA 60

ANEXOS

62

5

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema de la Calidad del Servicio Eléctrico. **15**

Figura 2. Vista frontal diseño compacto. **34**

Figura 3. Vista posterior diseño compacto. **34**

Figura 4. Vista lateral diseño compacto. **35**

Figura 5. Vista frontal diseño modular. **39**

Figura 6. Vista posterior diseño modular. **40**

Figura 7. Vista lateral diseño modular. **40**

Figura 8. Vista frontal diseño híbrido. **44**

Figura 9. Vista posterior diseño híbrido. **45**

Figura 10. Vista lateral diseño híbrido. **45**

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tabla comparativa de diseños. **50**

Tabla 2. Evaluación cuantitativa de la alternativa seleccionada. **51**

(DISEÑO HÍBRIDO)

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| ANEXO A. PRÁCTICA N°1. Interrupciones: 63 Apreciación curvas de inmunidad (ITIC) | |
| ANEXO B. PRÁCTICA N°2. Armónicos: Adquisición de datos. 66 | |
| ANEXO C. PRÁCTICA N°3. Armónicos y filtros. 71 | |
| ANEXO D. PRÁCTICA N°4. Swells. 75 | |
| ANEXO E. PRÁCTICA N°5.Algoritmo RMS y clasificación de Sags. 79 | |
| ANEXO F. PRÁCTICA N°6.Armónicos y Resonancia. 83 | |
| ANEXO G. DIAGRAMA PRELIMINAR DE FUERZA Y CONTROL DEL TABLERO DISEÑADO. 86 | |

GLOSARIO

Armónicos eléctricos: Corrientes y/o tensiones con frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el orden del armónico.

Calidad: Satisfacción del consumidor respecto a un producto que adquiere o compra.

Carga no lineal: Cargas residenciales e industriales que hacen uso de controles basados en electrónica de potencia que generan distorsión armónica en la red

Circuito: Un circuito es una red eléctrica que contiene al menos una trayectoria cerrada.

Cortocircuito: Falla en un aparato o línea eléctrica por el cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos, o entre polos opuestos en el caso de corriente continua.

Diseño: Arte de aplicar los conocimientos en la ordenación de los elementos básicos, tangibles e intangibles, de un objeto o estructura con el fin de aumentar su utilidad.

Energía eléctrica: Forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos

Interrupción: Es la pérdida completa de la tensión (< 0.1 p.u) en una o más fases en un tiempo determinado.

Perturbaciones:Aparición de componentes que afectan el correcto funcionamiento de la red de energía eléctrica y generan consecuencias tanto económicas como daños a los equipos.

Potencia:Flujo de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (W).

Protecciones:Elementos para evitar la destrucción de equipos o instalaciones por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada.

Sags: son caídas de tensión que pueden tener origen en cortocircuitos o sobrecargas.

Swells:Son incrementos en más del 10% de la tensión rms a la frecuencia del sistema, por tiempos desde 0.5 ciclos hasta 1 min.

RESUMEN

Diversas situaciones (rápida expansión de las redes de distribución, incremento en el volumen de la carga no lineal, aparición de grandes empresas industriales con procesos intensivos en el uso de energía eléctrica, etc) han llevado a que en las instalaciones de potencia aparezcan perturbaciones tales como distorsión armónica, fluctuaciones rápidas de tensión (Flicker), transitorios, Sags, Swells, entre otros. Por ello esta área es esencial para los sectores, principalmente los industriales, que dependen de procesos productivos en ocasiones las 24 horas del día durante todo el año, y que exigen a las empresas eléctricas una Calidad de Potencia Eléctrica tal que no afecte sus procesos productivos.

En los últimos años se ha masificado el uso de variadores de frecuencia (Bombas Electro Sumergibles, equipos basados en electrónica de potencia) utilizados en los pozos de extracción de petróleo e industrias. Estos equipos trabajan durante todo el año y cualquier perturbación que cause la parada no planificada de los mismos retrasará la generación de los recursos esperados durante un período determinado, a causa de problemas en la Calidad de Potencia Eléctrica entregada por la empresa de servicio eléctrico.

Este trabajo final de grado hace referencia a la producción de efectos de corta y larga duración, que puedan ser reproducidos bajo un ambiente controlado para identificar con mayor facilidad los causantes de este tipo de perturbaciones, la naturaleza y problemas que ocasionan.

ABSTRACT

Various situations (rapid expansion of distribution networks, increasing the volume of the nonlinear load, emergence of large industrial companies-intensive processes of electric power, etc.) that have been in power installations such disturbances appear as harmonic distortion, fast voltage fluctuations (flicker), transient, Sags, Swells, among others. Therefore, this area is essential for the sectors, mainly industrial production processes that rely on 24 hours occasionally throughout the year, and requiring utilities one Electric Power Quality that will not affect their production processes.

In recent years it has amassed the use of variable frequency (Electro Submersible Pumps, equipment based on power electronics) used in oil extraction wells and industries. These teams work throughout the year and any disturbance that causes unplanned stop them delay the generation of the expected resources during a given period, because of problems in the Electric Power Quality delivered by the electric utility.

This proposed final degree refers to the production of effects of short and long term that can be reproduced under a controlled environment to more easily identify the cause of this type of disturbance, the nature and cause problems.

INTRODUCCIÓN

Las centrales de generación deben generar una tensión de forma senoidal, de amplitud y frecuencia lo más constante posible o dentro de un rango tolerable por las cargas, ya que estos factores son los que van a definir la correcta operación de las cargas, dispositivos de transmisión, protección, distribución, control y aislamientos. En esencia, son los parámetros de diseño. Debido a ello, la forma de onda, su amplitud y frecuencia, van a ser fundamentales para el funcionamiento apropiado de las cargas o dispositivos de un sistema Eléctrico y por ende del grado de calidad de potencia que éste genere.

Tanto las empresas que suministran la energía eléctrica como los usuarios finales de este servicio, han insistido cada vez más en el concepto de calidad de energía. Esto se inició en la década de los 80s y se han convertido en una especie de concepto general, alrededor del cual se puede ubicar una multitud de distintos tipos de disturbios y problemas que se pueden presentar en un sistema eléctrico.

Las principales razones por las cuales es necesario estudiar los conceptos relacionados con la calidad en el suministro de la energía eléctrica, son las siguientes:

1. Las cargas cada día son más sensibles a variaciones de ciertos parámetros o cantidades en los sistemas del suministro de energía eléctrica. En la actualidad se encuentran cargas tanto industriales como residenciales y comerciales que hacen un uso intensivo de controles basados en microprocesadores, como caso de las aplicaciones en robótica, las computadoras personales, aparatos del hogar. También existe cada vez mayor presencia de la llamada electrónica de potencia,

usada en distintas aplicaciones, como es el caso de los controladores para motores eléctricos, que han sustituido en muchos casos a los controles electromagnéticos y que son sensibles a muchos tipos de disturbios.

12

2. Se ha difundido el concepto de mayor eficiencia en los sistemas eléctricos, lo cual ha traído como resultado un incremento continuo en la aplicación de dispositivos de alta eficiencia, tales como: los controladores de velocidad en motores eléctricos, el uso de capacitores en paralelo para la corrección del factor de potencia y para reducir pérdidas; esto trae como consecuencia un incremento en los niveles de armónicos en los sistemas eléctricos, problema que ha preocupado al sector eléctrico por el impacto que tienen y por las condiciones futuras que se pueden presentar.

3. Una mayor atención por parte de los usuarios finales a problemas con la calidad del suministro de la energía eléctrica, que pueden afectar a las cargas, como son: las interrupciones de servicio, los transitorios por maniobras, las depresiones o elevaciones de voltaje, las sobre oscilaciones debido a conexión y desconexión de bancos de condensadores.

Las principales causas de la producción de las diferentes perturbaciones en un sistema se deben a factores como distorsión por saturación magnética de materiales y la aparición de interrupciones periódicas en un circuito que afectan la calidad de la energía entregada y por ende causa daños a equipos y posiblemente a sistemas, además de afectar económicamente a los usuarios, quienes tendrán que dar mayores aportes de dinero a las entidades o a las empresas encargadas de brindar el servicio de energía eléctrica.

Por lo argumentado anteriormente se considera necesario y prioritario contar con un banco didáctico en donde se puedan generar, de forma controlada, diferentes tipos de perturbaciones (sags, swells, interrupciones, armónicos) con el propósito de lograr un entendimiento completo de su naturaleza, caracterización, cuantificación y medios de investigación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Efectuar el diseño de un banco de aprendizaje en calidad de potencia para la caracterización de los diferentes tipos de perturbaciones existentes y más comunes.(Sags, Swells, Interrupciones y Armónicos)

Objetivos específicos

- Realizar el diseño conceptual para construir el banco de pruebas.
- Estructurar las prácticas a desarrollar con el banco de pruebas diseñado.
- Realizar la proyección económica del diseño del banco de pruebas.

1. LA CALIDAD DE POTENCIA

1.1. DEFINICIÓN

La calidad de potencia se define de acuerdo a un nivel superior y a dos áreas las cuales se encuentran en las diferentes categorías de la energía eléctrica.

Este nivel superior se denomina Calidad de servicio eléctrico donde se encuentran caracterizadas la parte técnica y administrativa, que están en relación con la distribución, la transmisión y la generación de energía eléctrica en la búsqueda de la satisfacción de los usuarios finales. Las dos áreas en que se subdivide la calidad son la comercial y la técnica caracterizadas por la Calidad de servicio comercial y la Calidad de energía eléctrica.

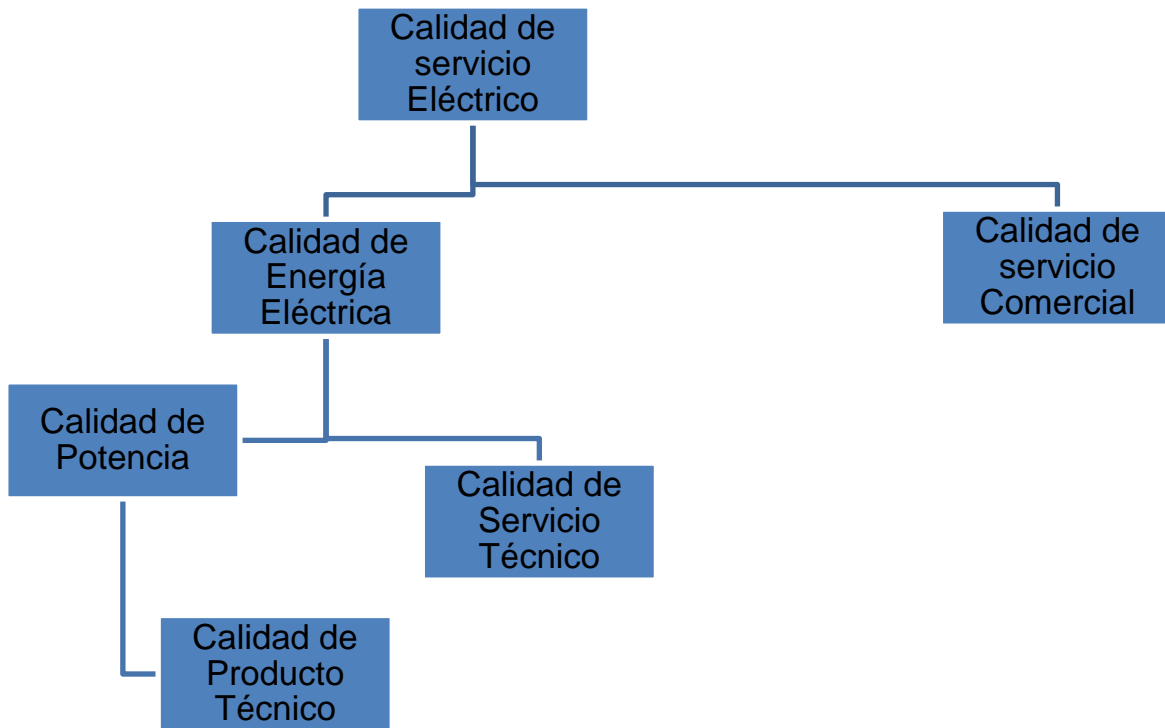


Figura1. Esquema de la Calidad del Servicio Eléctrico.

