

ISBN: 978-99923-993-2-3

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SISTEMA DE
MONITOREO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

SEDES Y ESCUELAS PARTICIPANTES

SEDE CENTRAL

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DOCENTE INVESTIGADOR RESPONSABLE:

ING. JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO

DOCENTES INVESTIGADORES PARTICIPANTES:

ING. RIGOBERTO ALFONSO MORALES HERNÁNDEZ

ISBN: 978-99923-993-2-3

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE SISTEMA DE
MONITOREO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

SEDES Y ESCUELAS PARTICIPANTES

SEDE CENTRAL

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DOCENTE INVESTIGADOR RESPONSABLE:

ING. JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO

DOCENTES INVESTIGADORES PARTICIPANTES:

ING. RIGOBERTO ALFONSO MORALES HERNÁNDEZ

Rectora

Licda. Elsy Escolar Santo Domingo
Vicerrector Académico
Ing. José Armando Oliva Muñoz
Vicerrectora Técnica Administrativa
Inga. Frineé Violeta Castillo de Zaldaña

Equipo Editorial

Lic. Ernesto Girón
Ing. Mario Wilfredo Montes
Ing. Jorge Agustín Alfaro
Licda. María Rosa de Benitez
Licda. Vilma Cornejo de Ayala

Dirección de Investigación y Proyección Social

Ing. Mario Wilfredo Montes
Ing. David Emmanuel Agreda
Lic. Ernesto José Andrade
Sra. Edith Cardoza

Autores

Ing. Juan José Cáceres Chiquillo
Ing. Rigoberto Alfonso Morales Hernández

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborado por el Sistema Bibliotecario ITCA – FEPADE

621.317

C34

Cáceres Chiquillo, Juan José

Diseño y construcción de prototipo de sistema de monitoreo de subestaciones eléctricas / Por Juan José Cáceres Chiquillo y Rigoberto Alfonso Morales Hernández. -- Santa Tecla, El Salvador: ITCA-EDITORES, 2012

26 p.: il. ; 28 cm.

ISBN: 978-99923-993-2-3

1. Tecnología eléctrica. 2. Generación de energía eléctrica. I. Morales Hernández, Rigoberto Alfonso. II. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE. III. Título.

El Documento **Diseño y construcción de prototipo de sistema de monitoreo de subestaciones eléctricas**, es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE. Este informe de investigación ha sido concebido para difundirlo entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. El contenido de la investigación puede ser reproducida parcial o totalmente, previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE o del autor. Para referirse al contenido, debe citar la fuente de información. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores.

Sitio web: www.itca.edu.sv

Correo electrónico: biblioteca@itca.edu.sv

Tiraje: 16 ejemplares

PBX: (503) 2132 – 7400

FAX: (503) 2132 – 7423

ISBN: 978-99923-993-2-3

Año 2012

I. ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO

I.	ÍNDICE.....	3
1.	Introducción	4
2.	Planteamiento del Problema.....	4
2.1.	Definición del Problema	4
2.2.	Justificación	4
3.	Objetivos:.....	7
3.1.	Objetivo General:	7
3.2.	Objetivos Específicos:.....	7
4.	Hipótesis	7
5.	Antecedentes	7
6.	Marco Teórico	9
7.	Metodología de Investigación	14
8.	Resultados.....	14
9.	Conclusiones	15
10.	Recomendaciones	15
11.	Glosario	16
12.	Referencias Bibliográficas	20

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Monitoreo de Subestaciones Eléctricas Trifásicas, es un proyecto creado con el fin de determinar *rápidamente* las causas de una falla en una subestación eléctrica. Realiza mediciones de voltaje y corriente de cada fase haciendo un análisis de las mismas para obtener gráficas de voltaje, corriente, valores de potencia activa, factor de potencia y distorsión armónica. Estos cálculos se realizan dentro de una computadora donde se ejecuta un programa elaborado en LabVIEW. Las señales de voltaje y corriente llegan a la computadora a través de una serie de circuitos y una tarjeta adquirenta de datos.

El sistema se mantiene monitoreando los valores de voltaje, corriente y frecuencia; si uno de ellos sale de cierto margen se almacenan los datos monitoreados, además de la fecha, hora y potencia activa. Si se presenta una falla, los valores monitoreados saldrán de los márgenes de operación, originando el almacenamiento de datos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El ITCA sede central como centro educativo y usuario de la red eléctrica nacional carece de un sistema de monitoreo para la red de subestaciones de alimentación eléctrica, con el cual se podría ubicar de forma rápida la falla en la subestación eléctrica.

Aunque la frecuencia de las fallas críticas en las subestaciones es baja, los costos asociados a la ausencia del servicio son altos, ya que se debe recalendarizar actividades en nuevos horarios para los alumnos de las carreras técnicas, los participantes de los cursos del área continua, y los clientes de restaurante y cafetería, incrementando con ello el costo de la hora de los instructores, uso de personal de logística, notificaciones a los involucrados, etc.

Además de lo anterior es de hacer notar que si se utiliza la planta de emergencia para proveer del servicio de energía eléctrica, el precio del combustible incrementa considerablemente el monto total de los costos de operación. Es por ello que detectar y corregir una falla en la red de distribución de energía eléctrica, debe ser lo más eficaz y eficiente posible.

Algunos de los problemas derivados en una falla crítica de la subestación son los siguientes:

- Suspensión del servicio en el Mesón de Goya, al fallar la red de subestaciones se debe utilizar la planta eléctrica, por lo que los costos reales de los eventos se incrementan, es importante expresar que el mesón de Goya, adquiere los compromisos con anticipación muy difíciles de posponer como: Bodas, cumpleaños, reuniones, etc.
- Repetir y recalendarizar actividades con los alumnos del área técnica y continua, esto produce costos indirectos así como una mala imagen institucional.
- Debido al alto precio de los hidrocarburos, el costo de operación de la planta eléctrica del ITCA para proveer el servicio mientras se detecta la falla es muy elevado.
- Atrasos en librería en la reproducción de materiales como guiones de clases, guías de laboratorio, exámenes, etc.
- Suspensión de la alimentación de los cuartos refrigerados, etc.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Al proveer al ITCA sede central de un sistema de monitoreo en línea para la red de subestaciones de distribución eléctrica, la ubicación de las fallas que ocurran en la red tomará

menos tiempo, además dará la posibilidad de anticipar algunas fallas provocadas por “falsos contactos”.

A continuación se listan algunos elementos que favorecen el desarrollo del proyecto de investigación para proveer el monitoreo en línea del voltaje y corriente de los transformadores de la red de subestaciones de distribución eléctrica.

