



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Área de la Energía, las Industrias y los
Recursos Naturales no Renovables

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE
CALIDAD DE ENERGÍA DIDÁCTICO
UTILIZANDO LABVIEW”**

Autores:

**Luis Alfredo Crespo Chamba
Juan Carlos Ríos**

Director:

Ing. Raúl Barreto

Tutores:

**Dr. Orlys Ernesto Torres Breffe
M.Sc. Reineris Montero Laurencio**

Abril - 2008
Loja - Ecuador

DEDICATORIA

Luis

Quiero dedicar este trabajo de tesis a mis Padres, por su sacrificio y apoyo incondicional para que llegase a ser un profesional, a mis hermanos y demás familiares. A mi novia Janeth que ha estado junto a mí en mis momentos de estudio.

A mi abuelita que ya no está con nosotros pero que desde el cielo me ha iluminado y ha intercedido por mí. A todos quienes con su granito de arena han aportado en la elaboración de este trabajo de investigación.

Juan Carlos

A mi madre Nelly M. Ríos que me ha dado la vida y salud, para poder superarme a mis hermanos Nelly, Angel y Danny, que confiaron en mi y a todas las personas que me apoyaron económicamente y moralmente para cumplir con un objetivo el seguir siempre adelante.

AGRADECIMIENTOS

Luis

Al divino ser, que siempre me ha mostrado el camino que debo seguir, a mis Padres y demás familiares, por no dudar nunca de mí. A todos aquellos que a lo largo de mi vida me han ayudado de forma desinteresada contribuyendo a mi formación como ser humano y futuro profesional. De una forma especial, quiero agradecer a mis compañeros y amigos de estudio, en especial a Gorky Ludeña, Fabián Tinoco y Geovanny Maza por su apoyo incondicional en estos meses de estudio en Moa-Cuba.

A mi tutor Reineris del cuál he aprendido mucho, así como también al Dr. Orlys Torres por su guía y apoyo en la realización de este proyecto.

A todos los antes mencionados **Muchas Gracias de todo corazón...**

Juan Carlos

Primeramente agradezco a Dios y a mi Madre quien me supo guiar, quien estuvo en todos momentos cuando mas la necesitaba luego agradezco a mis hermanos quien me supieron dar su apoyo en momentos difíciles, también quiero agradecer a todos y cuantos pusieron de su parte al apoyarme con sus conocimientos , así paulatinamente ir cimentando este logro que ha sido un juntar el hombro de cuantos amigos , familiares, ya que de esta manera peldaño a peldaño ir construyendo la realización como profesional, y, culminar un grado de estudio, siguiendo siempre adelante para conseguir nuevos triunfos.

Agradecido con Dios y con Ustedes en cuanto supieron confiar en mí.....mil gracias a todos.

RESUMEN

Debido al alto costo de los analizadores de redes, el presente trabajo demuestra que es posible confeccionar aplicaciones con prestaciones similares y a un menor costo. Se presenta una solución mediante el empleo de transformadores de medición, tarjeta de adquisición de datos de la National Instrument 6009 y software LabVIEW lo que permite la medición de las variables presentes en un sistema eléctrico. El diseño logra entre un 90 y 95% de las funciones que realiza un analizador de redes convencional, con un 40% menos en cuanto a costos. Los fines de esta aplicación son didácticos y en particular muestran los fenómenos relacionados con la calidad de la energía eléctrica. La aplicación informática cuenta con las ventanas de medición instantánea, medición periódica, captura de formas de onda, diagrama fasorial, y configuración. Se comprobó su buen funcionamiento de forma comparativa con un analizador de redes de la marca CIRCUTOR y se realizaron varias mediciones en diferentes casos de estudio.

SUMMARY

Due to the high cost of the power system analyzers the present work demonstrates that it is possible to make applications with similar benefits and at a smaller cost. This solution include measurement transformers, National Instrument Data Acquisition Card 6009 and LabVIEW software its allows the variables measurement present in electric system. The design archive among a 90 and 95% of the functions that a conventional power system analyzers carries out, with 40% less of costs. The ends of this application are didactic and in particular they show the phenomena related with the quality of the electric power. The computer application has the windows of instantaneous measurement, periodic measurement, captures of wave forms, fasorial diagram, and configuration. Was proven their good operation in a comparative way with a power system analyzers of CIRCUTOR mark and they were carried out several measurement in different study cases.

ÍNDICE

Certificado de aprobación de la tesis

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

Índice

Introducción..... 1

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1	Introducción.....	7
1.2	Elementos de Metrología.....	7
1.3	Calidad de Energía.....	11
1.3.1	Variaciones lentas de tensión.....	12
1.3.2	Fluctuaciones de tensión.....	16
1.3.3	Huecos de tensión y cortes breves.....	18
1.3.4	Impulsos de tensión.....	21
1.3.5	Distorsión armónica.....	24
1.3.6	Desequilibrio de tensión.....	26
1.4	Mediciones de potencia en circuitos eléctricos.....	28
1.4.1	Medición de potencia activa en los circuitos monofásicos.....	28
1.4.2	Medición de potencia activa en los circuitos trifásicos.....	29
1.4.3	Medición de potencia en sistemas a tres hilos.....	30
1.4.4	Medición de potencia en sistemas a cuatro hilos.....	32
1.4.5	Medición de potencia reactiva.....	33
1.4.6	Métodos para medir potencia reactiva del sistema simétrico balanceado o simétrico desbalanceado.....	33
1.5	Transformadores de medición.....	34
1.5.1	Transformadores de corriente.....	37
1.5.2	Transformadores de tensión.....	39
1.6	Adquisición de datos.....	39
1.7	Analizador de redes.....	43

1.8	Algunos elementos del software LabVIEW.....	49
-----	---	----

CAPÍTULO II: HARDWARE Y SOFTWARE DE LA APLICACIÓN

2.1	Introducción.....	52
2.2	Diagrama de bloques de la aplicación.....	52
2.3	Hardware.....	53
2.3.1	Adaptación de señales.....	53
2.3.2	Diseño de la tarjeta interface.....	55
2.3.3	PC.....	60
2.4	Diseño del software ARCO-07.....	61
2.4.1	VI Adquisición de datos.....	61
2.4.2	VI Medición.....	64
2.4.3	VI Pantalla de mediciones instantáneas.....	74
2.4.4	VI Pantalla de mediciones periódicas.....	77
2.4.5	VI Pantalla de captura de ondas.....	80
2.4.6	VI Pantalla de fasores.....	84
2.4.7	VI Pantalla de configuración.....	85
2.5	Características generales de la aplicación.....	86

CAPÍTULO III: RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1	Introducción.....	87
3.2	Comprobación de la aplicación.....	87
3.2.1	Generador de señales en LabVIEW.....	87
3.2.2	Validación de la aplicación ARCO-07 con el Analizador de Redes de panel CIRCUTOR.....	89
3.2.3	Margen de error de la Aplicación ARCO-07 con respecto al Analizador de Redes FLUKE 434.....	92
3.3	Resultados de mediciones en algunos sistemas (casos de estudio).....	94
3.3.1	Medición en un sistema monofásico.....	95
3.3.2	Medición en un sistema trifásico 3 hilos (CIPEL).....	103
3.3.3	Medición y comprobación del ARCO-07 en el arranque de un motor	

asincrónico.....	107
3.3.4 Medición en un sistema trifásico 4 hilos.....	110
3.35 Medición en el transformador del Banco de Loja de acuerdo a la Regulación No. CONELEC – 004/01.....	112

CAPÍTULO IV: VALORACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICO Y SOCIAL

4.1 Introducción.....	119
4.2 Valoración Técnica.....	119
4.3 Valoración Económica.....	120
4.4 Valoración Social.....	121

CONCLUSIONES.....	122
--------------------------	------------

RECOMENDACIONES.....	123
-----------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.....	124
--------------------------	------------

ANEXOS

INTRODUCCIÓN

La definición de la calidad de la energía es muy amplia, pero se puede definir como la ausencia de interrupciones, sobre tensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje suministrado al usuario. Además le concierne la estabilidad de 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 eléctricos, las cuales, por sí solas resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en nuestra vida, la cual es usada en la iluminación, en la operación de diversos equipos, vídeo, aire acondicionado y sistemas de cómputo, así como en procesos industriales como de servicio, es importante contar con una buena calidad de energía eléctrica.

En la Universidad Nacional de Loja, la especialidad que más se acerca a abordar la temática de la calidad de energía eléctrica es la de Electromecánica. Como consecuencia de estas necesidades cognoscitivas se hace imprescindible la implementación de laboratorio que permitan mostrar los fenómenos inherentes a los disturbios que se producen durante la explotación de los sistemas eléctricos de baja tensión.

Existen tecnologías en el mercado relacionadas con la adquisición de datos de fácil enlace con software, con excelentes prestaciones visuales que pueden unirse para crear aplicaciones que permitan verificar los elementos relacionados con la calidad de energía eléctrica. Resulta costoso invertir en equipamiento de propósitos específicos en el área de la calidad de energía y es por tanto que la creación de opciones didácticas con bajos recursos, permiten acercarse a la interpretación de los fenómenos eléctricos en un determinado sistema.

PROBLEMÁTICA

La calidad de energía eléctrica se ha convertido en un aspecto importante tanto para los productores y distribuidores de energía eléctrica como para sus clientes. Es por esto que la Universidad Nacional de Loja ha visto la necesidad de realizar un proyecto para demostrar los fenómenos de calidad de la energía eléctrica que ayude a corregir los disturbios y variaciones que en ella se presentan sirviendo de apoyo para los estudiantes de la carrera de Electromecánica, permitiéndoles una mejor comprensión en lo que al tema se refiere.

Para los clientes, el impacto económico de las distorsiones de la energía puede abarcar desde los cientos de dólares hasta millones de dólares. Por ejemplo:

- Paros no programado en equipo o planta.
- Daños en producto final
- Re-inicio de equipos o de procesos
- Reemplazo o reparaciones de equipo
- Aumento en las cargas por energía demandada para los proveedores de energía, estas distorsiones guían hacia insatisfacción del cliente, pérdidas de carga y utilidades.

El predecir el impacto económico final es muy difícil, pero es claro que los ahorros son considerables si se soluciona el problema. Además es importante recalcar que los equipos que se utilizan para realizar el estudio de calidad de energía eléctrica son de alto costo, ocasionando que muchas empresas pasen por alto este problema.

A continuación se muestran algunos tipos de consumidores que requieren forzosamente equipos de acondicionamiento para mantener un buen nivel de calidad de energía eléctrica:

- Sistemas de información que utilizan equipo de cómputo.
- Departamentos de paramédicos y bomberos.
- Empresas públicas (Gas, agua, energía eléctrica).

- Aeropuertos.
- Instituciones financieras.
- Departamento de policía, entidades gubernamentales, etc.

Por ejemplo, las depresiones de voltaje por sólo cinco milisegundos son capaces de hacer que una computadora pierda su información o causar errores, es por esto que el incremento en el equipo de procesamiento de datos (computadoras) ha marcado al problema de la calidad de la energía como un problema muy serio.

ENUNCIADO DE LA PROBLEMÁTICA: La Universidad Nacional de Loja está empeñada en realizar estudios de calidad de energía eléctrica pero no cuenta con un software didáctico adecuado que ayude a la comprensión del tema.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Inexistencia de un software didáctico que permita el estudio de la calidad de la energía.

Problema General

En la Universidad Nacional de Loja no existe un software didáctico adecuado que permita el estudio de la calidad de la energía eléctrica.

Problemas Específicos

- Desconocimiento de los métodos a utilizarse para la realización del software mediante Labview.
- Falta de conocimiento de las estrategias para implementar el sistema de análisis de calidad de energía.
- Desconocimiento de los métodos de diseño de la tarjeta interfase.
- Desconocimiento de la compatibilidad de la tarjeta interfase.

JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD

Justificación

Cada vez más, nuestra vida cotidiana es gobernada por la electrónica. Para proporcionar un correcto funcionamiento de esta infraestructura electrónica en el sector industrial, así como en casa, existe una demanda creciente por un suministro de energía firme y de alta calidad. De otro lado, una interrupción breve del voltaje del suministro puede ser desagradable y costosa. Por consiguiente, el conocimiento de antemano de la calidad de cualquier sistema eléctrico se torna más y más importante.

Es por esta razón que a surgido la necesidad de confeccionar un sistema de análisis de calidad de energía eléctrica didáctico utilizando Labview, que ayude al estudio de la misma, proporcionando un conocimiento amplio en la comunidad científica, técnica e industrial y sobre todo en los estudiantes de la carrera de Ingeniería electromecánica de la Universidad Nacional de Loja. Esta Institución formará profesionales con una visión más amplia en lo que a calidad de energía eléctrica se refiere.

Viabilidad

Debido a la formación académico-científica en los campos de la eléctrica, la mecánica y la automática adquiridos en la formación de Ingenieros Electromecánicos se puede decir que el presente proyecto es factible de realizarlo debido a que se tiene acceso a la información de datos técnicos, de la misma forma a la adquisición de herramientas y materiales necesarios para la ejecución del proyecto.

Se cuenta con los recursos económicos necesarios, así como un fácil acceso al lugar donde se implementará el sistema de análisis de calidad de energía eléctrica, lo cual hará que el tiempo a emplearse en el proyecto sea el apropiado.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Implementar un sistema de análisis de calidad de energía eléctrica de bajo costo.

Objetivos Específicos

- Adquirir los conocimientos necesarios sobre los analizadores de redes y Labview.
- Diseñar la tarjeta interfase para comunicación entre las redes eléctricas y la tarjeta de adquisición de datos (ADQ) de la National Instrument.
- Diseñar el software para análisis de redes mediante Labview, considerando la Regulación N° CONELEC – 004/01.
- Verificar el funcionamiento del analizador de redes creado, en las instalaciones del Banco de Loja.
- Socializar los resultados.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

Sí se utiliza la adquisición de datos a través de Labview se podrá construir una tarjeta interfase configurable y de propósito general que acoplada a una computadora genérica se comporte como un analizador de redes de muy bajo costo comparado con los actuales existentes en el mercado.

Hipótesis Específicas

- Sí se realiza una amplia búsqueda Bibliográfica sobre el tema de los Analizadores de Redes y el uso del software Labview con sus potencialidades de adquisición de datos se podrá eliminar el desconocimiento y formar el marco teórico sobre el tema en cuestión.

- Si se realiza un seguimiento bibliográfico acerca de la tarjeta interfase y adquisición de datos según la tecnología de National Instrument se podrá facilitar el diseño de la misma.
- A través de la difusión informativa y el asesoramiento de un experto se podrá llenar el vacío existente acerca de las estrategias del diseño del software para el análisis de calidad de energía.
- Sí se realiza una investigación de las instalaciones del Banco de Loja se podrá implementar y verificar el funcionamiento del analizador de redes creado.
- A través de la difusión informativa y de la presentación del sistema de análisis creado con su respectiva investigación se podrá socializar los resultados.

METODOLOGÍA

Los **métodos de investigación** empleados son los siguientes:

1. Método de investigación documental y bibliográfica, para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Método de investigación experimental para describir, caracterizar el objeto de estudio y sus principales regularidades.
3. Método de investigación estadístico y de evaluación computacional.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

- ✚ INTRODUCCIÓN
- ✚ CONCEPTOS GENERALES DE LA MEDICIÓN
- ✚ SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS
- ✚ CALIDAD DE ENERGÍA
- ✚ MEDICIONES DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS
- ✚ TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN
- ✚ ADQUISICIÓN DE DATOS
- ✚ ANALIZADOR DE REDES
- ✚ LABVIEW

Las necesidades modernas obligan a contar con equipos capaces de entregar mediciones exactas y confiables.

Luis Crespo

1.1 INTRODUCCIÓN

En este epígrafe se abordarán diferentes aspectos teóricos que sirven de base para aplicar un conjunto de conocimientos en función de resolver la problemática planteada en la investigación. Aparecen elementos relacionados con los métodos e instrumentos de medición, que permiten adquirir de forma primaria las variables eléctricas presentes en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Se relacionan las características fundamentales de los analizadores de redes, del proceso específico de la adquisición de datos, las potencialidades del software LabVIEW para enlazar el mundo analógico con la instrumentación virtual, y además los elementos teóricos de las principales afectaciones en la calidad de la energía eléctrica.

1.2 ELEMENTOS DE METROLOGÍA

Medición es la determinación del valor numérico de una magnitud física por medios experimentales, empleando medios técnicos especiales y cifrados en valores de magnitudes físicas tomadas como unidades.

Para facilitar su estudio, las mediciones se clasifican de acuerdo con:

- La forma en que se obtienen los resultados (directas e indirectas).
- La precisión de los resultados (técnicos, de control y de alta precisión).

Las *mediciones directas* son aquellas en las que el valor de la magnitud investigada se obtiene por evaluación directa a partir de datos experimentales. Ejemplo: medición de la tensión con el voltímetro, medición de la corriente con el amperímetro, etc.

Las *mediciones indirectas* son aquellas en las cuáles el valor de la magnitud investigada se obtiene sobre la base de dependencias conocidas, entre dicha magnitud y las sometidas a mediciones directas. Ejemplo: medición de la resistencia eléctrica sobre la base de las mediciones de tensión y corriente; medición de la potencia en circuitos de corriente directa, sobre la base de los resultados de las mediciones de la tensión aplicada y la corriente que circula por el circuito, etc.

Las *mediciones técnicas* son aquellas en las que el error de la medición está determinado por las características de los medios de medición. Se emplean en los procesos de producción.

Las *mediciones de control* son aquellas en las cuales el error de la medición no debe sobrepasar cierto límite. Se emplean en la verificación de los medios de medición.

Las *mediciones de alta precisión* son aquellas en las cuales la precisión está limitada por el nivel actual de la técnica. Se emplean en la fabricación y verificación de patrones, así como en la determinación de las constantes universales. [3]

Significado de los parámetros medidos

Ampere [Amperio] (A)

Unidad de medida de la corriente eléctrica, es la cantidad de carga que circula por un conductor por unidad de tiempo. Es la corriente (I) que produce una fuerza de 2×10^{-7} newton por metro entre dos conductores paralelos separados por 1 metro.

$$I = Q / t \quad (1.1)$$

$$1 \text{ A} = 1 \text{ Culombio} / \text{segundo}$$

$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA (miliamperio)}$$

Volt [voltio] (V)

Unidad de medición de la diferencia de potencial eléctrico o tensión eléctrica, comúnmente llamado *voltaje*.

Es la diferencia de potencial entre dos puntos en un conductor que transporta una corriente de 1 amperio, cuando la potencia disipada entre los puntos es de 1 watt.

Potencia activa

Los diferentes dispositivos eléctricos convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. A la energía consumida por dichos dispositivos, que es capaz de producir trabajo útil, se le conoce como

potencia activa y es similar a la energía consumida por una resistencia eléctrica; su símbolo es P y sus unidades son los Watts (W).

Fórmula de cálculo:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (1.2)$$

Unidad de medida: Watts [W]

Potencia reactiva

Además de utilizar potencia activa para producir un trabajo, los motores, transformadores y demás equipos similares requieren un suministro de potencia reactiva para generar el campo magnético necesario para su funcionamiento. La potencia reactiva no produce por si misma ningún trabajo; se simboliza con la letra Q y sus unidades son los volts-ampers reactivos (VAR).

Fórmula de cálculo:

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi \quad (1.3)$$

Unidad de medida: Volt-Amper Reactivo [VAr]

Potencia aparente

La potencia total o aparente es la suma geométrica de las potencias activa y reactiva, o bien, el producto de la corriente y el voltaje; su símbolo es S y sus unidades se expresan en volts-ampers (VA).

Fórmula de cálculo:

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \quad (1.4)$$

Unidad de medida: Volt-Amper [VA]

Factor de potencia (FP)

El factor de potencia ($\cos\phi$) es la relación entre la potencia activa (en kilowatts, kW.), y la potencia aparente (en kilovolts-ampères, kVA) y describe la relación entre la potencia de trabajo o real y la potencia total consumida.

El FP está definido por la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (1.5)$$

El factor de potencia expresa en términos generales, el desfaseamiento o no de la corriente con relación al voltaje y es utilizado como indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1.0 siendo la unidad (1.0) el valor máximo de FP y por tanto el mejor aprovechamiento de la energía.

Energía Activa (kWh)

La energía activa es aquella que al ingresar a una instalación por los conductores de electricidad produce luz, calor y movimiento. Es la que calienta las resistencias de un horno, provee las fuerzas para mover motores, produce luz al atravesar el filamento de un foco incandescente, es decir produce trabajo.

La energía activa representa numéricamente la dedicación que tuvo una porción de las maquinas generadoras de electricidad hacia nuestra instalación durante una determinada cantidad de tiempo, o lo que es lo mismo, pero desde el punto de vista del Consumidor, el gasto resultante del uso de sus equipos eléctricos durante cierta cantidad de tiempo.

Energía Reactiva (kVarh)

Además de la energía activa, algunos de los equipos eléctricos también usan otro tipo de energía para funcionar satisfactoriamente. Este tipo de energía es llamada energía reactiva, y los equipos que la usan son los conformados internamente por bobinas o inducidos, es decir principalmente los motores y transformadores. No produce trabajo, pero es necesaria para producirlo.

La energía reactiva es la requerida para crear el campo magnético en las bobinas de motores, transformadores, balastos magnéticos, etc, tiene características diferentes a la energía activa que acabamos de ver. Ella como tal no produce luz, movimiento ni calor. Magnitudes por fuera de las normas establecidas de energía reactiva producen sobre carga en la infraestructura del sistema eléctrico de las empresas prestadoras del servicio y del Consumidor, y sobre costos en la factura. [14]

1.3 CALIDAD DE ENERGÍA

La energía eléctrica es suministrada en la forma de un sistema trifásico de tensiones de naturaleza sinusoidal. Hay cuatro parámetros que caracterizan a la onda de tensión y que permiten medir su grado de pureza:

- Frecuencia
- Amplitud
- Forma
- Simetría

Las centrales eléctricas producen una onda sinusoidal de 60 ciclos por segundo prácticamente perfecta, por lo que, desde el punto de vista del suministro al cliente, los parámetros mencionados se consideran constantes en la generación. Sin embargo, en el proceso de transporte y distribución de la energía desde las centrales hasta los puntos de consumo final, que tiene lugar a través de las redes eléctricas, estas magnitudes sufren alteraciones que pueden afectar a determinados usuarios (Figura 1.1).

Estas alteraciones tienen su origen en las propias instalaciones eléctricas como consecuencia de maniobras, averías, etc., en fenómenos naturales, descargas atmosféricas y en el funcionamiento normal de determinados receptores; puentes rectificadores, hornos de arco, etc. que las transmiten a los demás receptores a través de la red eléctrica. Su eliminación completa resulta, por lo tanto, imposible. Por ello, es necesario adecuar los receptores, con el fin de disminuir al máximo las emisiones que generan y que pueden afectar al funcionamiento de otros receptores, así como reducir en

lo posible las repercusiones que pueden tener dichas alteraciones sobre su propio funcionamiento normal.

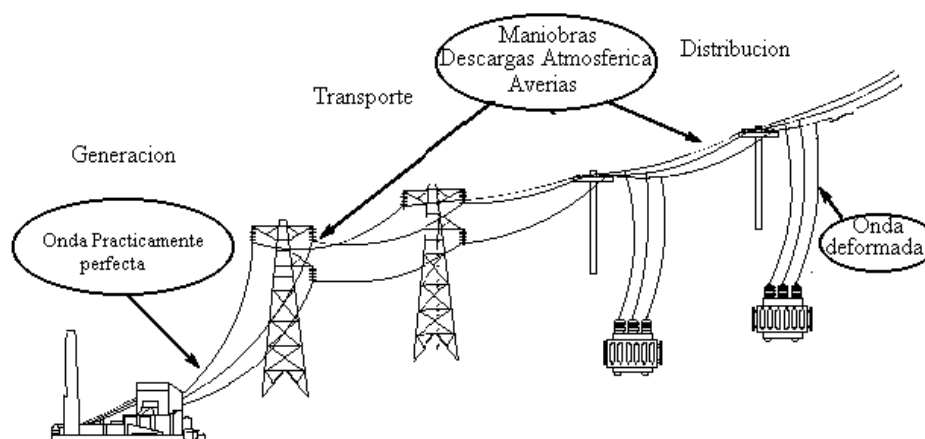


Figura 1.1. Generación de electricidad y transmisión de perturbaciones

Emisores de perturbaciones

- Rectificadores
- Hornos de arco
- Baterías condensadores

Receptores sensibles

- Ordenadores
- Automatismos
- Motores

1.3.1 Variaciones Lentas de Tensión

Se produce una variación de tensión cuando hay una alteración en la amplitud y, por lo tanto, en el valor eficaz de la onda de tensión. Una variación de tensión tiene:

- un valor de partida
- un valor final
- una duración, es decir, el tiempo que emplea en pasar del valor inicial al valor final (ver Figura 1.2).

En otras palabras, amplitud y duración son los parámetros característicos de una variación de tensión. Pues bien, se considera una variación lenta de tensión a aquella cuya duración es superior a 10 segundos. Cabe distinguir aquí entre las variaciones lentas y las fluctuaciones. La diferencia estriba en que, en estas últimas, la duración va desde varios milisegundos hasta los 10 segundos.

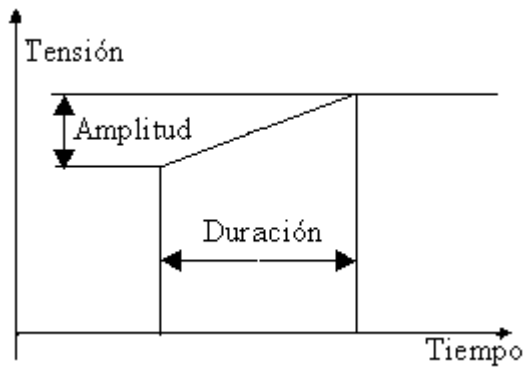


Figura 1.2. Esquema de una variación de tensión

En una red eléctrica ideal, la tensión de suministro debería tener un valor concreto y constante igual al de la tensión nominal. Sin embargo, en la práctica, no hay redes ideales, por lo que la tensión de servicio puede presentar valores diferentes en un período de tiempo determinado, si bien cabe esperar que éstos se encuentren casi siempre dentro de unos márgenes razonables de variación respecto de la tensión nominal.

Valores de referencia

Por lo que se refiere a la normativa legal vigente en España, el Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía establece un margen admisible del $\pm 7\%$ respecto de la tensión nominal. Según la Regulación No. CONELEC – 004/01, Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación en la tabla 1.1. [22]

Tabla 1.1. Variaciones de voltaje respecto al voltaje nominal

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	$\pm 7,0 \%$	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje: Urbanas	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje: Rurales	$\pm 13,0 \%$	$\pm 10,0 \%$

Causas que las originan

Para analizar las causas que originan las variaciones lentas de tensión, es útil determinar los factores de los cuales depende el valor de la tensión de una red.

Desde el punto de vista de la conexión de un receptor, el sistema de distribución de energía eléctrica puede quedar representado mediante el esquema indicado en la Figura 1.3.

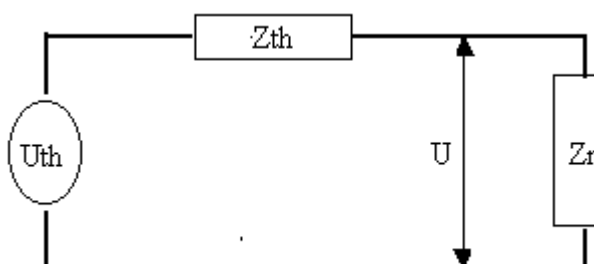


Figura 1.3. Esquema de un sistema de distribución

En este circuito, la tensión en los terminales del receptor responderá a la expresión:

$$U = \frac{Z_r}{Z_r + Z_{th}} U_{th} \quad (1.6)$$

En consecuencia, el valor de la tensión U en el receptor depende de los siguientes factores:

- La tensión del generador (U_{th})
- La impedancia en serie de la red (Z_{th})
- El valor de la impedancia del receptor (Z_r)

De todos los factores que influyen en las variaciones de tensión, el más importante es la impedancia del receptor, que depende a su vez de la carga conectada. Esta puede variar por diversas razones, entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- El consumo de energía no se realiza de forma constante. A lo largo del día, hay períodos de consumo intenso, a los que se denomina "horas punta" y períodos de bajo consumo, a los que se llaman "horas valle".

- Los receptores no son iguales y sus diferencias condicionan asimismo las características del consumo. Así, no es lo mismo que el consumo se concentre en una zona con una importante componente industrial, a que lo haga en una mayoritariamente residencial.

La variación del consumo en un tiempo determinado recibe el nombre de curva de carga. Las variaciones de tensión se encuentran estrechamente ligadas a ella, de forma que es de esperar que la tensión de la red sea mayor en los momentos de bajo consumo, que en los de alto.

Efectos de tensión baja

La mayor parte de los receptores pasan de un estado de funcionamiento normal a uno "anómalo" o a uno de "no funcionamiento" cuando se ven sometidos a una tensión baja, recuperando el estado "normal" cuando el valor de la tensión vuelve a situarse dentro de los márgenes de tolerancia (Figura 1.4). Así, en la mayoría de los casos, los efectos no suelen ser especialmente perjudiciales. Cabe citar algunos ejemplos:

- En el momento del arranque, un motor no podrá iniciar el giro si la tensión no es suficiente para proporcionar el par mecánico que requiere el eje.

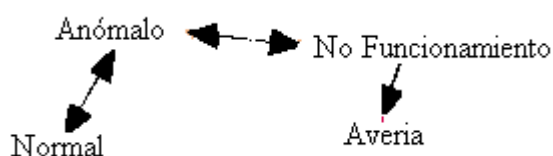


Figura 1.4. Estados de funcionamiento de un receptor

- En las lámparas incandescentes, se observa una disminución en la intensidad lumínica.
- Contactores o relés pueden producir actuaciones incorrectas, afectando al proceso que estén controlando.

Efectos de tensión alta

La tensión alta produce fundamentalmente un efecto de calentamiento de los receptores. En determinadas circunstancias, este calentamiento puede ocasionar la avería de los equipos si se supera el límite térmico que toleran (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Detección de los efectos de las variaciones de tensión

Receptor	Tensión Baja	Tensión Alta
Lámparas incandescentes	Menor intensidad lumínica	Intensidad lumínica elevada
Lámparas de descarga	No se ceban en su conexión	Intensidad lumínica similar
Motores	Sin par de arranque	Calentamiento
Relés, contactores	Posible desconexión	Calentamiento

1.3.2 Fluctuaciones de tensión

Se dice que hay fluctuaciones de tensión cuando se producen variaciones periódicas o series de cambios aleatorios en la tensión de la red eléctrica. A su vez, las variaciones de tensión se definen como las variaciones del valor eficaz o valor de pico de tensión entre dos niveles consecutivos que se mantienen durante un tiempo finito no especificado. Su duración va desde varios milisegundos hasta unos 10 segundos y con una amplitud que no supera el $\pm 10\%$ del valor nominal.

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) clasifica las fluctuaciones de tensión en cuatro tipos (Figura 1.5):

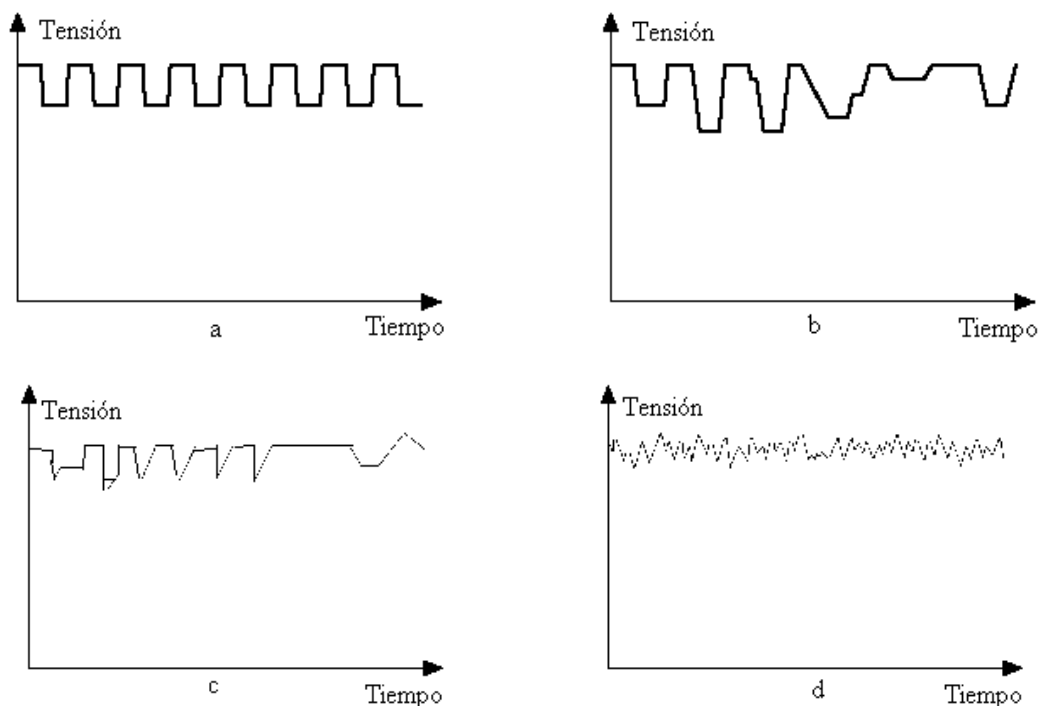


Figura 1.5. Tipos de fluctuaciones de tensión

- *Tipo a:* Variaciones rectangulares de tensión de período constante. Por ejemplo, las ocasionadas por interrupciones de cargas resistivas.
- *Tipo b:* Escalones de tensión que se presentan de forma irregular en el tiempo y cuya magnitud varía tanto en sentido positivo, como negativo.
- *Tipo c:* Cambios en la tensión claramente separados que no siempre llevan aparejados escalones de tensión. Por ejemplo, las originadas por acoplamientos de cargas no resistivas.
- *Tipo d:* Series de fluctuaciones esporádicas o repetitivas. Por ejemplo, las producidas por cambios cíclicos o aleatorios de cargas.

Causas que las originan

Las fluctuaciones de tensión son originadas por los receptores conectados a la red cuya demanda de potencia no es constante en el tiempo. En determinadas circunstancias, y dependiendo de su punto de conexión, pueden dar lugar al “flicker”. Los principales dispositivos perturbadores son de tipo industrial:

- Máquinas de soldadura por resistencia.
- Molinos trituradores.
- Ventiladores de minas.
- Hornos de arco.
- Plantas de soldadura por arco.
- Compresores.
- Laminadoras.
- Máquinas herramientas.
- Cargas controladas por impulsos.