Las características técnicas de la Calidad de Servicio Eléctrico, están conformadas por la Calidad de la Energía Eléctrica, la cual consiste en las características físicas de la energía suministrada en condiciones normales de operación, que no producen interrupciones ni operaciones erráticas en equipos y procesos de la carga del suscriptor o en la red de distribución, en cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma de servicio eléctrico. Esta se subdivide en dos ramificaciones:

Calidad de Servicio Técnico; conjunto de propiedades básicas inherentes a la prestación del servicio eléctrico que tienden a maximizar su confiabilidad de interrupciones del servicio de electricidad, basado en índices de frecuencia y de duración y la otra rama es la Calidad de Potencia Eléctrica, que se dedica a estudiar cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la

tensión, de la corriente, de la frecuencia, de sus valores ideales que ocasionen falla, interrupción de los sistemas eléctricos o mala operación del equipo de un usuario; también se puede definir como las características físicas de las señales de tensión y corriente, para un tiempo dado y un lugar determinado, que tiene el propósito de satisfacer necesidades del usuario.

El concepto de Calidad de Potencia Eléctrica no es absoluto debido a que depende de las necesidades del usuario. Un alto nivel de Calidad de Potencia generalmente puede ser entendido como un bajo nivel de Perturbaciones.[1]

1.2 CALIDAD DE POTENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA

La calidad de potencia y la calidad de energía tienen que ver principalmente con el manejo que se le da a la energía eléctrica, cuyo buen uso es vital para la reducción de costos de operación y para lograr una mayor eficiencia en cada uno de los procesos en los que esta interviene.

Para determinar si la calidad de potencia entregada ha determinado equipo es buena o no depende principalmente de las necesidades y demanda de cada equipo, de su tipo de operación y de sus especificaciones técnicas y mecánicas.

La gran importancia de una óptima calidad de potencia entregada a los equipos está en evitar diversos fenómenos como paradas de procesos, pérdida de datos,

evitar la operación inadecuada de equipos, reparaciones costosas, reducir las pérdidas de energía y aumentar la Eficiencia Energética.

La calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicos que se presentan en las variaciones de tensión que influyen en la calidad de energía suministrada al usuario final y que afectan el desempeño adecuado en la operación de los equipos.

La relación principal entre calidad de potencia y de energía está en que la segunda es la que permite o no que exista la entrega de una potencia adecuada a determinado equipo para el desarrollo de sus funciones dentro de determinado espacio de trabajo, evitando que se puedan generar fenómenos negativos.[2]

1.3. NATURALEZA Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PERTURBACIONES

Las perturbaciones siempre han existido en los sistemas de potencia, solo que hoy en día estas condiciones se ven agravados por dos hechos:

- La revolución de la electrónica, que ha creado equipos muy sensibles a los disturbios y a las interrupciones, especialmente aquellos que usan funciones de memoria (computación).
- Estos nuevos equipos exhiben una característica altamente no lineal que ha incrementado considerablemente el deterioro de las señales de tensión en la red.

Los sistemas eléctricos son diseñados para suministrar el mejor servicio a los usuarios, pero es inevitable la presencia de disturbios y variaciones momentáneas que se reflejan en el usuario. La naturaleza de los disturbios, duración, amplitud, tasa de ocurrencia y los efectos en los equipos sensibles pueden variar ampliamente. Los disturbios de tensión son un problema para los equipos sensibles, que van desde la pérdida de información hasta daños en los equipos, traduciéndose en pérdidas de tiempo y por último en pérdidas económicas.

Las principales causas de la producción de las diferentes perturbaciones en un sistema se deben a factores como distorsión por saturación magnética de materiales y la aparición de interrupciones periódicas en un circuito que afectan la calidad de la energía entregada y por ende causa daños a equipos y posiblemente a sistemas, además de afectar económicamente a los usuarios, quienes tendrán que dar mayores aportes de dinero a las entidades o a las empresas encargadas de brindar el servicio de energía eléctrica.

1.3.1 SAGS

Los sags son caídas de tensión que pueden tener origen en cortocircuitos o sobrecargas.

Otra definición es que son variaciones de tensión que normalmente son causadas por condiciones de falla, energización de cargas que requieren altas corrientes de arranque o la pérdida intermitente de las conexiones en el cableado de potencia.

Entre las causas típicas de los Sags se encuentran:

- Energización y cambio de taps de grandes transformadores.

- Energización de cargas grandes.
- Corto circuitos.
- También se pueden generar por la demanda de electricidad de los clientes del sistema eléctrico, ya que al superar la demanda a la capacidad del sistema puede producirse este fenómeno.

El efecto más común asociado a los Sags es la parada de equipos. En muchas industrias con cargas críticas, este tipo de perturbación de corta duración puede causar paradas del proceso que requieren horas para poder ser reiniciado.

La influencia del Sags va a depender de:

- El nivel de la caída de la tensión.
- La duración del hueco.
- La distancia donde se origina la perturbación.
- La sensibilidad del equipo a los huecos.

1.3.2 SWELLS

Las sobre tensiones, también llamadas Swells, son incrementos en más del 10% de la tensión rms a la frecuencia del sistema por tiempos desde 0.5 ciclos hasta 1 min. Los valores típicos son de 1.1 hasta 1.8 p.u.

Así como los Sags, los Swells están usualmente asociados a condiciones de fallas monofásicas en el sistema, energización de bancos de condensadores o de transformadores, incrementando el valor del voltaje en las fases sin falla. Estos se presentan especialmente en sistemas sin puesta a tierra o sistemas en delta o con

neutro flotante, donde el cambio súbito en la referencia de la tierra resulta en un incremento de la tensión en las fases sin contacto con tierra.

Por otra parte, los Swells también pueden ser generados por una disminución súbita de la carga. La interrupción abrupta de la corriente puede generar un voltaje considerable, por la fórmula: $v = L \, di/dt$, donde L es la inductancia de la línea y di/dt es el cambio en el flujo de la corriente. Energizar un gran banco de condensadores también puede causar un Swell, aunque es más frecuente que origine un transitorio tipo oscilatorio.

Los efectos de un Swell frecuentemente son más destructivos que los de un Sag. La condición de sobre voltaje puede causar el daño en los componentes de los equipos de la red de distribución, aunque el efecto puede ser un gradual efecto acumulativo.

El incremento en el rendimiento de la iluminación incandescente puede ser perceptible si la duración del fenómeno es más larga de tres ciclos, así en general, el efecto de este fenómeno en los equipos está relacionado con la duración y magnitud (%) en el cual el voltaje excede la tensión nominal.

1.3.3 ARMÓNICOS

El concepto de análisis armónico viene del teorema matemático desarrollado por el Francés Jean Babtiste Joseph Fourier. En esta se describe que toda función periódica puede ser representada por una suma de funciones seno y coseno con frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental, las cuales son llamadas Series de Fourier.

Para una función de tiempo:

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega t + \phi_n) [3]$$

Donde C_n es la magnitud y ϕ_n es el ángulo de fase de cada una de las n componentes armónicas

$$\omega = 2\pi f.$$

Es de destacar que el análisis armónico, o lo que es lo mismo, un análisis de Fourier es un modelo matemático de las señales de tensión y corriente. La onda distorsionada que actualmente fluye a través del circuito no es un grupo de ondas senos de diferentes frecuencias.

Fuentes De los Armónicos:

- **Convertidores de Gran Potencia.**

Son aquellos cuya potencia nominal es mayor a 1 MW. Generalmente tienen mucha más inductancia en el lado de corriente continua que en el de corriente alterna; por lo que la corriente continua es prácticamente constante y el convertidor actúa como una fuente de tensión armónica en el lado de corriente continua y como una fuente de corriente armónica en el lado de corriente alterna. Con un sistema perfectamente simétrico, las corrientes resultantes son exactamente iguales en todas las fases.

21

- **Convertidores de Baja Potencia.**

Son aquellos convertidores cuya potencia no supera los 100 kW. Entre las cargas no lineales de baja potencia se encuentran: iluminación no incandescente, televisores, radios, estéreos, computadoras personales y cualquier equipo que utilice corriente continua. Estas podrían representar un problema, con respecto a la contaminación armónica, cuando un número de ellas están conectadas en forma simultánea a un mismo punto común de acoplamiento (PCC). Generalmente

estos equipos de baja potencia utilizan rectificadores de onda completa, cuya contaminación armónica predomina en el tercer orden.

Otras Fuentes de Armónicos.

Entre otras fuentes están las cargas que trabajan mediante arcos eléctricos (soldadores, hornos de arco, etc.). Como fuente futura puede que la carga de batería de los vehículos eléctricos y su posible masificación exigirá de grandes cantidades de potencia en corriente continua, lo cual supone incremento en el número de equipos contaminantes.

Los impactos más significativos generados por las distorsiones en las ondas de tensión y corriente, son los registros incorrectos en equipos de control y monitoreo, así como las pérdidas adicionales debidas al calentamiento. Estos efectos se acentúan como resultado de situaciones de resonancia serie o paralelo. Si la fuente de potencia del sistema es un dispositivo estático aislado, contribuirá al contenido armónico. El efecto de una o más fuentes armónicas sobre un sistema de potencia dependerá principalmente de las características de respuesta en frecuencia del sistema. Las cargas no lineales pueden ser representadas generalmente como fuentes de corrientes armónicas. Por consiguiente, la distorsión armónica de tensión en los sistemas de potencia dependerá de las características de impedancia vs. Frecuencia, tal como son vistas por estas fuentes de corriente.[6]

1.3.4 INTERRUPCIONES

Se define una interrupción como la pérdida completa de la tensión (< 0.1 pu) en una o más fases en un tiempo determinado. Las interrupciones ocurren cuando la tensión suministrada o la corriente de carga decrecen a menos de 0.1 en p.u., en una o varias fases, por un período que no exceda el minuto. Pueden ser

momentáneas, temporales o sostenidas. Las interrupciones momentáneas duran entre 8 ms y 3 s, las temporales duran entre 3 s y 60 s, y las sostenidas duran más de 60 s.

Es importante destacar la diferencia entre una interrupción y un Sag, una interrupción es la pérdida completa del voltaje (menos del 10% del nominal) mientras que un Sag puede disminuir hasta un 90% del voltaje nominal (debe haber entre 10% y 90% del nominal) pero no ocurre la pérdida total de la tensión.

Las interrupciones momentáneas son frecuentemente debidas a las prácticas automáticas de recierre (reclosing) de circuitos, las cuales son empleadas para despejar las fallas temporales en el sistema de potencia. Con el recierre automático de circuitos, una línea o circuito de distribución fallado es desenergizado por un período corto de tiempo (usualmente llamado “tiempo muerto”) y luego es energizado nuevamente. El período de tiempo muerto permite que la falla sea despejada y toda la ionización en el aire circundante al aislador (flashover) sea disipada. Las prácticas varían entre empresas, así en algunas prácticas el tiempo muerto empleado es menor a 12 ciclos y en otras es empleado un tiempo muerto mayor de 1 minuto, aunque la práctica más usual es hacer un primer “intento” con un tiempo muerto de pocos ciclos y un segundo intento con un tiempo muerto de varias decenas de segundos. Cuando el tiempo muerto es tan rápido como el permitido por el equipo de reconexión, se le denomina operación de recierre instantánea y usualmente implica tiempos muertos menores a 1 segundo.

El problema más crítico asociado a interrupciones, depresiones y aumentos de tensión, es la desenergización de equipos. En varias industrias de procesos con cargas críticas, los fenómenos instantáneos pueden producir apagones, requiriendo horas para arrancar de nuevo. La revisión es importante, porque frecuentemente es difícil determinar en los efectos observables, cuál perturbación

causa la falla. Las interrupciones instantáneas pueden afectar equipos electrónicos y de iluminación, causando mala operación o apagones. Tales equipos incluyen operadores electrónicos, computadoras y controles de máquinas rotatorias.[8]

2.1 INTRODUCCIÓN

En el transcurso de la historia de la energía eléctrica se han establecido diversos acontecimientos importantes para su desarrollo y mejora en la entrega del servicio de energía a los usuarios finales.