- Reducir el excesivo tiempo de diagnóstico al ubicar una falla en la red de subestaciones de distribución eléctrica.
- Anticipar condiciones “fuera de operación” de las subestaciones.
- Reducir el costo que involucra el uso de la planta de emergencia.
- Eliminar variables externas a la hora de diagnosticar la falla.
- Reducir los daños en la imagen institucional.
- Reducir la pérdida monetaria que involucra la recalendarización de actividades con alumnos tanto de área técnica como educación continua.
- Mejorar el proceso de monitoreo de los parámetros eléctricos de los transformadores de las subestaciones.
- Observar condiciones de variación de la carga de las subestaciones eléctricas.
- Adquisición de Software que está incluido en la currícula de estudios 2007.

Debido al desarrollo de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) en los contenidos de educación superior y en la vida cotidiana, se ha sugerido el desarrollo del prototipo de monitoreo en línea, utilizando tecnologías actualizadas para la adquisición y acomodación de señales, conversión y transmisión de datos, almacenamiento y visualización de información. Parte de estas tecnologías, sobre todo el software, podrá estar disponible en las computadoras del departamento de eléctrica y electrónica, tanto de laboratorios como de personal docente. Es decir que aparte del personal de mantenimiento del ITCA, se verán beneficiados y enriquecidos los estudiantes, docentes e instructores de las carreras: Ingeniería Eléctrica, Electrónica Industrial, Comunicaciones Electrónicas, Sistemas y Redes, y Mantenimiento de Computadoras; ya que el proyecto efectuará procesos como: la medición de parámetros eléctricos en la subestación, uso de redes basadas en Ethernet para comunicarse, generará una interfaz de usuario y realizará una publicación Web de la misma, a la vez que creará una base de datos con las variables medidas.

Un punto importante del desarrollo de este proyecto es el de fortalecer las competencias de los docentes del departamento de eléctrica y electrónica, tanto investigadores como docentes no investigadores del proyecto, ya que la disponibilidad del software LabView de National Instruments como herramienta de diferentes aplicaciones como: monitorear, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales, además de otras prestaciones, como la conectividad con otros programas, por ejemplo de cálculo, como MatLAB lo convierten en un instrumento muy valioso. Además LabView es un sistema abierto, en cuanto a que cualquier fabricante de tarjetas de adquisición de datos o instrumentos en general puede proporcionar el controlador de su producto en forma de VI dentro del entorno de LabVIEW. También es posible programar módulos para LabVIEW en lenguajes como C y C++, estos módulos son conocidos como sub.-VIs y no se difieren a los VI creados con LabVIEW salvo por el interfaz del lenguaje en el que han sido programados.

Por todo lo anterior este software se convierte en una herramienta que permitirá a los docentes explorar nuevas formas de desarrollar procesos, enriqueciendo así sus conocimientos, que se traducirán en una mejor calidad de enseñanza en el futuro. Para este proyecto se explotarán las virtudes de monitoreo y control de procesos que posee LabView.

Al desarrollar el prototipo del sistema de monitoreo en línea de una subestación eléctrica, permitirá fortalecer las tareas de mantenimiento de las subestaciones y suplir la falta del monitoreo en línea, además de enriquecer los conocimientos tecnológicos en las siguientes áreas:

- Análisis y descripción de fallas en subestaciones.
- La adquisición y acondicionamiento de señales analógicas y digitales.
- Transmisión de datos.
- Implementar un sistema SCADA desarrollado en ITCA.
- Gestión de datos en la Intranet.

3. OBJETIVOS:

3.1. OBJETIVO GENERAL:

- Desarrollar e instalar el prototipo de un sistema de monitoreo en línea para la red de subestaciones del ITCA sede central, que posibilite detectar las fallas eléctricas de forma instantánea utilizando la computadora.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Reducir el tiempo de diagnóstico, respuesta y ubicación de fallas en una subestación, producidas por anomalías en los transformadores.
- Medir los voltajes, corrientes de línea y potencia en los devanados secundarios de los transformadores.
- Medir el factor de potencia y la distorsión armónica de la subestación.
- Desarrollar un equipo que permita transmitir el valor de los voltajes y corrientes.
- Crear una interfaz de usuario para la presentación de los datos medidos.
- Definir e implementar alarmas para el monitoreo del voltaje y las corrientes de línea.
- Fortalecer el monitoreo convencional para las tareas de mantenimiento preventivo.

4. HIPÓTESIS

El proyecto de investigación para el monitoreo de los voltajes y corrientes de la red de subestaciones del ITCA sede central, involucra el desarrollo de un sistema que contiene tanto hardware (Tarjetas, circuitos) y software (aplicación SCADA, base de datos). Tomando estas herramientas se plantea la creación de un sistema capaz no solo de medir las variables recién mencionadas, sino analizarlas y calcular otros parámetros; que aunque son muy complejos de obtener, resultan de gran utilidad en el concepto de medición de la “Calidad de la Energía”.

5. ANTECEDENTES

Existen en el mercado, aparatos y sistemas que realizan funciones similares, presentando las mediciones de voltaje y corriente, el factor de potencia, la potencia activa, reactiva y energía consumida; son capaces de presentar gráficos, generar reportes de datos, avisar vía mensaje de texto a un celular o correo electrónico.

El sistema planteado en este documento es capaz de realizar gran parte de las funciones mencionadas y posee la ventaja de observar estas mediciones y gráficas de las ondas de voltaje y corriente en tiempo real, es decir sin la necesidad de descargar la información en una computadora, además, el Sistema de Monitoreo de Subestación Eléctrica, pone a disposición mundial las mediciones y gráficas, levantando un servidor Web, y generando una página de Internet con esta información.

En la mayoría de casos en nuestro país, se realiza en las subestaciones un mantenimiento preventivo convencional, es decir un monitoreo presencial de las condiciones de operación y del estado de las protecciones de los transformadores, utilizando para ello instrumentos analógicos o digitales.

Uno de los inconvenientes que presenta este monitoreo es la necesidad de desplazarse hasta cada subestación y tomar las lecturas una a una. Siempre se ha utilizado este procedimiento; sin embargo, el problema es evidente cuando ocurre una falla activando las protecciones, en donde se debe revisar subestación por subestación y dentro de ella todas las variables que podrían ser causantes de la falla, generando entre otras cosas mayor demora en la detección y ubicación del

problema.

Un ejemplo de lo anterior fue la suspensión del servicio de la red de distribución eléctrica del ITCA sede central durante el mes de agosto del año 2005, en donde debido a una descarga eléctrica provocada por una fuerte tormenta, el servicio de toda la red fue suspendido por casi tres días, ya que no se podía ubicar la falla y en que subestación había ocurrido. Debido a factores humanos las pruebas de diagnóstico no permitieron encontrar con prontitud la ubicación de dicha falla, la cual consistió en el daño de uno de los transformadores de la última subestación. Para localizar el transformador dañado, se tuvo que revisar los transformadores de cada subestación.