Efectos que producen

Las fluctuaciones de tensión pueden afectar a gran cantidad de consumidores que reciben suministro eléctrico de la misma red. Estas fluctuaciones de tensión no suelen tener una amplitud superior a $\pm 10\%$, por lo que muchos equipos no se ven afectados por ellas. El “flicker”, que no se puede evitar, es el efecto más perjudicial. Los aparatos que producen mayor “flicker” son:

- las lámparas de incandescencia y de descarga
- los monitores y receptores de televisión.

1.3.3 Huecos de tensión y cortes breves

Hueco de tensión

Se dice que ha tenido lugar un hueco de tensión en un punto de la red eléctrica cuando la tensión de una o más fases cae repentinamente por debajo de un límite establecido – generalmente, el 90% y se recupera al cabo de un tiempo determinado, que oscila entre los 10 milisegundos y varios segundos.

Corte breve de tensión

Se dice que ha tenido lugar un corte breve de tensión cuando se produce la desaparición total de la tensión de las tres fases durante un tiempo superior a 10 milisegundos e inferior a 1 minuto. Es equivalente a un hueco de tensión que afecte a las tres fases y tenga una profundidad del 100%.

Valores de referencia

Huecos de tensión

Las dos magnitudes que permiten clasificarlos, y que son de gran utilidad a la hora de estimar sus posibles repercusiones y las medidas preventivas que se pueden aplicar, son:

- Profundidad: Valor al que cae la tensión. En función de esta magnitud se suelen hacer tres grupos:
 - Entre 10% y 30%
 - Entre 30% y 80%
 - Superior al 80%
- Duración: Tiempo que tarda en recuperarse la tensión. Se suelen dividir en dos grupos:
 - Entre 0,01 segundos y 1 segundo
 - Entre 1 segundo y varios segundos

Cortes breves

Reciben la denominación de cortes breves de corta duración los que no se prolongan más de 0,4 segundos; y cortes breves de larga duración, cuando superan ese límite.

Dado que existen aspectos comunes a los huecos de tensión y a los cortes breves (Figura 1.6), y que tanto sus efectos como las técnicas de inmunización son semejantes, se va a dar a ambas perturbaciones un tratamiento conjunto, simplificación que es aceptable para los fines que persigue la presente publicación.

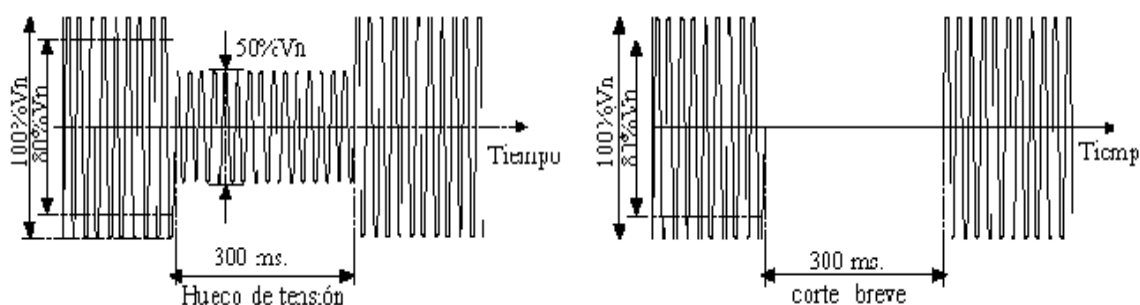


Figura 1.6. Hueco de tensión y corte breve

Efectos que producen

Los efectos de los huecos y de los cortes breves de corta duración son similares, mientras que los de los cortes breves de larga duración son diferentes. Se señalan a continuación las repercusiones de unos y otros sobre diversos equipos.

Motores asíncronos

Sobre el accionamiento: Cuando se produce un hueco de tensión, disminuye el par motor, que es aproximadamente proporcional al cuadrado de la tensión, dando lugar a una ralentización –que se prolonga hasta que se recupera la tensión– o, incluso, a la propia parada del motor. Cuanto mayor sea el valor y la duración del hueco, mayor será la ralentización del motor.

En general, huecos menores de un 30% no originan parada, independientemente de cuál sea su duración, ya que se alcanza en ellos un nuevo equilibrio par motor-par resistente a velocidad inferior.

Si la profundidad del hueco supera el 30%, se producirá o no parada dependiendo de su duración y de la constante de inercia del motor.

Este proceso tiene lugar de forma simultánea en todos los motores de la instalación industrial afectada por el hueco. Si la duración del hueco es mayor de 1 segundo, a

corriente de reaceleración de los motores será de orden semejante a la del arranque, es decir, aproximadamente de cinco a seis veces la intensidad nominal. Ello puede dar lugar a un nuevo hueco de tensión que, en el peor de los casos, impediría la reaceleración. Todo lo anteriormente expuesto es válido para los cortes breves de corta duración, con la única particularidad de que en éstos el fenómeno será más acusado por la desaparición de las tres tensiones. En el caso de los cortes breves de larga duración, el motor puede llegar a pararse.

Sobre el control: Mediante contactores en alterna. En su variante más simple y extendida, al poner en marcha el motor, se actúa sobre un contactor, que se autoalimenta. Si la tensión se sitúa por debajo de un determinado nivel durante el funcionamiento normal del motor, el contactor cae y hay que reponerlo manualmente.

Mediante interruptores y relés de mínima tensión. Para evitar que tenga lugar el arranque de la instalación entera cuando vuelve la tensión tras un cero, se suele dotar a ésta de relés de mínima tensión o de bobinas tensión nula, que desconectan motores en función de la profundidad y duración del hueco. En caso de cortes breves de corta duración, el proceso sería el mismo. En los de larga duración, el relé de mínima tensión actúa con toda seguridad.

1.3.4 Impulsos de tensión

Un impulso de tensión es una variación brusca del valor instantáneo de la amplitud de la tensión. Puede llegar a ser varias veces superior al valor nominal de ésta y su duración oscila entre algunos microsegundos y diez milisegundos, lo que equivale a medio ciclo de la onda senoidal.

Por su amplitud y duración, los impulsos de tensión tienen que ser analizados a partir de valores instantáneos de la amplitud de la onda de tensión y no mediante valores promediados, que son los que habitualmente se utilizan para medir otro tipo de perturbaciones que afectan a la amplitud de la onda.

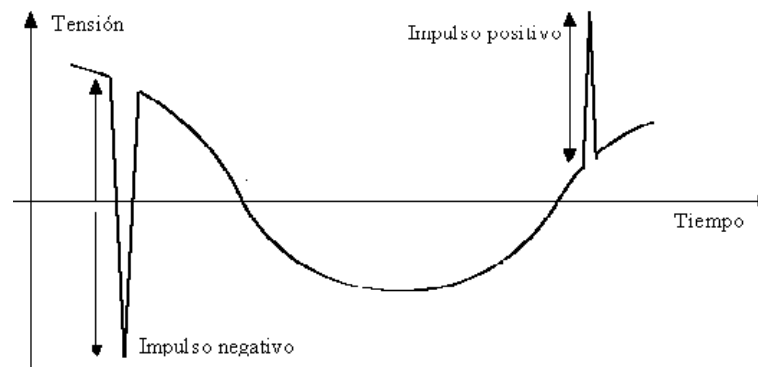


Figura 1.7. Impulsos de tensión positivo y negativo

Clasificación

En función del instante de la evolución de la onda de tensión en el que se producen (ver Figura 1.7), pueden ser clasificados en:

- Positivos
- Negativos

Los efectos de unos y otros son equivalentes. En función de su forma pueden ser clasificados en:

- Simples.- Presentan un frente de subida y un frente de bajada, a partir del cual, sin oscilaciones posteriores, a tensión vuelve a su valor normal (ver Figura 1.8).
- Complejos.- Se caracterizan por un frente de subida, seguido de oscilaciones que van amortiguándose en un determinado periodo de tiempo (ver Figura 1.9)

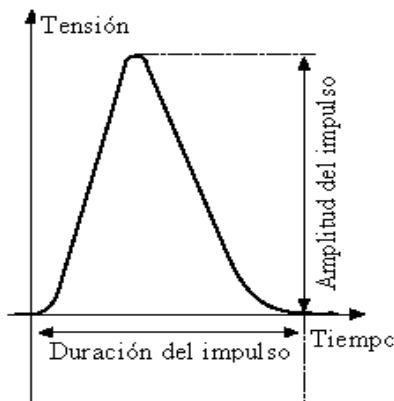


Figura 1.8. Ejemplo de impulso simple

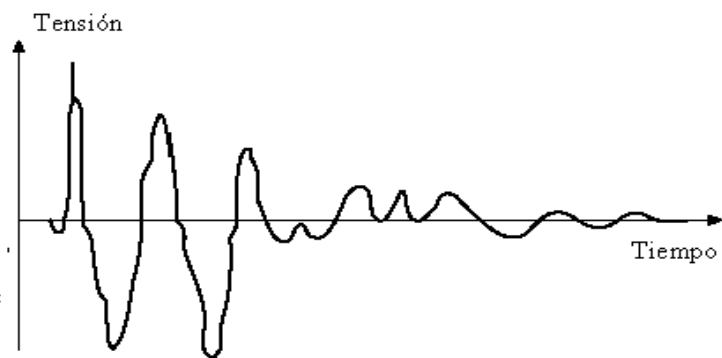


Figura 1.9. Ejemplo de impulso complejo

Valores de referencia

En el anexo 1 se recogen los impulsos de tensión más habituales en las redes de distribución de alta y baja tensión y los valores de referencia de sus principales parámetros que son medibles.

Causas que los originan

En función de su origen, se pueden distinguir dos tipos de causas o fuentes generadoras de impulsos de tensión:

- Fuentes de generación de impulsos exteriores al sistema eléctrico.
- Fuentes de generación de impulsos interiores del sistema eléctrico.

Fuentes de generación de impulsos exteriores al sistema eléctrico

La fuente principal es la descarga *atmosférica o rayo*. Puede provocar impulsos, básicamente:

- Por el impacto directo del rayo en la red eléctrica
- Por la inducción producida por la descarga a tierra de un rayo en las proximidades de la red eléctrica.

Fuentes de generación de impulsos interiores del sistema eléctrico

Existen elementos en la red eléctrica y en los receptores conectados a ella que pueden generar impulsos de tensión. Las fuentes más habituales son:

- Actuación de un elemento de corte (operación de conexión o desconexión). El impulso de tensión se produce como consecuencia de un cambio brusco de la intensidad que circula por la red derivado de la conexión o desconexión de cargas.

- Fusión de fusibles .Los fusibles de limitación de corriente generan impulsos de tensión al actuar, debido a la inductancia equivalente de la red que protegen.
- Conmutaciones de convertidores electrónicos de potencia .Generan impulsos de tensión periódicos, al producirse cortocircuitos momentáneos en el proceso de conmutación, seguidos de un rápido cambio en la tensión.

1.3.5 Distorsión armónica

- Se dice que existe distorsión armónica cuando la onda sinusoidal, prácticamente pura, que generan las centrales eléctricas sufre deformaciones en las redes de alimentación a los usuarios (Figura 1.10).

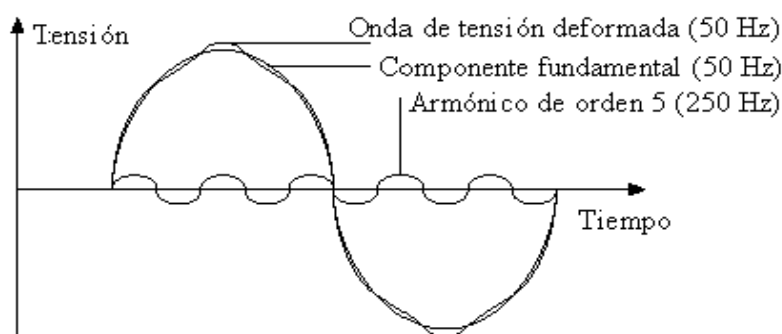


Figura 1.10. Onda de tensión deformada y sus componentes

Valores de referencia

Evaluación

En relación con los armónicos, se han definido tasas que no deben ser sobrepasadas, en el tiempo, en un determinado porcentaje:

- Tanto la normativa internacional como la española establecen unas tasas para cada armónico cuya probabilidad de no ser sobrepasadas ha de ser, como mínimo, del 95%.

- También se ha establecido una tasa de distorsión total que tiene en cuenta simultáneamente todos los armónicos de tensión existentes. La probabilidad de que no sea sobrepasada en el tiempo ha de ser también, como mínimo, del 95%.

Niveles de referencia

Según la Regulación CONELEC No. - 004/01 los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i') y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD) señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive. Anexo 2.

Causas que la originan

Se puede considerar que, en su mayor parte, los equipos y elementos que componen los sistemas de distribución de energía eléctrica son lineales. En otras palabras, que su característica de intensidad/tensión se mantiene constante.

No obstante, hay algunos equipos que tienen características no lineales, es decir, cuya intensidad demandada no es sinusoidal pura y sí, por tanto, una onda deformada. Estos equipos emiten armónicos a la red general de alimentación eléctrica en el punto de conexión común (PCC). Las principales fuentes de intensidades armónicas son:

- Receptores de uso industrial. Entre ellos cabe destacar:
- Receptores de uso doméstico: No poseen una potencia unitaria elevada, pero son en conjunto una importante fuente de armónicos, ya que gran número de ellos suelen ser utilizados simultáneamente durante largos períodos de tiempo.
- Elementos de instalaciones eléctricas.

Efectos que produce

La magnitud de los problemas que causan las tensiones armónicas en los equipos instalados en un determinado entorno electromagnético depende del valor de las tasas de

las componentes armónicas, es decir, del grado de deformación de la onda y de la sensibilidad de dichos equipos a este tipo de alteraciones. En cualquier caso, la incidencia de la distorsión armónica generada por un receptor perturbador será menor cuanto mayor sea la potencia de cortocircuito en el PCC. Los condensadores registran pérdidas adicionales y calentamientos capaces de ocasionar un importante deterioro.

1.3.6 Desequilibrio de tensión

Se dice que existe desequilibrio de tensión (Figura 1.11), o que hay un sistema trifásico desequilibrado o asimétrico, cuando los módulos de los tres vectores (Figura 1.12) representativos de las tensiones o los desfases relativos existentes entre ellos no son iguales.

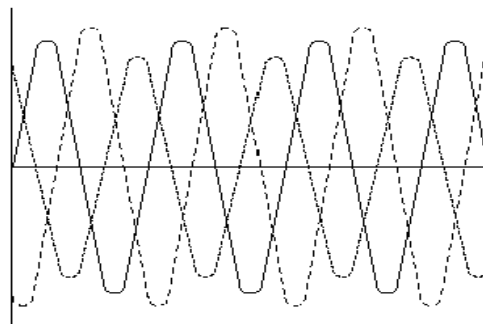


Figura 1.11. Sistema desequilibrado

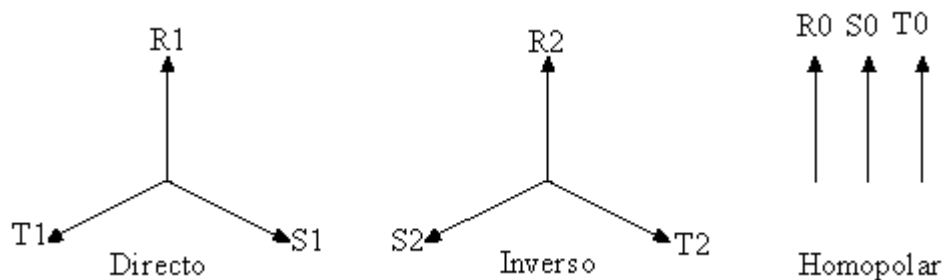


Figura 1.12. Sistemas básicos

Valores de referencia

Dado que la principal consecuencia que tienen las tensiones asimétricas sobre los receptores que son sensibles a ellas es el calentamiento de las máquinas rotativas, para prevenir sus efectos es necesario tener en cuenta tanto su grado de asimetría, como la duración de la misma. Las condiciones de compatibilidad en el PCC son las siguientes:

- En las redes de media y baja tensión, el grado de asimetría no puede superar el 2% en valoraciones de más de un minuto; en las de alta tensión, no debe ser mayor de un 1% en ese mismo período de tiempo.
- Para todo tipo de redes, cuando existen varios emisores de este tipo de perturbación, la peor de todas ellas no puede ser superior al 0,7% para valoraciones del rango de minutos y al 1% para valoraciones del rango de segundos.

Causas que los originan

La conexión de cargas monofásicas en baja, media y alta tensión absorbe en cada fase intensidades diferentes que producen tensiones asimétricas. Así ocurre, por ejemplo, con la conexión de hornos monofásicos.

Las cargas monofásicas entre conductor de fase y conductor neutro, que sólo son posibles en las redes de baja tensión, no tienen, en general, especial relevancia. Esto se debe a que, en el PCC, la relación entre la potencia de las cargas conectadas y la potencia de cortocircuito es baja: normalmente, 1/150.

Efectos que producen

Las tensiones asimétricas producen diferentes efectos según cuál sea el tipo de receptor:

- Transformadores y líneas .Para una misma carga activa, la intensidad causada por la asimetría puede ser el doble de la que existiría en situación de simetría. Por ello, cuando en la red hay conectadas cargas que producen asimetría, estos equipos trabajan con unos niveles de utilización máxima del 60%.
- Motores síncronos y asíncronos. Las intensidades del sistema inverso generan un campo rotatorio de doble velocidad –que se opone al de excitación –y producen pérdidas adicionales, principalmente en el rotor.
- Equipos de regulación y control .Como señala la norma CEI 146, deben estar preparados para aceptar un grado de asimetría de hasta el 2%. En caso de que

este nivel sea superado, su funcionamiento puede verse afectado de manera significativa. [1]

1.4 MEDICIONES DE POTENCIA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS

En nuestros días el ahorro es muy necesario. Por esto, el estudio de las mediciones de estas magnitudes es de vital importancia, pues de dicho ahorro se puede lograr a través del ajuste, del control y de la optimización de los equipos y aparatos que intervienen en los procesos productivos, para lo cual se requiere medir potencia o energía. La medición de las magnitudes antes mencionadas se realiza en forma directa o indirecta, y para su ejecución se emplean diversos instrumentos y esquemas que dependen de las condiciones de la medición.

Estos principios de medición de potencia son empleados desde los instrumentos electromecánicos hasta los modernos analizadores de redes.

1.4.1 Medición de potencia activa en los circuitos monofásicos

Cuando se mide potencia en los circuitos de CA con wattímetro electrodinámico, aparece el error de fase $\delta\varphi$ debido al desfase en la bobina voltimétrica, entre la tensión aplicada y la corriente que circula por ella. Para analizar este error se utiliza un esquema simplificado para medir potencia en los circuitos de CA (sin voltímetro ni amperímetro) y, además, no se considera el consumo de las bobinas (Figura 1.13). Por lo tanto es válido para cualquier variante.

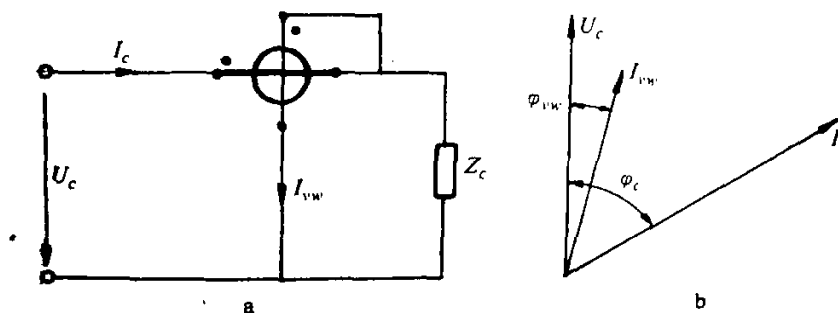


Figura 1.13. Medición de potencia en los circuitos de CA, a) esquema simplificado, b) Diagrama vectorial

Para ampliar el campo de medición de los wattímetros se emplean los transformadores de medición (Figura 1.14), pero estos a su vez introducen errores de tipo instrumental, de fase y de método. Los secundarios y la carcasa de los transformadores se conectan a tierra para proteger a los operadores.

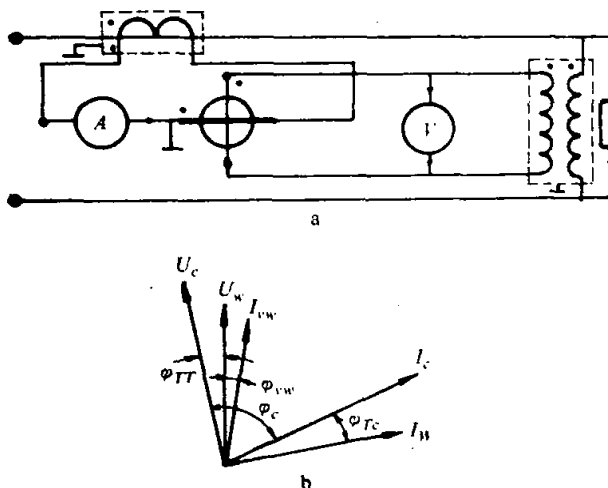


Figura 1.14. Medición de potencia en circuitos monofásicos con empleo de transformadores de tensión (TT) y de corriente (TC) a) Esquema simplificado b) Diagrama vectorial

En estos casos el valor de la potencia medida., esta dada por:

$$p = k_{TC} k_{TT} C_w a \tag{1.7}$$

y el error de medición se expresa:

$$\delta_{med} = \delta_{meT} + \delta_w + \delta_{TC} + \delta_{TT} + \delta_{\phi IU} \tag{1.8}$$

Donde:

$k_{TC}, \delta_{TC}, k_{TT}, \delta_{TT}$ – Coeficientes nominales de transformación y errores de relación de los transformadores de corriente y tensión, respectivamente;

C_w – Constante del wattímetro;

$\delta_{\phi IU}$ Error de fase de la medición, %.

1.4.2 Medición de potencia activa en los circuitos trifásicos

La medición de la potencia activa en los circuitos polifásicos se realiza al emplear uno o más wattímetros monofásicos que posea más de un mecanismo. El número de estos a utilizar en cualquier circuito lo da el teorema de Blondel, cuyo enunciado es:

“La potencia de un circuito de n líneas se puede medir con n wattímetros dispuestos de modo que cada una de las n líneas contenga una bobina de corriente, estando conectadas las correspondientes bobinas de tensión entre cada línea y un punto común”.

1.4.3 Medición de potencia en sistemas a tres hilos

En la figura 1.15, se muestra un esquema de medición de potencia activa en un circuito trifásico trifilar, donde se utilizan tres wattímetros monofásicos. El valor instantáneo de la potencia en la carga es igual a la suma de los valores instantáneos de las potencias en las fases individuales, es decir:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 \tag{1.9}$$

Para la conexión mostrada, esta ecuación se puede escribir de la siguiente forma:

$$p = u_{10}i_1 + u_{20}i_2 + u_{30}i_3; \tag{1.10}$$

donde $u_{10}, u_{20}, u_{30}, i_1, i_2, i_3$ son los valores instantáneos de las tensiones y las corrientes de fase.

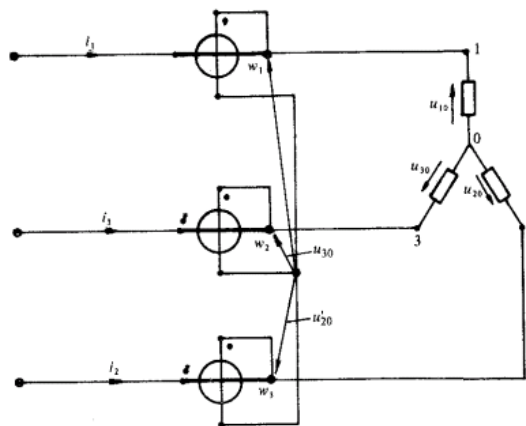


Figura 1.15. Esquema para medir potencia activa en un circuito trifásico trifilar con tres wattímetros

Si se considera u como la tensión entre los neutros 0 y $0'$, se tiene que:

$$\begin{aligned} u_{10} &= u'_{10} + u; \\ u_{20} &= u'_{20} + u; \\ u_{30} &= u'_{30} + u; \end{aligned} \tag{1.11}$$

donde $u'_{10}, u'_{20}, u'_{30}$ son los valores instantáneos de las tensiones de fase respecto al neutro $0'$. Si se sustituyese la ecuación (1.11) en la (1.10) se tiene:

$$p = (u'_{10} + u)i_1 + (u'_{20} + u)i_2 + (u'_{30} + u)i_3;$$

por consiguiente:

$$p = u'_{10}i_1 + u'_{20}i_2 + u'_{30}i_3 + u(i_1 + i_2 + i_3).$$

Pero, por la primera ley de Kirchoff se sabe que:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

Por tanto:

$$p = u'_{10}i_1 + u'_{20}i_2 + u'_{30}i_3 \tag{1.12}$$

Lo anterior demuestra que la potencia activa del circuito trifásico es proporcional a la suma de las indicaciones de los tres wattímetros, esto no quiere decir que la indicación de cada wattímetro sea proporcional a la potencia de cada fase. Si el neutro falso (0') se hace coincidir con el de la carga (0), entonces la indicación de cada wattímetro es proporcional a la potencia de cada fase, pero si el neutro falso se conecta en una de las líneas como se muestra en la Figura 1.16, entonces : $u'_{30} = 0; u'_{10} = u_{13}$ y $u'_{20} = u_{23}$, y de la ecuación (1.12) se obtiene:

$$p = u_{13}i_1 + u_{23}i_2. \tag{1.13}$$

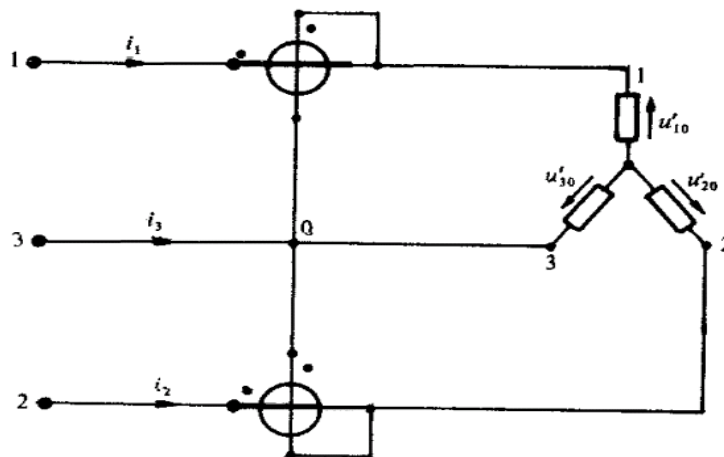


Figura 1.16. Esquema para medir potencia en un circuito trifásico trifilar con dos wattímetros

Esto demuestra que la suma de las indicaciones de dos wattímetros es proporcional a la potencia total de la carga independiente de sus condiciones, es decir, lo mismo para carga balanceada que desbalanceada y conectada en delta o en estrella.

1.4.4 Medición de potencia en sistemas a cuatro hilos

La medición de la potencia activa en circuitos trifásicos de cuatro conductores se efectúa con tres wattímetros (Figura 1.17).

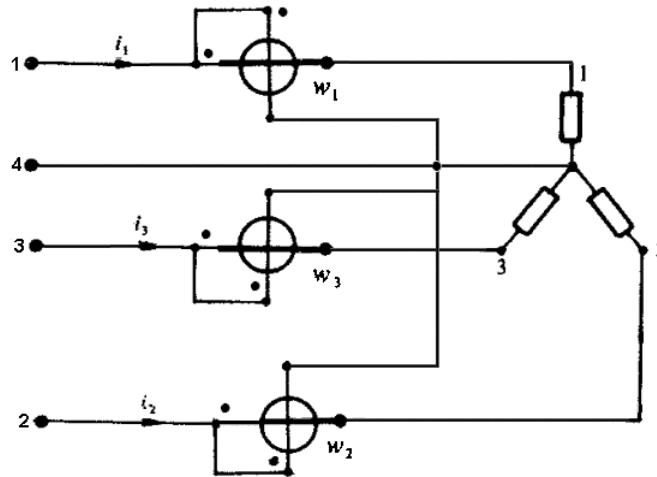


Figura 1.17. Esquema para medir potencia en circuitos trifásicos a cuatro hilos

En este caso la carga puede ser balanceada o desbalanceada y cada uno de los wattímetros mide la potencia de una fase (Figura 1.18). La potencia total se determina por la suma de las indicaciones de los tres wattímetros, o sea:

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} \quad (1.14)$$

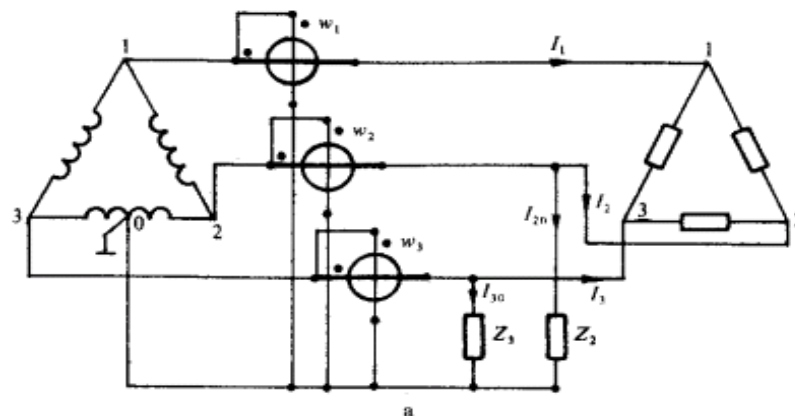


Figura 1.18. Esquema para medir potencia en circuitos de distribución

1.4.5 Medición de potencia reactiva

La potencia reactiva no determina el trabajo realizado ni la energía entregada por unidad de tiempo sin embargo, por analogía con el concepto de potencia activa, en la electroenergética se considera que la potencia reactiva determina la generación, la transmisión y el consumo de la magnitud convencional, llamada energía reactiva. La energía reactiva oscila en el circuito, de la fuente a la carga y de la carga a la fuente, repitiendo este ciclo dos veces en cada período.

La unidad de la potencia reactiva es el volt-amperio reactivo (VAR). En los circuitos monofásicos, la potencia reactiva se mide empleando varmetros que son wattímetros, a los que se les introduce una red para defasar la tensión aplicada a la bobina voltimétrica en 90° con respecto a la tensión aplicada a la carga.

En los circuitos trifásicos simétricos y balanceados, la potencia reactiva se calcula empleando una de las expresiones siguientes:

$$Q = 3 U_z I_f \text{ sen } \varphi = \sqrt{3} U_1 I_1 \text{ sen } \varphi \quad (1.15)$$

En los párrafos anteriores se estableció que la potencia reactiva no determina la energía entregada, sin embargo, resulta de interés medirla puesto que la aparición de la potencia reactiva conduce a un aumento de las pérdidas de energía en las líneas de transmisión, transformadores y generadores.

1.4.6 Métodos para medir potencia reactiva del sistema simétrico balanceado o simétrico desbalanceado

El método para medir potencia reactiva en un sistema con fuente simétrica y carga balanceada o desbalanceada, se representa en la figura 1.19.

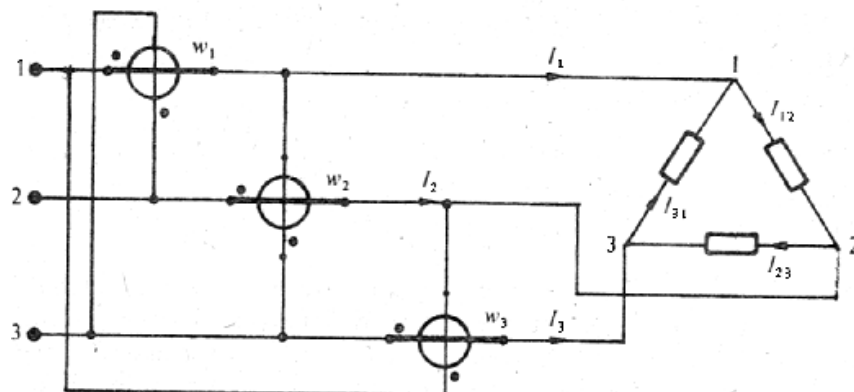


Figura 1.19. Esquema para medir potencia reactiva en un circuito trifásico con carga desbalanceada

Se muestra el esquema del método denominado de los tres watímetros, en el cuál se cumple que:

$$P_3 + P_2 + P_1 = U_{12}I_3 \cos \beta_3 + U_{31}I_2 \cos \beta_2 + U_{23}I_1 \cos \beta_1 \quad (1.16) [3]$$

1.5 TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN

Los transformadores de medición de corriente (TC) y de tensión (TT) (Figura 1.20) se emplean en circuitos de corriente alterna con el objetivo de convertir las tensiones y corrientes grandes en pequeñas, que puedan ser medidas por los instrumentos donde el campo de medición es relativamente pequeño (100 V o 5 A). Cuando se emplean transformadores de medición no existe unión galvánica entre el circuito y el instrumento, esto permite conectar al instrumento en circuitos aterrados de baja tensión, y, por tanto, aumentar la seguridad del personal que trabaja con los instrumentos, así como simplificar la construcción de los mismos.

En los transformadores de corriente, como regla, la corriente del primario I_1 es mayor que la del secundario I_2 por eso en ellos se cumple que $N_1 < N_2$. Las bobinas de los transformadores se construyen con alambres cuya sección depende del valor de las corrientes nominales que circulan por el primario I_{1N} y por el secundario I_{2N} . Como los primarios de los transformadores de corriente se fabrican para diferentes corrientes y en algunos casos para corrientes mayores que 500 A, también pueden constar de una sola vuelta en forma de cinta recta de cobre a través de la ventana del núcleo. En los

transformadores normalizados la corriente del secundario y, la sección del alambre de la bobina del secundario, es constante.

El valor de la corriente nominal del secundario puede ser: 1; 2; 2,5; y 5 A. Para cualquier valor de la corriente en el primario entre 1 – 40 000 A.