Gracias a la aparición de problemas energéticos, se ha llegado a una etapa evolutiva en el proceso de generación de energía eléctrica evitando que se presenten en gran proporción perturbaciones que generan una pobre calidad de potencia y de energía.

Un acontecimiento importante en la evolución de la energía eléctrica ha sido su integración con otros programas de la ingeniería para generar desarrollos importantes que benefician tanto a usuarios como empresas buscando cada vez más un índice óptimo de calidad que permita una vida útil mayor de los equipos y herramientas utilizadas para generar y entregar energía eléctrica.

2.2 PROYECTOS Y TRABAJOS DESARROLLADOS

Proyectos o trabajos desarrollados para la reproducción de perturbaciones como trabajo de grado o investigación no han sido encontrados debido a que principalmente son utilizados sistemas de hardware o software junto con tarjetas inteligentes para determinar los grados y el tipo de perturbaciones que están afectando la red y por ende el óptimo funcionamiento de equipos y sistemas que requieren el uso de la energía eléctrica para desarrollar su trabajo.

Por esta razón el énfasis que se hace al desarrollo del diseño conceptual en este trabajo, debido a que en el mercado se encuentran diversidad de tableros, equipos

y elementos relacionados a calidad de potencia y energía pero que no enfocan su uso en la reproducción de perturbaciones sino que las muestrean y no permiten al usuario establecer por sí mismo diferencias o similitudes entre cada una de ellas disminuyendo la facilidad de entender las causas, consecuencias y llegar a realizar un análisis posterior de estos problemas que afectan la red y la entrega final de energía eléctrica.

2.3 ESTADO DEL ARTE

En el año de 1974 se comenzó a desarrollar la norma IEEE para la calidad de potencia como resultado de estudios de largos años, y su razón de ser se debió al inicio de la evolución tecnológica que fue causando cambios frecuentes en el rendimiento óptimo de los equipos, situación que constantemente ha venido estando más presente en todos los proyectos relacionados con energía eléctrica.[7]

El suministro de energía con criterios de calidad de potencia se viene dando por la vulnerabilidad a la que están expuestos los diferentes equipos en procesos industriales importantes u otras actividades que involucran el servicio de electricidad. La calidad de la potencia en una instalación está sujeta a variaciones que dependen de muchos factores, algunos de estos pueden ocurrir fuera o dentro de la instalación eléctrica asociada a una red de distribución. Dependiendo de la magnitud y duración de las perturbaciones del suministro de energía eléctrica en las líneas de transmisión y distribución, las cuales son supervisadas en el punto de servicio o medición, pueden afectar la operación de algunos o de todos los equipos en la instalación.

También se presentan los diferentes fenómenos electromagnéticos caracterizados por las normas IEC y la IEEE.

Los fenómenos en régimen permanente poseen los siguientes atributos:

- Amplitud.
- Frecuencia.
- Espectro.
- Modulación.
- Profundidad del Notch.
- Área del Notch.

Los fenómenos en régimen transitorios contienen los siguientes atributos:

- Amplitud.
- Duración.
- Espectro.
- Frecuencia.
- Rata de ocurrencia.
- Energía potencial.

En la práctica se conocen los efectos y causas de algunos de ellos, los más comunes como lo son sags, swells, armónicos e interrupciones del sistema. Estos

son los más fáciles de reproducir y los que en un ambiente controlado se puede llevar a cabo su observación y posterior análisis.[4]

3.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de potencia está enfocada en el desarrollo de estudios diversos que identifican los patrones representativos que influyen en su índice de evaluación. Por tal razón es fundamental facilitar las prácticas relacionadas con las perturbaciones presentes en un determinado sistema y para ello se busca relacionar las herramientas disponibles de tal forma que se facilite la experimentación y por ende el entendimiento de cada uno de estos fenómenos.

Debido a ello es muy importante tener en cuenta que dichas perturbaciones producen daños no solo a la red sino a equipos y a la tarifa pagada por los usuarios normalmente. El objetivo principal es establecer alternativas de diseño del tablero para la reproducción de las perturbaciones y realizar la selección de una que permita de una manera más óptima su entendimiento y posteriormente construcción y análisis dando pie para trabajos posteriores.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el programa de Ingeniería eléctrica de la universidad de la Salle se han emprendido gran cantidad de proyectos de grado y se han efectuado también varios proyectos de investigación con el propósito de medir y caracterizar armónicos y sags de tensión sobre instalaciones reales; también se han desarrollado estudios teóricos enfocados en armónicos y sags. Las nuevas propuestas en calidad de potencia necesariamente parten de resultados de estudios previos o se inician desde cero con el enfoque experimental o teórico generalmente externos a la universidad.

Trabajos sobre generación controlada de perturbaciones, con propósitos de estudio detallado y riguroso, son escasos y prácticamente nulos los que atañen a swells de tensión, generación de flicker y aparición de sobretensiones transitorias (maniobras de bancos de condensadores, conexión y desconexión repentina de grandes cargas, etc.), algunas pruebas necesitan de componentes (pérdidas de tiempo, condiciones de riesgo).

Por lo argumentado anteriormente se considera necesario y prioritario contar con un banco didáctico en donde se puedan generar, de forma controlada, diferentes tipos de perturbaciones (sags, swells, interrupciones, armónicos) con el propósito de lograr un entendimiento completo de su naturaleza, caracterización, cuantificación y medios de investigación.

3.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El desarrollo de alternativas de solución para el diseño conceptual del tablero tiene como base la versatilidad, los costos, el fácil manejo de los equipos, así como el desarrollo de las tareas o prácticas que se puedan implementar para su uso.

Además de tener en cuenta criterios de diseño accequibles que permitan la confiabilidad de las pruebas que se puedan desarrollar posteriormente.

Es necesario tener en cuenta la vida útil de los equipos considerados para su construcción, condiciones dentro del ambiente de trabajo como temperatura y humedad a los que en algún momento el tablero pueda estar expuesto y cuyos cambios de ambiente no afecten su funcionamiento. La selección para el diseño debe ser flexible teniendo en cuenta la preparación y realización de prácticas, así como de sus dimensiones debido a que estará expuesto a contacto directo de los estudiantes, docentes y usuarios del espacio en general.

3.3.1 DISEÑO COMPACTO

El propósito del diseño compacto de este entrenador es proporcionar a los estudiantes un conocimiento completo de las perturbaciones que afectan la calidad de potencia (Sags, Swells, Interrupciones y Armónicos). El entrenador está compuesto por un módulo para la simulación de diversos tipos de perturbaciones presentes en una instalación eléctrica. El entrenador puede ser subdividido en cuatro áreas principales de estudio:

- Área de alimentación y protecciones
- Área de reproducción de perturbaciones
- Área de reserva

3.3.1.1 Criterios de diseño

Para el desarrollo del modelo compacto se consideran tres criterios de diseño de acuerdo a las cuatro áreas en las que se subdivide el módulo.

3.3.1.2 Seguridad

En el modelo del tablero didáctico compacto se debe tener en cuenta la seguridad del mismo en cuanto a su fabricación y posterior funcionamiento teniendo en cuenta la prevención de accidentes que atenten contra la integridad de las personas que realicen prácticas en él. De igual manera, para mitigar los efectos negativos que una falla o mal manejo a los equipos y componentes presentes en el tablero no sufran un daño considerable.

En el sistema de alimentación eléctrica las corrientes y los voltajes son constantemente medidos y monitorizados para asegurar que permanezcan entre ciertos límites que protejan el equipo y los usuarios. Estos valores son necesarios para suministrar informaciones constantes sobre el estado del sistema, para determinar la cantidad y calidad de energía suministrada y en caso de fallas interrumpir rápidamente secciones de red defectuosas. Además, es necesario la protección del sistema de alimentación para evitar que cualquier falla se extienda en cascada a través de la red y produzca un colapso. Por otra parte, en caso de cortocircuito, las altísimas corrientes de falla producidas pueden destruir partes del sistema y muchas veces poner en peligro la vida de los usuarios.

Es necesario establecer todas las señales de seguridad para transmitir mensajes de prevención, prohibición o información en el área de trabajo de forma clara, precisa y de fácil entendimiento para todos, evitando situaciones de peligro potencial. Es indispensable fijar una zona de seguridad demarcada con el objeto de evitar contactos accidentales con partes energizadas tanto de los usuarios como de personas ajenas a la práctica que se esté realizando en el módulo.

3.3.1.3 Flexibilidad

El diseño del entrenador compacto se estructura de tal forma que cumpla con los requerimientos establecidos en el área de calidad de potencia, su función principal es la caracterización de los diferentes tipos de perturbaciones existentes y más comunes presentes en un sistema eléctrico, por tanto este diseño no puede variar de forma fácil y efectiva sus características de operación para modificar su uso. Es posible considerar su uso en otros campos de la ingeniería eléctrica, pero su construcción y diseño lo harán poco adaptable a aquellas áreas donde se necesite la integración de más equipos, potencia o espacio disponible de trabajo.

3.3.1.4 Reserva

Como en todo diseño se deben establecer unas proyecciones a futuro, donde se contemple su modificación o ampliación de las características ya presentes, por tanto se considera un área de reserva donde los usuarios puedan modificar el diseño para abastecer necesidades futuras o equipos de medición presentes en la realización de una práctica.

3.3.1.5 Dimensionamiento del tablero

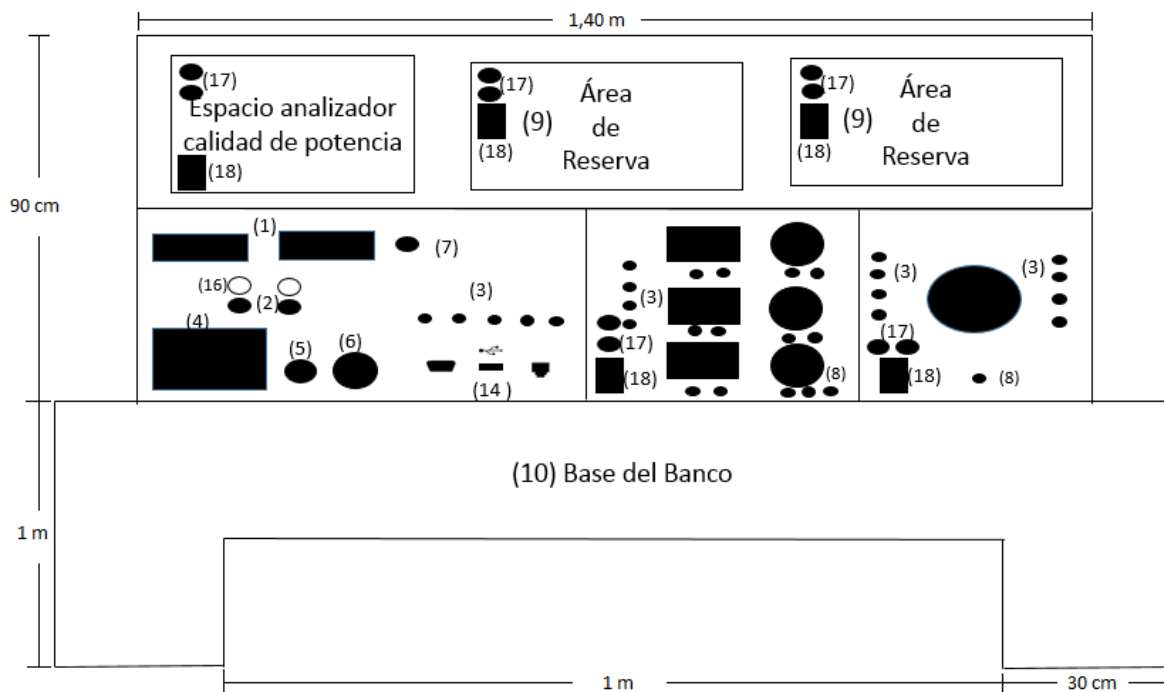


Figura 2. Vista frontal diseño compacto.