En la actualidad con el advenimiento de nuevas tecnologías de comunicación y adquisición de datos, el monitoreo de procesos industriales es posible realizarlo en línea; es decir, en tiempo real desde un equipo que puede ser una computadora ó en un equipo receptor, en cualquiera de los casos los usuarios pueden monitorear de forma simultánea los parámetros obtenidos por los equipos en toda la línea de producción. Así de forma análoga, se pueda en la actualidad monitorear “en línea”, parámetros eléctricos de cada subestación.

La medición de parámetros eléctricos en transformadores y subestaciones en línea ha sido desarrollada por empresas privadas dedicadas a la automatización de procesos industriales y similares. El resultado de estas investigaciones es la disponibilidad de equipos que permiten capturar, registrar y enviar los parámetros medidos a sistemas de datos que permiten a los usuarios por medio de interfaces manipular la información proveniente de los transformadores de las subestaciones.

Obviamente el costo de implementación de esas tecnologías es elevado y en la mayoría de los casos son soluciones con protocolos propietarios, lo que garantiza para los fabricantes un “cliente cautivo” tanto para la modificación y actualización de las interfaces de usuario como para los dispositivos a emplear.

Ejemplo de empresas que han desarrollado tecnologías para el monitoreo de transformadores y subestaciones:

- Siemens con el producto Basic Power Meter, orientado a facturación y estadísticas de consumo
<http://www.sea.siemens.com/pds/product/ptaem.html>
<http://www.sea.siemens.com/pmt/docs/datasheet/9200pm.pdf>
- Electro Industries/GaugeTech con su producto Shark 100S, Monitoreo de variables eléctricas
<http://www.electroind.com/shark.html>
<http://www.electroind.com/pdf/sp/SP-100T-Man.pdf>
- Circutor con los productos CVM.
http://www.circutor.com/m_5_sp.htm

Es importante notar que no existe un registro detallado (por escrito) de las fechas y averías ocurridas en cada evento de falla eléctrica. Por lo tanto es imposible determinar algún tipo de estadística confiable en cuanto a los tipos y frecuencia de las fallas.

Con la implementación de este proyecto se logrará obtener un registro detallado y confiable de las fallas ocurridas, las cuales se podrán ordenar por cronológicamente o por el tipo de evento ocurrido.

6. MARCO TEÓRICO

El tema de las subestaciones eléctricas es muy amplio y engloba diversidad de configuraciones, su mantenimiento se vuelve complejo; debido a que a pesar de contar con un programa de mantenimiento preventivo; los problemas en una subestación suelen tener un origen “externo” a ella. En estos casos suelen efectuarse una serie de pruebas y mediciones encaminadas a detectar qué sucedió, qué componentes se dañaron y cuales no se encuentran visiblemente dañados pero que pudieran estarlo y presentar una falla posterior.



Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-1. Banco de transformadores en la subestación a monitorear

Es posible adelantar este trabajo de mantenimiento si se midiera constantemente las variables más importantes para la subestación; por ejemplo: Voltajes y corrientes, también se pueden medir las potencias de cada fase. Pero esta tarea implica designar a alguien encargado de efectuar estas mediciones, darle instrucciones precisas de que debe hacer y que datos son importantes registrar (para no terminar con páginas y páginas de datos irrelevantes), además, si se necesita un análisis de la calidad de la energía debemos contar con equipo más especializado y medir los ángulos de los voltajes y corrientes de cada fase, luego realizar todos los cálculos respectivos para obtener otras variables que indiquen el rendimiento de la subestación, el consumo de las cargas y la calidad de la energía entregada.

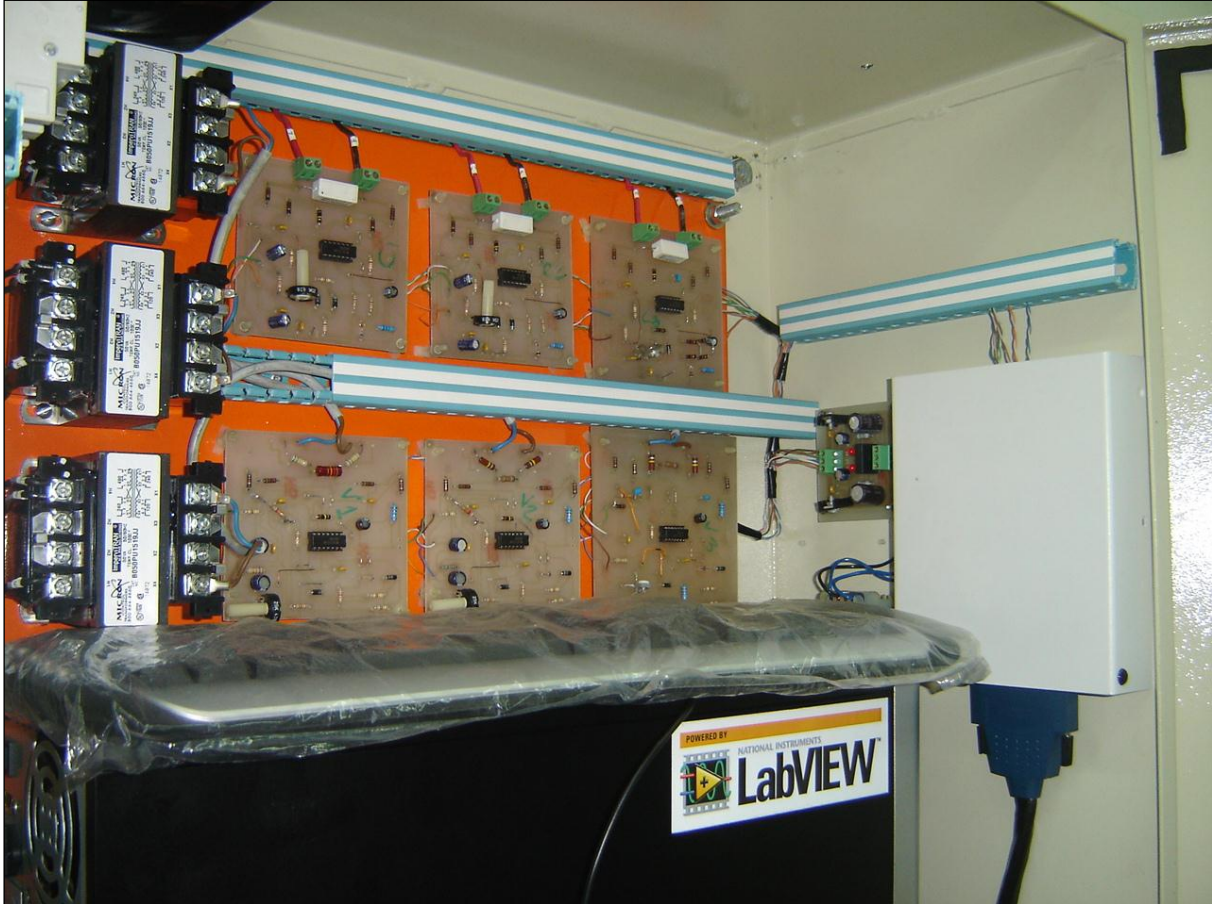


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-2. Tarjetas acondicionadores de señal en el tablero

Todo esto se simplifica con un Sistema de Monitoreo de una Subestación Eléctrica, el cuál ha sido implementado en la Subestación #3 del Instituto Tecnológico Centroamericano, lugar en donde se diseño el sistema. La subestación #3 se alimenta de 23 KV, y proporciona voltajes de 480 V con una salida tipo delta.