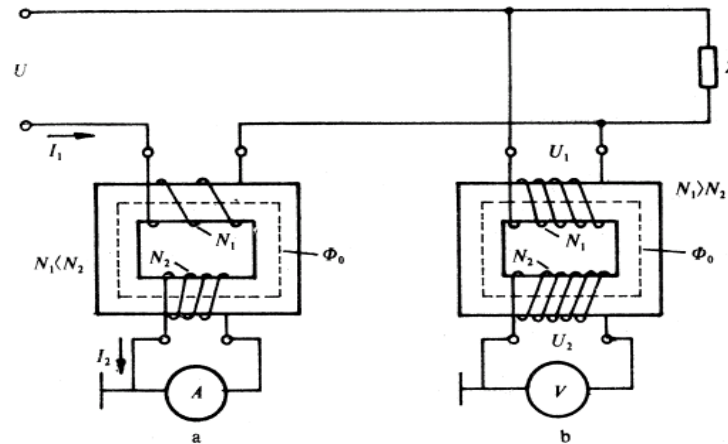


Figura 1.20. Esquema de conexión de los transformadores de medición: a) de corriente; b) de tensión

En los transformadores de tensión, como regla, la tensión del primario U_1 es mayor que la del secundario U_2 , por eso en ellos se cumple que $N_1 > N_2$. Las bobinas de estos transformadores se construyen con alambre cuya sección es relativamente fina (el alambre del primario es más fino que el del secundario). De acuerdo con las normas el valor de la tensión nominal del secundario U_{2N} de los transformadores de tensión normalizados es $100 \text{ y } \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$, independiente de la tensión nominal del primario U_{1N} .

Para el TC el coeficiente de transformación real (K_I) está dado por:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2}; \tag{1.17}$$

y para TT el coeficiente de transformación real (K_U) está dado por:

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} \tag{1.18}$$

Las expresiones anteriores muestran que si se conoce la indicación del amperímetro (I_2) o del voltímetro (U_2) se puede calcular el valor de la corriente medida (I_1) o de la tensión medida (U_1) empleando la siguiente fórmula:

$$I_1 = K_I I_2; \quad (1.19)$$

y

$$U_1 = K_U U_2 \quad (1.20)$$

Los coeficientes K_I y K_U no son constantes, sino que sus valores dependen del régimen de trabajo del transformador, es decir, de la corriente y la tensión, del carácter y el valor de la carga del secundario, de la frecuencia de la corriente y, además, de la tecnología y la calidad de los materiales empleados en la construcción de un determinado transformador.

Generalmente para determinar el valor de la magnitud que se mide, no se emplea el coeficiente real de transformación del transformador sino el nominal, el que siempre se indica en la chapa de forma de quebrado, siendo el numerador el valor nominal de la magnitud del primario y el denominador la del secundario. El coeficiente nominal de transformación de un determinado transformador es siempre constante.

Para los TC el coeficiente nominal de transformación se representa por I_{IN} y para los TT se representa por K_{UN} . Como los coeficientes real y nominal de transformación no son iguales, al determinar el valor de la magnitud que se mide sobre la base del coeficiente nominal de transformación se introduce un error, cuyo valor relativo se determina por medio de:

a) para los transformadores de corriente:

$$f_I = \frac{I_1' - I_1}{I_1} 100; \quad (1.21)$$

donde:

$$I_1' = K_{IN} I_2; \quad (1.22)$$

$$I_1 = K_I I_2; \quad (1.23)$$

Si se sustituyen las ecuaciones (1.22) y (1.23) en la ecuación (1.21) se obtiene:

$$f_I = \frac{K_{IN} - K_I}{K_I} 100; \quad (1.24)$$

b) para los transformadores de tensión se tiene:

$$f_U = \frac{U_1' - U_1}{U_1} 100; \quad (1.25)$$

como:

$$U_1' = K_{UN} U_2; \quad (1.26)$$

y

$$U_1 = K_U U_2; \quad (1.27)$$

operando de modo análogo se encuentra que:

$$f_U = \frac{K_{UN} - K_U}{K_U} 100 \quad (1.28)$$

Los errores estudiados son los llamados errores de relación, siendo f_I el de corriente y f_U el de tensión. Además de estos errores los transformadores de medición tienen otro error al que se le llama **error angular**, el cual se produce porque el transformador no transfiere la fase de la magnitud del primario a la del secundario. Este error influye solamente sobre la indicación de los instrumentos, en los cuales la desviación de la parte móvil depende del ángulo entre la corriente y la tensión. Entre estos instrumentos se tienen los watímetros, los contadores de energía y los fasímetros.

En los transformadores ideales se cumple que el vector de la tensión del secundario U_2 está desfasado 180° en relación con el vector de la tensión en el primario U_1 ; por tanto, si se desfasa el vector del secundario U_2 en 180° el ángulo formado por el vector desfasado $-U_2$ y U_1 es 0° . Esto se cumple en los transformadores ideales de corriente. En los reales el ángulo entre el vector de la magnitud del secundario desfasado en 180° ($-U_2, -I_2$), está adelantado con respecto al vector de la magnitud del primario.

1.5.1 Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente (TC) trabajan en régimen cercano a corto circuito, porque en su circuito secundario se conectan instrumentos de baja resistencia interna. La carga del secundario está constituida por las resistencias de los instrumentos conectados a él y la de los conductores en unión (Figura 1.21).

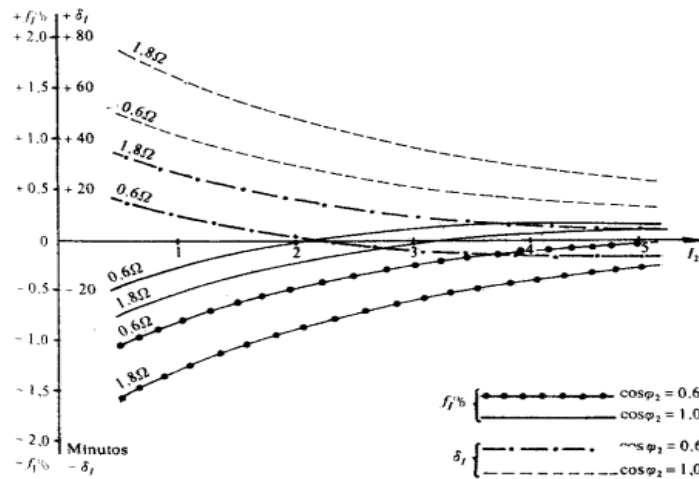


Figura 1.21. Errores de los TC según el valor y el carácter de la carga

En la tabla 1.3 aparecen los valores máximos permisibles de los errores de los transformadores de corriente.

Tabla 1.3. Errores de los transformadores de Medición de Corriente

Clase de precisión	Valor de la corriente en porcentaje de la nominal (%)	Error de relación en porcentaje de f_1 (%)	Error angular (min.)
0,2	5	$\pm 0,75$	$\pm 0,30$
	10	$\pm 0,50$	$\pm 0,20$
	20	$\pm 0,35$	$\pm 0,15$
	100 – 120	$\pm 0,20$	$\pm 0,10$
0,5	5	$\pm 1,5$	± 90
	10	$\pm 1,0$	± 60
	20	$\pm 0,75$	± 45
	100 – 120	$\pm 0,5$	± 30
1,0	5	$\pm 3,0$	± 180
	10	$\pm 2,0$	± 120
	20	$\pm 1,5$	± 90
	100 – 120	$\pm 1,0$	± 60
3	50 – 120	$\pm 1,5$	No se norma
5		$\pm 1,0$	
10		$\pm 0,75$	

1.5.2 Transformadores de tensión

Los transformadores de tensión (TT) al contrario de los TC, trabajan prácticamente en vacío porque al secundario se conectan instrumentos cuya resistencia interna es relativamente grande.

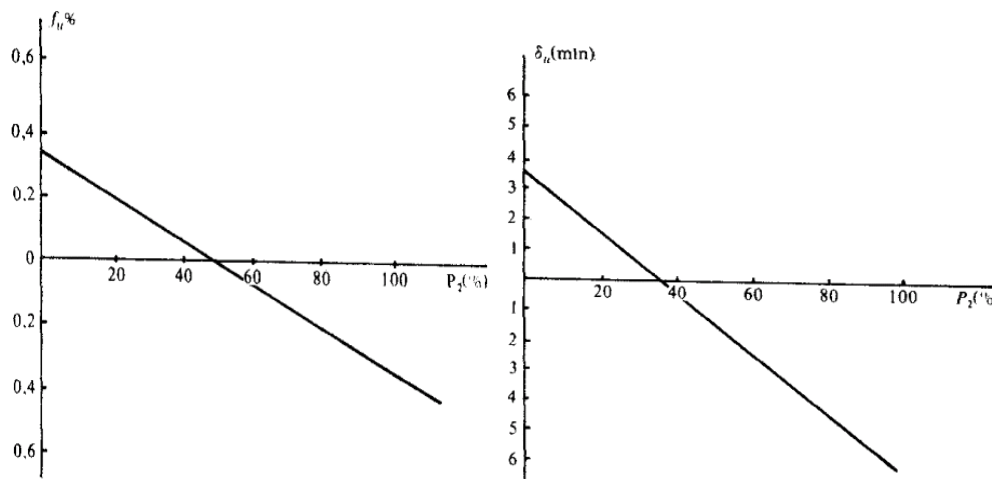


Figura 1.22. Características de la variación de los errores de los TT en función de la potencia en el secundario P_2

La característica de la variación de los errores en los TT se muestra en la Figura 1.22. A partir de cierto valor de potencia en el secundario del TT, los errores aumentan; por eso a estos transformadores no se les debe sacar una potencia mayor que la nominal, la cual se indica en la chapa de ellos. Se fabrican TT para trabajar en lugares fijos y portátiles, también llamados de laboratorio, los primeros se fabrican de clase 0,5; 1; 3 y los últimos de clase 0,05; 0,2 y 0,5. [4]

1.6 ADQUISICIÓN DE DATOS

Los sistemas de adquisición y conversión de datos, como su nombre lo indica, adquieren señales análogas de una o más fuente y las convierte en una secuencia de datos o códigos digitales, cada uno de los cuales representa el valor particular de esas señales en un instante dado. Esta conversión es esencial siempre que se utilicen técnicas digitales para realizar un trabajo normalmente análogo se recurra a un procesador digital (computador, microprocesador, microcontrolador, etc.) para controlar un experimento o proceso. Una vez digitalizada es decir convertida en una colección de bits, una señal

análoga se vuelve prácticamente inmune al ruido y se torna más flexible, pudiendo ser almacenada, analizada, y manipulada de muchas formas.

Elementos básicos. Un sistema de adquisición y conversión de datos se compone básicamente de un multiplexor análogo de entrada, un amplificador de muestreo y retención, un convertidor análogo-digital y un circuito de control. Este último suministra las señales lógicas de sincronización y secuencias requeridas en cada instante y proporciona interface con el circuito de procesamiento. Adicionalmente, se pueden requerir filtros y circuitos de acondicionamiento previos al multiplexaje para garantizar que todas las señales de entradas tengan un rango dinámico similar. Ver figura 1.23.

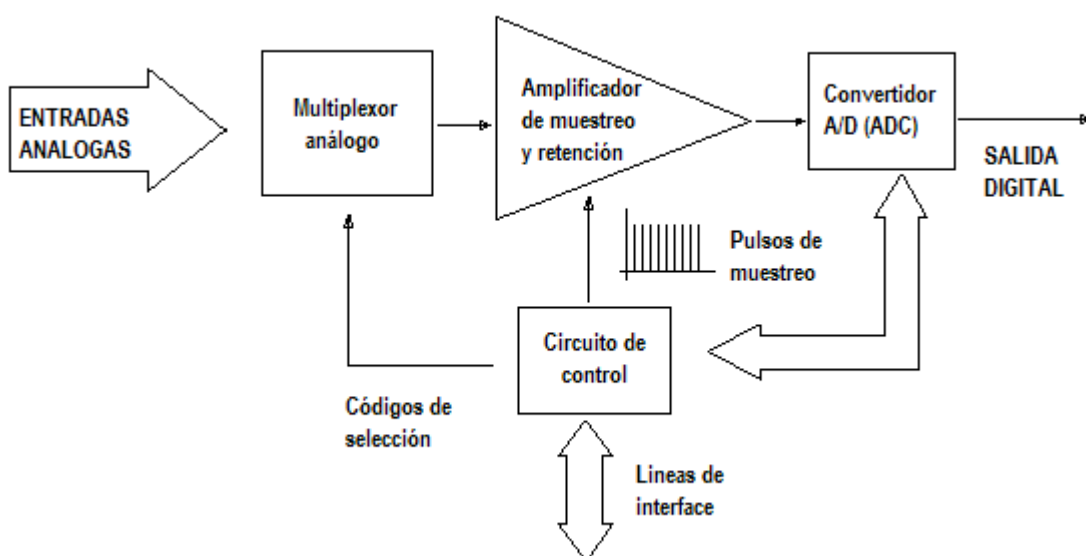


Figura 1.23. Elementos de un sistema de adquisición y conversión de datos

El multiplexor análogo actúa como interruptor rotatorio de varias posiciones que periódicamente selecciona una señal de entrada y la enruta al circuito de muestreo y retención este último sigue la señal análoga multiplexada durante un breve instante y memoriza su amplitud instantánea, ignorándola el resto del tiempo. Este proceso se denomina *muestreo*.

El convertidor A/D asigna a cada muestra análoga un código a valor digital equivalente. Este último proceso se denomina cuantización. El muestreo y la cuantización son la esencia de cualquier sistema de adquisición y conversión de datos. Aunque la mayor parte de los bloques funcionales de un sistema de adquisición y conversión de datos

pueden venir integrados en un mismo chip, la práctica más común es utilizar tarjetas de adquisición de datos especializadas. Estos modelos incluyen generalmente su propia fuente de alimentación y pueden conectarse directamente a uno de los slots disponibles de la PC.

La información de salida esta generalmente codificada en binario o decimal (BCD) y puede transmitirse al dispositivo de procesamiento en forma serial (bit por bit) o paralela (todos los bits al mismo tiempo) utilizando mas de un canal de datos. Los sistemas con salidas decimales se destinan principalmente para manejar paneles de visualización en instrumentos de medidas digitales.

Muestreo

Una señal análoga se muestrea observando y memorizando su amplitud instantánea a intervalos regulares e ignorándola el resto del tiempo. El procedimiento se se ilustra gráficamente en la figura 1.24. Cada muestra representa la amplitud de la señal análoga en un instante específico. La velocidad a la cuál se realiza la actualización de las muestras se denomina *rata o frecuencia de muestreo (Fs)*. En el caso general de varias señales o canales de datos, este parámetro depende del ancho de banda de las señales de entrada, del número de canales análogos y del número de muestras por ciclo.

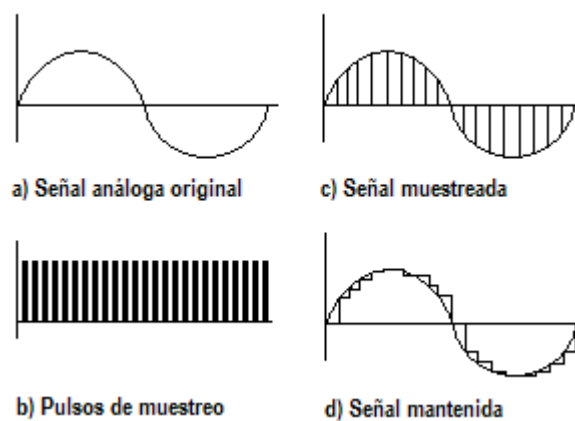


Figura 1.24. Proceso de muestreo

La teoría a demostrado que para reconstruir las señales análogas originales, sin pérdida apreciable de información, estas deben ser limitadas en su ancho de banda a alguna

frecuencia máxima F_c y muestreadas a una tasa mínima de dos muestras por ciclo de esa frecuencia. Este resultado se conoce como Teorema del muestreo de Nyquist. De acuerdo a este criterio:

$$F_s \geq 2 \times F_c \times N$$

F_s es la tasa de muestreo del sistema, F_c la componente de más alta frecuencia presente en las señales de entrada y N el número de canales análogos. La mínima frecuencia de muestreo se denomina *tasa de Nyquist*. Por ejemplo, un canal de audio limitado a $F_c=20\text{KHz}$ debe ser muestreado a una tasa mínima de $2 \times 20 \times 1 = 40\text{KHz}$. En la práctica, el muestreo debe realizarse a frecuencias por encima de la tasa de Nyquist para facilitar la separación o filtrado de la señal original de sus imágenes durante el proceso de reconstrucción de la misma.

El uso de una frecuencia de muestreo inferior a la establecida por el criterio de Nyquist causa pérdidas de información debido a que el número de muestras por ciclo resultante es insuficiente para reconstruir todas las señales de entrada. Esta condición se denomina *submuestreo* y provoca un fenómeno de distorsión conocido como “*error de aliasing*”.

Cuantización

La idea básica del proceso de cuantización es restringir todos los posibles valores de amplitud que pueden asumir las muestras análogas presentes a la entrada del convertidor A/D a un número limitado de amplitudes estándares, cada una caracterizada por un código binario específico de salida. El número de bits del convertidor A/D determina el número máximo de intervalos y códigos de cuantización que pueden definirse y fija la resolución, es decir el más pequeño incremento de amplitud de señal que puede discernir el sistema.

Los códigos de salida y sus intervalos de cuantización respectivos se representan generalmente en una curva o característica de transferencia tipo escalera, correspondiente a un convertidor A/D binario idealizado de 3 bits. En este caso se dispone de 8 códigos de salida y 7 intervalos de cuantización. En general, con N bits es posible definir hasta 2^N códigos y $2^N - 1$ intervalos diferentes.

Cada código de salida es válido para un cierto rango de voltajes de entrada y todos los intervalos de cuantización, con excepción del primero y el último, tienen el mismo ancho de LSB (bits menos significativos). Asumiendo que la señal análoga de entrada se cuantifica para el rango de voltajes comprendido entre V_{MIN} (valor mínimo) y V_{MAX} (valor máximo), la resolución del convertidor, y por tanto el tamaño del LSB, están dado por

$$\begin{aligned} \text{Resolución (V)} &= \frac{VFSR}{2^N - 1} \\ \text{Resolución (\%)} &= \frac{100}{2^N - 1} \end{aligned} \tag{1.29}$$

Siendo $VFSR = V_{MAX} - V_{MIN}$ el rango dinámico total o de full escala del voltaje de entrada y N el número de bits del convertidor.

La siguiente tabla 1.4, proporciona las resoluciones y los valores del LSB para otros convertidores A/D estándares comunes. [21]

Tabla 1.4. Resolución de ADCs

RESOLUCION		1LSB (VFSR = 10 V)	
N	2^N	%	mV
16	65536	0.0015	0.152
12	4096	0.0244	2.44
11	2048	0.0489	4.89
10	1024	0.0978	9.78
9	512	0.1957	19.6
8	256	0.3921	39.2

1.7 ANALIZADOR DE REDES

Los analizadores de redes han sido pensados para solucionar los principales problemas eléctricos con los que se encuentran los responsables de mantenimiento de industrias o compañías eléctricas, los instaladores, etc.

En la actualidad a medida que se ha ido desarrollando el área de la electrónica, el diseño y las potencialidades de los analizadores de redes se ha hecho más complejo pero con mejores prestaciones. Los primeros modelos incluían por separado la medición de las principales variables eléctricas y la medición de los elementos de la calidad de energía. Es común observar en los modelos actuales la presencia de microcontroladores como unidad principal del procesamiento de la información en la que se incluye un complejo algoritmo matemático y lógico, incluyendo además las funciones de comunicación internas y el enlace a la PC.

En el mercado se cuenta con una gama de analizadores de redes tanto portátiles como de panel de alta calidad, siendo las principales compañías distribuidoras la:

- Compañía FLUKER
- Compañía CIRCUTOR
- Compañía LIFASA
- Compañía JANITZA ELEXTRONICS
- Compañía PCE GROUP
- Compañía GMC INSTRUMENT

Es importante tener un conocimiento amplio de cómo tomar los datos de la red con el analizador de redes ya que de esto depende que se obtenga una buena información que nos permita analizar los distintos parámetros para así poder tener una idea de la calidad de la red.

Si se quiere tener una idea de los principales elementos que componen la estructura de los analizadores de redes se hace necesario dividirla en dos elementos fundamentales, el hardware y el software.

Hardware

- Pinzas de corriente
- Pinzas de tensión
- Rangos de entrada y salida de las pinzas

- Almacenadores de la información
- Alimentación
- Periféricos
- Pantallas de visualización
- Unidad de procesamiento
- Esquemas de conexión
- Adquisición de datos

Software

- Validación de los resultados de la medición.
- Procesamiento matemático de los datos.
- Programas monitores de la arquitectura.
- Visualización y manipulación de la información en PC.

Analizador de redes portátil moderno

Para realizar esta investigación se tomará como base que la medición de los parámetros de las redes, son ejecutados a través de un Analizador Programable de Redes. Mostramos a continuación en la figura 1.25, un ejemplo de este equipo y más adelante sus características generales que justifican la proliferación de este instrumento en la actualidad.



Figura 1.25. Analizador de Redes Trifásico 434 de Fluke

Estos instrumentos portátiles de fácil uso cuentan con numerosas e innovadoras funciones para revelar los indicios que delatan la presencia de problemas de forma más rápida y segura.

Este instrumento mide prácticamente todos los parámetros del sistema eléctrico, como tensión, corriente, potencia, consumo (energía), desequilibrio, flícker, armónicos e interarmónicos. Captura eventos como fluctuaciones, transitorios, interrupciones y cambios rápidos de tensión.

Auto Trend: cada medida se registra automáticamente.

System-Monitor: Esta función ofrece una descripción inmediata de la calidad del sistema eléctrico.

Cuatro canales: Mide simultáneamente la tensión y la corriente en las tres fases y el neutro.

Visualización de transitorios automática: Captura hasta 40 fluctuaciones, interrupciones y transitorios de hasta 5 μ seg.

Instrumento portátil y resistente con más de 7 horas de autonomía. Las medidas almacenadas también se pueden transferir a un PC con el software.

Analizador de redes de panel CIRCUTOR CVM-NRG 96

Las principales características de este novedoso analizador de redes de panel (Figura 1.26), es que mide calcula y presenta los principales parámetros eléctricos en balance y desbalanceados de sistemas trifásicos.



Figura 1.26. Analizador de redes de panel montado CIRCUTOR CVM-NRG 96

- Posee la función de medidor de demanda de energía (A / A III / kW III / kV•A III)
- Tiene un lector de corriente usando transformadores externos.../5 A (entradas aisladas de acuerdo al tipo)
- Opción para medir sistemas en bajo y medio voltaje.
- Comunicación RS-485 (MODBUS RTU).
- Compatible con el Power Studio/Scada sistema.

Características Generales de los Analizadores de Redes

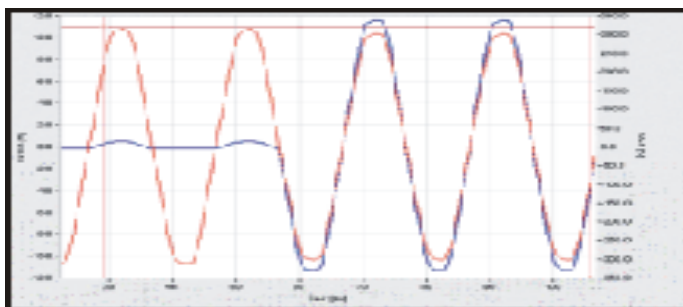
- Equipo de medida, que permite analizar y registrar los principales parámetros de calidad de servicio de una red eléctrica (Figura 1.27).



Figura 1.27. Analizador de redes portátil

Permite capturar todos los disturbios en circuitos monofásicos y trifásicos determinando la cantidad de impulsos o eventos transitorios como elevaciones o reducciones de la tensión durante el tiempo de monitoreo.

- Registrador de interrupciones y cualquier evento configurables.
- Memoria interna de 256k. Capacidades de memoria configurables por el usuario para diferentes tareas de medición y comprobación.
- **Control de la calidad de suministro** y registro simultáneo de magnitudes trifásicas con función de registrador.
- **Interfaz RS485** para conexión en red hasta con 32 instrumentos.
- Análisis de 100% de los ciclos de tensión y corriente (Figura 1.28).



Captura proceso de arranque con frecuencia de muestreo de 10 kHz. El pico de corriente presente es de 12 A. La caída de voltaje es obvia (eje X: tiempo 60...100 ms).

Figura 1.28. Captura de onda de tensión

- Evaluación de la calidad de la energía eléctrica de la Planta, permitiéndonos la medición y registro de Armónicos (THD e individuales) y Flickers, Tensiones, corrientes, frecuencia, Potencia y energía activa, reactiva, factor de potencia.
- Registro en memoria no volátil de los valores promedio, máximos y mínimos en intervalos programables.
- Captura de forma periódica de los parámetros eléctricos (Figura 1.29).

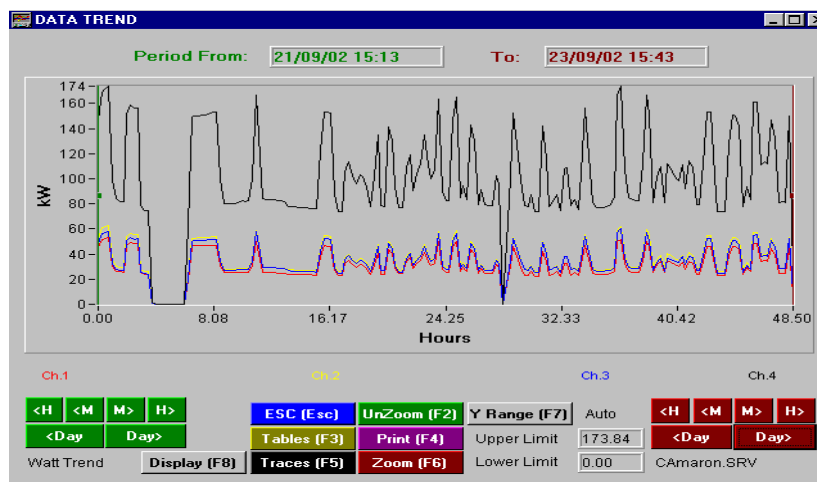


Figura 1.29. Medición periódica

- Medición en verdadero valor eficaz (True RMS).
- Posibilidad de medir corrientes, con distintos tipos de pinzas (Figura 1.30).



Figura 1.30. Pinzas de Analizador de redes

- Capacidad de almacenamiento.
- Programación y extracción de datos por medio de PC (Figura 1.31).



Figura 1.31. Extracción de datos por PC

- Salida de alarma para aviso de eventos
- Se adaptan al tipo de sistema eléctrico y la forma de medición. [10] [19] [20]

1.8 ALGUNOS ELEMENTOS DEL SOFTWARE LABVIEW

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear las aplicaciones. En contraste con los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, en LabVIEW el flujo de los datos determina la ejecución.

En LabVIEW se crea una interfaz de usuario utilizando un conjunto de herramientas y objetos. La interfaz del usuario es llamada el panel frontal (Figura 1.32). Posteriormente, se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene dicho código. En ocasiones, el diagrama de bloques parece un diagrama de flujo (Figura 1.33).

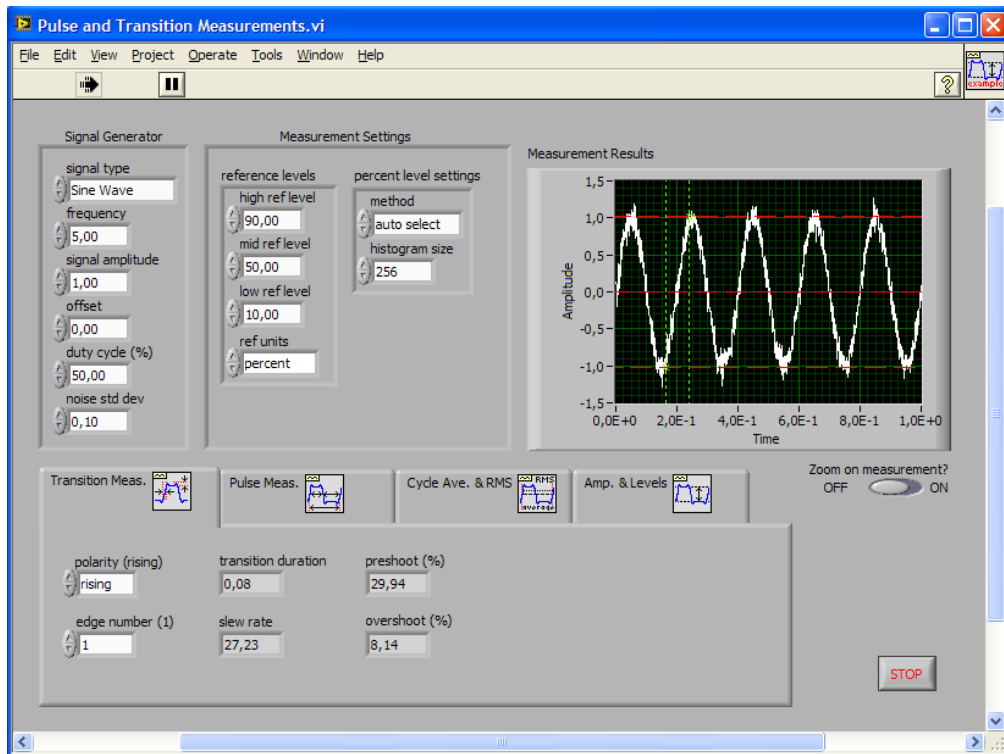


Figura 1.32. Panel Frontal

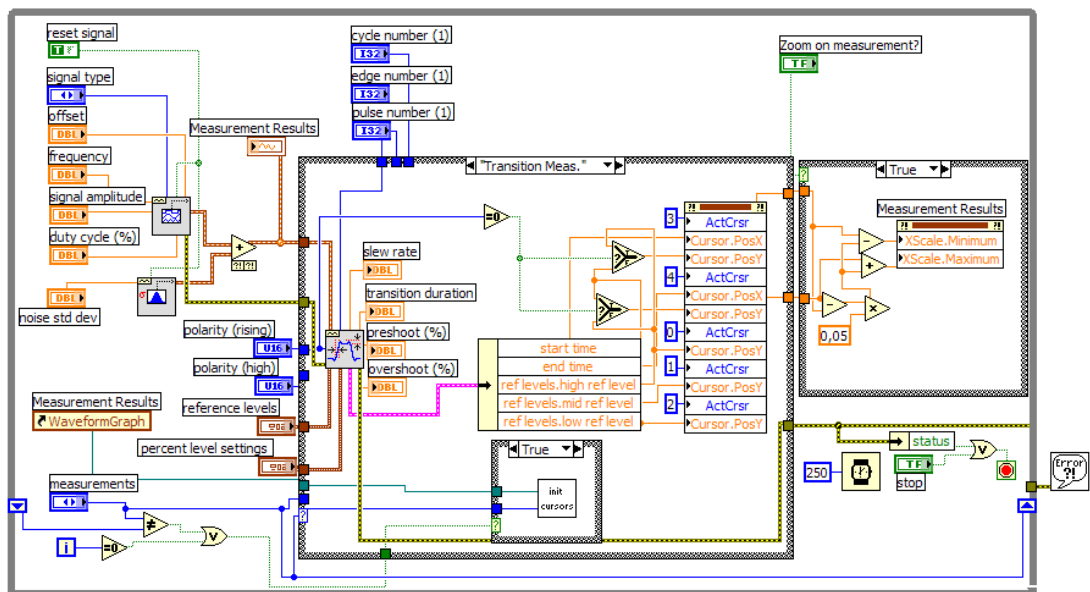


Figura 1.33. Diagrama de Bloques

LabVIEW está totalmente integrado para comunicarse con equipos tales como GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 y tarjetas de adquisición de datos (DAQ) insertables en la computadora. LabVIEW también posee características para conectar sus aplicaciones a la Web utilizando el LabVIEW Web Server y programas estándares tales como TCP/IP y ActiveX.

Utilizando LabVIEW se pueden crear pruebas y mediciones, adquisición de datos, control de instrumentos, almacenamiento de datos, análisis de mediciones y aplicaciones de generación de reportes. También se pueden crear librerías ejecutables y librerías compartidas, tales como DLL's, ya que LabVIEW es un compilador verdadero de 32 bits. [5] [6]

CAPITULO II

HARDWARE Y SOFTWARE DE LA APLICACIÓN

- ✚ INTRODUCCIÓN
- ✚ DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA APLICACIÓN
- ✚ HARDWARE
- ✚ DISEÑO DEL SOFTWARE

No importa cuántos digan que no se puede hacer o cuanta gente lo haya intentado antes; lo importante es darse cuenta de que lo que sea que estas haciendo, es tu primer intento

Wally Amos

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente Capítulo a partir del diagrama de bloques de la aplicación, se realiza una explicación minuciosa de las características del hardware y software correspondientes. Se exponen las características de los transformadores de medición, los circuitos de acoplamiento, la tarjeta de adquisición de datos y las características del PC utilizado. Se describen cada una de las ventanas del software, las cuáles permiten visualizar y registrar las variables eléctricas sometidas a las mediciones. De forma general se explica la interrelación entre la instrumentación virtual utilizada y la programación de los diagramas de bloques usados.

2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA APLICACIÓN

El analizador de red ARCO-07 es una aplicación didáctica tipo digital, basada en un sistema de adquisición y análisis de señales eléctricas utilizando el software LabVIEW, mismo que realiza el muestreo de las ondas de tensión y de corriente y realiza los cálculos necesarios para obtener todos los parámetros de calidad de la energía eléctrica. La figura 2.1 muestra un diagrama de bloques de la investigación.

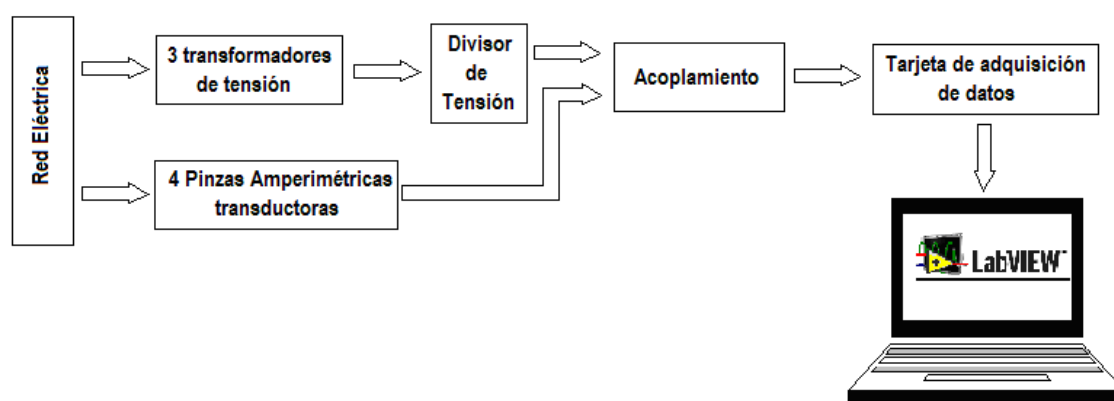


Figura 2.1. Diagrama de bloques de la aplicación ARCO-07

Este diagrama muestra el proceso de adquisición de las señales desde la red eléctrica en baja tensión, se utilizaron 3 transformadores de tensión de fuente, así como 4 pinzas amperimétricas transductoras, las señales de tensión pasaron por un divisor al acoplamiento, uniéndose también los datos de las pinzas amperimétricas. Luego del acoplamiento a la tarjeta de adquisición de datos de la National Instrument para

finalmente mediante comunicación USB introducir las variables eléctricas digitalizadas a los instrumentos virtuales del LabVIEW.