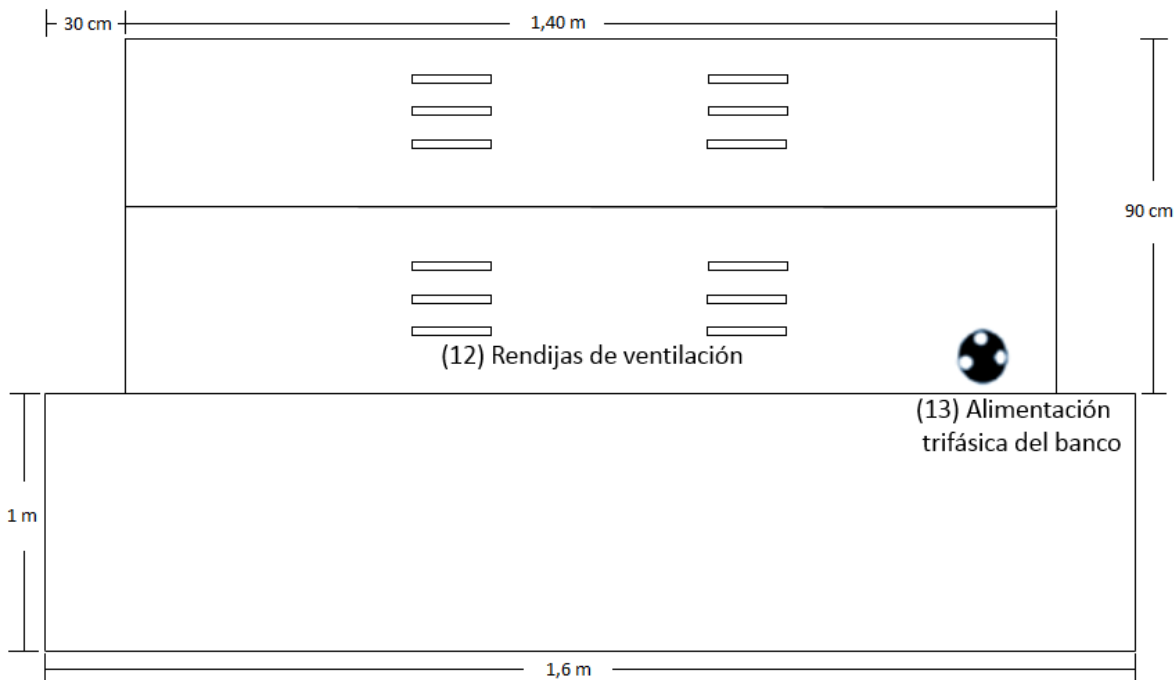


Figura 3. Vista posterior diseño compacto.

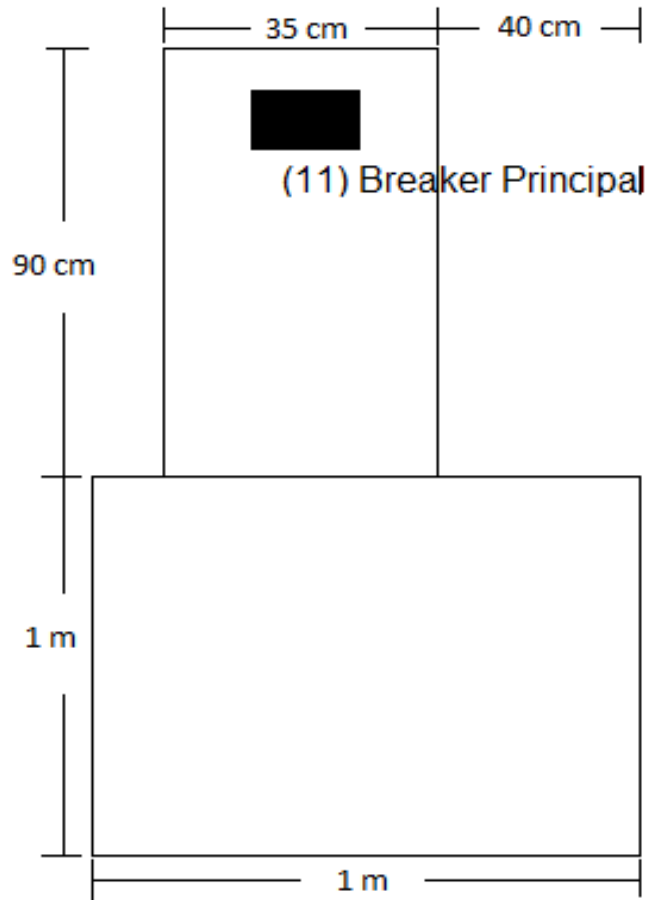


Figura 4. Vista lateral diseño compacto.

3.3.1.6 Alimentación y protecciones

El banco de pruebas debe contar con un suministro de corriente alterna fija y variable, para efectuar fácilmente todas las pruebas sobre equipos diseñados para la investigación en el área de calidad de potencia. En su construcción se deben considerar las características antes mencionadas, por tanto se encontrarán elementos tales como pulsadores de emergencia, protecciones electromagnéticas, llaves de bloqueo de uso, tomas eléctricas y relés con diferentes características de protección.

- **Sistema de alimentación y protección:**

-Voltaje alterno: 3x120 [V]

-Sistema de Puesta a Tierra: Configuración triangular

-Protección termomagnética

-Relé de sobrecorriente y sobretensión

-Pulsador de emergencia tipo hongo

-Llave de bloqueo

-Arrancador de autoprotección

-Sensores de fallas

3.3.2 DISEÑO MODULAR

El propósito del diseño modular de este entrenador es proporcionar a los estudiantes un conocimiento completo de las perturbaciones que afectan la calidad de potencia (Sags, Swells, Interrupciones y Armónicos) y permitir de manera más flexible la integración de equipos para el desarrollo de todo tipo de prácticas donde el usuario tiene libre elección de los módulos que necesite para el desarrollo del trabajo.

3.3.2.1 Criterios de diseño

Para el desarrollo del diseño modular se consideran criterios relacionados al manejo y funcionamiento de los equipos que permiten desarrollar las prácticas de laboratorio en diferentes áreas.

3.3.2.2 Seguridad

En el diseño del tablero didáctico modular se debe tener en cuenta la seguridad integral de los usuarios (uso adecuado de elementos de protección personal), así como de cada uno de los equipos y módulos que se deban utilizar en las prácticas debido a la manipulación directa en el transporte y conexión de cada uno de ellos, previniendo accidentes debidos a fallas que generen efectos negativos a cualquier componente que afecte el funcionamiento de los equipos.

Es indispensable tener en cuenta las características propias de cada uno de los módulos, para no exceder los límites de capacidad de funcionamiento de cada uno en cuanto a tensiones de alimentación y corrientes, estando atentos a cualquier tipo de falla para interrumpir rápidamente el desarrollo del trabajo en el sistema. Es necesario establecer todas las señales de seguridad para transmitir mensajes de prevención, prohibición o información en el área de trabajo de forma clara, precisa y de fácil entendimiento para todos, evitando situaciones de peligro potencial. Es indispensable fijar una zona de seguridad demarcada con el objeto de evitar contactos accidentales con partes energizadas tanto de los usuarios como de personas ajenas a la práctica que se esté realizando en el módulo.

3.3.2.3 Flexibilidad

El diseño del entrenador modular permite la interacción de diferentes equipos que permiten caracterizar cualquier tipo de perturbación, además de facilitar el desarrollo de prácticas de otras áreas de la ingeniería eléctrica, gracias a su adaptabilidad y a su construcción estructural que cumpliendo con los requerimientos establecidos posibilitan la modificación de los componentes a utilizar para cada práctica según el usuario lo requiera.

3.3.2.4 Reserva

El Diseño modular del tablero didáctico cuenta con tres áreas de reserva independientes, las cuales permiten a los usuarios la instalación provisional de otros equipos que sean necesarios para el desarrollo de prácticas, así como de elementos de medición para toma de datos y conexiones necesarios para su correcto funcionamiento. Además estas áreas de reserva también se establecen con la consideración de la posible ampliación y modificación futura del tablero.

3.3.2.5 Dimensionamiento del tablero

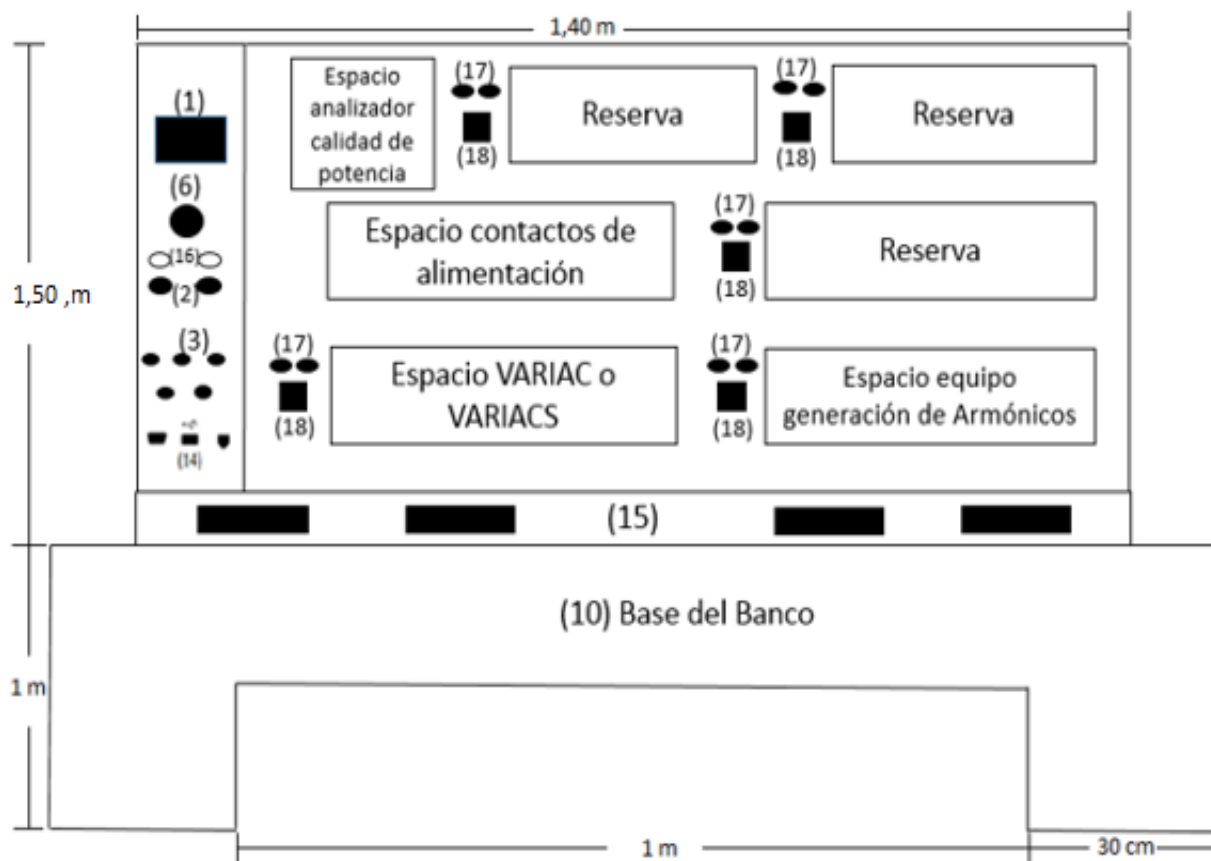


Figura 5. Vista frontal diseño modular.