El “Sistema de Monitoreo de una Subestación Eléctrica” esta compuesto de un gabinete en el cual se alojan circuitos y una computadora para realizar un análisis de diversos parámetros de la subestación (ver fig. 2). Utiliza una serie de circuitos orientados a convertir los 480 Voltios de AC de cada fase a 4.8 Voltios AC, es decir una reducción de 100:1. Además de reducir las corrientes en un factor de 60:1. También se usa instrumentación virtual, una novedosa técnica de programación en la cual es posible desplegar imágenes en la PC que poseen la apariencia de un panel de control, ya sea de una máquina o un proceso.

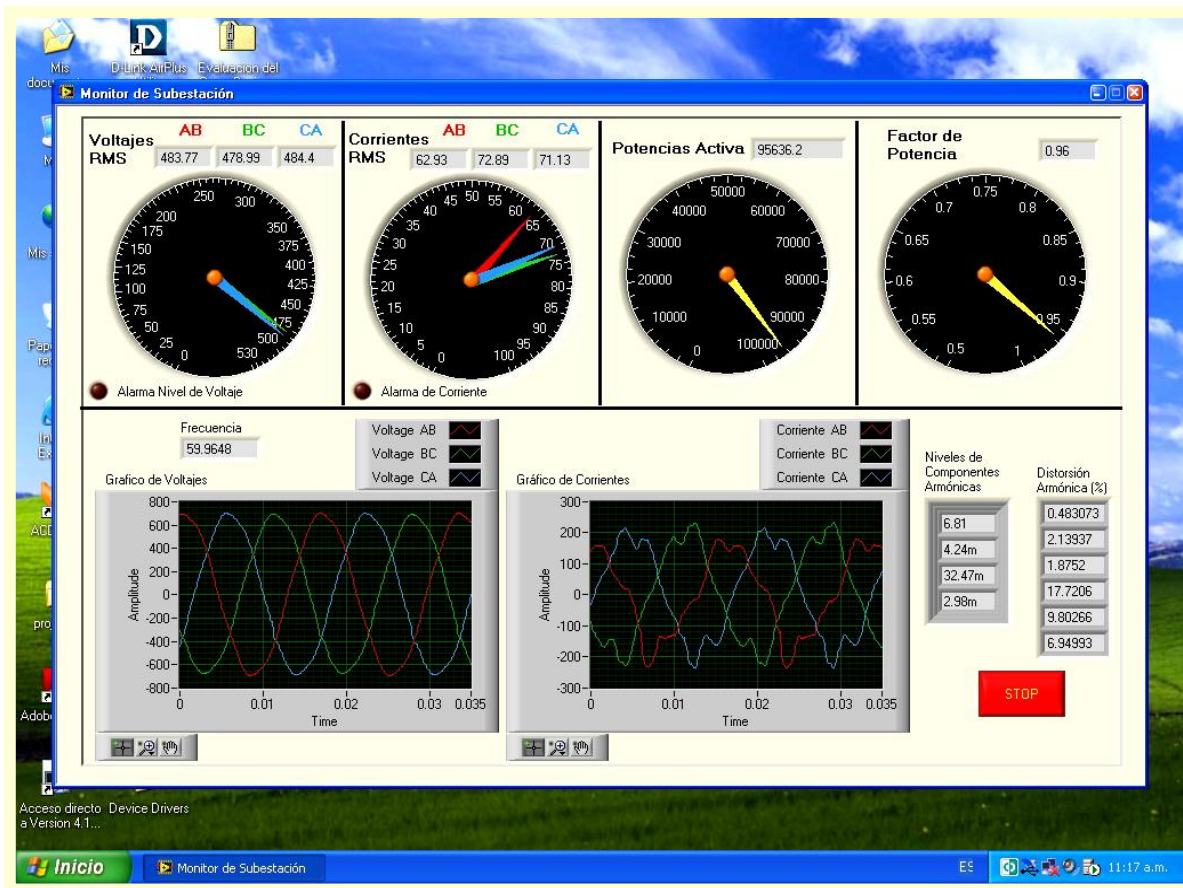


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3. Panel frontal del Sistema de Monitoreo de Subestaciones

La figura 3 muestra la apariencia del panel de control diseñado para monitorear la subestación. Mediante el software de instrumentación Virtual se permite monitorear variables tales como: voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, distorsión armónica, etc. así como observar las formas de onda trifásicas desplazadas 120 grados y la distorsión de la forma de onda de las corrientes debido al uso excesivo de cargas electrónicas, como las computadoras, monitores de PC e impresoras en los lugares a los cuales provee energía la subestación #3.

El instrumento virtual (figura. 3) creado en la computadora; censa las variables a través de una tarjeta de adquisición de datos para posteriormente ser analizadas y visualizadas en una computadora personal. El lenguaje de programación empleado para realizar estas tareas es LabVIEW, el cual proporciona una interfaz gráfica amigable que permite presentar en un monitor en tiempo real el estado de las magnitudes eléctricas monitoreadas así como almacenar aquellos datos que se alejen de un margen de +/- 10% para el voltaje, +/- 2% para la frecuencia y un rango de 10 A hasta 150 A para la corriente; estos datos se guardan en un archivo que puede ser analizado a fin de observar el comportamiento e historial de la subestación. Para mayor facilidad el archivo de datos resultante es compatible con Microsoft Excel, y se delimita como máximo a 1 MB de tamaño, superado este espacio se crea un nuevo archivo. (Ver tabla 1). La figura 4 muestra el programa o esquema gráfico del instrumento virtual.