2.3 HARDWARE

El analizador de redes creado (ARCO-07), para su mejor comprensión se lo puede dividir en 3 partes importantes:

- Adaptación de las señales.
- Tarjeta Interface
- PC

2.3.1 Adaptación de señales

Debido a la importancia y necesidad de bajar las señales de la red eléctrica se adquirió 4 pinzas amperimétricas i400s de la marca FLUKE y 5 pinzas cocodrilo TLS 430 para tensión. A continuación se detalla más claramente las características de las pinzas.

Pinzas Amperimétricas i400s

Estas pinzas (Figura 2.2) pertenecen a un analizador de redes de la Marca FLUKE 434, pues las pinzas son de la misma marca y presenta 2 rangos a seleccionar de acuerdo a las necesidades del usuario.



Figura 2.2. Pinza amperimétrica i400s

La tabla 2.1, nos muestra las características principales de las pinzas amperimétricas de la marca FLUKE.

Tabla 2.1. Características de las pinzas i400s

	i400s
Escalas de corriente AC	40 A 400 A
Rango de corriente AC	0,5 – 40 A 5 A – 400 A
Corriente máxima	1000 A
Corriente mínima de medida	0,5 A
Precisión básica (48-65 Hz)1)	2% + 0,15
Frecuencia de la señal	45 Hz – 3KHz
Tensión máxima de servicio	1000 V
Diámetro máximo del conductor	32 mm
Niveles de salida	10 mV/A 1 mV/A
Batería, duración de la batería	
Longitud del cable (m)	2,5
Conectores aislados tipo banana	
Conector BNC	X
Adaptador BNC a doble banana incluido	
Seguridad	CAT III 1000V/ CAT IV 600V

Ancho de banda típico: 5 Hz a 10 kHz

Tensión de trabajo: 1000 V CA rms, en conformidad con EN61010.

Tensión de modo común: 1000 V CA rms desde tierra, en conformidad con EN61010.

Impedancia de carga de entrada (del instrumento central): > 1 MΩ en paralelo con un máximo de 47 pF.

Máxima corriente no destructiva: 1000 A.

Ciclo de trabajo: 0,5 A a 400 A continuos.

Influencia de conductor adyacente: < 9,0 mA/A.

Influencia de la posición del conductor en la abertura de la mordaza: ± 1,0 % de la lectura + 0,05 A.

Pinzas TLS 430

Estas pinzas (Figura 2.3) con su respectivo cable de prueba también pertenecen a la misma marca distribuidora de analizadores de redes, pues el Analizador de Redes FLUKE 434 también las emplea para adquirir las señales de tensión de la red.



Figura 2.3. Pinzas de tensión TLS 430

2.3.2 Diseño de la tarjeta interface

Parte fundamental en nuestro proyecto de tesis es el diseño de la tarjeta interfase, misma que se encarga de la adquisición y transmisión de datos para su respectivo análisis en la PC. A continuación en la figura 2.4, les mostramos un esquema de la conexión y componentes de dicha tarjeta interfase.

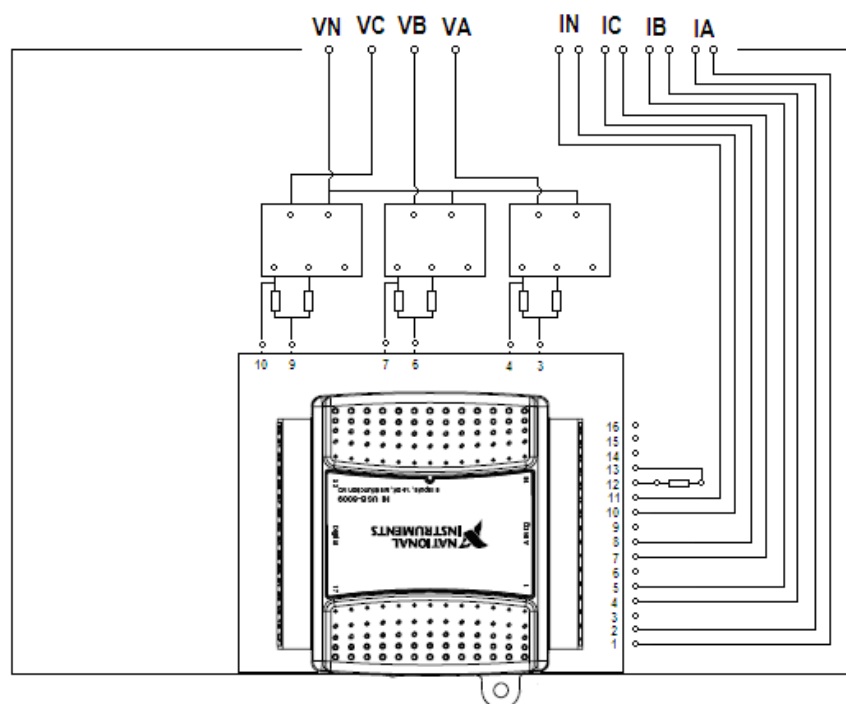


Figura 2.4. Diseño de la tarjeta interface

En primera instancia podemos observar las entradas para la conexión de las pinzas, tanto de corriente como de tensión, los divisores de tensión en la salida de los transformadores y la tarjeta de adquisición de datos 6009 de la National Instrument.

Dentro de las tareas de la tarjeta de adquisición de datos, se tomó como configuración de Terminal el RSE (medidas hechas con respecto a tierra), para las entradas de corriente y tensión, tomándose para las pinzas de corriente las siguientes entradas: (Figura 2.5)

Entradas analógicas para las pinzas i400s

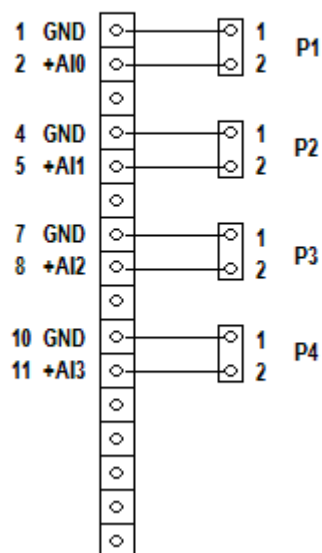


Figura 2.5. Entradas analógicas para las pinzas de corriente

En esta conexión, los plugs de las pinzas de corriente i400s se conectaron directamente a las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos 6009. Sin embargo para las pinzas de tensión se tomó en cuenta las siguientes entradas:

Entradas analógicas para las pinzas TLS 430

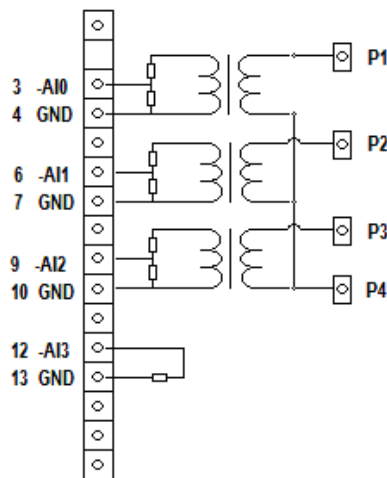


Figura 2.6. Entradas para las pinzas de Tensión

En esta conexión (Figura 2.6) se utilizó 3 transformadores de fuente de 230/7,5 V y 2,8 VA junto con un divisor de tensión hecho con resistencias de 1,5 k Ω para poder ingresar las señales a la tarjeta de adquisición de datos, ya que los transformadores usados en la adquisición de las señales de voltaje, entregan en realidad 12 voltios. En los transformadores se hizo la conexión estrella completa para poder adquirir las señales de la red.

Características de la tarjeta de adquisición de datos 6009 de la National Instrument

La NI USB 6009, Figura 2.7, provee conexión para 8 canales de entradas analógicas (AI), 2 canales de salidas analógicas (AO), 12 canales de entrada/salida digital (DIO), y un contador cuando se utiliza una máxima velocidad de la interfase USB.



Figura 2.7. Tarjeta ADQ 6009

- Entradas analógicas:
 - 8 terminales simples / 4 diferenciales
 - Velocidad 48 kS/s, Resolución 14 bits, Rango de +/- 20 a +/- 0.05 V

- Salidas analógicas:
 - 2 referenciadas
 - Velocidad 150 Hz, Resolución 12 bits, Rango de 0-5 V

- Entradas/Salidas Discretas
 - 12 canales bidireccionales
 - Señales compatibles TTL/CMOS (0-5 V)

- Contador
 - 1 contador de 32 bits de 5 MHz

La figura 2.8 muestra la estructura general del hardware de la tarjeta USB-6009.

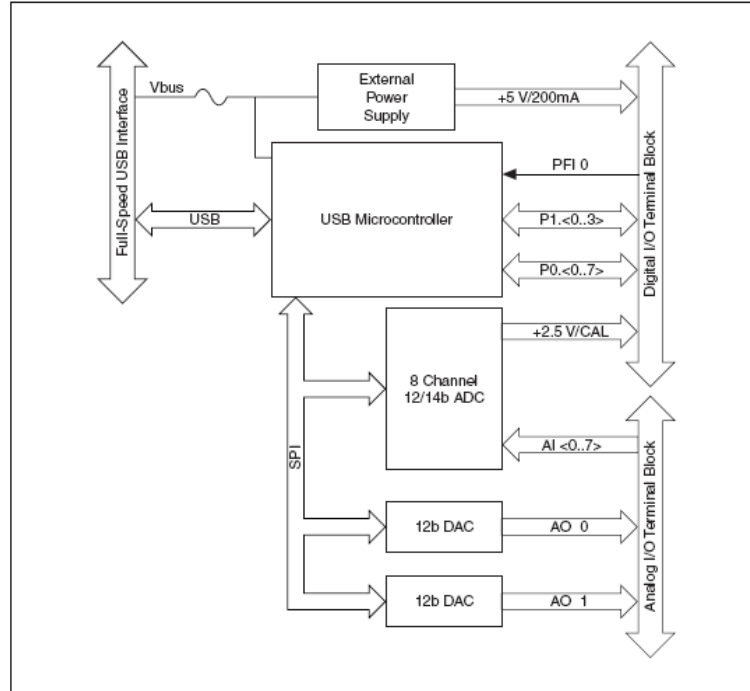


Figura 2.8. Diagrama de bloques de la tarjeta ADQ 6009

La Tabla 2.1, presenta un listado de las asignaciones de los terminales analógicos, y la Tabla 2.2, da un listado de las asignaciones de los terminales digitales.

Tabla 2.1. Asignaciones de terminales analógicos

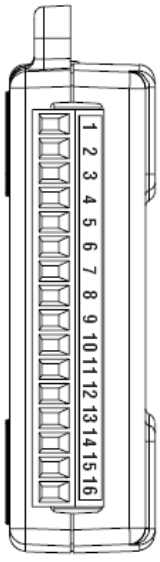
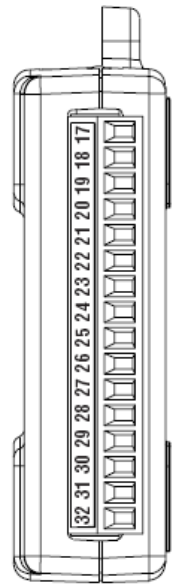
Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Tabla 2.2. Asignaciones de terminales digitales

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

La tabla 2.3 describe las señales disponibles sobre los conectores I/O.

Tabla 2.3. Descripción de las señales

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND			Ground.- Punto de referencia para la medida AI single-ended. Predispone el punto de regreso de la corriente para la medida del modo diferencial, AO voltajes, señales digitales en el conector I/O, suministro de + 5 VDC, y la referencia de + 2,5 VDC.
AI <0..7>	Varies	Entrada	Entrada Analógica, Canales 0 a 7.- Para las medidas single-ended, cada señal es en el canal de voltaje una entrada analógica. Para las medidas diferenciales, AI 0 y AI 4 son las entradas positivas y negativas de la entrada analógica diferencial del canal 0. Los siguientes pares de señales también forman canales de entrada diferencial: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, y <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Salida	Salida analógica, canal 0.- Suministra la salida de voltaje de AO canal 0.
AO 1	GND	Salida	Salida analógica, canal 1.- Suministra la salida de voltaje de AO canal 1.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Entrada o Salida	Señales digitales I/O.- Ud puede individualmente configurar cada señal como una entrada o salida.
+2.5 V	GND	Salida	+2.5 V Referencia externa.- Provee una referencia para prueba wrap-back.
+5 V	GND	Salida	+5 V suministro energía.- Provee energía de +5 V hasta 200 mA.
PFI 0	GND	Entrada	PFI 0.- Este pin es configurable como cualquiera un disparador digital o una entrada de contador evento.

2.3.3 PC

A continuación detallamos las características principales de la Laptop utilizada para elaborar y comprobar el software ARCO-07.

Características de la PC utilizada

- Marca: ACER.
- TravelMate 4222WLMi.
- Intel Core Duo processor 1.66 GHz 667 MHz FSB, 2 MB L2 cache.
- 15.4" WXGA Wide TFT LCD.
- Intel Graphics Media Accelerator 950.
- 120 GB HDD.
- 1 GB DDR2 (support dual-channel).
- 802.11 a/b/g wireless LAN.

Un aspecto importante dentro de las características de la Laptop a utilizarse para instalar el software ARCO-07 es la velocidad del procesador, ya que de este depende que se realicen las mediciones al 100% y se obtenga mayor velocidad de procesamiento y cálculo de datos.

2.4 DISEÑO DEL SOFTWARE ARCO-07

La parte más importante y fundamental en la elaboración de este proyecto de tesis, fue el diseño del software ARCO-07 utilizando como herramienta el software LabVIEW, es por esto que es de vital importancia redactar las partes que lo constituyen. Al software ARCO-07 se lo puede dividir en:

- VI Adquisición de datos.
- VI Medición.
- VI Pantalla de mediciones instantáneas.
- VI Pantalla de mediciones periódicas.
- VI Pantalla de captura de ondas.
- VI Pantalla de fasores.
- VI Pantalla de configuración.
- Proceso de graficado del conexionado de pinzas.
- Cierre de ventana principal.

En el anexo 3, se puede apreciar el diagrama de bloques de la ventana principal del software ARCO-07 con las partes de la división antes mencionada.

2.4.1 VI Adquisición de datos

El proceso más importante de esta aplicación es la adquisición de datos, la cuál sólo es posible mediante los drivers de instalación de la tarjeta de adquisición de datos ADQ 6009, el driver está contenido dentro de la aplicación Measurement & Automation Explorer, la cuál se brinda en un CD de conjunto con la compra de la tarjeta.

En la figura 2.9, se puede observar el diagrama de bloques del VI ADQ, el cual permite el enlace después de la instalación del driver la comunicación entre el mundo analógico de las variables eléctricas objeto de medición y el computador. Para iniciar las operaciones contenidas en el “Case Structure” de la figura 2.9 se activa un switch en True el cual opera desde la corrida del software.

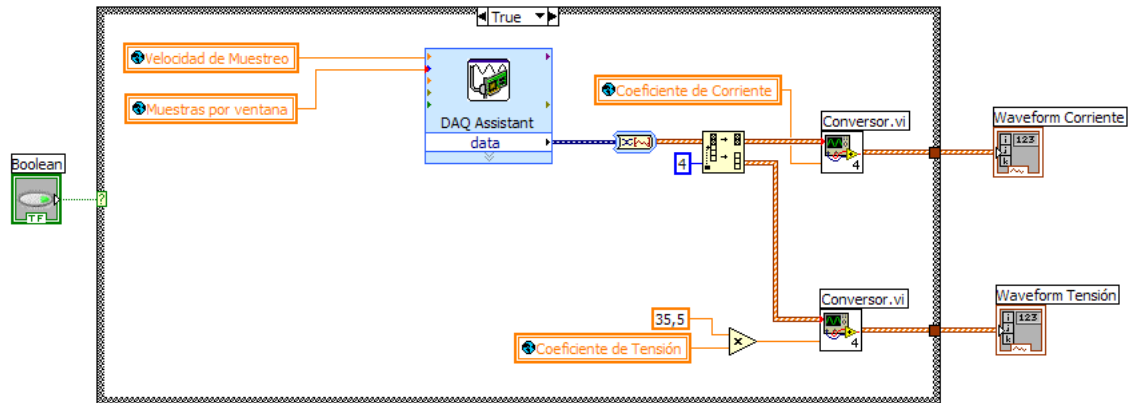


Figura 2.9. VI ADQ para comunicación entre el mundo analógico y la PC

Dentro del Case Structure aparecen 4 variables globales declaradas en la ventana de configuración de las mediciones. Estas variables y sus valores nominales prefijados corresponden a:

- Velocidad de muestreo (960Hz).
- Muestras por ventana (16).
- Coeficiente de corriente (400).
- Coeficiente de tensión (35,5).

Del asistente para la adquisición de datos (DAQ Assistant) se utiliza la entrada rate para precisar la velocidad de muestreo del sistema y la entrada number of samples para fijar la cantidad de muestras por ventana de la forma de onda. Como salida sólo se utiliza la data, la cual introduce al computador los datos provenientes de la tarjeta de adquisición de datos. Empleando un convertidor para datos dinámicos cuya salida es un arreglo que permite una secuencia de datos para conformar la forma de onda producto de las mediciones. Luego las señales pasan por otro arreglo que permite dividir los datos correspondientes a las mediciones de corriente y los datos correspondientes a las mediciones de tensión. Estas informaciones son validadas a través de los convertidores (Figura 2.10) a los cuales se le prefija el coeficiente de transformación de corriente y el

coeficiente de transformación de tensión en correspondencia con los transformadores de medición empleados y la adaptación que se le realizan a las variables, hasta llegar a las entradas analógicas de la tarjeta.

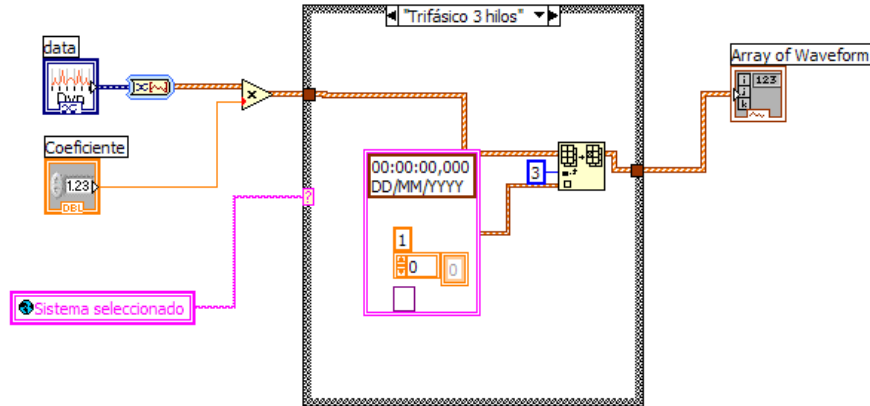


Figura 2.10. VI. Convertor para la obtención de las señales de acuerdo al sistema a medir

La salida de los convertidores, de manera independiente las corrientes y las tensiones pasan a la próxima etapa de la aplicación (VI Mediciones).

En la herramienta DAQ Assistant proporcionada en LabVIEW se hizo la configuración de las tareas, utilizando 8 entradas analógicas, la configuración de terminal fue RSE para señales simples o sea no diferenciales, ver la figura 2.11.

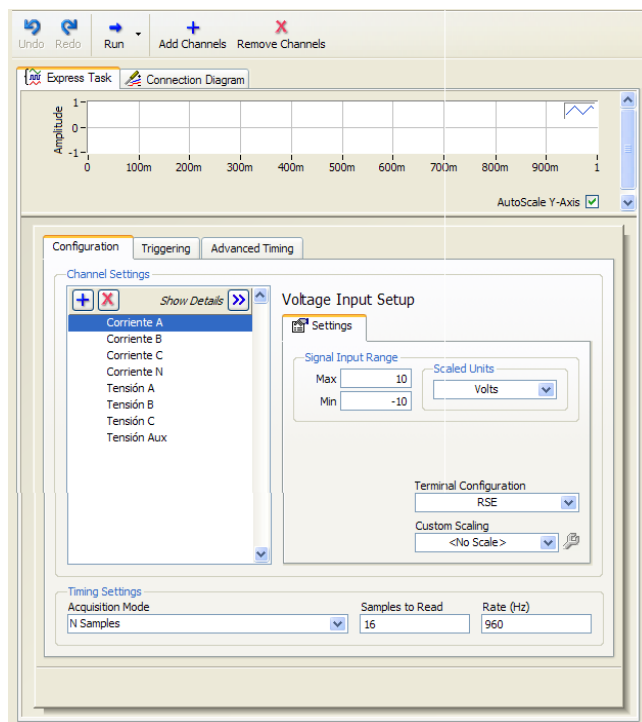


Figura 2.11. Ventana para la asignación de las funciones a las entradas analógicas de la tarjeta

A través de esta configuración quedan declarados los 4 primeros canales analógicos de la tarjeta para mediciones de corriente (3 fases y neutro) y las 4 entradas analógicas restantes para la medición de tensiones (tensiones de fase y tensiones al neutro). Las especificaciones del muestreo también quedan declaradas en la ventana de la figura 2.10. El modo de adquisición para N señales tomando 16 muestras por ciclo a 960 Hz. El setup de las entradas de voltaje de la tarjeta queda prefijado con el valor máximo de 10 V el valor mínimo de -10 V.

2.4.2 VI Medición

Este diagrama de bloques, (Anexo 4) incluido en el software es el módulo de mayor consumo de procesamiento ya que en este se realizan los cálculos de las variables instantáneas. Se podría decir que este diagrama de bloques es el corazón del software, pues todas las demás ventanas o pantallas dependen de los cálculos matemáticos que se hayan realizado en este.

Luego de la adquisición de datos las señales son ingresadas a este bloque en dos arreglos, uno de corriente y otro de tensión teniendo como salida un arreglo general de todos los cálculos realizados en el mismo. Los cálculos de las variables indirectas se realizaron sobre la base de las mediciones directas de corriente y tensión específicamente:

- Cálculo del módulo y ángulo entre I y V.
- Determinación de la secuencia de fases.
- Cálculo de la distorsión armónica de corriente y de tensión.
- Cálculo de la Potencia Activa.
- Cálculo de la Potencia Reactiva.
- Cálculo de la Potencia Aparente.
- Cálculo del Factor de Potencia.
- Cálculo de Energía Activa.
- Cálculo del IHD

Cálculo del módulo y ángulo entre I y V

Las señales de los arreglos de tensión y corriente, antes de ingresar al VI “Cal_Fourier” son separadas por la herramienta “Index Array” ver anexo 4. A través de la descomposición de Fourier en el diagrama de bloques “Cal_Fourier” se obtienen como salidas, el valor RMS y ángulo de cada señal, utilizando las herramientas de LabVIEW “Amplitude and Level Measurements” y “Tone Measurements”. Ver figura 2.12.

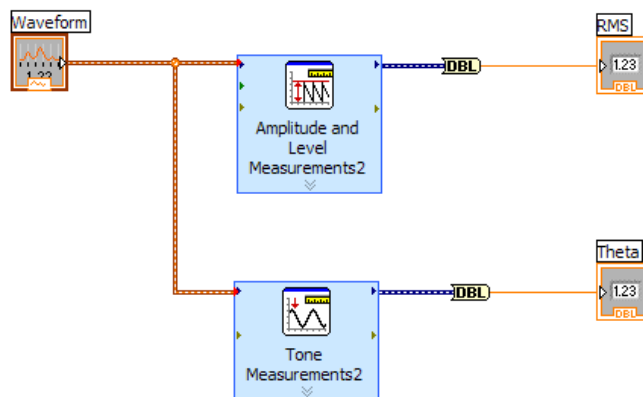


Figura 2.12. Herramientas para la descomposición de Fourier de las señales (RMS y ángulo)

Estos valores RMS y ángulo son calculados para cada una de las fases tanto en corriente como tensión.

Determinación de la secuencia de fases

En la figura 2.13 se puede observar el diagrama de bloques del VI utilizado para el cálculo de secuencia para cada una de las fases tanto en corriente como tensión.

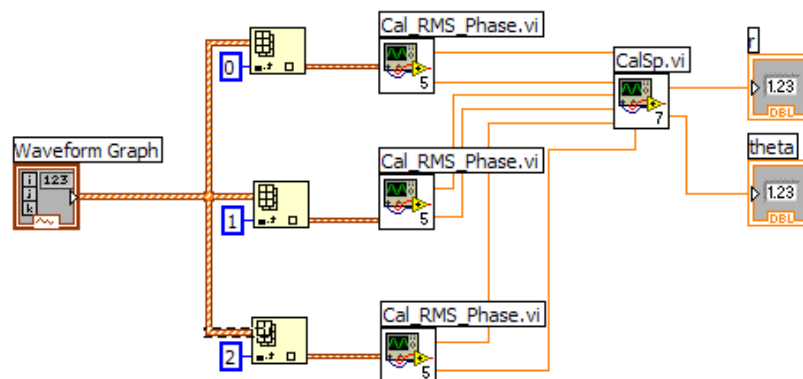


Figura 2.13. Cálculo de Secuencia

Las señales de las tres fases son separadas en el “index array” para ser llevadas al VI “Cal_RMS_Phase ó Cálculo de Fourier”, ver figura 2.12, dentro del cuál se obtiene como salida el valor de la fase en RMS y ángulo. Tomando estas salidas se procede al cálculo de la secuencia positiva, negativa y cero.

Secuencia Positiva

Con este VI (figura 2.14) se calculó la secuencia positiva de acuerdo a la expresión 2.1. Las entradas del VI representan los módulos y ángulos de desfase de las tres fases del circuito. Las salidas representan el módulo y el ángulo del valor de secuencia calculado. Este VI es utilizado indirectamente tanto para el cálculo de las corrientes de secuencia como para las tensiones de secuencia.

$$|IA| = (IA + a.IB + a^2.IC) \frac{1}{3} \tag{2.1}$$

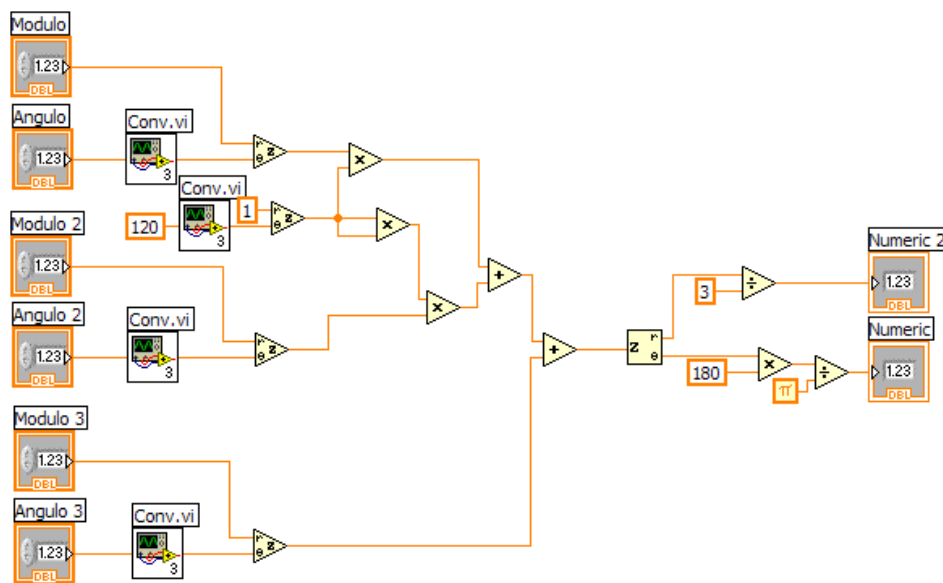


Figura 2.14. Cálculo de secuencia positiva

El VI titulado “Conv” (figura 2.15) se confeccionó para convertir los valores de ángulo de grados a radianes, dado que LabVIEW solo trabaja en radianes. Esto permitió hacer el VI un poco más pequeño.

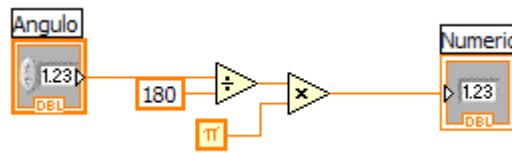


Figura 2.15. Conversor de grados a radianes (VI. Conv)

Secuencia Negativa

En este VI (figura 2.16) se calculó la secuencia negativa de acuerdo a la expresión 2.2. Las entradas del VI representan los módulos y ángulos de desfase de las tres fases del circuito. Las salidas representan el módulo y el ángulo del valor de secuencia calculado. Este VI también es utilizado para el cálculo de las corrientes y tensiones de secuencia.

$$IA2 = (IA + a^2 \cdot IB + a \cdot IC) \frac{1}{3} \quad (2.2)$$

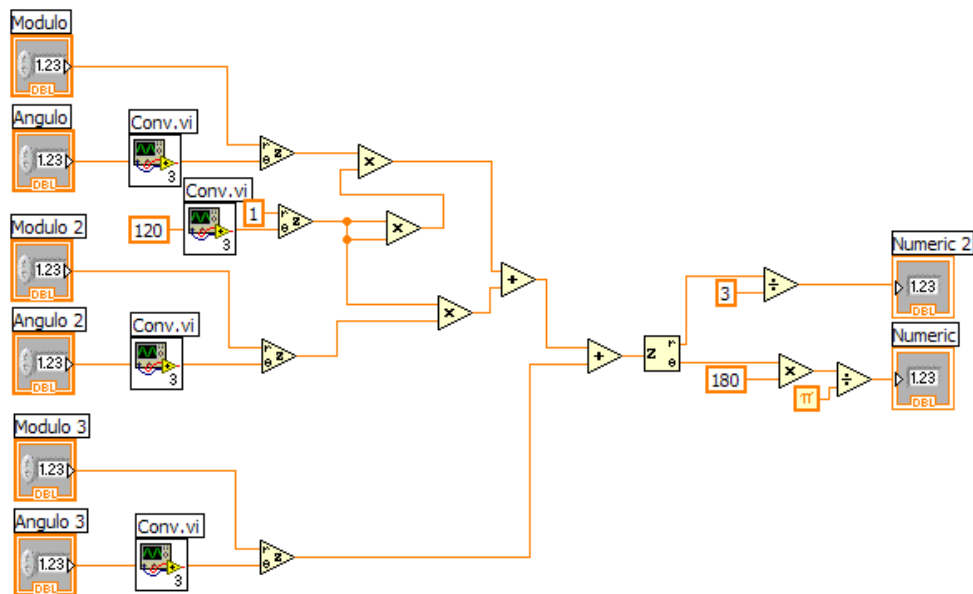


Figura 2.16. Cálculo de secuencia negativa

También se utilizó el VI “Conv” expuesto en la figura 2.15, para convertir los valores de ángulo de grados a radianes.

Secuencia Cero

En este VI (figura 2.17) se calculó la secuencia negativa de acuerdo a la expresión 2.3. Las entradas del VI representan los módulos y ángulos de desfase de las tres fases del circuito. Las salidas representan el módulo y el ángulo del valor de secuencia calculado. Este VI también es utilizado para el cálculo de las corrientes y tensiones de secuencia.

$$IA0 = (IA + IB + IC) \frac{1}{3} \tag{2.3}$$

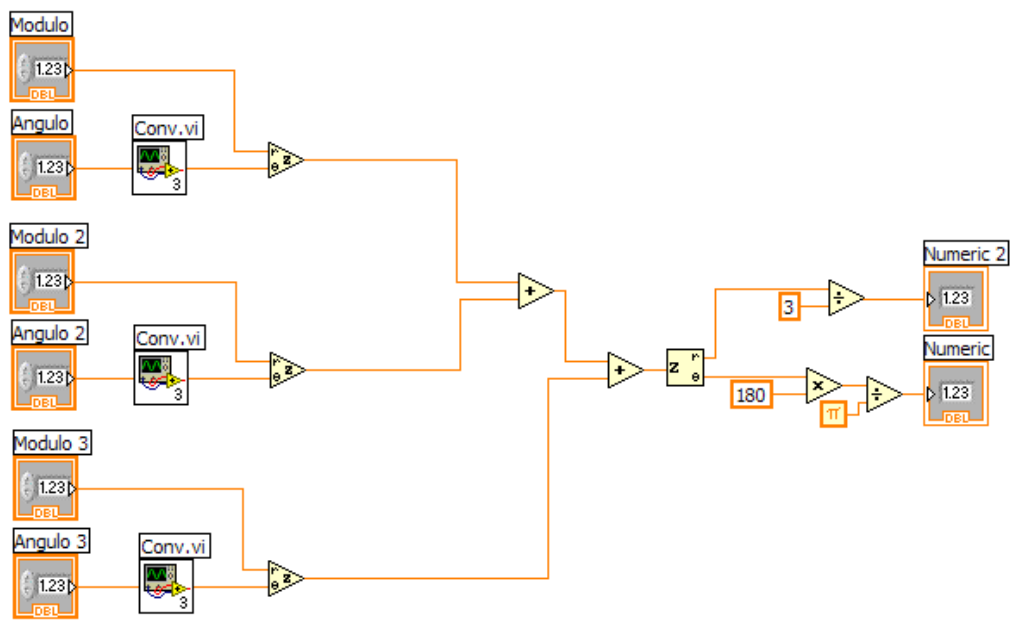


Figura 2.17. Cálculo de la secuencia cero

El VI “Conv” (Figura 2.15) también es utilizado para convertir los valores de ángulo de grados a radianes.

Cálculo de la distorsión armónica de corriente y de tensión

Para este cálculo se utilizó una de las herramientas de LabVIEW (Distortion Measurements) figura 2.18, especificando que lo que se quiere obtener es el valor de distorsión total armónica y no el valor de un armónico en particular. Esta variante de un armónico en particular, puede ser de utilidad para estudios profundos de calidad de la

energía que permitan por ejemplo parametrizar filtros de armónicos en correspondencia con la carga en estudio.