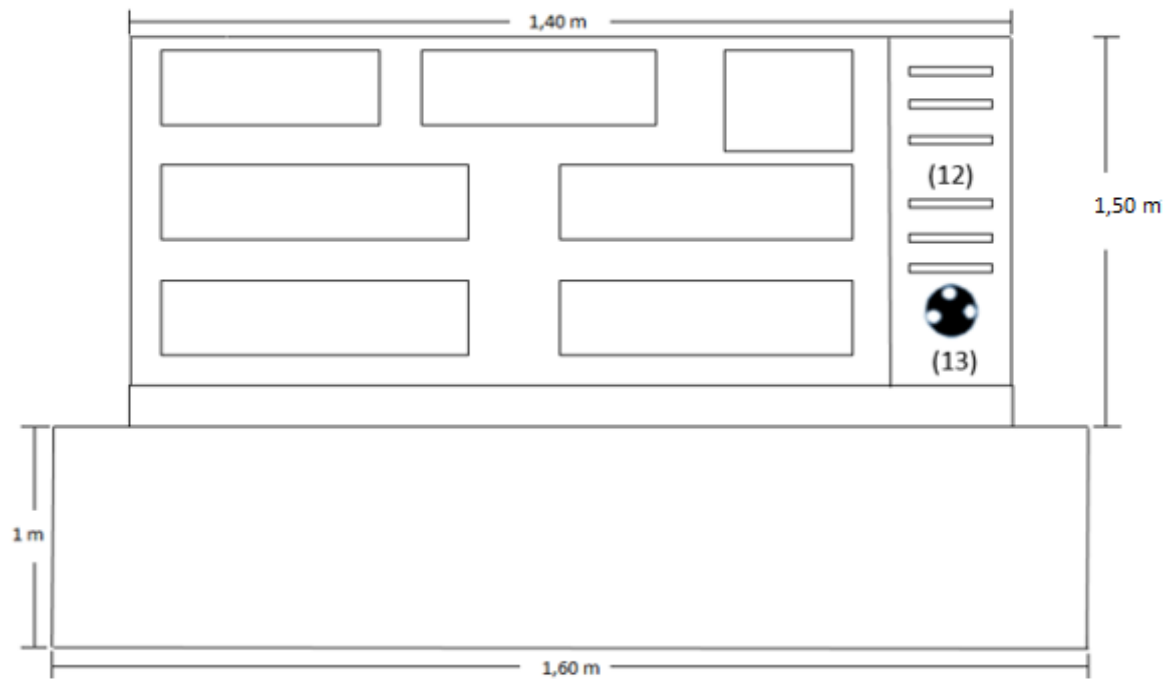


Figura 6. Vista posterior diseño modular.

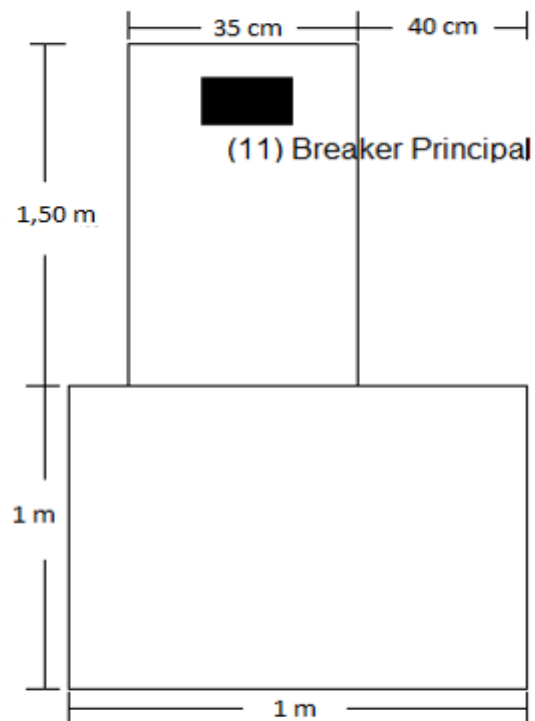


Figura 7. Vista lateral diseño modular.

3.3.2.6 Alimentación y protecciones

El banco de pruebas debe contar con un suministro de corriente alterna fija y variable, para efectuar fácilmente todas las pruebas sobre equipos diseñados para la investigación en el área de calidad de potencia. En su construcción se deben considerar las características antes mencionadas, por tanto se encontrarán elementos tales como pulsadores de emergencia, protecciones electromagnéticas, llaves de bloqueo de uso, tomas eléctricas y relés con diferentes características de protección.

- **Sistema de alimentación y protección:**

- Voltaje alterno: 3x120 [V]

- Sistema de Puesta a Tierra: Configuración triangular

- Protección termomagnética

- Relé de sobrecorriente y sobretensión

- Pulsador de emergencia tipo hongo

- Llave de bloqueo

- Arrancador de autoprotección

- Sensores de fallas

3.3.3 DISEÑO HÍBRIDO

3.3.3.1 Criterios de diseño

En el diseño híbrido son considerados criterios que permitan determinar el correcto funcionamiento y adaptabilidad de equipos para el desarrollo de las prácticas, la seguridad de los usuarios y de los elementos y equipos presentes en el tablero y los que se puedan disponer temporalmente en él para desarrollar la prácticas planteadas y aquellas que el usuario requiera realizar acorde a su necesidad y a la demanda que exija de acuerdo al área de la ingeniería eléctrica en que se desarrolle la práctica.

3.3.3.2 Seguridad

Lo esencial en el desarrollo de cualquier tipo de diseño es establecer como prioridad la integridad de los usuarios, lo que hace necesario tener en cuenta protecciones suficientes y adecuadas para cada uno de los equipos y elementos que estén en interacción con las personas que desarrollen actividades en el tablero y cerca de él que puedan llegar a tener contacto consciente o inconsciente con sus elementos, evitando así incidentes. De esta manera se previene además el deterioro, daño de los equipos, su incorrecto funcionamiento y garantizar un desarrollo óptimo de cada una de las pruebas y prácticas que se realicen en él.

Es indispensable tener en cuenta las características propias de cada uno de los módulos, para no exceder los límites de capacidad de funcionamiento de cada uno en cuanto a tensiones de alimentación y corriente. Se deben tener en cuenta señalizaciones que sean claras y precisas en cada uno de los equipos y en el tablero en general y demarcar la zona que contenga partes energizadas de acceso a los usuarios y a personas ajenas a las prácticas que se desarrollen.

3.3.3.3 Flexibilidad

El diseño del tablero híbrido está desarrollado con el propósito de facilitar la adaptabilidad de equipos de medición, módulos y la interacción entre ellos. Además del análisis de las perturbaciones para cuyo propósito es diseñado, permite el desarrollo de prácticas en otras áreas de la ingeniería eléctrica gracias a las características de disposición estructural del tablero y la fácil accesibilidad a cada uno de los elementos que lo componen por parte de los usuarios.

3.3.3.4 Reserva

El área de reserva del diseño híbrido del tablero consta de dos espacios independientes fijos cuyas para permitir la instalación provisional de equipos en caso de ser necesarios para el desarrollo de experimentos o prácticas. Esta área de reserva también ha sido estructurada de tal manera que sea posible la modificación futura del banco para permitir integrar nuevos equipos y elementos que ayuden a optimizar el rendimiento del banco y el desarrollo de las prácticas de laboratorio que puedan ser diseñadas posteriormente.

3.3.3.5 Dimensionamiento del tablero

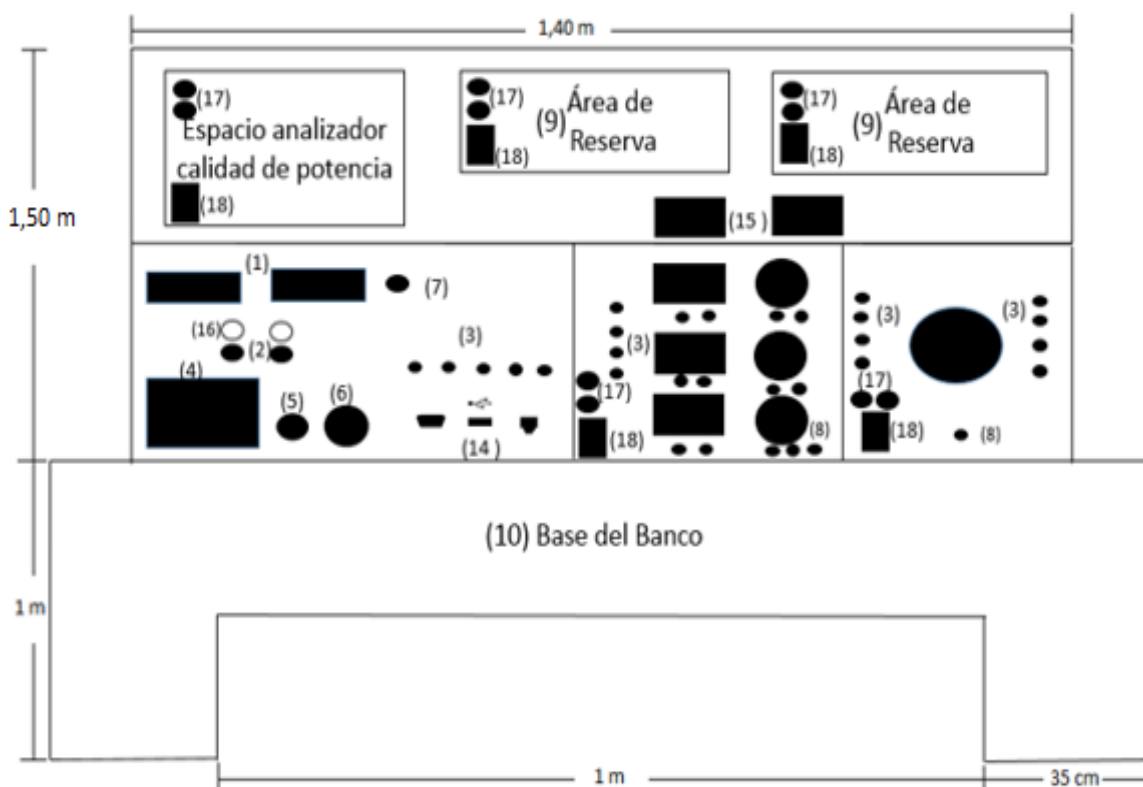


Figura 8. Vista frontal diseño híbrido.

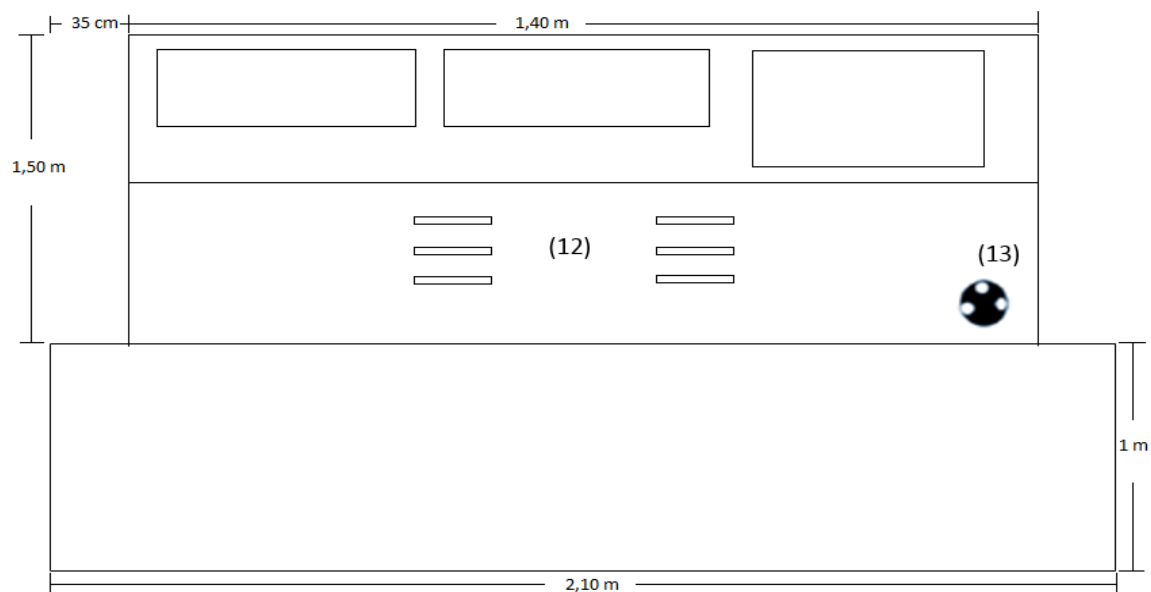


Figura 9. Vista posterior diseño híbrido.