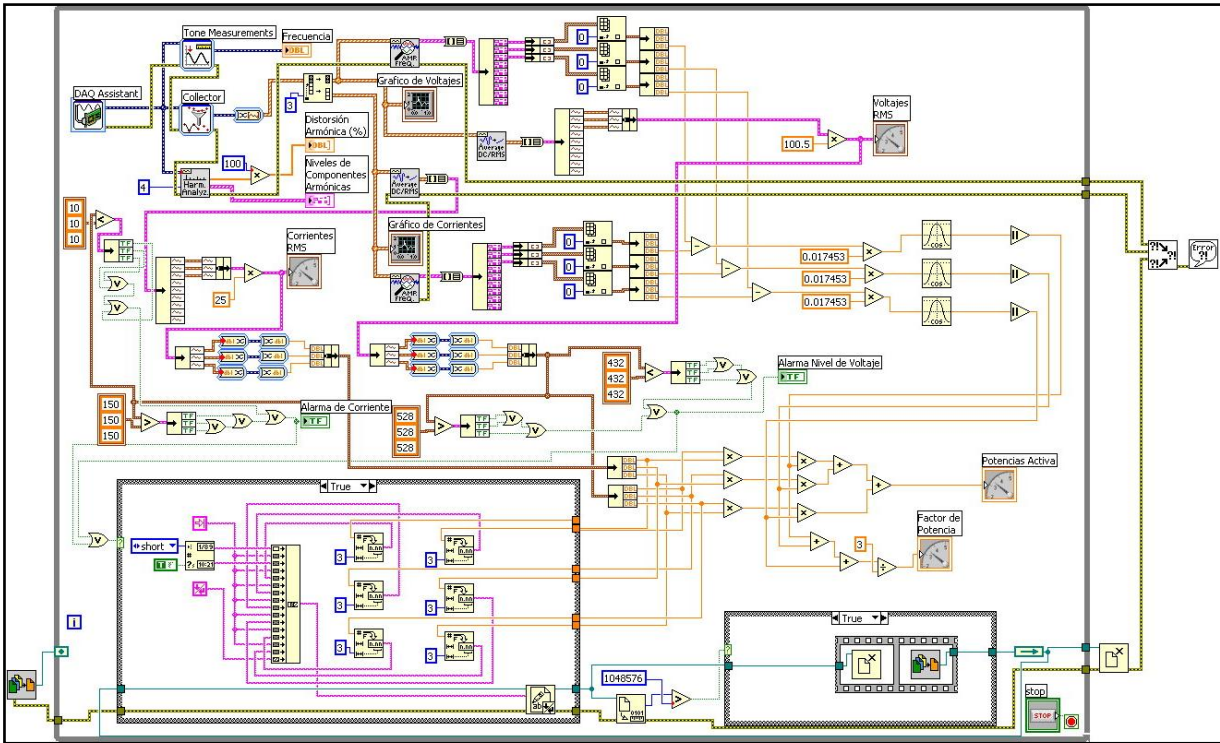


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-4. Programa del proyecto en lenguaje gráfico

El programa inicia recolectando las mediciones en la tarjeta de adquisición de datos, posteriormente este bloque de datos es descompuesto en dos módulos para ser enviados a graficación, uno de ellos son los tres voltajes leídos y el otro módulo son las tres corrientes leídas. Cada bloque es nuevamente descompuesto en todos sus componentes obteniéndose V_{AB} , V_{BC} , V_{CA} , I_{AB} , I_{BC} e I_{CA} . Las primeras tres lecturas corresponden a los voltajes y las últimas tres a las corrientes. Para todos los casos son voltajes y corrientes de fase, es importante recalcar que las mediciones se efectúan en los devanados secundarios de los transformadores, que se encuentran en conexión delta flotante (es decir sin conexión de tierra). Luego de descomponer las lecturas de datos, el programa les aplica un factor de acondicionamiento, debido a la reducción necesaria para poder leer los niveles de voltaje y corriente, es decir que para un voltaje de 480 Vac, los transformadores del tablero lo reducirán a 120 Vac, luego los circuitos de voltaje lo reducirán a 4.8 Vac. Éste último valor es el que la computadora lee y procesa dentro del programa, por lo que se multiplica por un factor de 100.5. Las 5 décimas adicionales a este factor se deben a correcciones debido a pérdidas en los transformadores y circuitos de voltaje, y se estableció mediante calibraciones con tres multímetros digitales. En el caso de las corrientes el tratamiento es similar, para una corriente de 90 A por ejemplo, los transformadores de corriente (situados entre las conexiones del banco de transformadores) reducen en una proporción de 300:5, así que para el ejemplo de 90 A los transformadores entregarán 1.5 A. Los circuitos de corriente se encargan de convertir estos 1.5 A en un nivel de voltaje de 3.6 Vac, luego en el programa se aplica un factor de acondicionamiento de 25, por lo que la lectura de 3.6 se representa como 90 A.

Por otra parte en un proceso paralelo luego de tener los dos módulos de datos, se extraen las componentes angulares de cada lectura (seis), se restan en forma correspondiente, el ángulo de V_{AB} menos el ángulo de I_{AB} y de forma similar con las restantes corrientes y voltajes, dando lugar a tres diferencias angulares, posteriormente cada una de ellas es multiplicada por el factor 0.017453, que resulta de dividir por 360 grados el factor de $2 * \pi$. En otras palabras este factor se encarga de convertir las diferencias angulares expresadas en grados a diferencias expresadas en radianes (ϕ), para que pueda ser calculado el coseno de cada una de ellas, luego se promedian los resultados

de los tres cálculos de coseno para obtener el factor de potencia de la subestación. En otro proceso paralelo, se han calculado los productos de multiplicar cada voltaje de fase con su corriente correspondiente (que también es de fase). Con estos productos se realiza la multiplicación de cada uno de ellos con el correspondiente coseno de la diferencia angular ($\cos \phi$), de tal forma que se calcula la potencia entregada por cada fase, posteriormente estos productos son sumados para conseguir el valor de potencia activa de la subestación en total.

Algunas secciones del programa se encargan de efectuar otras tareas secundarias, como verificar que los valores de voltaje y corriente se encuentren dentro de los márgenes establecidos, de no ser así, mostrar una indicación y propiciar la captura de datos en un archivo de hoja de cálculo. Otra sección se encarga de verificar el tamaño resultante de este archivo y si supera 1 MB de espacio se cerrará y se abrirá uno nuevo.