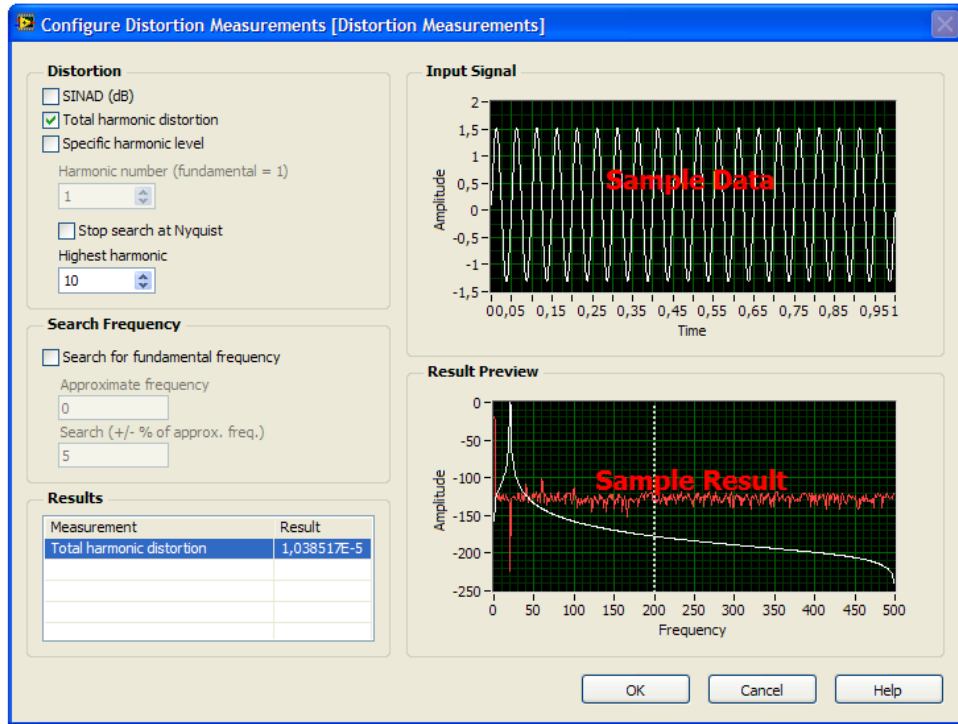


Figura 2.18. Configuración de la medida de distorsión armónica

Cálculo de la Potencia Activa

En este VI (figura 2.19) se tiene como entrada las señales tanto de corriente como tensión y de salida los datos de la Potencia en cada una de las fases incluida la total.

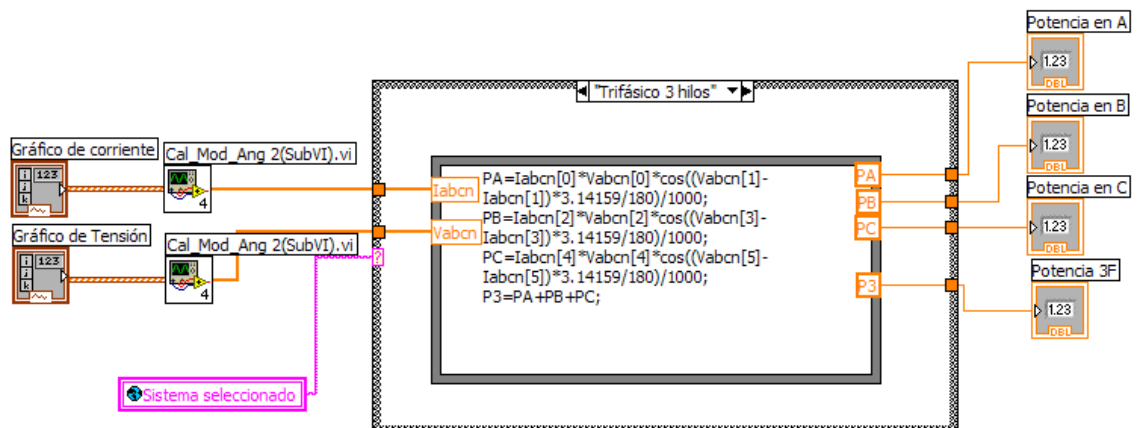


Figura 2.19. Cálculo de Potencia Activa

Parte importante en el cálculo de la Potencia activa es el VI “Cal_Mod_Ang” (figura 2.20) que separa cada una de las fases del arreglo y las inserta en el VI “Cal_Fourier”

mostrado en la figura 2.12, del cuál sale el valor RMS y el ángulo de la fase, para ser insertadas en un nuevo arreglo.

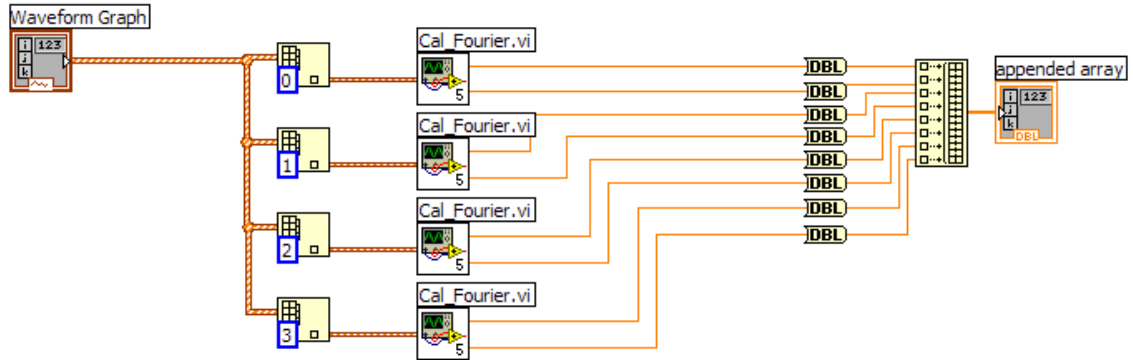


Figura 2.20. VI Cal_Mod_Ang, para la obtención del módulo y ángulo de las señales

Del arreglo entran en un “Case Structure” el cual tiene configurado los 4 tipos de sistema a medir e incluido la expresión 2.4 dentro del “Formula Node”, utilizada para obtener la Potencia activa.

$$P = \frac{V.I \cos \varphi}{1000} \text{ (kW)} \quad (2.4)$$

Cálculo de la Potencia Reactiva

Como pueden observar en la Figura 2.21, se utiliza el mismo VI “Cal_Mod_Ang” de la figura 2.20, para la obtención del RMS y ángulo de la Fase.

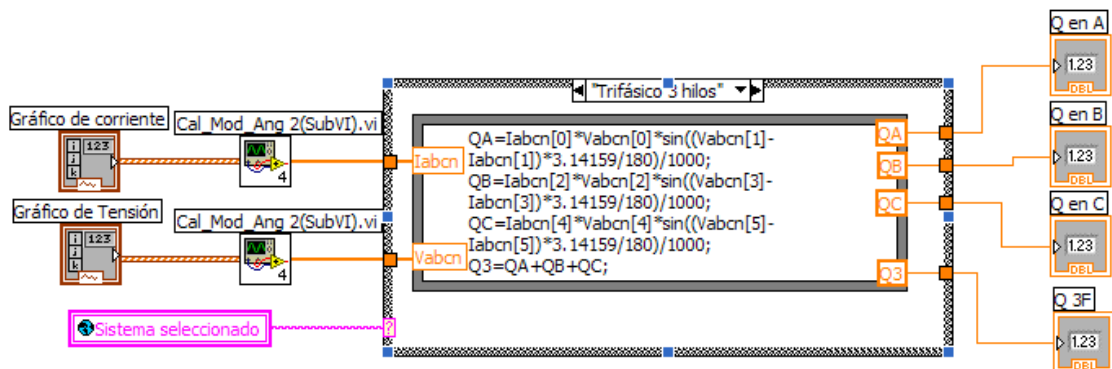


Figura 2.21. Cálculo de Potencia Reactiva

El “Case Structure” tiene la misma configuración para los tipos de sistemas a medir, lo único en lo que difiere es en la fórmula 2.5, que se utilizó, para obtener la Potencia Reactiva en cada una de las fases incluida la total.

$$Q = \frac{V \cdot I \cdot \sin \varphi}{1000} \text{ (kVAr)} \quad (2.5)$$

Cálculo de la Potencia Aparente

En este VI (Figura 2.22) también se necesitó el VI “Cal_Mod_Ang” para obtener los valores de las fases en RMS y ángulo.

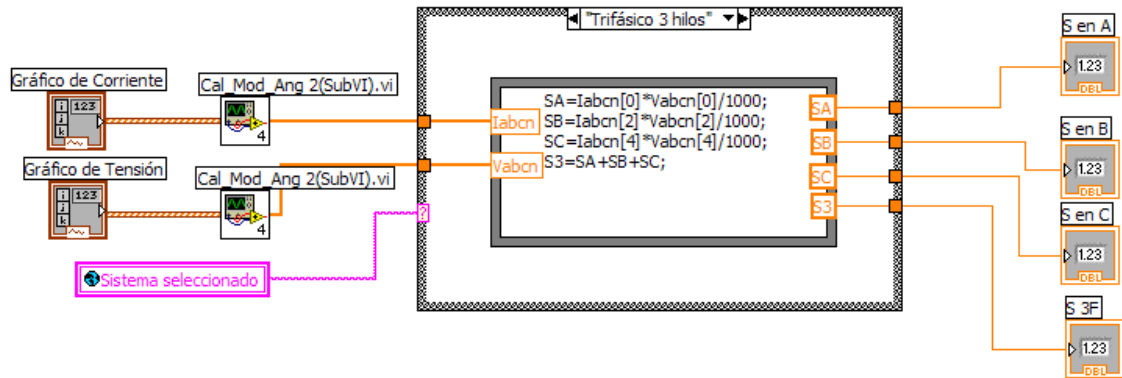


Figura 2.22. Cálculo de la Potencia Aparente

La Potencia Aparente para cada una de las fases se la obtuvo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$S = \frac{V \cdot I}{1000} \text{ (kVA)} \quad (2.6)$$

Cálculo del factor de Potencia

Como se puede observar en la figura 2.23, para el cálculo del Factor de Potencia, se vio la necesidad de utilizar el VI del cálculo de potencia activa y el VI del cálculo de la potencia Aparente, (Figuras 2.19 y 2.22).

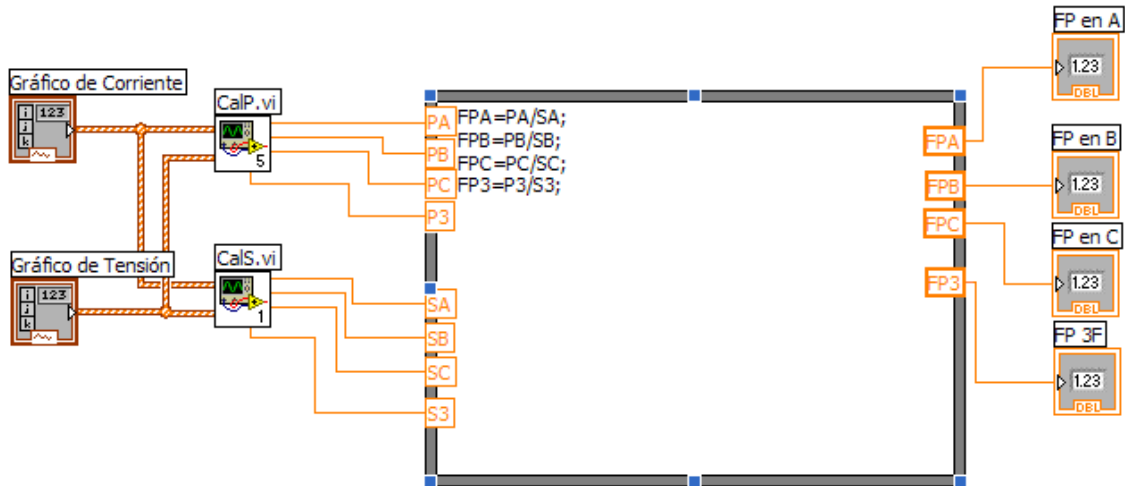


Figura 2.23. Cálculo del factor de Potencia

La ecuación 2.7, fue la que se utilizó para la obtención del Factor de potencia en cada una de las fases incluida la total.

$$FP = \frac{P}{S} \tag{2.7}$$

Cálculo de Energía

Para el cálculo de la Energía (figura 2.24.), se utilizó el VI “Cálculo de potencia activa”, explicado anteriormente (Figura 2.19)

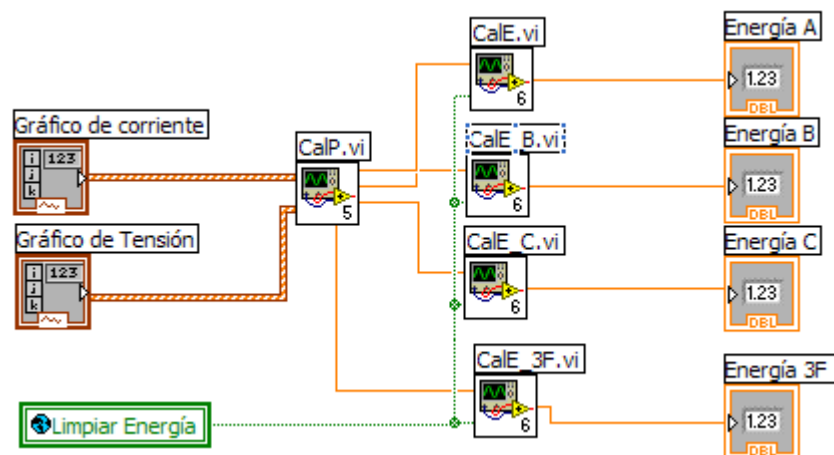


Figura 2.24. Cálculo de Energía

En este VI “CalE” (Figura 2.25) se tiene como entrada la potencia activa, la energía y el valor del tiempo en milisegundos, también se tiene un limpiador de energía con un “Case Structure” para que cuando se active el botón de limpiar la energía en kWh se vuelva cero.

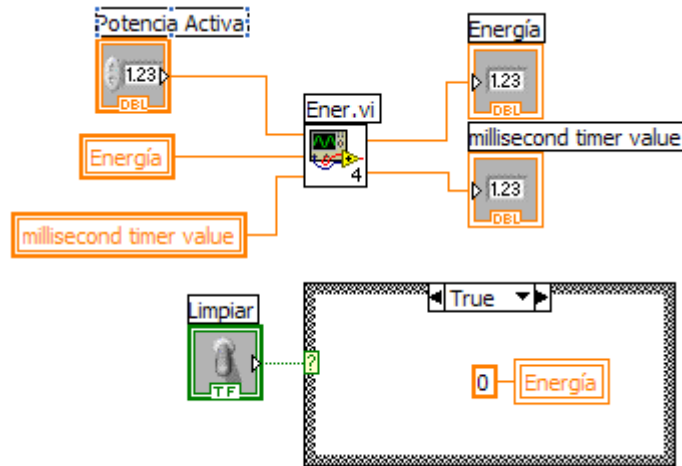


Figura 2.25. VI. CalE

En el VI “Ener” (Figura 2.26) que se encuentra dentro del VI “CalE” se multiplica la potencia activa por la diferencia de tiempo de lo cual se obtiene la Energía en kWms (milisegundo) del intervalo de tiempo. Se convierte esa energía en kWh y se le suma a la energía hasta el momento calculada, para obtener la total acumulada.

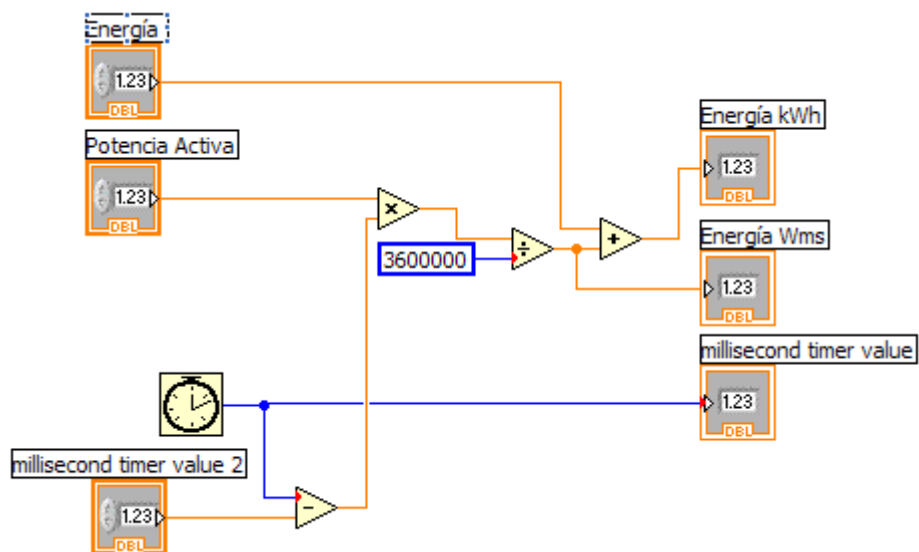


Figura 2.26. VI. Ener, para la elaboración del contador de Energía

Cálculo del IHD

Para obtener el IHD fue de vital importancia el empleo de la herramienta “Distortion Measurements” (Figura 2.27).

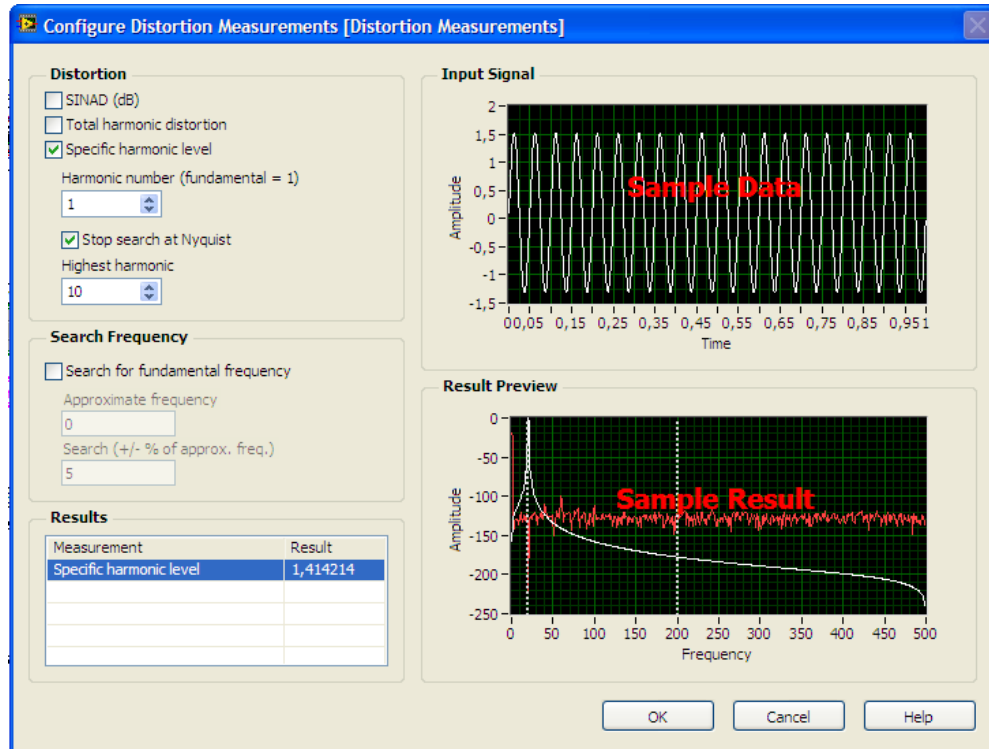


Figura 2.27. IHD en Distortion Measurements

Dentro de la configuración del “Distortion Measurements” (Figura 2.27), se especificó el número de armónico individual que se desea obtener, en nuestro caso de estudio utilizamos hasta el número de armónico 40 en cada una de las fases de las señales de tensión.

2.4.3 VI Pantalla de Mediciones Instantáneas

Esta ventana del ARCO-07 es el reflejo de los cálculos realizados en el VI de mediciones (Anexo 3), aquí se pueden observar los diferentes parámetros calculados y además se pueden capturar, guardándolos en un archivo Excel para su posterior análisis (Figura 8 del manual).

Este VI, refleja las magnitudes de las variables en dependencia del esquema de medición seleccionado. Es esta la razón por lo que los VIs, de medición instantánea se encuentran en un “Case Structure” para ser llamados de acuerdo al sistema que se desee medir.

En la figura 2.28, se ve el botón instantáneo, que se encuentra en el diagrama de bloques y en el panel frontal de la ventana principal del Software (Figura 7 del manual), para abrir la pantalla de mediciones instantáneas, la variable global “Sistema seleccionado” abre la ventana de acuerdo a la configuración del sistema seleccionado. Este “Case Structure” llamado por la variable global “Sistema seleccionado” contiene 4 VIs que se abren de acuerdo al sistema que se desee medir.

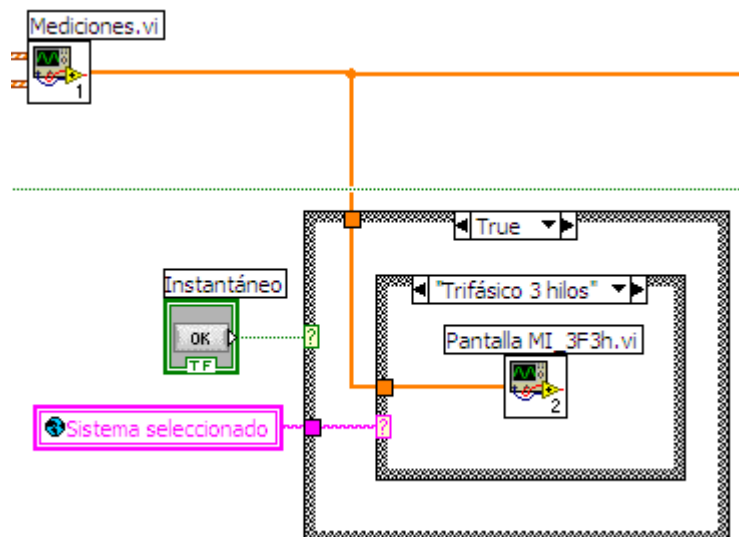


Figura 2.28. VI de Mediciones Instantáneas en True

La figura 2.29, muestra cuando el “Case Structure” está en False, en este caso se puede observar que se tiene el mismo proceso que cuando el “Case” está en True, lo que quiere decir que en sí, todo depende del sistema seleccionado en la pantalla de configuración.

Viendo la estructura interna del VI de medición instantánea en un sistema Trifásico 4 hilos (Anexo 5), ya que los demás VIs de medición instantánea son similares, lo único en que varían es en las salidas de los valores de las variables, que son llamadas de acuerdo al sistema seleccionado. Como se ve, los cálculos de las mediciones realizadas

son llamados a esta pantalla por medio de un “index array” de acuerdo al sistema que se desee medir.

Algo importante en esta ventana es el VI “SaveInstantáneos” (Figura 2.29).

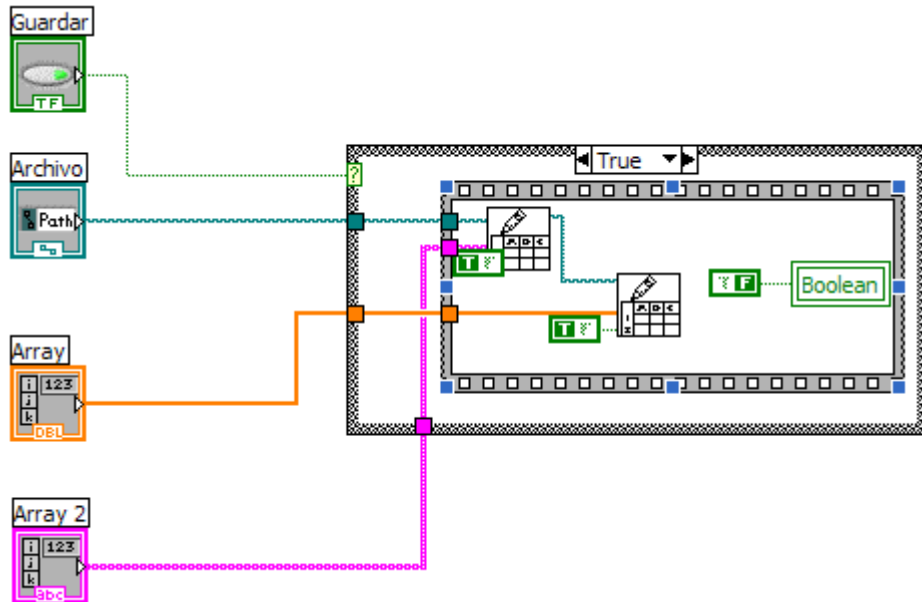


Figura 2.29. VI “SaveInstantáneos” para salvar los datos medidos

Este VI “SaveInstantáneos” tiene como entrada al “Case Structure” y al plano de secuencia “Flat Sequence” el arreglo principal junto con el arreglo 2, que contiene la identificación de las variables medidas, dentro del plano de secuencia existen 2 “Write Spreadsheet” que tienen la tarea de transcribir los datos calculados y la identificación de cada uno de ellos en una hoja de cálculo para guardarla en un archivo Excel, todo este proceso sucede al activarse el botón de guardar.

Cuando el “Case Structure” se encuentra en False simplemente se obvia todo el proceso anterior.

Esta y todas las demás ventanas en el panel frontal, tienen un botón en la parte inferior derecha para cerrar la ventana, que funciona de acuerdo al siguiente proceso. Se tiene un “Case Structure” en true (Figura 2.30), dentro del cuál, hay un “Invoke node” que tiene la propiedad de cerrar el panel frontal de ese VI cuando se presiona el botón cerrar. Cuando el “Case Structure” está en false se obvia el “Invoke node” y su propiedad.

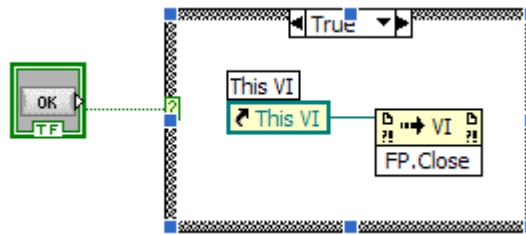


Figura 2.30. Cerrar Ventana

2.4.4 VI Pantalla de Mediciones Periódicas

En el anexo 6, se puede visualizar el diagrama de bloques de la pantalla de medición periódica y en la figura 9 del manual se puede apreciar el panel frontal de esta opción, el funcionamiento de esta pantalla de medición se encuentra numerada para una mejor comprensión y explicación de la misma, contándose con el siguiente orden:

1. Inserta los parámetros en una lista
2. Habilita o deshabilita los comandos cuando se está midiendo.
3. Elimina de la lista.
4. Añade un nuevo valor a la lista de valores en el gráfico acumulativo.
5. Salva los valores almacenados en el gráfico acumulativo.
6. Cierra la ventana.

1. Inserta los parámetros en una lista

En esta parte del diagrama de bloques se tiene una variable local de todas las variables calculadas, las variables seleccionadas en el combo box son insertadas dentro de un case structure, el mismo que en true, inserta las variables seleccionadas en un arreglo para su posterior análisis y en false, se mantienen las mismas variables. Ver punto 1 en el anexo 6.

2. Habilita o deshabilita los comandos cuando se está midiendo

Esta función como su nombre lo indica habilita y deshabilita los comandos: insertar, eliminar y tiempo de la ventana de medición periódica al iniciarse la medición, se utiliza un “property node”, que al tener la constante 2 como propiedad en true, deshabilita los

comandos poniéndolos de color gris, mientras que en false, tiene la constante 0 habilitando los comandos para su empleo en la medición. Ver punto 2 en el anexo 6.

3. Elimina de la lista

Por medio de un “case structure”, en true se insertan las variables seleccionadas y una por una se las elimina de la lista utilizando un “delete from array”, caso contrario, en false se mantienen las mismas variables sin eliminar. Ver el punto 3 en el anexo 6.

4. Añade un nuevo valor a la lista de valores en el gráfico acumulativo

El comando “For loop” inserta los valores seleccionados que se almacenan en la lista de variables al arreglo 2, esto lo hace por medio de un “case structure” que contiene todas la variables calculadas y su número en el arreglo principal. Los valores de la lista Array (que es el que contiene todas las mediciones instantáneas) son llevados al arreglo 2, ver el punto 4 en el anexo 6. Luego los valores del arreglo 2 son llevados a un “case structure” tomando en cuenta el tiempo en segundos mismo que pasa por el VI. “Periodo1” Ver figura 2.31.

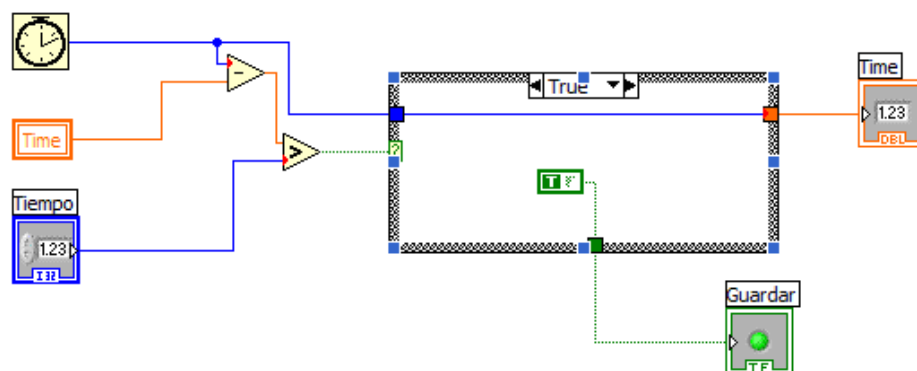


Figura 2.31. VI. Periodo1, añade variables al cumplirse el tiempo

Este VI tiene como entrada un tiempo configurable en segundos y la salida es que al cumplirse el tiempo configurado, se añadan los valores de las variables en el arreglo 2 al “Case Structure” y de este al VI “PlotSignals”, ver figura 2.32.

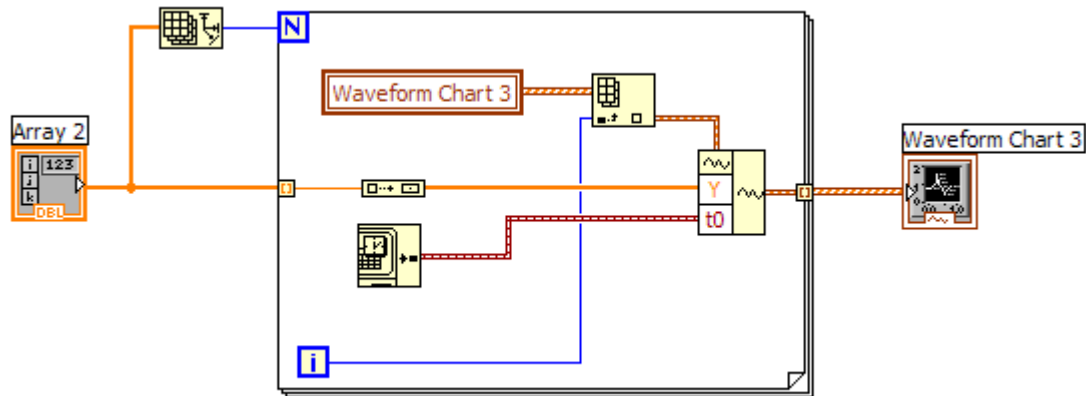


Figura 2.32. VI. PlotSignals, construye las señales en Waveform análogas

La finalidad de este VI, es construir las señales del arreglo 2 en Waveform análogas utilizando la herramienta “Build Waveform” y obteniendo el tiempo en el momento de la PC, para mostrarlas en el gráfico acumulativo. Esto se hace en un “For Loop” para hacerlo con todas las variables del arreglo.

5. Salva los valores almacenados en el gráfico acumulativo

Este VI, utiliza un plano de secuencias “Flat Sequence” dentro de un “Case Structure” tomando los datos del gráfico acumulativo y con la ayuda del “Export Waveform to Spreadsheet File” exportar las formas de onda a un archivo en Excel, no sin antes utilizar el “Write to Spreadsheet File” para presentar en la hoja de cálculo, los valores de la forma de onda con sus respectivos nombres. Ver punto 5 en el anexo 6. El siguiente paso es salvar los datos de acuerdo a la señal del botón de salvar datos.

6. Cierra la ventana

De acuerdo al botón CERRAR, y al “Case Structure” en true se cierra la ventana de sólo esta pantalla, que es la de medición periódica y en false se mantiene la ventana sin cerrarse. Ver punto 6 en el anexo 6.

2.4.5 VI Pantalla de Captura de Ondas

En la figura 2.33, se puede observar el VI “Pantalla CapturaOnda”, antes de comenzar con la explicación de este VI, veamos como funciona el “Case Structure”.

En el panel frontal de este diagrama de bloques (Figura 10 del manual), hay un botón llamado Forma de Onda que es quién se encarga de abrir esta ventana, en el gráfico inferior se puede observar una conexión que va a una compuerta lógica “Not”, y de esta compuerta al VI. ADQ explicado anteriormente, pues esto es debido a que tanto en el VI. ADQ como en el VI. Pantalla CapturaOnda, existe un asistente de la Tarjeta de adquisición de datos de la National Instrument, que es la que se encarga de configurar las entradas y tareas de las mismas. Se optó por poner una compuerta lógica (Not) para que cuándo se esté trabajando en el VI. Pantalla Captura Onda, se bloquee la configuración del asistente de la tarjeta colocado en el VI: ADQ, esto se debe a que en LabVIEW, necesitamos para capturar las ondas una configuración diferente.