38

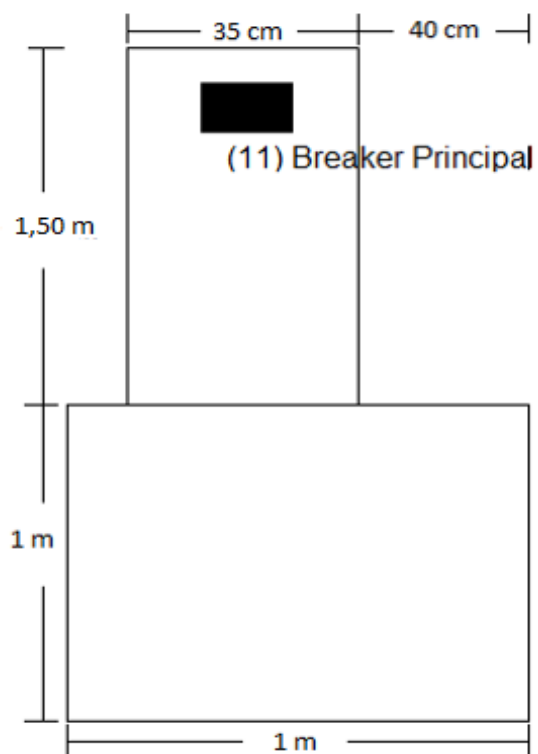


Figura 10. Vista lateral diseño híbrido.

45

3.3.3.6 Alimentación y protecciones

El banco de pruebas debe contar con un suministro de corriente alterna fija y variable, para efectuar fácilmente todas las pruebas sobre equipos diseñados para la investigación en el área de calidad de potencia. En su construcción se deben considerar las características antes mencionadas, por tanto se encontrarán elementos tales como pulsadores de emergencia, protecciones electromagnéticas, llaves de bloqueo de uso, tomas eléctricas y relés con diferentes características de protección.

- **Sistema de alimentación y protección:**

- Voltaje alterno: 3x120 [V]

- Sistema de Puesta a Tierra: Configuración triangular

- Protección termomagnética

- Relé de sobrecorriente y sobretensión

- Pulsador de emergencia tipo hongo

- Llave de bloqueo

- Arrancador de autoprotección

- Sensores de fallas

3.4 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE LOS DISEÑOS

1. **Páneles de medición corriente y tensión:** Los indicadores de parámetros eléctricos (Corriente-Tensión) pueden ser análogos o digitales programables para una mayor precisión en la toma de datos.
2. **Botón de encendido y parada:** los botones de encendido y parada de funcionamiento del tablero son respectivamente pulsadores, uno verde de contacto normalmente abierto para inicio y uno rojo de contacto normalmente cerrado para parada, cuya alimentación de entrada debe ser 220VAC.
3. **Borneras de conexión:** Para conexión de cargas y alimentación de equipos.
4. **Caja de protecciones:** Dentro de la caja de protecciones se establece una protección general del banco que consta de un breaker y fusibles cerámicos de reacción rápida e interruptores automáticos de disparo fijo.
5. **Llave de seguridad:** Es un selector de muletilla con llave de dos posiciones de 22mm y contacto NA que permita abrir y cerrar el circuito de mando de alimentación del banco cuando éste no esté en funcionamiento para evitar riesgo de contacto.
6. **Botón de parada de emergencia:** es un hongo con retención y bloque de contacto NC que actúa como parada de emergencia en caso de alguna falla o prevención de riesgo en el desarrollo de alguna práctica.
7. **Selectores de medidas:** Son dispositivos que permitirán establecer que parámetro y sobre qué elemento se desea tomar una medida.
8. **Bornera de tierra:** Protección del banco, de los equipos flotantes y de los usuarios.
9. **Área de reserva:** el área de reserva representa un espacio pensado para las futuras necesidades, el usuario dispone de una libertad de elección en el uso de esta área.

10. Base del banco: Es el soporte en el cual está el banco completo. Este debe soportar supeso al igual que el peso de los posibles elementos que se puedan utilizar y colocar en el espacio de reserva.

11. Breaker principal: Es la protección más importante del banco de pruebas puesto que permite desconectar la energía en su totalidad de cualquier elemento de forma instantánea. Es un breaker industrial de caja moldeada 3x30 A con una tensión de trabajo 208 V y de aislamiento 600 V a una frecuencia de 60 Hz teniendo en cuenta las posibles cargas de mayor valor que se puedan utilizar en este banco.

12. Rendijas de ventilación: permiten la ventilación de los equipos para evitar transferencias de calor que pueden afectar su desempeño, los datos obtenidos, el deterioro de sus componentes y posibles riesgos de incendio por altas temperaturas.

13. Alimentación: La alimentación trifásica del banco consta de una toma industrial de seguridad de 4x32 A a 600 VAC que permita suministrar la tensión y corriente necesarias para el correcto funcionamiento del banco y de los equipos utilizados en él.

14. Puertos de Comunicación: el área de comunicaciones está destinada para proveer de varios tipos de comunicación de datos necesarios para los usuarios. Debido a los varios protocolos usados en la actualidad el banco dispondrá de varios métodos de comunicación (RS-232, USB, Cable de red) otorgando mayor versatilidad a la hora de proporcionar información necesaria. Se conciben estos puertos para descarga de datos registrados en el analizador y en paneles de medición y registro.

15. Área de Alimentación externa: el área de alimentación externa está diseñada para proporcionar energía a equipos no integrados en el banco, pero que necesiten de ésta para su correcto funcionamiento.

16. Indicadores encendido (verde)-apagado (rojo): Estos están arriba de cada pulsador de encendido y apagado del módulo respectivamente. Son pilotos a 220V de 22mm de diámetro.

17. Botones encendido (verde)- parada (rojo) de los módulos: Estos son pulsadores que permiten la energización independiente de cada módulo.

18. Contactores: Los contactores son los elementos que permiten la energización independiente de los módulos al pulsar el botón de encendido en cada uno de ellos, con el propósito de permitir y facilitar el desarrollo de una o varias prácticas al mismo tiempo de acuerdo a las necesidades del usuario.

3.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE ALTERNATIVAS

| DISEÑO | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-----------------|---|---|
| COMPACTO | <p>Diseño compacto</p> <p>facilidad de ampliación</p> <p>Resistente</p> | <p>Adaptabilidad de equipos</p> <p>Diseño fijo</p> <p>Mantenimiento complejo</p> <p>Flexibilidad</p> |
| MODULAR | <p>Realización de cambios más fácil y rápida</p> <p>Fácil desplazamiento</p> <p>Buena disposición de elementos</p> <p>Fácil mantenimiento</p> <p>Amplia área de reserva</p> | <p>Manipulación de equipos</p> <p>Conexionado complejo</p> <p>Mayor cantidad de protecciones</p> <p>Seguridad</p> |
| HÍBRIDO | <p>Mayor integración de equipos</p> <p>Fácil mantenimiento</p> <p>Flexibilidad</p> <p>Mayor adaptabilidad a las</p> | <p>Mayor espacio</p> <p>Menor Seguridad</p> <p>Conexionado Complejo</p> <p>Mayor cantidad de protecciones</p> |

| | | |
|--|------------------|--|
| | prácticas | |
|--|------------------|--|

Tabla 1.Tabla comparativa de diseños

3.6 ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para la selección de la alternativa se tuvieron en cuenta aspectos importantes tales como disposición, funcionamiento, mantenimiento, dimensionamiento y adaptabilidad a las prácticas planteadas y a las que en el futuro podrán surgir tanto en la calidad de potencia como en toda la ingeniería eléctrica.

También debido a la facilidad que tendría dicha alternativa de ser desarrollada como un trabajo posterior de construcción e implementación por parte de otras personas interesadas en el diseño, además de los criterios seleccionados para tener en cuenta como seguridad, flexibilidad y reserva.

Por estas razones, la selección de alternativa más completa que se ajusta a los requerimientos antes planteados es el diseño híbrido para el banco de pruebas de reproducción de las perturbaciones, gracias a su gran flexibilidad para la integración de equipos de acuerdo a como la práctica a realizar lo requiera, a que su modularidad permite el desarrollo de prácticas diferentes a la reproducción de perturbaciones y a que permite al estudiante mayor interacción con elementos presentes en el laboratorio y por ende un aprendizaje más extenso y completo en el desarrollo de pruebas experimentales.

3.6.1 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DISEÑO SELECCIONADO

(PROYECCIÓN ECONÓMICA).

La evaluación cuantitativa es una proyección económica del costo aproximado que tendría la construcción del módulo de acuerdo a las especificaciones planteadas. Esta se evalúa mediante la tabla siguiente (Tabla 12) que describe cada uno de los elementos necesarios para la construcción del tablero didáctico, la cantidad, el costo unitario y el valor total global de la elaboración del sistema.

| NÚMERO | ELEMENTO | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|--------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|----------------|-------------|
| 1 | Páneles medición corriente y tensión | Indicadores de parámetros corriente-tensión, digitales programables | DE TENSION, 1 DE CORRIENTE, 1 | \$326.000 | \$651.000 |
| 2 | Pulsadores encendido-parada | Encendido verde, apagado rojo de 22mm | ROJO, 1 VERDE, 1 | \$25.000 | \$50.000 |
| 3 | Borneras de conexión | 220V 15 A | 40 | \$4.000 | \$160.000 |
| 4 | Bornera tierra | Protección | 2 | | |
| 5 | Breaker caja de protecciones | 3x30 A 240V 60Hz.Tensión aislamiento 600V | 1 | \$200.000 | \$200.000 |

| | | | | | |
|----|--|--|---------------------------------------|--|-----------|
| 6 | Fusibles cerámicos caja de protecciones | 20A | 3 | \$30.000 | \$90.000 |
| 7 | Llave de seguridad | Pulsador tipo hongo con llave, Contacto normalmente abierto | 1 | \$45.000 | \$45.000 |
| 8 | Parada de emergencia | Pulsador tipo Hongo con retención | 1 | \$30.000 | \$30.000 |
| 9 | Selector de medidas | Selector de muletilla de dos posiciones | 1 | \$30.000 | \$30.000 |
| 10 | Breaker principal | 3X40 A 240V 60Hz. Tensión aislamiento 600V | 1 | \$350.000 | \$350.000 |
| 11 | Toma alimentación | Toma industrial 4x32A 600VAC | 1 | \$50.000 | \$50.000 |
| 12 | Puertos de comunicación | Comunicación de datos USB, RS-232 y Cable de red (descarga registro de | USB, 1 RS-232, 1 RED, 1 | \$23.000 \$20.000 \$30.000 | \$73.000 |

| | | | | | |
|--|--|---------------|--|--|--|
| | | datos) | | | |
|--|--|---------------|--|--|--|

53

| | | | | | |
|--------------|---|---|--|------------------|--------------------|
| 14 | Rosetas | Conexión balastos electrónicos. Material plástico | 3 | \$3.000 | \$9.000 |
| 15 | Base del banco | Mármol | 1 | \$700.000 | \$700.000 |
| 16 | Carcaza tablero | Aluminio Galvanizado | 1 | \$800.000 | \$800.000 |
| 17 | Indicadores encendido, apagado y falla | Encendido verde, apagado rojo, falla rojo con alarma. 22 mm 220V | VERDE, 1 ROJO, 1 ROJO ALARMA, 1 | \$15.000 | \$45.000 |
| 18 | VARIAC | Trifásico | 1 | \$894.000 | \$894.000 |
| TOTAL | | | | | \$4.197.000 |

Tabla 2. Evaluación cuantitativa de la alternativa seleccionada. (DISEÑO HÍBRIDO)

4. IDENTIFICACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE PRÁCTICAS A IMPLEMENTAR

4.1 INTRODUCCIÓN

Mediante las prácticas se pretende que el estudiante vaya adquiriendo conocimientos y habilidades que le permitan tener un mejor nivel de aprendizaje y entendimiento de las causas y consecuencias que pueden derivarse de la aparición de perturbaciones en la red para luego poder acceder a desarrollar problemas y análisis que contengan mayor complejidad y dificultad.

Es indispensable que los estudiantes tengan en cuenta que la realización de una práctica comprende aspectos elementales como la preparación previa a ella en donde deben adquirir y reforzar los fundamentos relacionados con el tema para así realizar de manera adecuada cada práctica y posteriormente adquirir conocimientos y profundizar en ideas que les ayuden a extraer conclusiones pertinentes y con fundamentos claros.