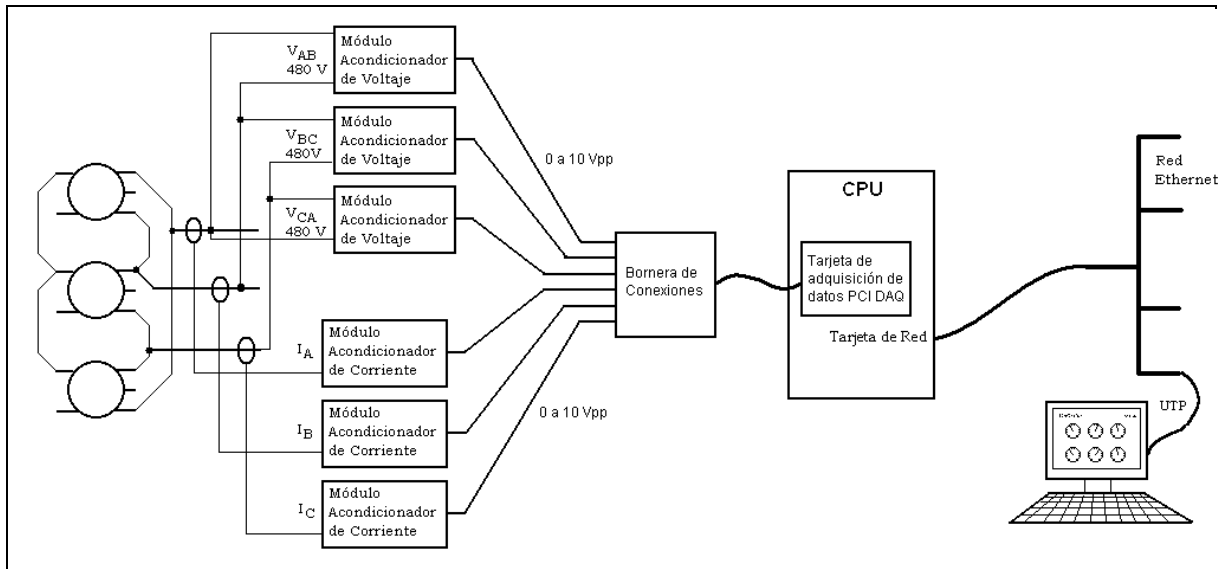


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-5. Esquema general del Sistema de Monitoreo de Subestaciones

Los circuitos de acondicionamiento están diseñados para: rechazar el ruido de interferencias de líneas de alto voltaje, ajustar la salida de los transformadores a voltajes pequeños y para calibrar los voltajes y corrientes reales con valores mostrados en los medidores virtuales del panel de control mostrado por la computadora.

Los datos tomados de la subestación y analizados en la computadora son puestos a disposición gracias a un servicio Web en la misma computadora que posibilita visualizar el monitoreo de la subestación desde cualquier computadora con acceso a Internet.

Es importante aclarar que basta realizar unos pocos cambios al programa para poder medir una subestación trifásica en conexión estrella.

7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del proyecto de investigación, se trabajó en tres grandes actividades, las cuales se detallan:

1. **Fase de Acondicionamiento de Señal**, en la cuál se realizaron los diseños, pruebas y desarrollo de las tarjetas de voltaje y corriente además de establecer la Interfaz de adquisición de datos a utilizar.
2. **Fase de Programación**, se diseñó y se realizaron las pruebas y el desarrollo de la Interfaz de usuario, la adquisición de datos en la PC, el análisis de los mismos, el levantamiento del sistema de base de datos, la publicación Web de la interfaz de usuario, etc.
3. **Fase de Depuración y Pruebas**, En esta etapa se pusieron a prueba se rediseñaron elementos de las dos fases anteriores, con el propósito de mejorar su rendimiento.

Se recurrió a la búsqueda en Internet y biblioteca de conceptos relacionados a la medición de parámetros en una subestación. También se realizaron discusiones técnicas con docentes especializados en el área de Potencia y Líneas de Distribución.

Se contó con el apoyo de algunos estudiantes del departamento en el sentido de colaborar en el levantamiento de una base de mediciones realizadas con instrumentos portátiles (multímetro), esta información se utilizó para establecer las tendencias habituales de consumo de la subestación, y derivó en los márgenes o límites normales de operación de la subestación.

8. RESULTADOS

En un período de dos meses, el sistema ha recolectado más de 5 millones de muestras, en cada una de las cuales se presenta alguna anomalía como el valor de voltaje o corriente, que supere determinados límites que son de +/- 10% para el voltaje y un rango de que va desde 10A hasta 150A para la corriente, los datos también pueden haber sido almacenados si la frecuencia de la red se sale del margen de 58.8 a 61.2 Hz.

Los datos que se almacenan son fecha y hora del incidente, voltaje y corriente de cada una de las fases, frecuencia y potencia activa de la subestación. Todos estos datos se almacenan en archivos de hoja de cálculo para Microsoft Excel, debido a esto es posible realizar una gráfica para estudiar el desarrollo y/o las tendencias de una o varias mediciones realizadas en la subestación.

En la tabla 1 se muestra un segmento de ejemplo de datos obtenido de uno de los archivos recolectados, se han marcado los datos a raíz de los cuáles el software tomo la decisión de almacenar la información:

Fecha	Hora	Voltaje AB (V)	Corriente AB (A)	Voltaje BC (V)	Corriente BC (A)	Voltaje CA (V)	Corriente CA (A)	Frec. (Hz)	Potencia (W)
14/11/2007	03:28:09	428.807	58.024	431.31	89.54	430.835	89.642	60	96160.02
14/11/2007	11:56:37	427.655	23.428	426.303	21.461	425.257	26.867	60	20187.99
14/11/2007	11:56:37	423.387	23.783	420.842	21.915	420.389	27.316	60	20140.95
15/11/2007	05:59:24	458.625	8.306	485.786	20.459	462.57	19.064	60	20066.88
15/11/2007	05:59:24	456.259	8.609	482.044	20.719	459.631	19.612	60	20051.63
16/11/2007	11:06:02	419.646	49.853	424.605	68.539	423.214	61.561	60	73211.5
17/11/2007	03:16:11	505.072	8.854	508.202	23.369	506.878	19.365	60	22640.29

17/11/2007	03:16:11	505	8.902	508.125	23.312	506.599	19.299	60	22729.61
17/11/2007	03:16:11	504.912	8.824	508.029	23.347	506.716	19.219	60	22440.09

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-1. Captura de datos en período de 3 días

9. CONCLUSIONES

- Los programas de instrumentación virtual basados en ambiente gráfico, permiten el monitoreo y control de una gran diversidad de aplicaciones de procesos.
- La capacidad del software utilizado es tan amplia que permite realizar tareas que de otra forma sería casi imposible realizar.
- El desarrollo de las redes en el ámbito de las comunicaciones hace posible la comunicación y monitoreo de esta aplicación, desde cualquier ubicación con acceso a Internet.
- El funcionamiento del sistema ha superado las expectativas dado que las ondas se muestran en tiempo real, mostrando variaciones y distorsiones.
- Los datos guardados muestran considerables variaciones, no evidentes en un monitoreo de rutina con instrumentos analógicos y digitales.
- El sistema puede utilizarse como una base de prueba ante una falla del suministro eléctrico y reclamar ante el proveedor del servicio.
- El sistema permite detectar cuál de las fases presenta una caída o elevación de voltaje y/o corriente

10. RECOMENDACIONES

- Mejorar el sistema de ventilación de la PC dentro del tablero, instalando un conducto que obligue la circulación desde el exterior directamente hacia el interior de la computadora y luego al resto del tablero.
- Incluir un monitor LCD empotrado en la puerta del tablero.