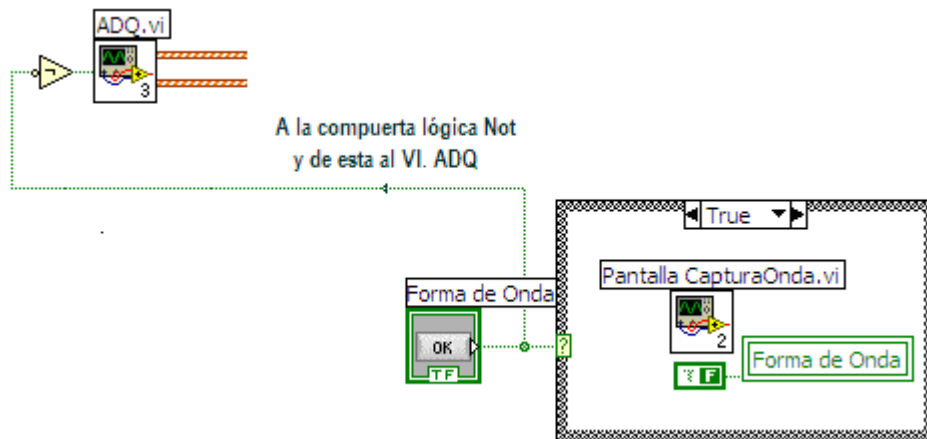


Figura 2.33. Pantalla de Captura de Onda

Dentro del VI. Pantalla CapturaOnda (Anexo 7), como pueden observar todo el proceso se encuentra dentro de un “While Loop”, que tiene la finalidad de repetir los subdiagramas que tiene dentro hasta el terminal condicional, dentro de este se encuentra un “Case Structure” que funciona de acuerdo al botón guardar, en true trabaja con un “Flat Sequence” o plano de secuencia y todo el proceso dentro de este plano depende de los valores configurados en el tamaño del buffer, ciclos de preevento y

muestras por ciclos CO, que se encuentran en la pantalla de configuración, al igual que en false sólo que aquí el proceso es sin el “Flat Sequence”.

En el “Case Structure” cuando se encuentra en false (Anexo 8), tenemos el asistente de la tarjeta de adquisición de datos cuya configuración depende de los valores de las variables locales de configuración, el número de muestras de la tarjeta se obtiene del producto de los ciclos de preevento y las muestras por ciclos, así también la velocidad en Hz que se obtiene del producto de las muestras por ciclo y los 60 Hz que tienen todas las variables eléctricas que componen el sistema.

Los datos que salen de la tarjeta de adquisición de datos son llevados al VI. “ConversorCompleto” (Figura 2.34) que tiene como entrada los datos configurados en la tarjeta junto con los coeficientes de corriente y tensión, de salida tiene 3 arreglos, el Array que tiene los valores tanto de corriente y tensión y que se utilizará más adelante, el Array 2 (arreglo de corriente) que tiene los valores de las corrientes en cada fase y el Array 3 (arreglo de tensión) que posee los valores de las señales de tensión.

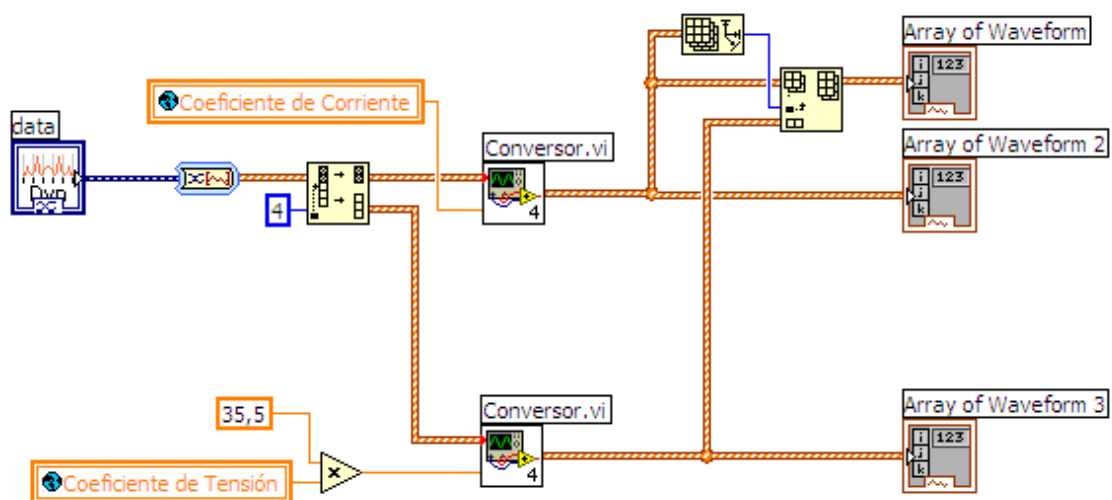


Figura 2.34. VI. Conversor Completo, para todas las señales

El proceso interno del VI. “ConversorCompleto”, es que los datos de la tarjeta son divididos en 2 porciones en la herramienta “Split 1D Array”, salen las 4 señales de corriente y las 4 señales de tensión, para ser llevadas al VI. “Conversor” mismo que fue

explicado en el punto 2.41, figura 2.11, el cuál tiene la finalidad de mostrar las señales de acuerdo al sistema a medir.

Finalmente estas señales son llevadas a los arreglos de forma de onda tanto de corriente como de tensión, y también insertados en un solo arreglo llamado Array.

Volviendo al “Case Structure” pero ahora en true (Anexo 7), en la primera ventana del plano de secuencia se encuentra el asistente de la tarjeta de adquisición de datos 2, en la cuál su configuración depende de las variables globales expuestas anteriormente. Del valor de la diferencia, entre el tamaño del buffer y los ciclos de preevento, multiplicado por las muestras por ciclo, se configura en la tarjeta el número de muestras a tomar, también se configura la velocidad en Hz de acuerdo al producto de el valor de las muestras por ciclo por los 60 ciclos por segundo que tiene la frecuencia del sistema eléctrico.

Luego los datos configurados en el asistente de la tarjeta de adquisición de datos, son llevados al VI. “ConversorCompleto”, (Figura 2.33) que se explicó anteriormente, que tiene como entrada los datos configurados en la tarjeta junto con los coeficientes tanto de corriente como de tensión, y de salida tiene 3 arreglos, el arreglo 2, el arreglo con los datos de las ondas de corriente y otro arreglo con los datos de las ondas de tensión.

En la figura 2.35, tenemos la continuación en secuencia del proceso de captura de onda. Aquí se toma en cuenta tanto el “Array” que se obtuvo cuando el “Case Structure” estuvo en False y el “Array 2” que se lo obtuvo en true. Estos arreglos son necesarios porque en ellos están los valores de las señales cuando se toma en cuenta los ciclos de preevento y cuándo se los obvia restándoles al tamaño del buffer, esto sirve para guardar los datos antes del evento y después del evento.

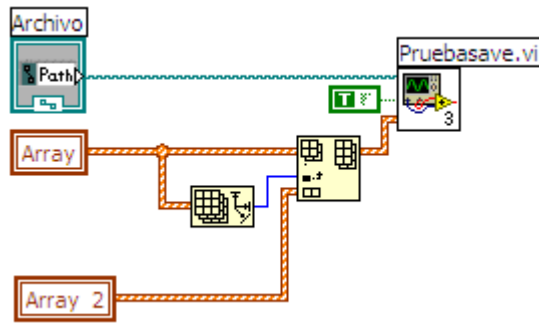


Figura 2.35. Secuencia de Captura de Onda

Tanto el Array como el Array 2, son insertados en un solo arreglo con los datos de antes y después del evento, y de este van al VI. “Pruebasave” (figura 2.36) para archivar en una hoja Excel cuando se presione el botón guardar. Este proceso se realiza a través de la herramienta “Export Waveforms to Spreadsheet File” para exportar arreglos de forma de onda a un archivo, esto sucede en true caso contrario en False, continua la medición sin guardarse ningún dato.

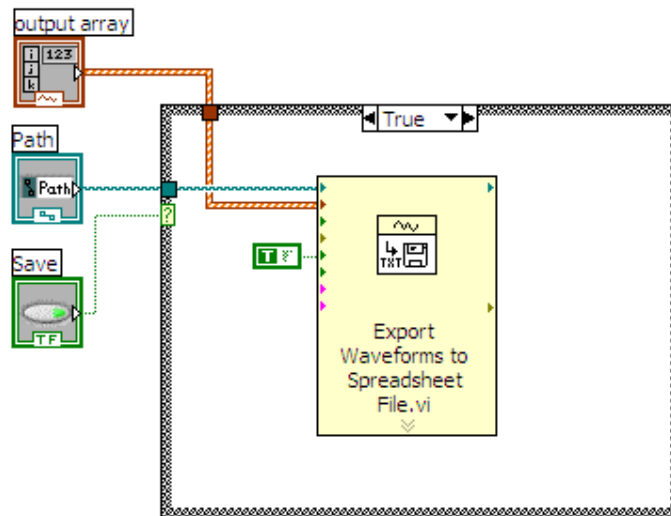


Figura 2.36. VI. Guardar datos (Pruebasave)

El siguiente paso del “Flat Secuence” es guardar todo el proceso en false. El proceso de cerrar la ventana se encuentra detallado en el punto 2.43, figura 2.30 “Cerrar ventana”, sólo que ahora detiene la secuencia y cierra la ventana.

2.4.6 VI Pantalla de Fasores

La figura 2.37, nos muestra la estructura externa del proceso de diagrama fasorial, en el cuál existen 2 “Case Structure” uno dentro de otro, el botón Fasores se encarga de dar la señal para que se ejecute el primer Case que tanto en true como en false contiene el mismo case, este case trabaja con los datos del arreglo principal, se abre y muestra los diagramas de acuerdo al sistema seleccionado, dentro de este Case está el VI. Pantalla Fasores cuyo panel frontal lo podemos apreciar en la figura 11 del manual.

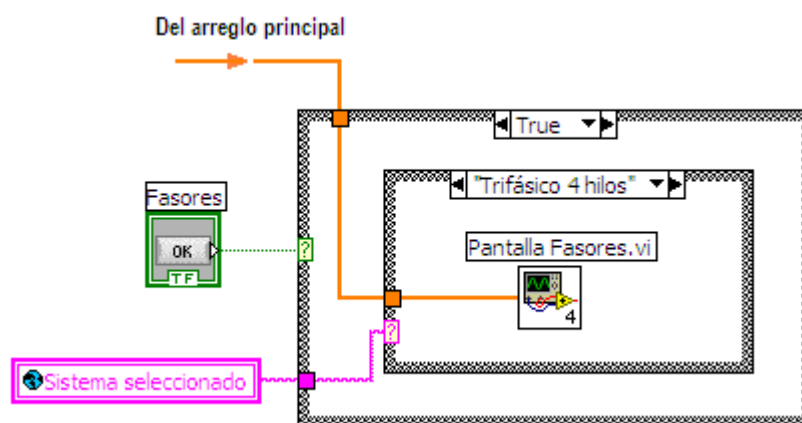


Figura 2.37. Pantalla de Fasores

En el anexo 9, se puede apreciar el diagrama de bloques del VI. “Pantalla fasores”, la entrada a este VI, es el arreglo principal que contiene todos los valores de los parámetros medidos y su representación en un Picture o cuadro de imagen

En base al sistema seleccionado los datos son llamados por la herramienta “Array subset” y llevados a un “Build Array” (construir un arreglo) para de aquí enviar las tres señales a la herramienta “Polar Plot” que se encarga de tomar un cuadro y un dato polar y adjuntarlos en un cuadro que representa el gráfico polar del dato.

Finalmente se encuentra el proceso de cerrar la ventana que a sido detallado anteriormente en el punto 2.43, grafico 2.30. Cabe recalcar que la representación en el diagrama fasorial, de los demás parámetros de los sistemas eléctricos configurables, se construyen llamándolos de acuerdo a su número en el arreglo principal que es la salida del VI. Mediciones.

2.4.7 VI Pantalla de Configuración

En este proceso (Figura 2.38) se tiene en primer plano, el botón de configuración conectado al “Case Structure” que en True y en False tiene el VI: Pantalla de configuración.

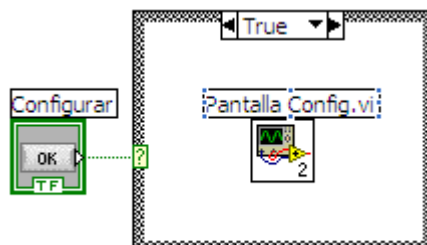


Figura 2.38. Estructura de la Pantalla de configuración

En el anexo 10, tenemos el diagrama de bloques de la pantalla de configuración y en la figura 12 del manual se aprecia el panel frontal de esta ventana, comenzaremos con el combo box (Sistemas eléctricos), en el cuál constan los 4 sistemas eléctricos a medir por el ARCO-07, y que pueden ser seleccionados gracias a esta herramienta de LabVIEW, este combo box tiene una variable global denominada “Sistema seleccionado”, que nos facilita el empleo del combo box en cualquier parte de nuestra programación.

También se tiene el Switch vertical llamado “Limpiar Energía” esta perilla nos permite limpiar la energía, como su nombre lo dice volviéndola a cero cuando se termine una medición y se quiera comenzar una nueva, este proceso también lo realiza gracias a una variable global del mismo nombre.

El coeficiente de transformación de la corriente se multiplica por el coeficiente de transformación de las pinzas amperimétricas de acuerdo a los rangos a usar que pueden ser de 10 mV/A ó de 1 mV/A, esto es en caso de tomar las señales de un transformador de corriente, el producto calculado se convierte en una variable global para su empleo en la programación

El coeficiente de transformación de tensión también se lo utiliza en caso de tomar las señales de un transformador de Tensión, así también a este coeficiente se lo tiene como una variable global, para su posterior utilización.

Las variables globales denominadas, tamaño del buffer, ciclos de preevento, muestras por ciclos CO, son necesarias para realizar la medición de Captura de Onda explicada anteriormente, ya que de estas depende la captura de forma de onda de la corriente y tensión.

Las otras variables globales (muestras por ventana, velocidad de muestreo,) se utilizaron en la configuración del asistente de la tarjeta de adquisición de datos que se encuentra en el VI: ADQ, explicado anteriormente.

Vale recalcar que de esta pantalla de configuración, depende que se realice una buena medición y captura de datos en un determinado sistema eléctrico.

2.5 Características Generales de la aplicación

Aplicación: Adquisición de datos de variables eléctricas mediante transformadores de medición y tarjeta de adquisición de datos USB-6009 de la National Instrument con enlace a la instrumentación virtual del LabVIEW.

Entradas:

- *Tensiones:* hasta 230 V
- *Corrientes:* 40 A
400 A
- *Sensibilidad amperimétrica:* Para el rango de 40 A es 0,5 A y para el rango de 400 A es 5 A.

Acoplamiento

- Divisores de tensión.
- Impedancias de entrada adicional de 1,5 k Ω con respecto a los 144 k Ω nominales.

Adquisición de datos

- *ADQ – 6009 de la National Instrument*
- *Resolución:* 13 bits
- *Velocidad de muestreo:* 48000 muestras por segundo para un solo canal.
- *8 entradas analógicas de $\pm 10V$.*

CAPITULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES

- ✚ INTRODUCCION
- ✚ COMPROBACIÓN DE LA APLICACIÓN
- ✚ RESULTADO DE MEDICIONES EN ALGUNOS SISTEMAS (CASOS DE ESTUDIO)

*“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento,
sino también en la destreza de aplicar los
conocimientos en la práctica”*

...Aristóteles

3.1 INTRODUCCIÓN

Cualquier aplicación que necesite la conexión entre hardware y software, implica un período de puesta a punto para definir las características generales que rigen su funcionamiento. A la vez, se realiza la puesta a punto mediante comprobaciones necesarias, lo cuál constituye la idea básica de éste capítulo. Se comprobó el ARCO-07 funcionando en paralelo con un analizador de redes de panel de la marca CIRCUTOR con buenos resultados, y luego se realizaron pruebas en diferentes tipos de circuitos eléctricos y equipamientos específicos, lo cual permitió comprobar las bondades de la aplicación y la funcionalidad de las ventanas y diagramas de bloques, diseñados mediante LabVIEW. Muchos de los resultados de estudio de casos que se exponen, son posibles mostrarlos a partir de la exportación al Excel de las variables.

3.2 COMPROBACIÓN DE LA APLICACIÓN

Antes y después de terminado el analizador de redes ARCO-07, hubo la necesidad de comprobar los resultados de las mediciones. Primeramente haciendo un generador de señales configurable, utilizando el mismo LabVIEW y luego se verificó las mediciones con un analizador de redes de panel de la marca CIRCUTOR CVMk.

3.2.1 Generador de señales en LabVIEW

Resulta difícil cuando se trabaja con instrumentación virtual, comprobar directamente los diagramas de bloques que se diseñan en LabVIEW, es por tanto, que las primeras comprobaciones se realizaron a partir del generador de tensión y de corriente hecho en LabVIEW, (Figura 3.1).



Figura 3.1. Diagrama de bloques de la comprobación de la aplicación

Para poder comprobar los cálculos matemáticos hechos en LABVIEW específicamente en el VI. Mediciones del ARCO-07, fue necesario en primera instancia, construir 2 generadores de señal, uno para corriente y otro para tensión. En la figura 3.2 podemos apreciar el Panel frontal de dicho generador que es utilizado tanto para corriente como para tensión.

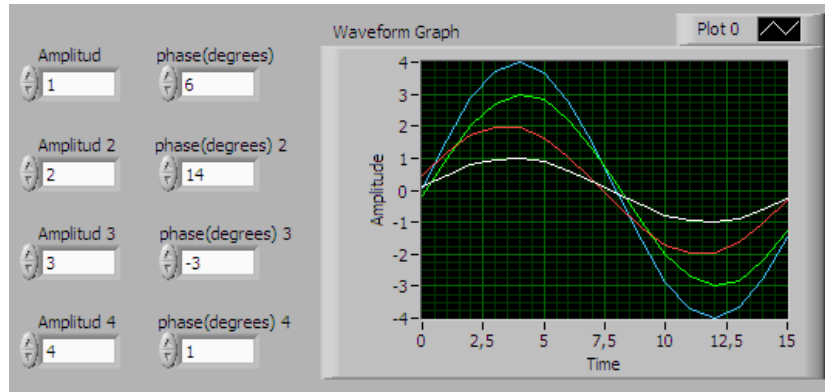


Figura 3.2. VI. Generador de señal (Corriente, Tensión)

Para la construcción del diagrama de bloques de este VI, fue necesario utilizar 8 controles numéricos como entradas del generador y como salida se dispuso un Waveform Graph, para visualizar las ondas de las señales (Figura 3.3).

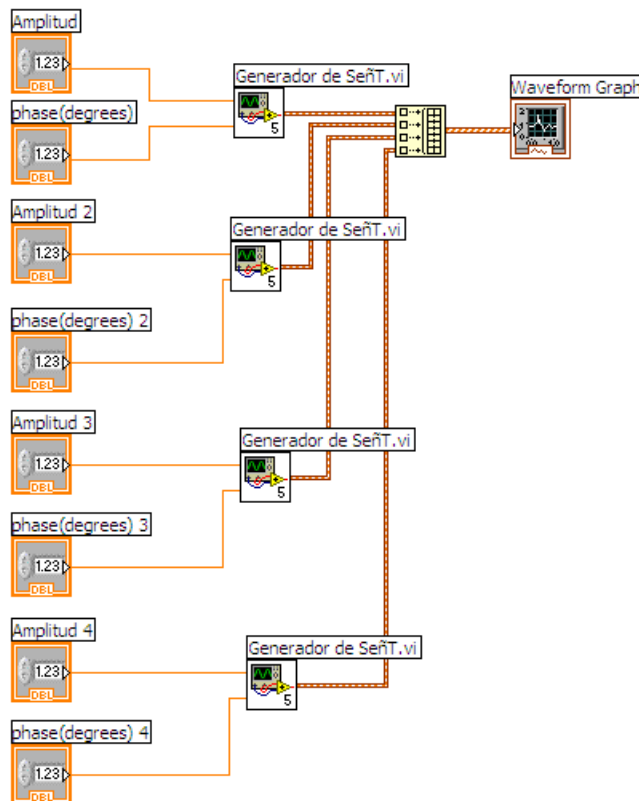


Figura 3.3. VI. Diagrama de bloques del generador de señal (Corriente, Tensión)

Los valores de los controladores numéricos, son transportados al VI. Generador de Señal (Figura 3.4), dentro del cuál entran en la herramienta “Sine Pattern”, que tiene la finalidad de generar un arreglo conteniendo un modelo sinusoidal, es importante también configurar el “Sine Pattern” con el número de muestras y el número de ciclos a visualizar en el Waveform.

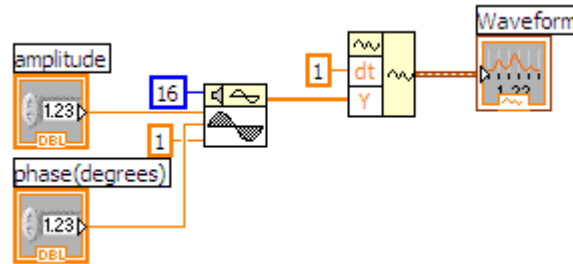


Figura 3.4. VI. Generador de Señales

La salida del “Sine Pattern” es un arreglo con los datos tanto de amplitud como de fase, de cada señal, y se conectan con la herramienta “Build Waveform”, misma que interviene en este proceso con la construcción de la forma de onda partiendo de los datos de amplitud y fase de cada señal, para llevar y almacenar este dato en un Waveform que viene a ser la salida del VI. “Generador de Señal”. Luego este dato obtenido en cada una de las fases, es llevado y construido por la herramienta “Build Array” en un solo arreglo para su posterior visualización en forma de onda, en un solo “Waveform Graph”.

3.2.2 Validación de la aplicación ARCO-07 con el Analizador de Redes de panel CIRCUTOR

Una de las pruebas más importantes en este proyecto fue la comprobación del ARCO-07, comparando los datos con un analizador de redes de panel de la marca CIRCUTOR CVMk (Figura 3.5).

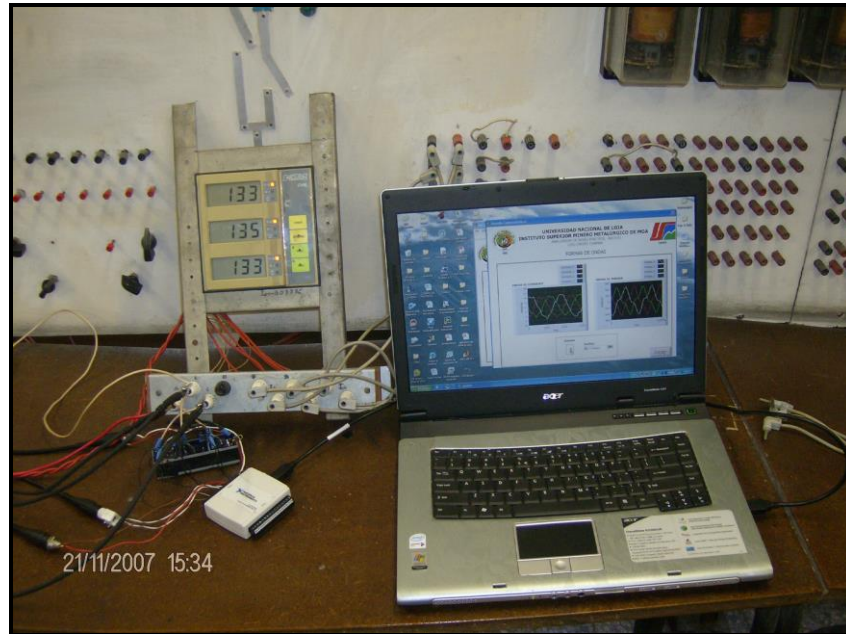


Figura 3.5. Comprobación del ARCO-07 con CIRCUTOR CVMk

Características del analizador de redes CIRCUTOR CVMk

- Analizador de sistemas eléctricos de panel montado (144 × 144 mm), el cuál mide, calcula y presenta los principales parámetros eléctricos de un sistema eléctrico tres-fases balanceado y desbalanceado.
- Medición de armónicos hasta el 50th (con HAR).
- Doble escala kW/MW.
- Lectura de corriente usando transformadores externos.../5 A ó.../1 A (entradas aisladas de acuerdo al tipo).
- Opción para medir sistemas en bajo y medio voltaje.
- Diferentes protocolos (Modbus RTU, Metasys N2, ASCII).
- Segundo puerto opcional RS-485, para conectar I/O de componentes periféricos.
- Visualización LED/LCD.
- Selección de parámetros a visualizar.
- Múltiplo suministro de electricidad, medida de rangos y entradas de corriente.
- Módulo opcional de entradas/salidas.

La comprobación del analizador de redes ARCO-07, se la realizó en el laboratorio de protecciones eléctricas del CIPEL (Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas), en

un sistema trifásico 3 hilos, teniendo como carga un motor (Figura 3.6) de las siguientes características:



- kW: 0,75
- RPM: 1640
- Y 220 V, 3,8 A
- 3 Fases 60 Hz

Figura 3.6. Motor asincrónico

Un aspecto importante durante la comprobación del analizador de redes ARCO-07 con el analizador de la marca CIRCUTOR, fue que el analizador de panel CIRCUTOR CVMk, medía el RMS de la fundamental (60 Hz), y el ARCO-07 medía el True RMS, para llegar a esta conclusión tuvimos que elaborar el VI. “True RMS” (Figura 3.7). El cuál consiste de 3 visualizadores, un gráfico para forma de ondas y dos gráficos acumulativos que son quienes muestran la medida de CIRCUTOR (Specific Harmonic) y ARCO-07 (True RMS).

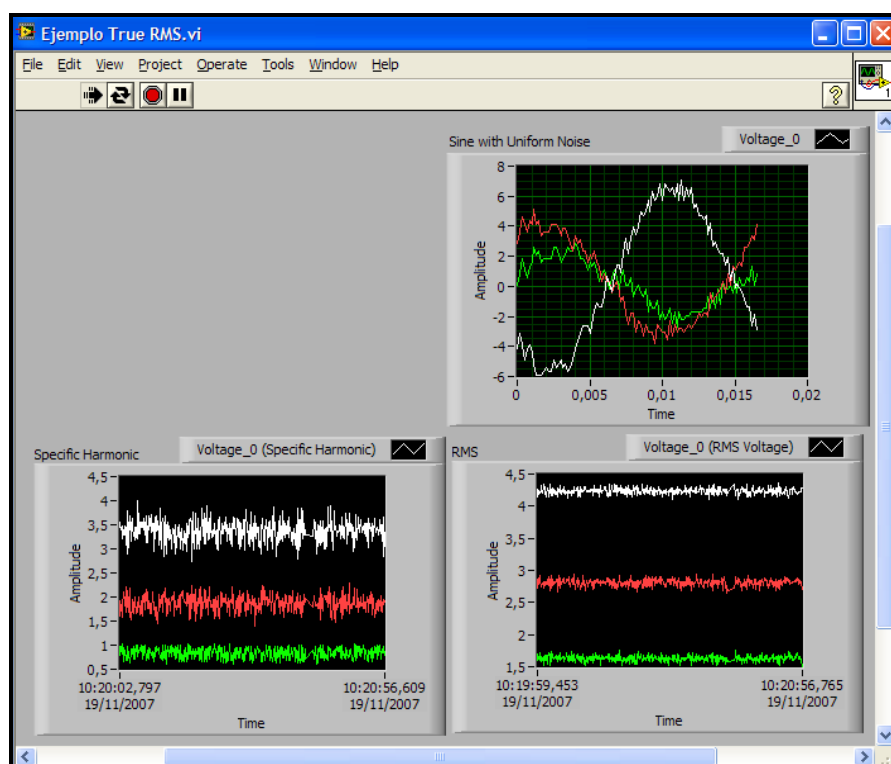


Figura 3.7. Comparación de medición con True RMS y RMS fundamental

La figura 3.8 muestra la medición periódica de la corriente B con el analizador de la marca CIRCUTOR y con el ARCO-07.

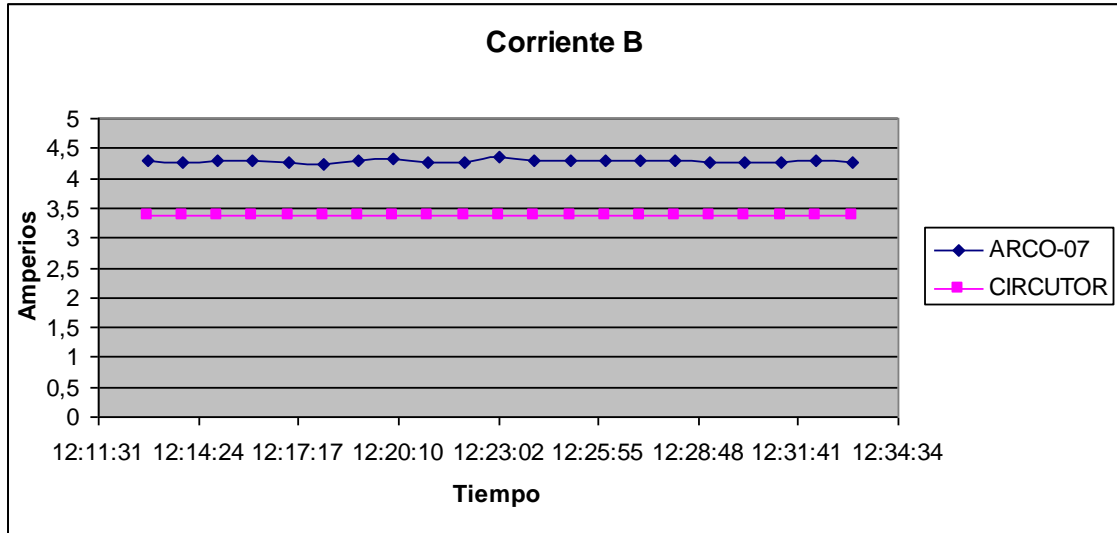


Figura 3.8. Medición de la corriente B con ARCO-07 y CIRCUTOR

Como se observa en la figura 3.7, el valor máximo de la corriente B, que es la onda de color blanco, tiene un valor máximo de 6.2 A, obviamente el RMS de esta onda no es 3,4 A como nos muestra el analizador de redes CIRCUTOR en la figura 3.8, tomando en cuenta la ecuación 3.1, y calculando el RMS de esta onda, se verifica que su valor real en RMS es 4.38 A. Valor que se ha podido medir y observar con el ARCO-07 en la figura 3.8.

$$RMS = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \tag{3.1}$$

3.2.3 Margen de error de la Aplicación ARCO-07 con respecto al Analizador de Redes FLUKE 434

Debido a la importancia de conocer el porcentaje de error en la medición de nuestro equipo comparado con un analizador de redes portátil, se vio la necesidad de realizar una prueba en el tablero principal de las instalaciones de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.

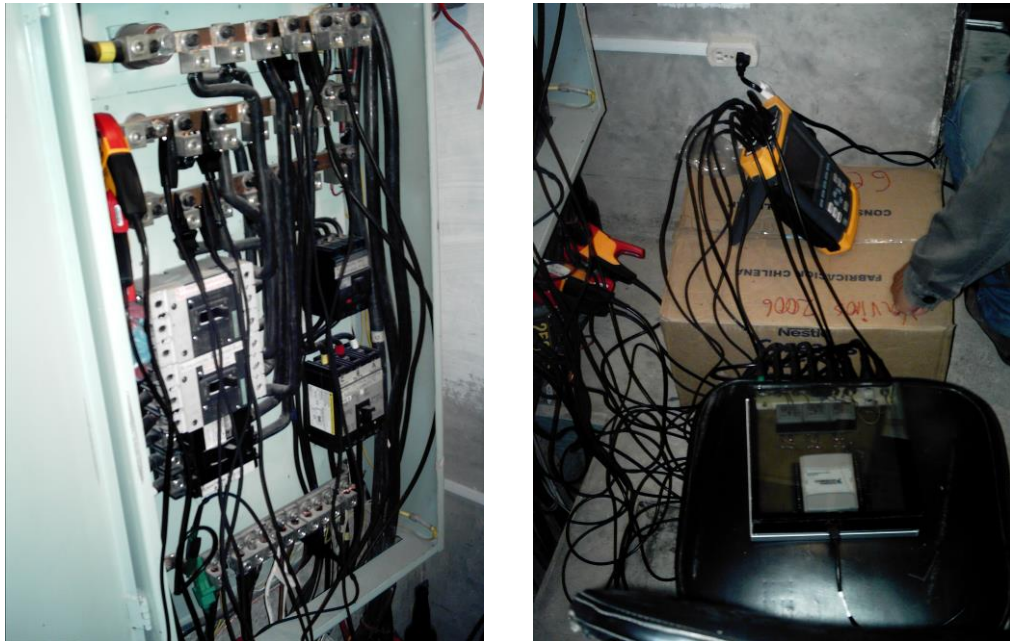


Figura 3.9. Conexión de los Analizadores de redes en el tablero principal de la EERSSA

Para poder realizar la prueba utilizamos como patrón el analizador de redes trifásico FLUKE 434, mismo que configuramos y conectamos en el tablero principal de la EERSSA en conjunto con nuestro equipo (Figura 3.9), con el fin de adquirir los datos en el mismo intervalo de tiempo, para posteriormente poder obtener nuestro margen de error.

La tabla con los resultados de las mediciones tanto del Analizador de Redes FLUKE 434 como de nuestro equipo la podemos apreciar en los anexos 11 y 12.

Comparando los resultados y tomando las medidas dadas por el analizador de redes FLUKE 434 como el 100% se procedió a calcular el porcentaje de error dado por la aplicación ARCO-07. Los resultados del porcentaje de error lo podemos apreciar en el anexo 13.

En la figura 3.10 tenemos la forma de onda de las tensiones en cada una de las fases del sistema eléctrico, está grafica se la obtuvo con la ayuda del Analizador de redes FLUKE 434.