La preparación previa a la práctica se desarrolla fundamentalmente sobre la base del estudio teórico orientado por el profesor, como fundamento de la práctica, así como el estudio de las técnicas de los experimentos correspondientes.

El desarrollo se caracteriza por el trabajo de los estudiantes con el material de laboratorio, la reproducción de los fenómenos deseados, el reconocimiento de los índices característicos de su desarrollo y la anotación de las observaciones.

4.2 ESTRUCTURA TÍPICA DE UNA PRÁCTICA

La estructura típica de una práctica tiene como principal fundamento buscar la solución de un problema u observar el comportamiento de las perturbaciones, identificarlas y entender las causas y consecuencias de cada una de ellas.

Lo más importante es proporcionar al estudiante los pasos fundamentales para el manejo del tablero, que el estudiante realice diversas operaciones para llegar a entender, argumentar y concluir sobre lo que observa como resultados en el tablero correspondiente a simulaciones y medidas propias que él realice.

La estructura de una práctica típica contiene un objetivo a alcanzar, algunas recomendaciones teóricas para consulta antes de realización de la práctica, junto con el procedimiento de la tarea a desarrollar en el tablero. Este procedimiento indica al estudiante qué debe hacer más no explícitamente muestra conexiones ya que es el usuario quien debe estar en capacidad de determinar el manejo del tablero en cuanto a conexiones se refiere mediante su observación y conocimiento de asignaturas previas de ingeniería eléctrica.[5]

Posterior a la práctica se debe realizar un informe como complemento a la práctica donde se muestren datos de medida y gráficas de comportamiento, determinando las conclusiones más importantes encontradas y los análisis que pueden hacerse luego del desarrollo del laboratorio.

4.3 LISTADO DE PRÁCTICAS

Se propone el siguiente listado de prácticas a desarrollar:

1. Interrupciones de corta duración: Apreciación curvas de inmunidad (ITIC) **(Ver ANEXO A)**
2. Armónicos y filtros **(Ver ANEXO B)**
3. Armónicos: Adquisición de datos **(Ver ANEXO C)**
4. Swells **(Ver ANEXO D)**
5. Algoritmo RMS y clasificación de Sag**(Ver ANEXO E)**
6. Armónicos y Resonancia **(Ver ANEXO F)**

Estas prácticas se pueden efectuar simultáneamente, lo que permitiría simular ambientes hostiles a diversas cargas, siendo así muy útil para observar los grados de protección y afectación de estos efectos en las cargas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En primer lugar es importante resaltar el cumplimiento del objetivo del desarrollo de este trabajo de grado, desarrollar el diseño conceptual de un tablero didáctico que permita observar perturbaciones que afectan la calidad de potencia eléctrica y además desarrollar habilidades que permitan al estudiante diseñar diferentes maneras de desarrollar prácticas y evidenciar características y comportamientos de cada una de ellas.
- El tiempo establecido, por la normativa, en la definición de las perturbaciones es la característica más compleja de reproducir, debido a lo anterior es recomendable usar un sistema computarizado o embebido que pueda efectuar y realizar la conmutación en los tiempos establecidos.
- En la construcción del tablero se recomendaría crear una sola unidad para que todos los elementos estén presentes en un mismo equipo y no sea modular para así evitar el exceso de conexiónado.
- El desarrollo de este trabajo de grado permite al estudiante adquirir y fortalecer bases sobre el tema, que servirán posteriormente en el planteamiento de soluciones y en el análisis de problemas relacionados con las perturbaciones que afectan la calidad de la potencia eléctrica.
- El costo de una posterior construcción del tablero evidenciado en la tabla 2 página 51, muestra un promedio económico teniendo en cuenta la

diversidad de materiales que existen los cuales pueden ser seleccionados a criterio del constructor.

58

- Los estudiantes construyan el tablero deben tener la capacidad teórica que este diseño requiere debido a que la calidad de potencia está inmersa en todas las ramas de la ingeniería eléctrica y por ende es recomendable que estudiantes hagan uso de este diseño posteriormente hayan cursado al menos en un 505 el plan de estudios.
- Es de gran importancia dar capacitación al personal de mantenimiento sobre las normas mínimas de seguridad que se deben tener en cuenta para la manipulación de los equipos eléctricos del tablero, así como su adecuado y mantenimiento periódico para evitar inconvenientes a largo plazo con su funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]<http://es.scribd.com/doc/15283024/Manual-de-Calidad-de-Potencia-Elctrica-en-Redes-de-Distribucion>
- [2] Torres, H. Acero G. Villamil J., Saucedo J., Quintana C., “Calidad de la Energía Eléctrica– CEL”, ACIEM, Colombia 2001.
- [3] Sánchez Cortés., Miguel Ángel," Calidad de la Energía Eléctrica", Instituto Tecnológico de Puebla, Departamento de Ingeniería eléctrica y Electrónica, 24 de enero de 2009.
- [4]IEEE Std. 1159-2005, Draft 4, “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”.
- [5]G. P. Chistoforidis, and A. P. SakisMeliopoulos, "Parameters Affecting the Harmonic Distortion in a Converter Substation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, October 1991.
- [6][http://ininin.com.mx/servicios/capacitacion/cursos-y temarios/introduccion-al-analisis-armonico-de-redes-e-instalaciones electricas/](http://ininin.com.mx/servicios/capacitacion/cursos-y-temarios/introduccion-al-analisis-armonico-de-redes-e-instalaciones-electricas/)
- [7]<http://ewh.ieee.org/sb/colombia/uis/eventos/past/files/jti02.pdf>
- [8]<http://www.leonardo-energy.org/espanol/01/webinar-factor-de-potencia-y-potencia-reactiva-en-condiciones-armonicas>
- [8]<http://es.scribd.com/doc/15283024/Manual-de-Calidad-de-Potencia-Elctrica-en-Redes-de-Distribucion>

ANEXOS

ANEXO A. PRÁCTICA N°1.Interrupciones: Apreciación de curvas de inmunidad (ITIC)

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Práctica #1

Interrupciones Corta duración: Apreciación de curvas de inmunidad (ITIC)

Introducción

CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers Association) la curva de aceptabilidad de perturbaciones eléctricas más usada en el mundo. Fue desarrollado por la Asociación Empresarial de Fabricantes de Equipos de Computadores en la década de 1970, como una guía para los miembros de la organización en el diseño de sus fuentes de alimentación. Los procedimientos detallados para probar los equipos informáticos frente a su inmunidad a las perturbaciones se presentan en diversas normas, como en la IEC 61000-4-11, IEEE 446-1995, IEEE 1100-1999, SEMI F47-0200, SEMI F42-0600 e ITIC (CBEMA). (Sags, Swell, Interrupciones de corta duración).

Objetivos

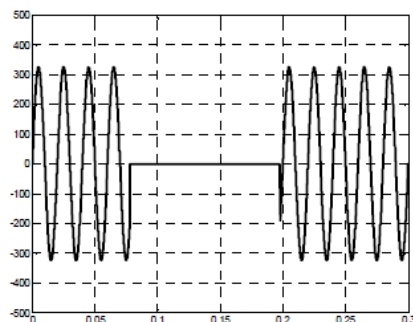
- Generar eventos (Sags, Swell, Interrupciones de corta duración) y confrontarlos con la curva ITIC en cuanto a magnitud y duración.
- Desarrollar un método de comprobación de tolerancias en equipos electrónicos.
- Adquirir datos para futura evaluación y comprensión.

Problema. Las interrupciones son un tipo de perturbación eléctrica. Es el más sencillo de los problemas presentes en un sistema eléctrico. En 1970 cuando surgió el auge de los computadores y componentes electrónicos, se evidenciaron que estos problemas producían errores en equipos de cómputo o de toma de decisiones, por tanto se crearon unas curvas las cuales, dependiendo de la categoría del equipo, éstos deberían ser capaces de soportar.

Para el desarrollo de la práctica es necesario conocer la curva y sus características, poseer conocimientos previos en electrónica de potencia, automatismos y señales. El estudiante debe ser capaz de consolidar todos aquellos conocimientos adquiridos en diferentes espacios académicos y diseñar una práctica en donde se puedan comprobar los parámetros de un evento con las características de la tabla

Descripción

Se debe desarrollar un conexionado que permita generar las perturbaciones planteadas y cuantificar su duración y magnitud para posteriormente contrastar los datos obtenidos con la curva ITIC.



Bibliografía

1. <http://www.ecamec.com/newsletter/bajarnotaa0610.pdf>

ANEXO B. PRÁCTICA N°2. Armónicos: Adquisición de datos

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Práctica #2
Armónicos: Adquisición de datos

Introducción

En sistemas eléctricos de corriente alterna los armónicos son corrientes y tensiones con frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud depende del tipo de carga conectada. Los armónicos se clasifican por tres parámetros (Orden, amplitud y secuencia) que definen perfectamente la función del armónico correspondiente en las redes eléctricas.

Orden de los armónicos

Partiendo de que la frecuencia fundamental en Colombia es de 60 Hz, el número de orden determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7... orden natural de los números. También se define como la relación que hay entre la frecuencia del armónico (F_n) y la frecuencia fundamental (F_{60}).

$$n = \frac{F_n}{F_{60}}$$

La Frecuencia

Se define como el resultado de multiplicar el número del orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz), por ejemplo:

$$3^{\text{a}} \text{ armónico } 3 \times 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$$

$$5^{\text{a}} \text{ armónico } 5 \times 60 \text{ Hz} = 300 \text{ Hz}$$

$$7^{\text{a}} \text{ armónico } 7 \times 60 \text{ Hz} = 420 \text{ Hz}$$

Los armónicos de orden impar son los que se encuentran presentes en las redes eléctricas de la industria, edificios e instalaciones industriales, aeropuertos, etc. Los de orden par sólo aparecen cuando hay asimetría en la señal eléctrica de tensión.

Secuencia

La secuencia positiva o negativa de los armónicos no determinan un comportamiento concreto de los mismos en la redes eléctricas, son igual de perjudiciales unos que otros. En el caso concreto de los bancos de condensadores para la corrección del factor de potencia son más perjudiciales los de secuencia negativa, y fundamentalmente el 5º. Por el contrario, los de secuencia cero, al ser su frecuencia múltiplo de la fundamental, se desplazan por el neutro, haciendo que por él circule la misma o más intensidad que por las fases, con el consiguiente calentamiento del mismo.

| Orden | Frecuencia (Hz) | Secuencia |
|-------|-----------------|-----------|
|-------|-----------------|-----------|

| | | |
|---|-----|---|
| 1 | 60 | + |
| 2 | 120 | - |
| 3 | 180 | 0 |
| 4 | 240 | + |

67

| | | |
|---|-----|---|
| 5 | 300 | - |
| 6 | 360 | 0 |
| 7 | 420 | + |

Objetivos

- Evidenciar la presencia de las componentes de los armónicos presentes en una red eléctrica.
- Crear algún método que permita establecer orden y magnitud en los armónicos.
- Adquirir datos con los diferentes equipos suministrados para su posterior uso y manipulación.

Problema

En los diferentes tipos de instalaciones eléctricas se presentan problemas relacionados con la electrónica de potencia. Su uso constante y auge provocan armónicos. Estos problemas van desde calentamiento excesivo de conductores hasta la parada intempestiva de equipos, por tanto es necesario cuantificar y clasificar en sus diferentes aspectos además de entender sus efectos.

Descripción

El estudiante debe diseñar y montar un circuito eléctrico donde se evidencie la presencia de armónicos. Además de ello debe implementar un método de adquisición de señales, ajustándose a los parámetros antes mencionados.

68

Posteriormente el estudiante debe ser capaz de diseñar una metodología que permita establecer características del armónico (Orden, secuencia, amplitud) identificando cada uno y caracterizando como afectan a el sistema eléctrico. La práctica exige conocimientos previos de algunos otros espacios académicos sin embargo en la bibliografía se encontrarán enlaces de ayuda que podrán facilitar su aprendizaje.