11. GLOSARIO

Amperio o ampere es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Forma parte de las unidades básicas en el Sistema Internacional de Unidades. El amperio es una corriente constante que, si es mantenido en dos conductores paralelos de largo infinito, circular y colocado a un metro de distancia en un vacío, produciría entre esos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de largo.

Calidad de la Energía es un poco indeterminada, pero aún así, se podría definir como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario; esto referido a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente, la calidad de la energía es el resultado de una atención continua; en años recientes esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales por sí solas, resultan ser una causa de la degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Conexión Delta La conexión en delta es una conexión muy usada debido a la carencia del neutro lo cual permite poner o quitar cargas en una sola fase. Consiste en interconectar los devanados de un transformador, motor o carga eléctrica de tal forma que la terminal número 1 de cada devanado se conecta al terminal número 2 del siguiente devanado.

Conexión Estrella Las corrientes trifásicas se generan mediante alternadores dotados de tres bobinas o grupos de bobinas, arrolladas sobre tres sistemas de piezas polares equidistantes entre sí. El retorno de cada uno de estos circuitos o fases se acopla en un punto, denominado neutro, donde la suma de las tres corrientes, si el sistema está equilibrado, es cero, con lo cual el transporte puede ser efectuado usando solamente tres cables. En forma práctica una conexión estrella muestra en forma independiente los terminales número 1 de diferentes devanados de un transformador, motor o carga, y agrupa en un solo punto los terminales número 2, a este punto se conecta también el neutro del sistema.

Distorsión armónica igual que en acústica, se produce cuando la señal de salida de un sistema no equivale a la señal que entró en él. Esta falta de linealidad afecta a la forma de la onda, porque un equipo ha introducido armónicos que no estaban en la señal de entrada. Puesto que son armónicos, es decir múltiplos de la señal de entrada, esta distorsión no es tan disonante y es más difícil de detectar. Los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo. En el caso de sistemas alimentados por la red de 60 Hz, pueden aparecer armónicos de 120, 180, 240, etc todos expresados en Hz. Los componentes armónicos se definen (según la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 60050)) como un componente de orden superior a 1 de la serie de Fourier de una cantidad periódica.

Factor de Potencia (f.d.p.) de un circuito de corriente alterna, se define como la relación entre la potencia activa P y la potencia aparente S , o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad (corriente) y el voltaje, designándose en este caso como $\cos\phi$, siendo ϕ el valor de dicho ángulo.

Hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por carbono e hidrógeno.

Consisten en un almacén de carbono al que se unen átomos de hidrógeno. Forman el esqueleto de la materia orgánica, son utilizados en los procesos de combustión.

Intranet es una red de ordenadores dentro de una red de área local (LAN) ya sea: privada, empresarial o educativa, que proporciona herramientas de Internet. Tiene como función principal proveer lógica de negocios para aplicaciones de captura, informes y consultas con el fin de facilitar la producción de dichos grupos de trabajo; es también un importante medio de difusión de información interna a nivel de grupo de trabajo.

LabVIEW de National Instruments proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos, ofreciendo una gran flexibilidad gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de las herramientas de desarrollo tradicionales. LabVIEW es una herramienta gráfica de test, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G. Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux y va por la versión 8.5 con soporte para Windows Vista. Los programas hechos con LabVIEW se llaman VI (Virtual Instrument), lo que da una idea de su uso en origen: el control de instrumentos. El lema de LabVIEW es: "La potencia está en el Software". Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Test, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a programadores no expertos. Esto no significa que la empresa haga únicamente software, sino que busca combinar este software con todo tipo de hardware, tanto propio (tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, y otro Hardware) como de terceras empresas.

MATLAB es la abreviatura de Matrix Laboratory (laboratorio de matrices). Es un programa de análisis numérico creado por The MathWorks en 1984. Está disponible para las plataformas Unix y Windows. Se pueden ampliar sus capacidades con Toolbox, algunas de ellas están destinadas al procesado digital de señal, adquisición de datos, economía, inteligencia artificial, lógica difusa, etc. También cuenta con otras herramientas como Simulink, que sirve para simular sistemas.

Monitoreo Es la acción de medir y obtener datos en forma programada de los parámetros que inciden o modifican un proceso, o de la emisión, o los efectos de conocer la variación de la concentración o nivel de este parámetro en el tiempo.

Potencia Activa Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se le designa con la letra P y se expresa en Watts.

Potencia Aparente La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma (vectorial) de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes que fluctuara entre estos componentes y la fuente de energía. Esta potencia no es la realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \phi=1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S y se mide en voltiamperios (VA).

Potencia Reactiva Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Por ello que se dice que es una potencia desvatada (no produce vatios), se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

Prototipo se refiere a cualquier tipo de máquina en pruebas, o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo. Permite probar el objeto antes de que entre en producción, detectar errores, deficiencias, etc. Cuando el prototipo está suficientemente perfeccionado en todos los sentidos requeridos y alcanza las metas para las que fue pensado, el objeto puede empezar a producirse.

Red Eléctrica esta formada por generadores eléctricos, transformadores, líneas de transmisión y líneas de distribución para llevar energía eléctrica a las cargas de los usuarios de la electricidad. Se usan diferentes tensiones para limitar la caída de tensión. Usualmente las más altas tensiones se usan en distancias más largas y mayores potencias. Este es el caso típico de las líneas de transmisión. Para utilizar la energía eléctrica las tensiones se reducen a medida que se acerca a las instalaciones del usuario. Para ello se usan los transformadores eléctricos.

SCADA acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos). Comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial (aunque no es absolutamente necesario que pertenezca a este ámbito), para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso.

Servidor Web es un programa que implementa el protocolo HTTP (hypertext transfer protocol). Este protocolo está diseñado para transferir lo que llamamos hipertextos, páginas web o páginas HTML (hypertext markup language): textos complejos con enlaces, figuras, formularios, botones y objetos incrustados como animaciones o reproductores de música.