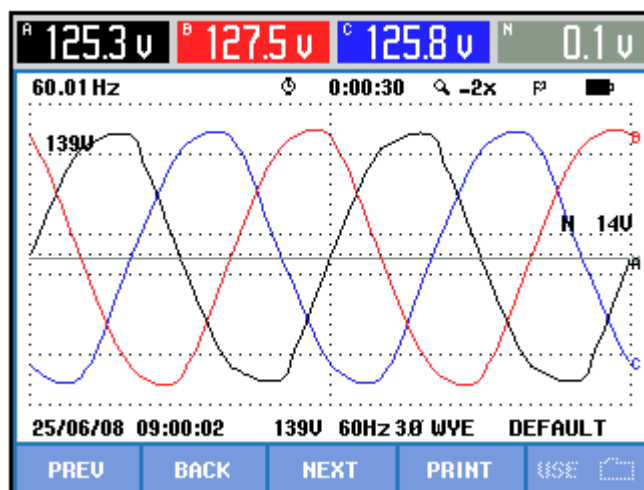


Figura 3.10. Forma de onda de las tensiones capturadas con el Analizador de Redes FLUKE 434

Así mismo obtuvimos la misma forma de onda de las tensiones con la aplicación ARCO-07 (Figura 3.11)

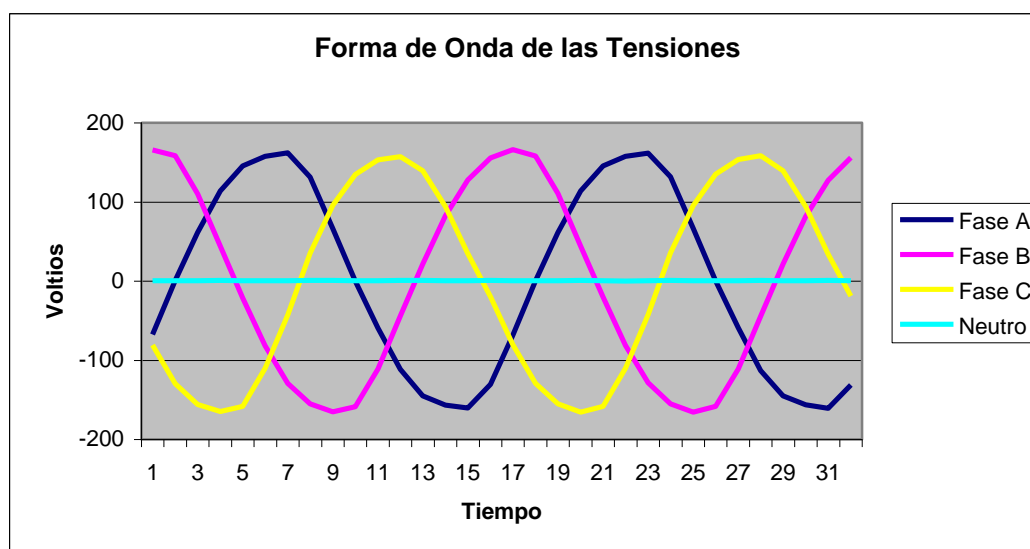


Figura 3.11. Captura de forma de onda de las tensiones con la aplicación ARCO-07

3.3 RESULTADOS DE MEDICIONES EN ALGUNOS SISTEMAS (CASOS DE ESTUDIO)

Luego de haber comprobado las mediciones del software ARCO-07 con un analizador de redes de panel de la marca CIRCUTOR, se hizo varias mediciones en diferentes tipos de sistemas eléctricos para comprobar aún más las bondades de esta aplicación.

3.3.1 Medición en un Sistema Monofásico

Esta medición (Figura 3.12) se la realizó en una vivienda de la Habana, en casa de la Sra. Martha Breffe Labañino, el principal objetivo fue comprobar el funcionamiento del ARCO-07 en un sistema Monofásico.



Figura 3.12. Medición en un sistema monofásico

En dicha figura, se observa la conexión de la Pinza de la fase A del ARCO-07 y las 2 pinzas de tensión, la de la fase A (pinza negra) y Neutro (pinza verde). Esto se realizó en el tablero principal junto al contador de energía y el interruptor principal. Tanto el PC como la tarjeta de adquisición de datos y sus accesorios se apoyaron en una pequeña mesa junto al interruptor principal para mayor comodidad en la medición.

En la vivienda escogida se realizaron mediciones instantáneas y periódicas, conectando y desconectando consumidores, con el objetivo de observar los cambios de las corrientes.

En la figura 3.13, se muestra un gráfico con las mediciones periódicas realizadas por un intervalo pequeño de tiempo. A los 9 segundos de la medición se observa un pico muy elevado por encima de los 6 A que corresponde con el arranque del motor o bomba de agua para llenar los tanques almacenadores de la residencia.

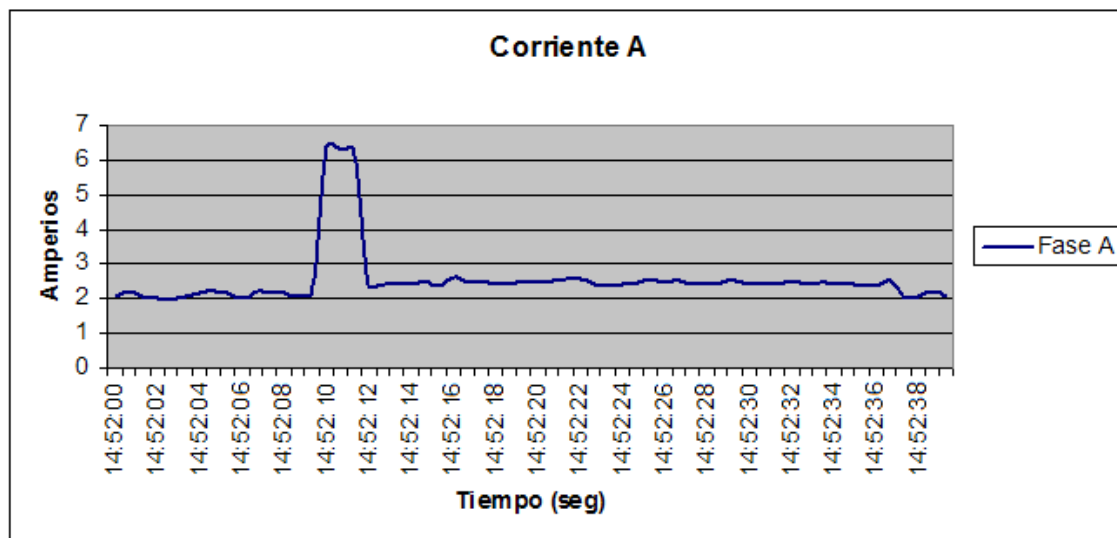


Figura 3.13. Medición periódica de la corriente en el circuito monofásico residencial

Luego de la desconexión del motor alrededor de los 12 segundos posteriores se observa que la corriente desciende pero no al valor anterior sino que tuvo un ligero incremento, esto representa la olla de arroz eléctrica que poseen casi todas las viviendas en Cuba debido a la Revolución Energética que se está llevando a cabo en este país.

En los 37 segundos posteriores se desconecta la olla arrocera y se vuelve a conectar para que la propia señora de la casa viera los efectos de estos arranques en el consumo del hogar y además que sirviera de validación del producto ARCO-07.

Prueba realizada en otro sistema monofásico

Otro aporte importante para la validación del software fue la comprobación del mismo en otro sistema monofásico, en este caso fue en las instalaciones de la casa del Sr. Freddy Montero (Edificio 6E Apto.4 Las Coloradas).

Se hizo la comprobación conectando y desconectando consumidores de forma escalonada, con el objetivo de ver el comportamiento de las variables del sistema, se pudo realizar mediciones instantáneas, mediciones periódicas y captura de ondas.

Medición Instantánea

En la figura 3.14, se puede apreciar la ventana de medición instantánea mostrando los datos del sistema monofásico.

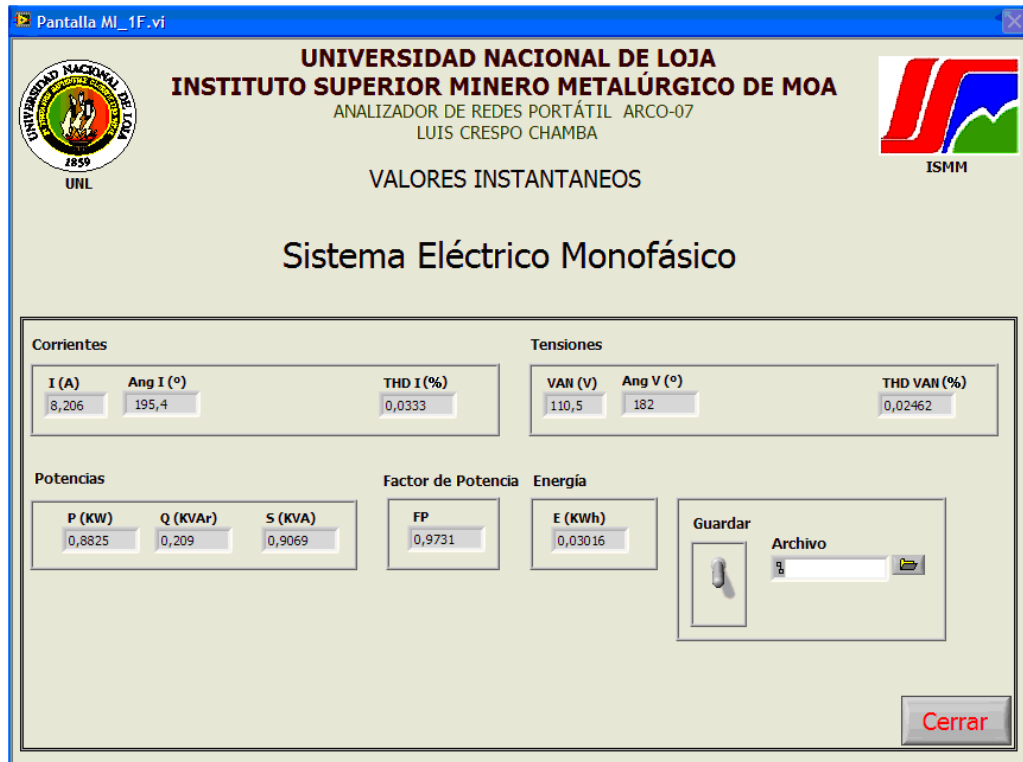


Figura 3.14. Medición instantánea monofásica

Un aspecto importante en esta ventana del ARCO-07, es que se facilita el proceso de almacenamiento de los datos en un archivo Excel por medio de un switch (Guardar) en la parte inferior derecha de la ventana.

Medición Periódica

La figura 3.15 nos revela la ventana utilizada por el ARCO-07 para realizar la medición periódica de cualquier variable del sistema, para este caso de estudio se tomó las variables de Energía Activa, Factor de Potencia, Potencia Aparente, Potencia Reactiva, Potencia Activa, Tensión y Corriente, para guardarlas en un archivo Excel y posteriormente graficarlas.

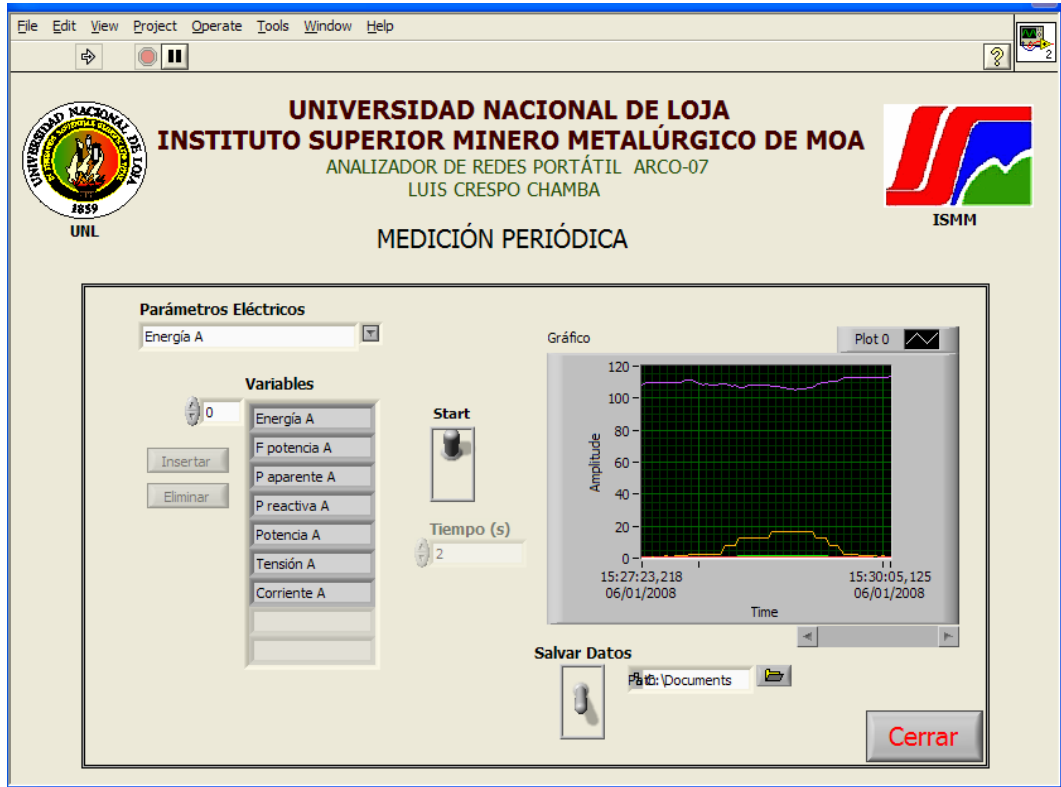


Figura 3.15. Ventana de Medición Periódica midiendo

En la figura 3.16 se tiene el comportamiento de las variables antes citadas cada 2 segundos. Las cargas eléctricas fueron en orden consecutivo 5 luminarias de 20W y 1 de 40W, una olla de presión eléctrica, una olla arrocera, un televisor y una plancha.

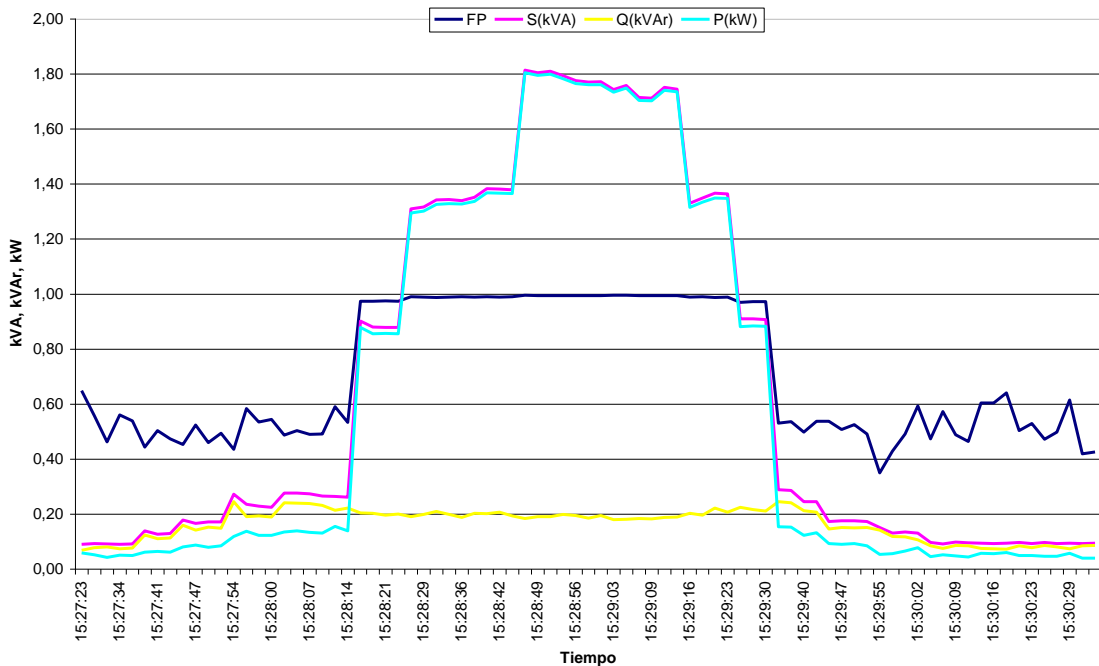


Figura 3.16. Medición Periódica de varias variables en el sistema monofásico

A las 15:27:23 se inició la medición, pero a las 15:27:38 se prendió las luminarias de 20W y 40W, pudiéndose observar el incremento de las Potencias a partir de este tiempo, luego a las 15:28:12 se encendió la olla de presión eléctrica incrementándose el Factor de Potencia, la Potencia Aparente y la Potencia Activa notándose que el valor del Factor de Potencia sube hasta 0,98 en cambio el incremento de la Potencia Aparente que es hasta 0,90 kVA es mayor que el de la Potencia Activa de 0,89 kW aunque siguen la misma trayectoria, caso contrario la Potencia Reactiva se mantiene constante en 0,20 kVAR a lo largo de la conexión y desconexión de las ollas, televisor y plancha. Seguidamente a las 15:28:26 se encendió la olla arrocera aumentando el Factor de Potencia hasta 0,99, la Potencia Aparente sube hasta 1,30 kVA valor mayor que el de la Potencia Activa que es de 1,29 kW, en ese instante también se prende el televisor de la casa viéndose un pequeño incremento sólo en la Potencia Aparente 1,39 kVA y la Potencia Activa 1,38 kW, pero a las 15:28:45, se encendió la plancha incrementando la Potencia Aparente hasta 1,81 kVA y la potencia Activa hasta 1,80 kW y teniendo un Factor de Potencia de 1, luego se procedió a la desconexión de las cargas de forma regresiva, capturándose todo el comportamiento de las variables seleccionadas para la medición periódica.

En la siguiente gráfica (Figura 3.17) se puede apreciar el comportamiento de la corriente en la conexión y desconexión de las cargas antes mencionadas.

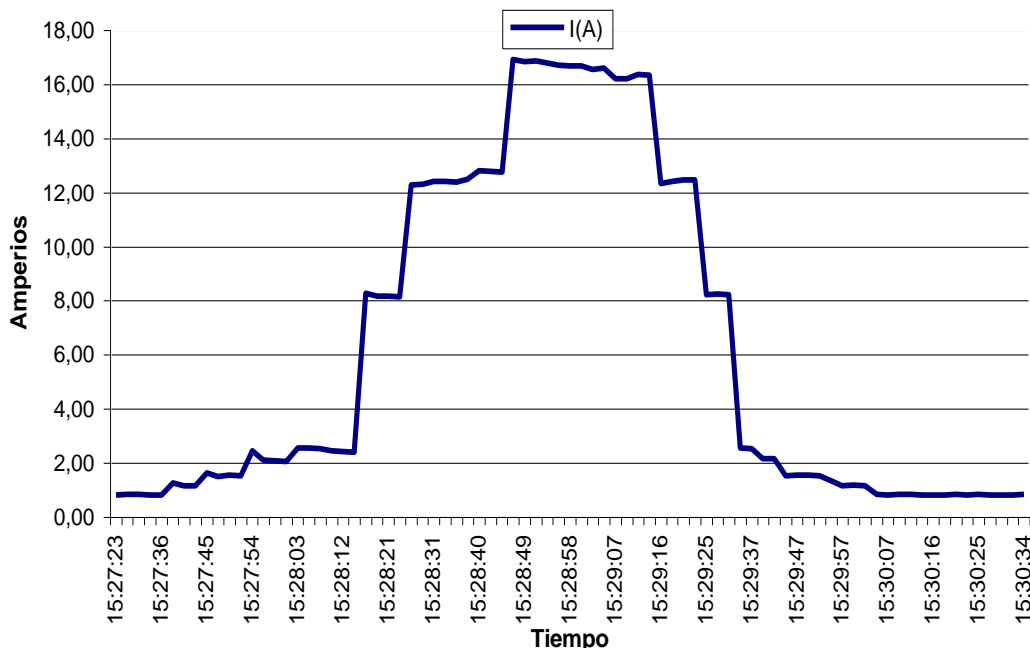


Figura 3.17. Medición Periódica de la corriente

Así también se capturó el comportamiento de la tensión con las mismas cargas.

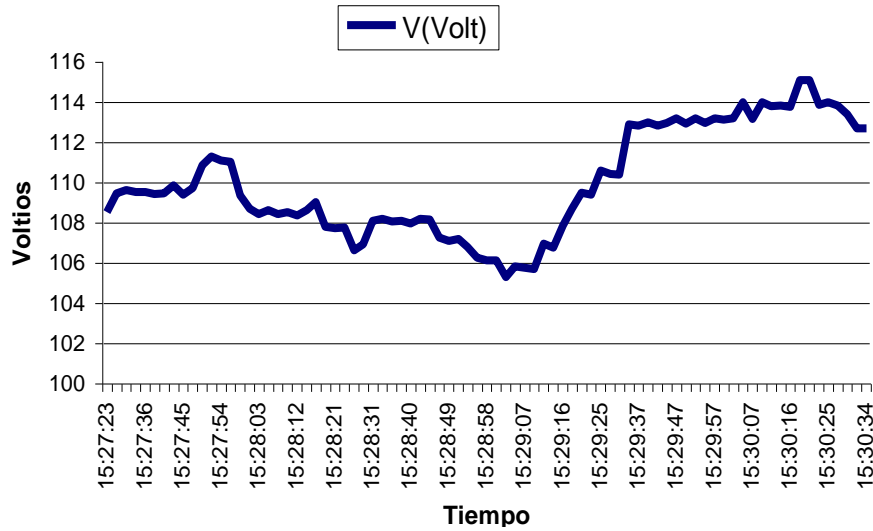


Figura 3.18. Medición Periódica de la tensión

En esta figura 3.18 se puede observar que el menor valor de la tensión 105,7 V se manifiesta en el instante en que es máxima la carga.

Otra gráfica de vital importancia fue el comportamiento del THD de la corriente y la tensión. Ver figura 3.19.

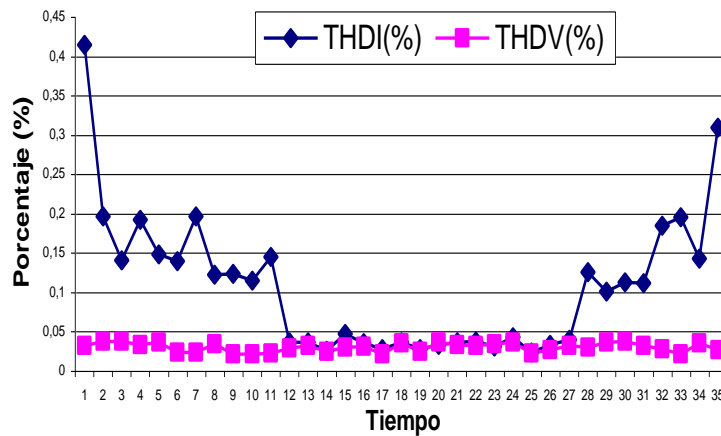


Figura 3.19. THD de la corriente y de la tensión

El THD de corriente disminuye hasta 0,04% paulatinamente a medida que se incorporan mas carga de iluminación y luego se mantiene constante con la conexión de las demás cargas. Después de desconectar las cargas resistivas de la cocina y el TV vuelve el THD de I a incrementarse. En cuanto al THD de tensión este se mantiene prácticamente constante alrededor del 0,03% durante toda la prueba.

En el caso de la Energía Activa se incrementa la pendiente de esta curva en cuanto se incorporan las cargas que producen una mayor demanda en el hogar. En total de la prueba duró 3 minutos y la energía consumida fue de 0,028 kWh. Ver figura 3.20

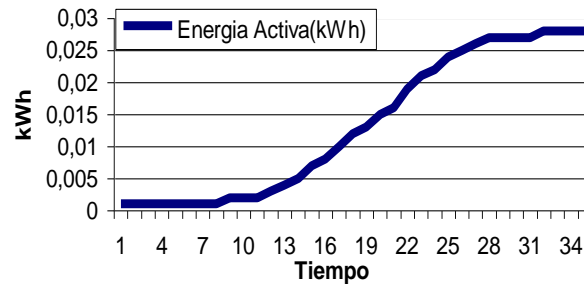


Figura 3.20. Medición Periódica de la Energía Activa

Captura de Forma de Ondas

Otra de las opciones de la aplicación ARCO-07 es la captura de forma de ondas tanto de corriente como de tensión, la figura 3.21 nos revela el panel frontal o ventana usada por el software para realizar la captura de ondas, guardando los datos de la onda en un archivo Excel para su posterior representación gráfica y análisis de la misma.

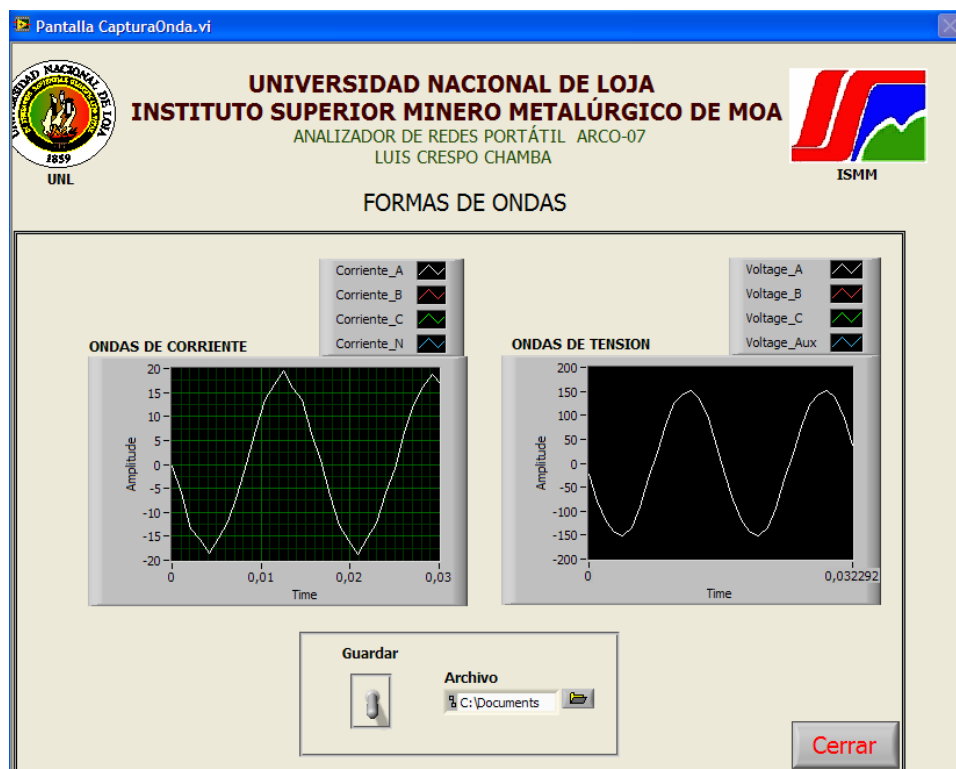


Figura 3.21. Ventana de Captura de Ondas midiendo

En la figura 3.22 podemos observar la forma de onda de la corriente representada gráficamente con los datos guardados en Excel, los valores tomados fueron los adquiridos al momento de encender las cargas en la vivienda.

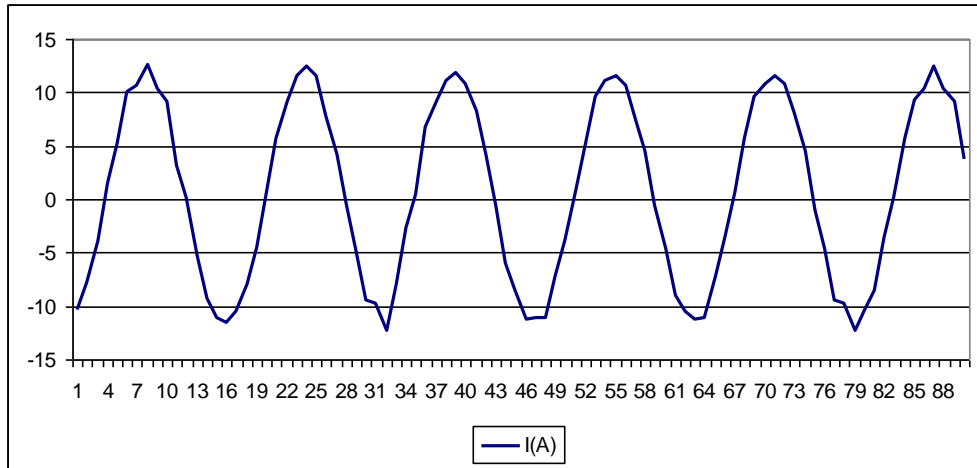


Figura 3.22. Captura de la Onda de Corriente

También se pudo obtener la forma de onda de la Tensión (Figura 3.23) en la misma vivienda con las mismas cargas.

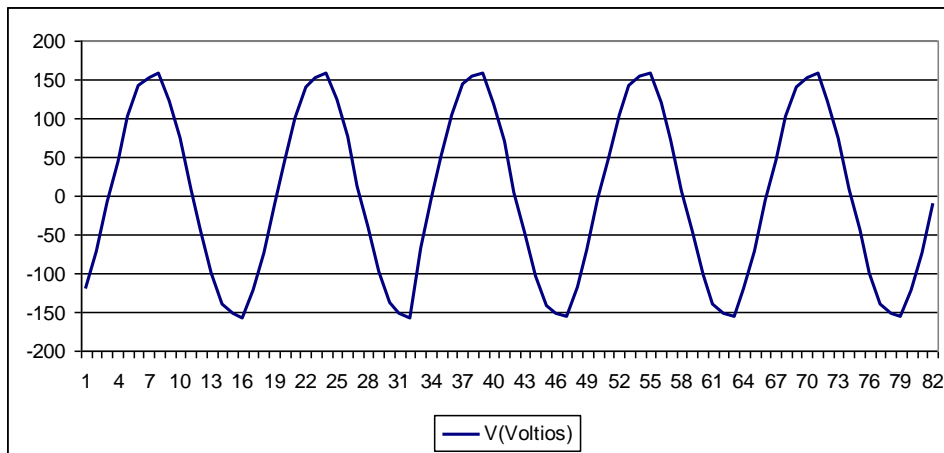


Figura 3.23. Captura de Onda de la tensión

Los datos que se utilizaron en la configuración del ARCO-07 para poder analizar este sistema fueron:

- Tamaño del buffer: 30 ciclos
- Ciclos preevento: 2

- Muestras por ciclo: 16
- Muestras por ventana: 480
- Velocidad de muestreo: 960 Hz

3.3.2 Mediciones en un Sistema Trifásico 3 hilos (CIPEL)

Esta medición se la realizó en el tablero de control de suministro eléctrico del CIPEL (Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas) de la Habana, con el fin de comprobar las mediciones con un sistema trifásico 3 hilos. Ver figura 3.24.

Se conectó cada una de las pinzas tanto de corriente como de tensión en cada una de las fases del sistema eléctrico, la configuración utilizada fue:

- Tamaño del buffer: 30 ciclos
- Ciclos preevento: 2
- Muestras por ciclo: 16
- Muestras por ventana: 480
- Velocidad de muestreo: 960 Hz

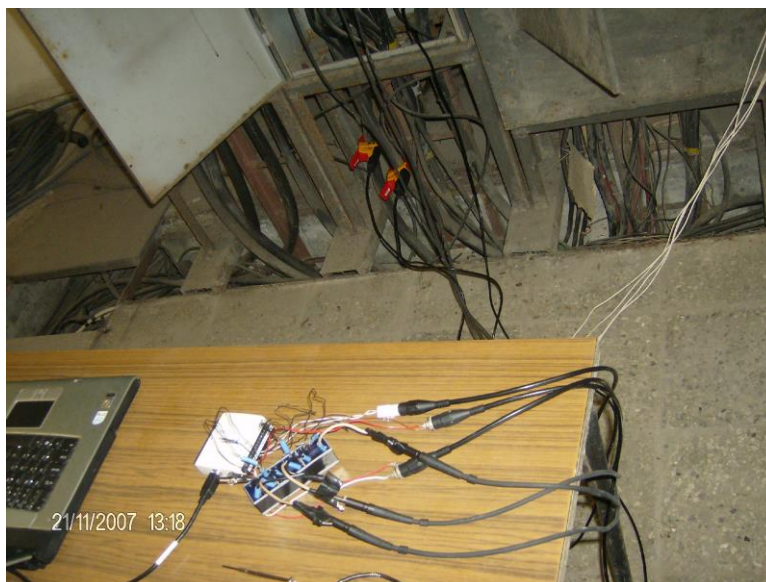


Figura 3.24. Medición en un sistema trifásico 3 hilos (CIPEL)

Mediciones Instantáneas

En la figura 3.25 tenemos los datos de la medición instantánea hecha con el ARCO-07, en el tablero de suministro del CIPEL.



Figura 3.25. Medición Instantánea

Medición Periódica

Otro dato importante fue el comportamiento tanto de la corriente como de la tensión en un tiempo determinado, en la figura 3.26 podemos apreciar el comportamiento de las 3 tensiones en un intervalo de tiempo pequeño, es notable el valor de la tensión en la fase A que bordea los 135 V, en la fase B con un valor de 134 V y en la fase C con un valor de 134 y 135 V al comienzo, este suceso ocurre hasta el 2do minuto de la medición siendo constante desde ese tiempo con un voltaje de 134 V.

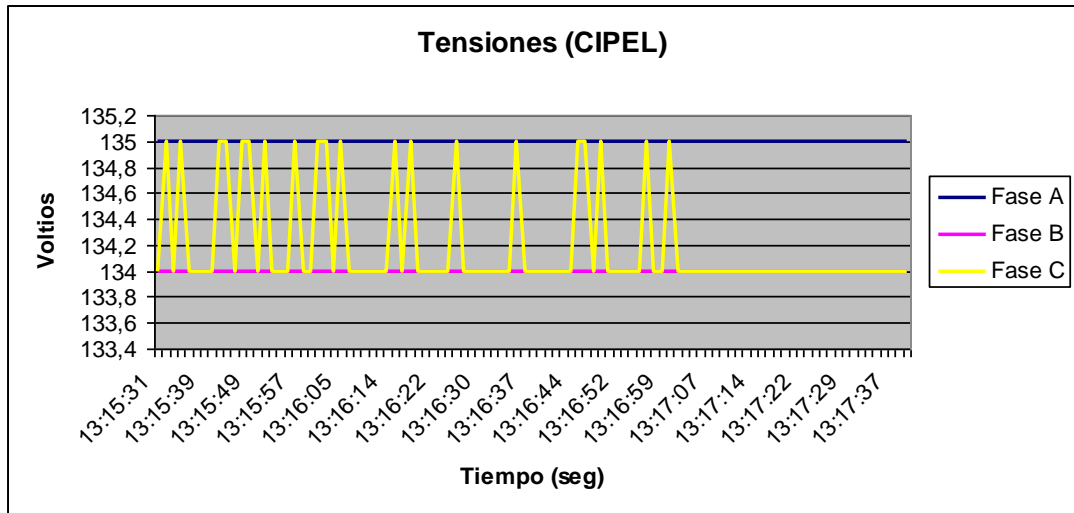


Figura 3.26. Medición Periódica de las tensiones (CIPEL)

En lo que respecta a la medición periódica de las corrientes en cada una de las fases, se obtuvo la siguiente gráfica (Figura 3.27) y como podemos observar, el valor de la corriente en la Fase C es mucho menor en comparación con las corrientes de las demás fases, dando a entender que existe un desbalance de carga en el sistema.



Figura 3.27. Medición periódica de las corrientes (CIPEL)

Captura de Ondas

Siguiendo con la ventana de Captura de onda, en la figura 3.28, vemos la forma de las ondas de corriente en cada una de las fases, se puede apreciar que el valor máximo en la fase C es más pequeño comparado con las demás ondas, confirmando el valor de la medición periódica obtenida con respecto a la corriente en C.