Bibliografía

1. <http://srbuenaf.webs.ull.es/potencia/material/Apendice2.pdf>
2. http://www.calidaddeenergiaelectrica.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=49
3. <http://www.mathworks.com/help/matlab/math/fast-fourier-transform-fft.html>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=dM1y6ZfQkDU>

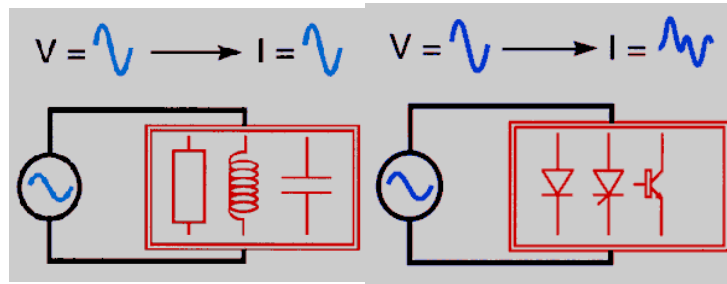
ANEXO C. PRÁCTICA N°3. Armónicos y filtros

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Práctica #3
Armónicos y Filtros

Introducción

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales que, a pesar de ser alimentadas con una tensión senoidal, absorben una intensidad no senoidal. Para simplificar, se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red.

Las cargas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. Otro tipo de cargas tales como reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos. El resto de cargas tienen un comportamiento lineal y no generan armónicos: inductancias, resistencias y condensadores.



71

Filtro pasivo

Un filtro eléctrico es un cuadripolo capaz de atenuar determinadas frecuencias del espectro de la señal de entrada y permitir un paso de las demás. Un filtro eléctrico se utiliza para eliminar una componente frecuencial de una señal a partir de una determinada frecuencia. A esta frecuencia se le denomina *frecuencia de corte* del filtro si es un filtro paso bajo o paso alto, o bien frecuencia media, para el caso de filtros pasa banda y rechaza banda. En ocasiones, también se dice que el filtro a esa frecuencia entra en resonancia o que corresponde con la frecuencia de resonancia del filtro.

Objetivos

- Observar la distorsión armónica generada por un variador de velocidad.
- Utilizar equipos con los que se cuenta en el laboratorio (filtros con ramas 5 y 7 armónico) para el filtrado de armónicos que permita corregir el efecto de la perturbación.

Problema

Los convertidores de potencia eléctrica son las mayores cargas no lineales y son usados para gran variedad de propósitos, tales como: fuentes de alimentación, variadores de velocidad, y de igual manera empleados para el funcionamiento de las bombillas ahorradoras; etc. En los sistemas de distribución se utiliza comúnmente la compensación de potencia reactiva con capacitores para mejorar el factor de potencia, y existe la probabilidad de la ocurrencia de resonancia con los armónicos que las cargas no lineales introducen al sistema eléctrico. Esto produce una gran distorsión de la forma de onda de la tensión y de la corriente.

Descripción

Los variadores de velocidad en motores eléctricos son cargas comunes usadas en las grandes industrias. Esta clase de equipos generan perturbaciones en la red eléctrica. El estudiante debe hacer uso de sus conocimientos de diferentes espacios académicos e implementar, con equipos ya existentes en el laboratorio, una práctica en donde se puedan observar estos efectos ya mencionados; Además se debe utilizar un equipo previamente diseñado para el filtrado de ciertas componentes en la señal. Posteriormente calcular y dimensionar uno propio.

Bibliografía

1. Signal Processing of Power Quality Disturbances, Bollen, Math H. / Gu, Irene, IEEE Press Series on Power Engineering.

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Práctica #4
SWELLS

Introducción

Las sobre tensiones, también llamadas Swells, son incrementos en más del 10% de la tensión RMS, a la frecuencia del sistema, por tiempos desde 0.5 ciclos hasta 1 minuto. Los valores típicos son de 1.1 hasta 1.8 p.u.

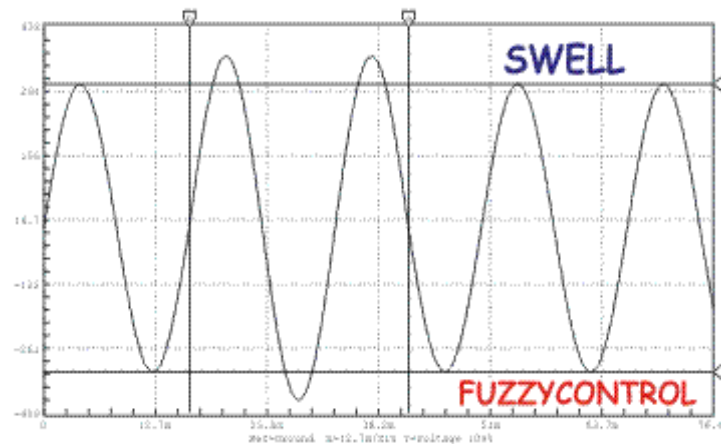
Los Swells pueden ser generados por una disminución súbita de la carga. La interrupción abrupta de la corriente puede generar un voltaje considerable, por la fórmula: $v = L \, di/dt$, donde L es la inductancia de la línea y di/dt es el cambio en el flujo de la corriente.

Energizar un gran banco de condensadores también puede causar un Swell, aunque es más frecuente que origine un transitorio tipo oscilatorio. La condición de

sobre voltaje puede causar el daño en los componentes de los equipos de la red de distribución, aunque el efecto puede ser acumulativo.

El incremento en el rendimiento de la iluminación incandescente puede ser perceptible si la duración del fenómeno es más larga de tres ciclos, así en general, el efecto de este fenómeno en los equipos está relacionado según la duración y magnitud (%) en el cual el voltaje excede la tensión nominal.

75



Objetivos

- Realizar, con diferentes dispositivos de protección contra sobretensiones, pruebas de su verdadera eficacia contra estos eventos.
- Diseñar un circuito, basado en electrónica de potencia, que sea capaz de controlar los efectos de este tipo de perturbación.

Problema

Los efectos de un Swell frecuentemente son más destructivos que los de un Sag. Un swell es el opuesto de un sag; es decir, un aumento del voltaje por encima del 110% del valor nominal, con una duración superior a medio ciclo y hasta un minuto. Si bien es cierto que esta perturbación eléctrica ocurre con menos frecuencia en comparación con los sags, estos pueden causar mal funcionamiento y acelerar el desgaste. Los “Swell” pueden ser causados al desconectar grandes cargas o al energizar bancos de condensadores. La solución más viable es un estabilizador de voltaje.

Descripción

El estudiante debe diseñar un eléctrico generador de Swells, para luego cuantificar su magnitud y duración, además de ello debe ser capaz de identificar sus posibles consecuencias antes de implementar el circuito. Realizado el montaje debe ser capaz de construir un circuito electrónico que pueda contrarrestar los efectos nocivos de este tipo de perturbación. Se recomienda indagar previamente conceptos de electrónica de potencia y conectar cargas de bajo costo que puedan ser reemplazadas con facilidad.

Bibliografía

1. <http://www.fuzzycontrolsac.com/articulos/articulo1.htm>
2. <http://ingenieriainternacional.mx/ingenieria-internacional-e-informatica-2/%C2%BFsabias-que/calidad-de-energia/>
3. <http://www.electronica-electronics.com/info/VDR-Varistor-MOV.html>

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Práctica #5
Algoritmo RMS y clasificación de Sags

Introducción

Los sags son caídas de tensión que pueden tener origen en cortocircuitos o sobrecargas. Otra definición es que son variaciones de tensión que normalmente son causadas por condiciones de falla, energización de cargas que requieren altas corrientes de arranque o la pérdida intermitente de las conexiones en el cableado de potencia.

Entre las causas típicas de los Sags se encuentran:

- Energización y cambio de taps de grandes transformadores.
- Energización de cargas grandes.

- Corto circuitos.
- También se pueden generar por la demanda de electricidad de los clientes del sistema eléctrico, ya que al superar la demanda a la capacidad del sistema puede producirse este fenómeno.

79

El efecto más común asociado a los Sags es la parada de equipos. En muchas industrias con cargas críticas, este tipo de perturbación de corta duración puede causar paradas del proceso que requieren horas para poder ser reiniciado.

La influencia del Sags va a depender de:

- El nivel de la caída de la tensión.
- La duración del hueco.
- La distancia donde se origina la perturbación.
- La sensibilidad del equipo a los huecos.

Objetivos

- Aprender a determinar valores RMS de ondas periódicas discretizadas, hacer uso de conceptos y herramientas vistos en el espacio de señales y sistemas.
- Aplicar conceptos de algoritmos y programación (MATLAB) para evaluar la duración, magnitud y clasificación del sag o los sags.

Problema

En instalaciones industriales son generalmente causados por la energización de cargas grandes. Esto también puede ocurrir en el sistema de alimentación, pero es más frecuente que las caídas momentáneas de tensión sean causadas por fallas en el sistema. Las caídas momentáneas más severas en un sistema distribución resultan de fallas en el mismo alimentador, en la subestación, o en el alimentador adyacente, y usualmente son fáciles de identificar.

Las caídas momentáneas de tensión que pueden causar impactos a los equipos son usualmente causadas por fallas en el sistema potencia. El arranque de motores también resulta en caídas momentáneas de tensión pero las magnitudes no son lo suficientemente severas como para causar mala operación.

80

Descripción

El estudiante debe crear un escenario donde ocurra un Sag, y por medio de un analizador de redes extraer los datos de las señales del mismo. Los datos obtenidos deben ser analizados por los estudiantes creando un algoritmo capaz de determinar duración y magnitud del Sag. El desarrollo de esta práctica se basará en espacios académicos anteriores como señales y sistemas, por tal motivo se recomienda el estudio previo de estas asignaturas.

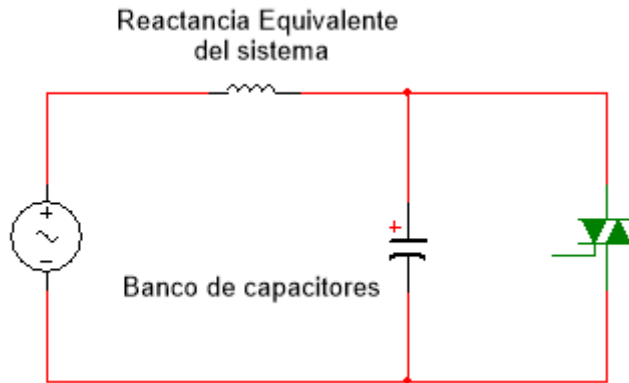
Bibliografía

1. <http://www.mathworks.com/help/signal/ref/rms.html>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=dM1y6ZfQkDU>

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Práctica #6
Armónicos y Resonancia

Introducción

El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales es la resonancia, tanto serie como paralelo. A medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye. Existirá entonces al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia.



Objetivos

- Evidenciar la presencia de armónicos en una red eléctrica.
- Comprobar los efectos nocivos en una red eléctrica generados por los armónicos, además de evidenciar como la resonancia puede agravar estos efectos.

83

Problema

En los diferentes tipos de instalación eléctrica se presentan problemas relacionados con la electrónica de potencia, su uso constante y auge provocan armónicos. Estos problemas pueden ser desde calentamiento excesivo de conductores hasta la parada intempestiva de equipos, por tanto es necesario cuantificar y clasificar en sus diferentes aspectos. La resonancia es un efecto que se presenta en un sistema eléctrico, si la carga inyecta una corriente armónica de una frecuencia igual o cercana a la frecuencia de resonancia paralelo del sistema, entonces las corrientes y voltajes experimentarán una amplificación puesto que la admitancia equivalente se acerca a cero.

Descripción

El estudiante debe diseñar y montar un circuito eléctrico donde se evidencie la presencia de armónicos y donde ocurran efectos de resonancia tanto en serie como en paralelo. En el montaje deben evidenciarse la problemática de resonancia, la cual podrá producir problemas de calentamiento inherentes a las corrientes armónicas (en cables, transformadores, interruptores), la operación de fusibles, y el daño de equipos. Es necesario estudiar y analizar el circuito a implementar debido a que puede provocar daños irreparables en equipos.

Bibliografía

1. <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonicas/07Efectarm.PDF>