Subestación Eléctrica es una interconexión de circuitos usada para la transformación del voltaje de la energía eléctrica. El componente principal de una Subestación Eléctrica es el transformador. Las subestaciones eléctricas elevadoras se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para elevar el voltaje de salida de sus generadores. En las cercanías de las poblaciones y los consumidores, se encuentran las subestaciones eléctricas reductoras para bajar el nivel de voltaje a niveles aptos para su utilización. La razón técnica para realizar esta operación es la conveniencia de realizar el transporte de energía eléctrica a larga distancia a voltajes elevados para reducir las pérdidas resistivas ($P = I^2R$), que dependen de la intensidad de corriente. Las líneas de la subestación eléctrica están protegidas por disyuntores y aparatos de maniobra como seccionadores.

Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), se encargan del estudio, desarrollo, implementación, almacenamiento y distribución de la información mediante la utilización de hardware y software como medio de sistema informático. Las tecnologías de la información y la comunicación son una parte de las tecnologías emergentes que habitualmente suelen identificarse con las siglas TIC y que hacen referencia a la utilización de medios informáticos para almacenar, procesar y difundir todo tipo de información o procesos de formación educativa.

Transformador máquina electromagnética que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión

en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño.

Vatio o Watt es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W. Es el equivalente a 1 julio por segundo (1 J/s) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, el vatio es la potencia producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 VA). La potencia eléctrica de los aparatos eléctricos se expresa en vatios, si son de poca potencia, pero si son de mediana o gran potencia se expresa en kilovatios (kW) que equivale a 1000 vatios. Un kW equivale a 1,35984 CV (Caballos de vapor).

Voltio se define como la diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente con una intensidad de un amperio utiliza un vatio de potencia. El voltio también puede ser definido como la diferencia de potencial existente entre dos puntos tales que hay que realizar un trabajo de 1 julio para trasladar del uno al otro la carga de 1 culombio.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boylestad, Robert L.

Introducción al Análisis de Circuitos

Prentice Hall

México, 2004

Caughlin, Robert F. y Driscall, Frederick F.

Circuitos integrados lineales y amplificadores operacionales

Pearson Prentice Hall.

México, 1999

Malvino, Albert P.

Principios de Electrónica 6 Ed.

McGraw-Hill Book Company

España, 2002

Ardence. 2007. Software Plataforms for the On-Demand World. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en <http://www.vci.com/>

Monografias.com. 2007. Factor de Potencia. Consultado 8-May-2007. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos14/factorpotencia/factorpotencia.shtml>

National Instrument. 2007. Customizing the HTML File Created by the Web Publishing Tool. Consultado: 27-Jun-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/791AC0C479DB395386256B51006B30E5>

National Instruments. 2007. Desarrollo de Sistemas de Adquisición de Datos y Control de Tiempo Real con Tecnologías Estándar. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5913>

National Instruments. 2007. Discusiones sobre Productos NI: Web Publishing. Consultado: 27-Jun-2007. Disponible en: <http://forums.ni.com/ni/board/message?board.id=6170&message.id=2031&query.id=755660#M2031>

National Instrument. 2007. LabVIEW Remote Panel Loading. Consultado 28-Jun-2007. Disponible en: <http://forums.ni.com/ni/board/message?board.id=170&message.id=25973&query.id=770836#M25973>

National Instruments. 2007. Módulo de LabVIEW Real Time (RT) – ETS vs. RTX. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/199A58C83BF1BC1386256F3B006F7362>

National Instruments. 2007. Options for LabVIEW Real-Time on a Desktop PC?. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/websearch/8E9B9BC1270D66EB86256D10005E20E8?OpenDocument>

National Instrument. 2007. Publishing VIs on the Web. Consultado 27-Jun-2007. Disponible en: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361B-01/lvhowto/publishing_vi_front_panels/

National Instrument. 2007. Web Publishing Tool Dialog Box. Consultado 27-Jun-2007. Disponible en: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361B-01/lvdialog/web_publishing_tool_db/

National Instrument. 2007. Web Publishing Tool Dialog Box. Consultado 28-Jun-2007. Disponible en: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4791>

National Instrument. 2007. ¿Cómo me Desconecto de un Target Tiempo Real en LabVIEW 8.0 sin para la ejecución del VI?. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/DAFE620F912C1F8625717000552C10>

National Instrument. 2007. ¿Cómo Puedo Validar que mi PC Ejecutará RTX?. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/FA0751F4E7365D0C86256F3B006DB8B4>

National Instrument. 2007. ¿Por qué mi Panel Frontal Remoto no se Actualiza cuando Utilizo una Variable Local en LabVIEW Tiempo Real?. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/4A8B8F079A0F90148625718400333BFF>

National Instrument. 2007. ¿Puedo Instalar el Sistema Operativo LabVIEW de Tiempo Real en una computadora de Escritorio?. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/C99DA7872F79211986256F3B006C5D22>

National Instruments. 2007. ¿Puedo Utilizar NI-DAQmx con LabVIEW Real-Time?. Consultado 9-Jul-2007. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5F73859B9130A8E286256EB4005A29BA>

Power Expertise, mx. 2007. Nota Técnica Distorsión Armónica. México D.F. México. Consultado 22-May-2007. Disponible en: http://www.prolyt.com/archivosprolyt/na_distarmonica.pdf

SECOVI, mx. 2007. Distorsión Armónica. México DF, México. Consultado 22-May-2007. Disponible en: <http://www.secovi.com/ddist.html>

Tecnológico de Monterrey, mx. 2007. Medición de Potencia Trifásica con dos Wattmetros. Campus

estado de México, México. Consultado 9-May-2007. Disponible en:
<http://web.archive.org/web/20051123142815/webdiee.cem.itesm.mx/web/servicios/archivo/tutoriales/fp/fp01.html>

Universidad de la República, uy. 2007. Circuitos Eléctricos Trifásicos. Instituto de Ingeniería Eléctrica, Uruguay. Consultado 17-May-2007. Disponible en:
<http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/electrotec/e1/CircuitosElectricosTrifasicos.pdf>

Universidad Tecnológica Nacional, ar. 2001. Medición de Potencia en Circuitos Trifásicos. Buenos Aires, Argentina. Consultado 17-May-2007. Disponible en
<http://www.electrica.frba.utn.edu.ar/electrotecnia/trifas/potrif/>

Wikipedia, es. 2007. Distorsión Armónica. Consultado 8-May-2007. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Distorsi%C3%B3n_arm%C3%B3nica

Wikipedia, es. 2007, Factor de Potencia. Consultado 8-May-2007. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_potencia

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA - FEPADE

VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial tanto como trabajadores y empresarios.

VALORES

- Excelencia**
- Espiritualidad**
- Comunicación**
- Integridad**
- Cooperación**

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

República de El Salvador en la América Central

FORMANDO PROFESIONALES PARA EL FUTURO



Nuestro método "APRENDER HACIENDO" es la diferencia

www.itca.edu.sv