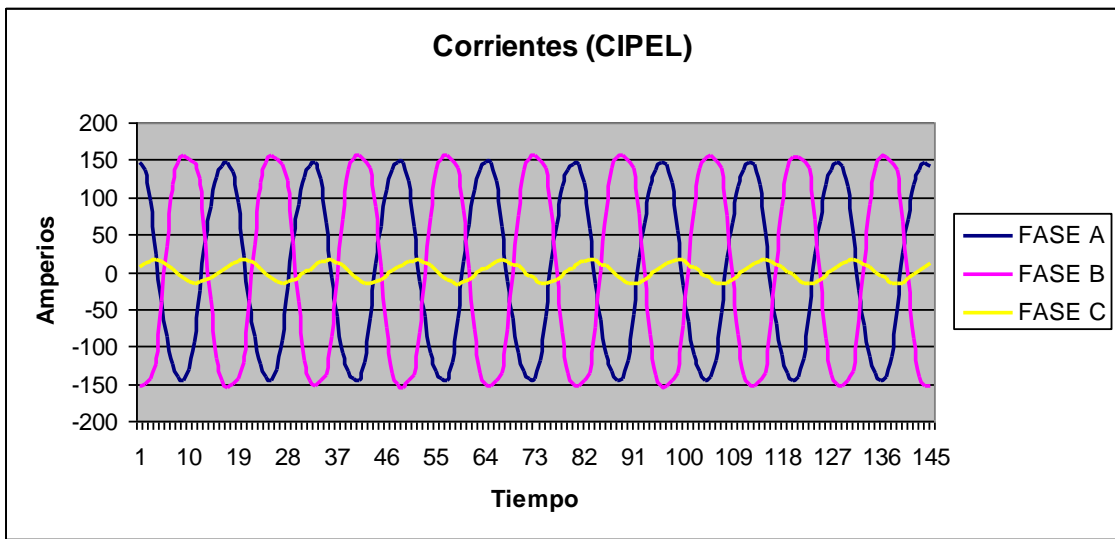


Figura 3.28. Captura de Forma de onda de las corrientes (CIPEL)

En la figura 3.29, tenemos la forma de onda de tensión de cada una de las fases del sistema de alimentación del CIPEL y como podemos observar, las ondas de tensión no son sinusoides perfectas.

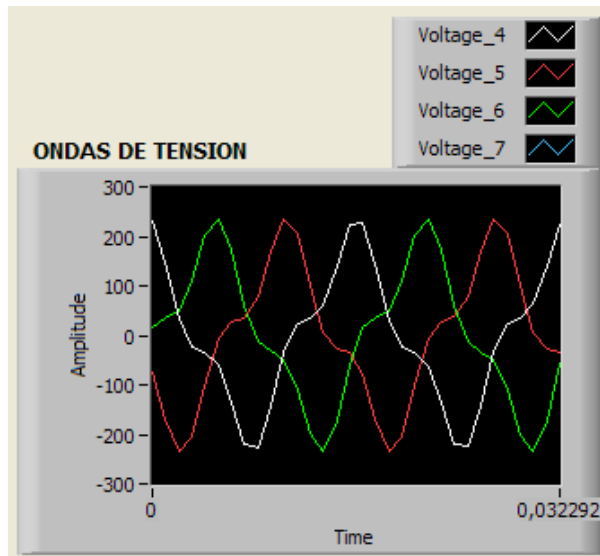


Figura 3.29. Forma de Onda de las Tensiones (CIPEL)

3.3.3 Medición y comprobación del ARCO-07 en el arranque de un motor asincrónico

Gracias a las facilidades prestadas por el CIPEL en el acceso al laboratorio de protecciones eléctricas, fue posible conectar nuestro ARCO-07 en la alimentación de un motor asincrónico para capturar el proceso de arranque del mismo.

En la figura 3.30, se puede apreciar la conexión de nuestro ARCO-07 en la alimentación del motor asincrónico, las pinzas de corriente y tensión se conectaron en el interruptor principal del motor. La configuración del ARCO-07 para esta prueba fue:

- Tamaño del buffer: 1200 ciclos debido a los 20 segundos de arranque.
- Ciclos preevento: 2
- Muestras por ciclo: 16
- Muestras por ventana: 480
- Velocidad de muestreo: 960 Hz

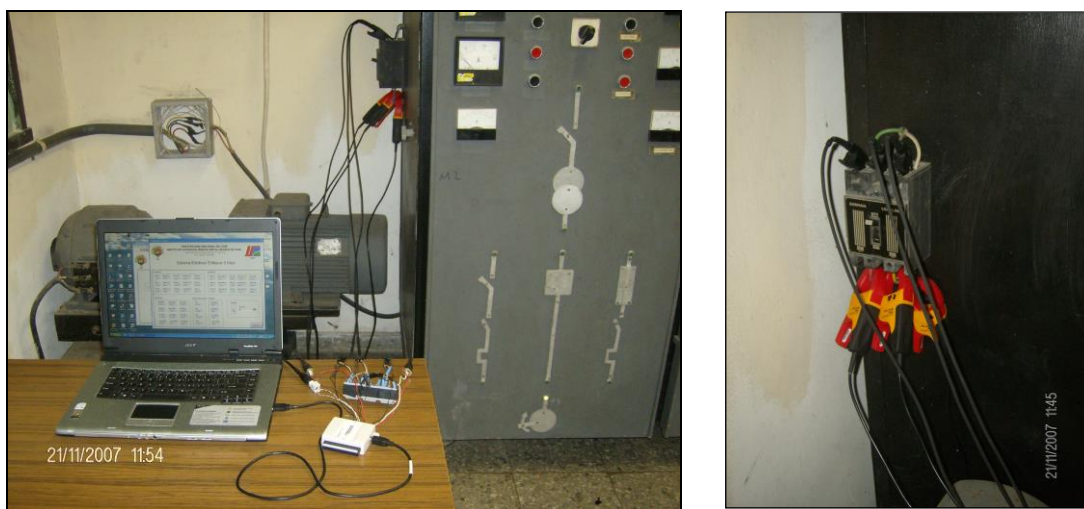


Figura 3.30. Arranque de un motor asincrónico

Las características de dicho motor asincrónico son:

- kW: 4,8

- $\cos \varphi$: 0,84
- Δ/Y : 220/380 V
- I: 18/10,5 A
- rpm: 1735
- Hz: 60

Medición Periódica

Para conocer y capturar el comportamiento de las corrientes durante el arranque del motor, seleccionamos la corriente de las 3 fases en la ventana de medición periódica con un intervalo de tiempo pequeño, para su posterior análisis. Ver figura 3.31.

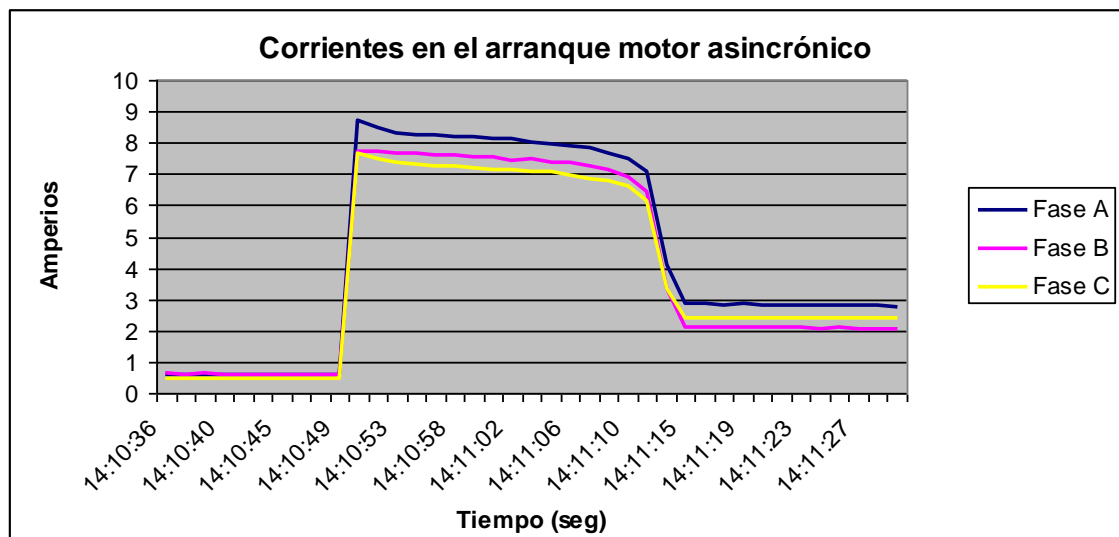


Figura 3.31. Arranque motor asincrónico (CIPEL)

Captura de Onda

Las figura 3.32, nos muestra el arranque del motor asincrónico, con una duración de arranque de 23.4 segundos, es esta la razón por lo que se tuvo que aumentar el tamaño del buffer, para poder capturar el proceso de arranque de un motor.

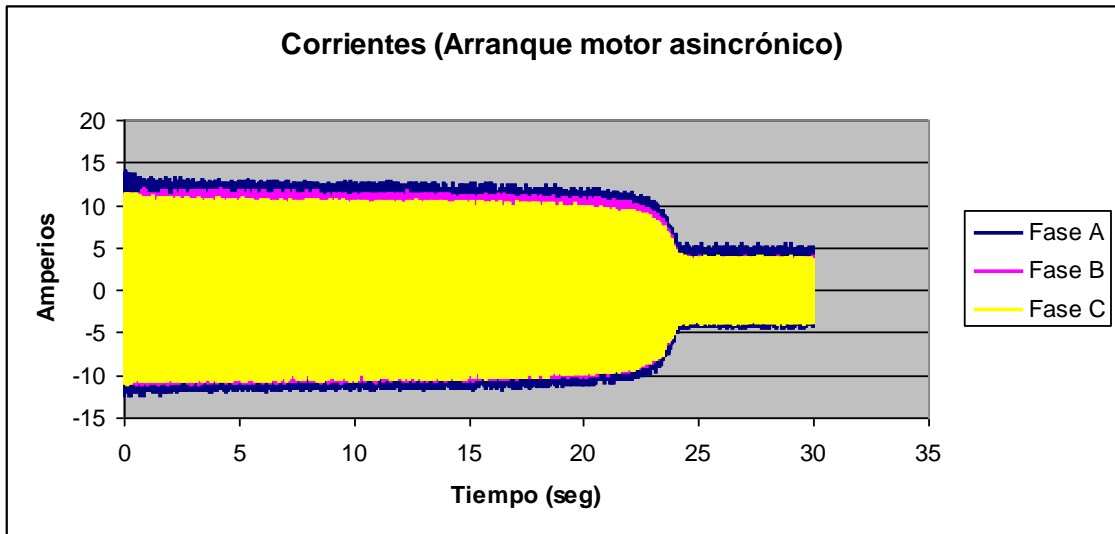


Figura 3.32. Arranque motor asincrónico (Captura de onda)

Para tener una mejor visión de las ondas de cada una de las fases del sistema eléctrico, la figura 3.33, nos muestra el desincremento de la corriente en relación al tiempo, viendo las ondas desde el 23,4 seg hasta los 23,8 seg.

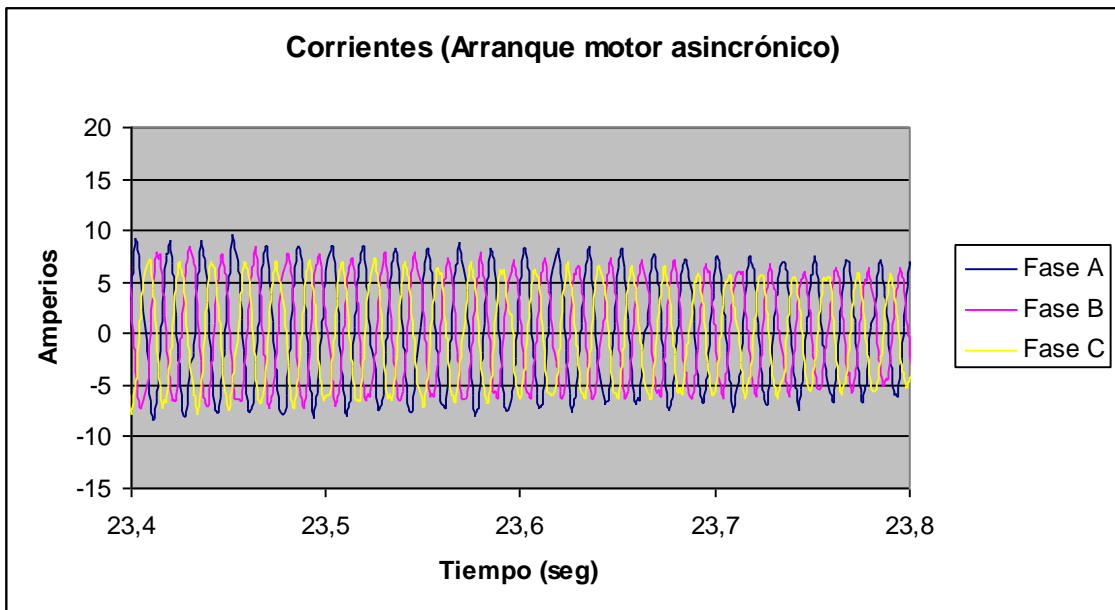


Figura 3.33. Arranque motor asincrónico

3.3.4 Mediciones en un Sistema Trifásico 4 hilos

Esta medición se la realizó en el Laboratorio de máquinas eléctricas de la CUJAE (Centro Universitario José Antonio Echeverría), con el fin de comprobar nuestro analizador de redes en un sistema eléctrico trifásico 4 hilos.

El ARCO-07 se montó en el tablero principal de la alimentación de un motor asincrónico.

Los datos de configuración utilizados para esta medición fueron:

- Tamaño del buffer: 1200 ciclos
- Ciclos preevento: 2
- Muestras por ciclo: 16
- Muestras por ventana: 480
- Velocidad de muestreo: 960 Hz

Arranque del motor asincrónico en el laboratorio de máquinas eléctricas de la CUJAE

La figura 3.34 representa el comportamiento de la corriente en la fase A, se puede observar que al comienzo del arranque la corriente llega hasta 8,2 A, luego a los 20 segundos se estabiliza en 2,9 A.

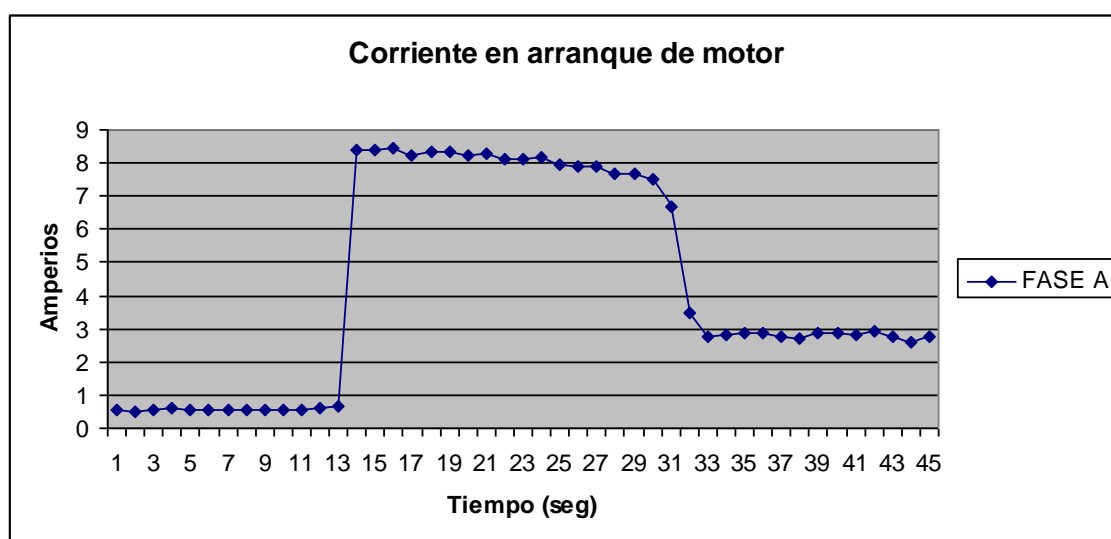


Figura 3.34. Arranque del motor asíncrono

Otro dato de interés en la medición del analizador de redes ARCO-07 es la captura de forma de onda tanto de la corriente como la tensión, pues estas nos brindan una imagen del estado actual del sistema eléctrico.

En la figura 3.35, tenemos la captura de las ondas de corriente durante el arranque del motor asincrónico.

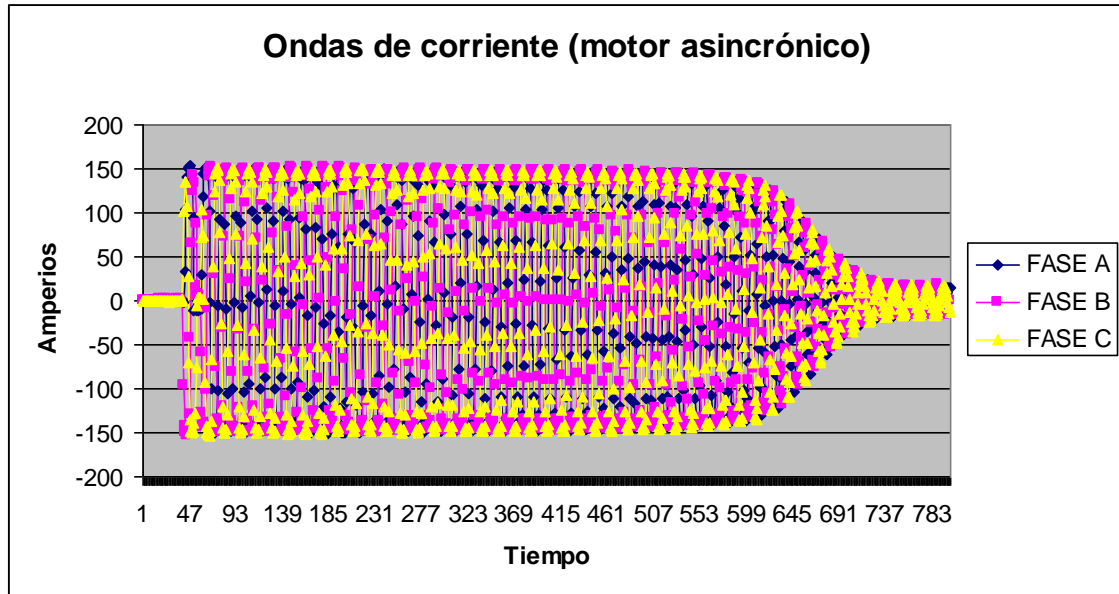


Figura 3.35. Captura de l arranque del motor asincrónico

En la figura 3.36, podemos apreciar las ondas de tensión medidas en el laboratorio de máquinas eléctricas de la CUJAE (Centro Universitario José Antonio Echeverría).

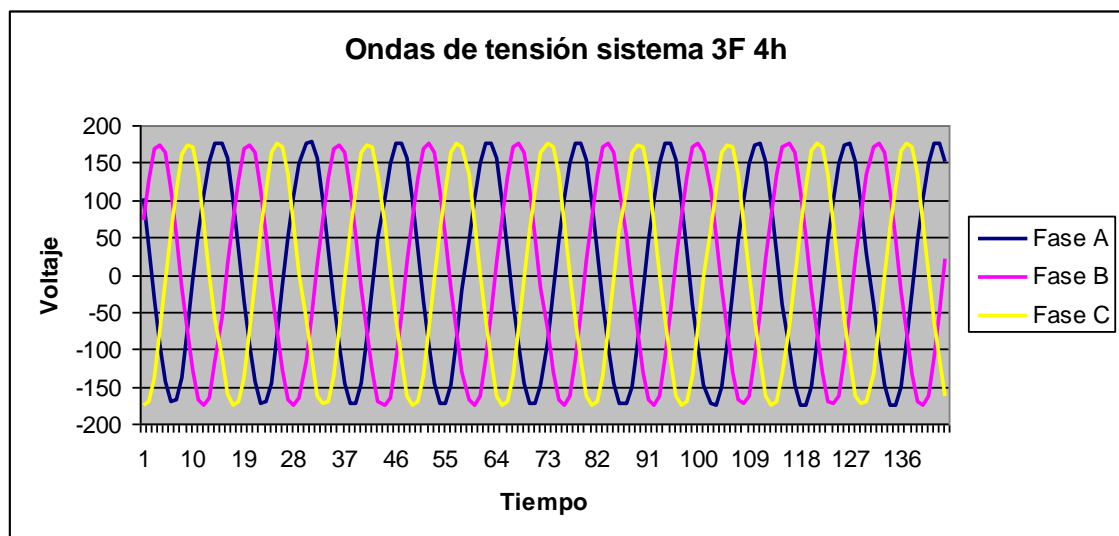


Figura 3.36. Ondas de tensión en sistema eléctrico 3F 4H

3.3.5 Medición en el transformador del Banco de Loja de acuerdo a la Regulación No. CONELEC – 004/01

Gracias a las facilidades de acceso prestadas por los dirigentes del Banco de Loja, se instaló y conectó tanto las pinzas de tensión como las pinzas de corriente en el secundario del transformador trifásico, ver figura 3.37, cuyas características son las siguientes:

- 112.5 KVA
- 13800/220 V

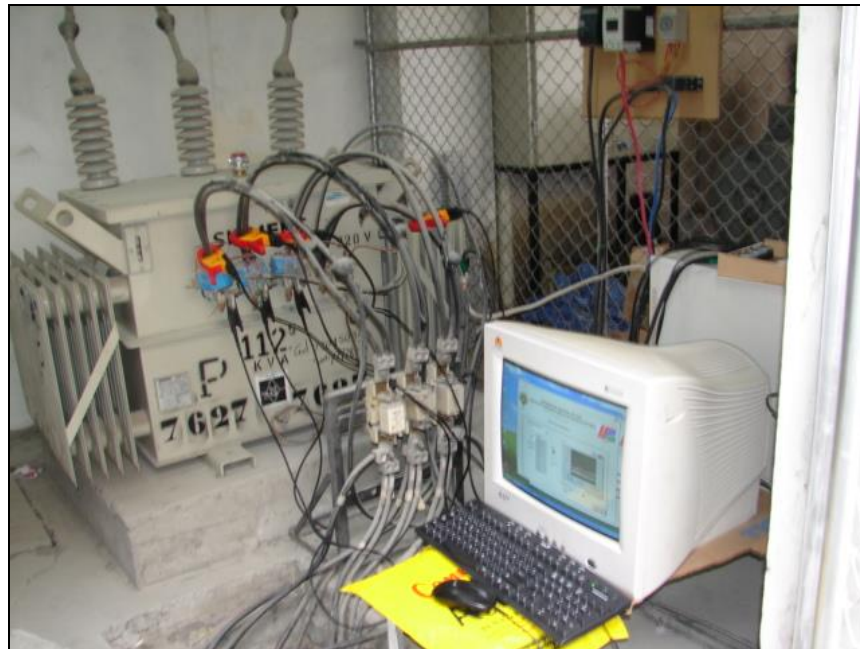


Figura 3.37. Instalación y conexión del software en el transformador trifásico del Banco de Loja

Para determinar los diferentes parámetros eléctricos involucrados en la Calidad del Producto se realizaron mediciones cada 10 minutos por el espacio de 24 horas, utilizando el software ARCO-07, el cuál ofrece una serie de funciones para la comprobación del sistema de distribución eléctrica.

El análisis de los parámetros eléctricos involucrados en la calidad del Producto, se lo realizó de acuerdo a los formularios del 2008 establecidos por el CONELEC, para los transformadores de distribución. En el anexo 14 se tiene el formulario “Puntos del

sistema de distribución a ser evaluados” en el cuál están todos los datos del transformador de distribución así como la fecha de inicio y la fecha final de la medición.

Nivel de Voltaje

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. En el anexo 15 se tiene el formulario “número de mediciones fuera de límites” con sus respectivos rangos de desviación de nivel de voltaje, para la medición en transformadores de distribución.

Los límites para la desviación del nivel de voltaje en los que se encontraron registros fuera de límite fueron:

- $5 < \Delta V < 6 = 120,65 < \Delta V < 134,62$
- $6 \leq \Delta V < 7 = 119,38 \leq \Delta V < 135,89$
- $7 \leq \Delta V < 8 = 118,11 \leq \Delta V < 137,16$

En primera instancia en el formulario se puede observar el número de registros que se encontraron fuera del límite ($5 < \Delta V < 6$) teniendo en la fase A=5, en la fase B=3, y en la fase C=5. También se obtuvieron registros fuera del límite ($6 \leq \Delta V < 7$), registrándose en la fase A=1, en la fase B=0, y en la fase C=1, igualmente en el límite ($7 \leq \Delta V < 8$), encontrándose un solo registro en la fase A fuera de ese límite.

En el formulario, también se tiene el total de número de mediciones que se encuentran fuera de los límites establecidos por el CONELEC, teniendo como porcentajes fuera de los límites respecto al número de mediciones, un 5% en la fase A, un 2% en la fase B y un 4% en la fase C.

A continuación en la figura 3.38, y 3.39, se indica en forma gráfica los niveles de tensión obtenidos en las mediciones.

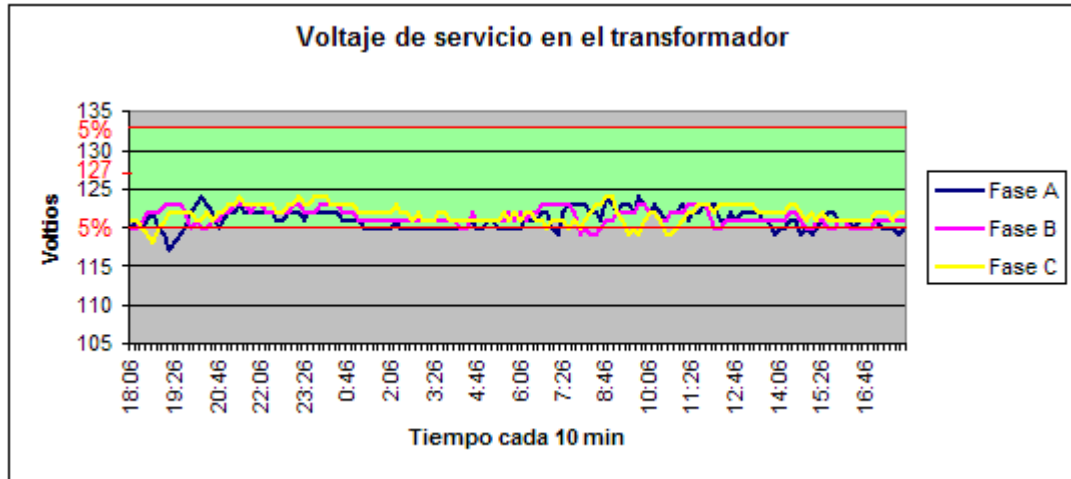


Figura 3. 38. Niveles de tensión permitidos en porcentaje

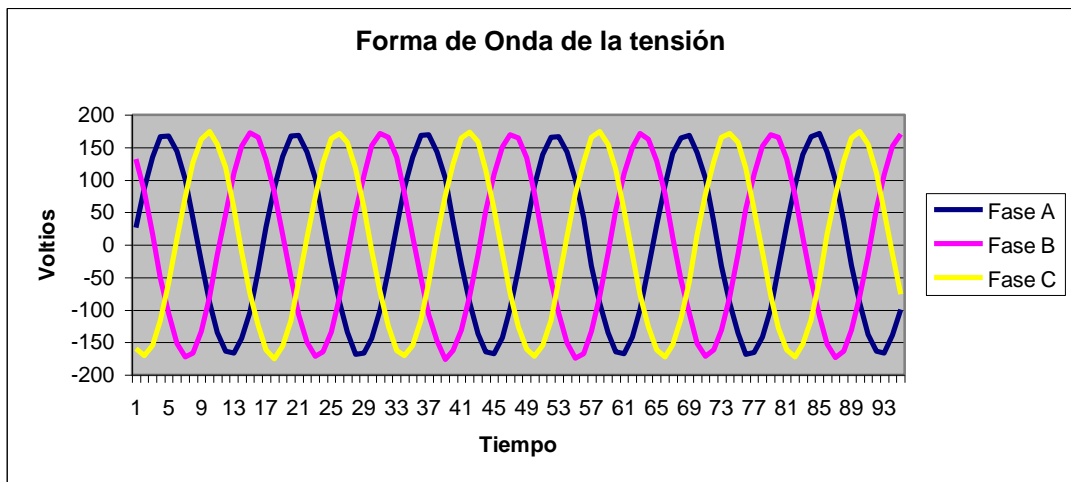


Figura 3.39. Captura de la forma de onda de la tensión

Armónicos

Para poder evaluar el VTHD se debe tomar en cuenta el anexo 2, mismo que presenta los Niveles de la Regulación No. CONELEC - 004/01 para las tasas de los armónicos de tensión, pudiéndose observar que el límite del THD es el 8%.

En el anexo 16, se cuenta con el formulario de medición en transformadores de distribución, mismo que presenta las mediciones totales fuera de límites en porcentaje, tanto en el voltaje, flícker (PST) y la distorsión armónica total (THD) en cada una de las fases, también se tiene el registro de la Energía total suministrada en kWh y el registro de la Energía suministrada en malas condiciones de calidad. Cabe informar que con el

software ARCO-07 no se obtiene la medición del flícker en PST, por tal razón se ha llenado el formulario con los demás parámetros obtenidos en la medición.

Las lecturas realizadas a nivel del transformador de distribución en el período de 24 horas nos dan como resultado mediciones de THD de hasta 0,023% en la fase A y B, y en la fase C de hasta 0,020%. Según la Regulación 004/01 del CONELEC los porcentajes de THD que sobrepasen el 8%, no cumplen con la norma de Calidad de Energía, pero en este caso se observa que no existen valores que excedan la norma. A continuación en la figura 3.40, se indica la representación gráfica del THD de las mediciones realizadas.

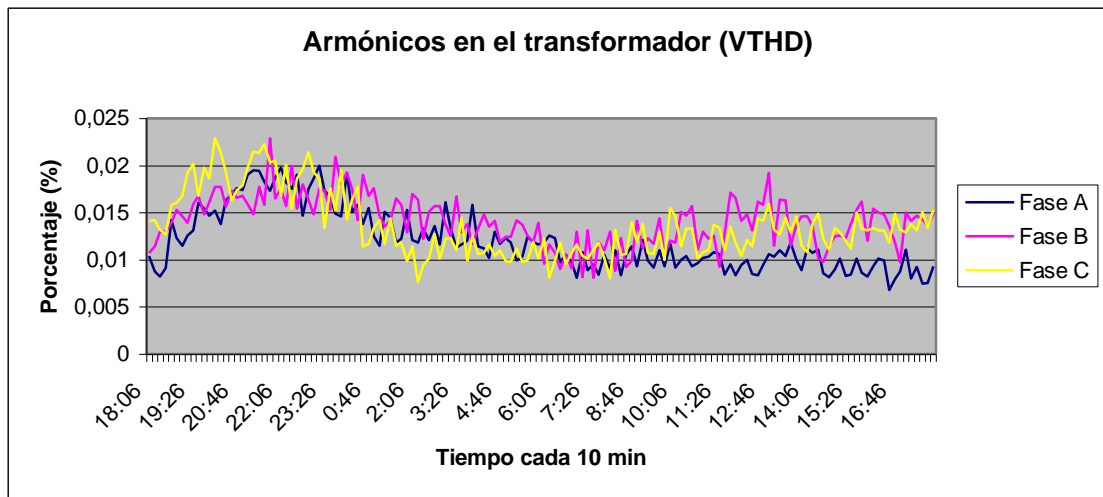


Figura 3.40. VTHD en el transformador de distribución

Factor de Potencia

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el consumidor está incumpliendo con los índices de calidad. El límite establecido por el CONELEC en cuánto al Factor de Potencia es de 0,92.

De las mediciones efectuadas se obtuvieron los siguientes resultados; en la fase A se obtuvo que el 2,8% de los registros, están fuera del límite de calidad, sin embargo en la fase B y C no existen valores fuera del límite permitido. A continuación en la figura 3.41, podemos observar la gráfica del factor de potencia en cada una de las fases

pudiéndose observar los valores de la fase A que sobrepasan el límite de factor de potencia que es 0,92.

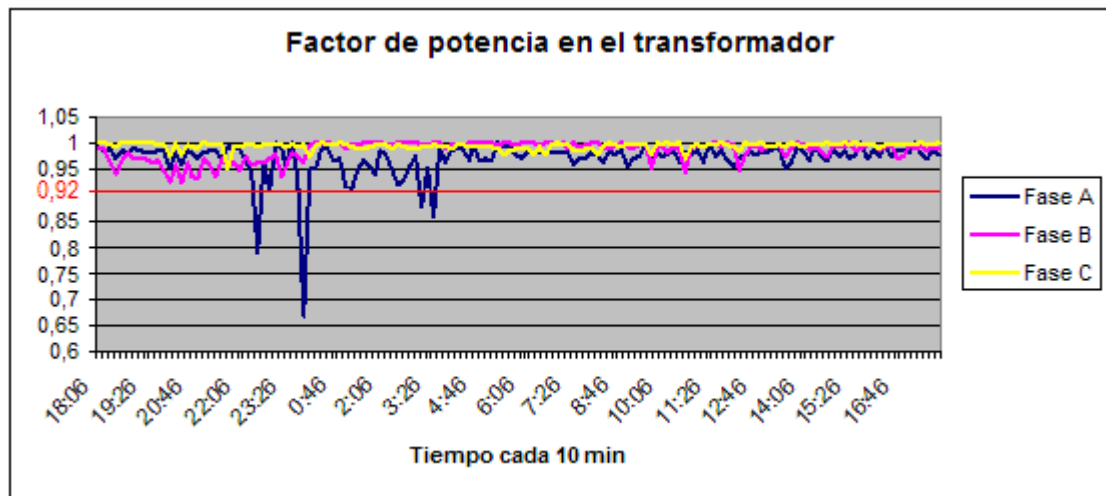


Figura 3.41. Factor de Potencia en el transformador de distribución

Como se observa existe incumplimiento de los límites de calidad del servicio en el transformador de distribución en el 2,77% del tiempo medido, ya que 4 de los 144 registros tomados en las 24 horas sobrepasan el límite permitido de 0,92, si revisamos el origen de esta anomalía se puede evidenciar que es producida en las instalaciones correspondientes a la Fase A.

Potencia Activa

El comportamiento de la potencia activa servida por el centro de transformación se observa en la figura 3.42. Como se puede evidenciar la potencia máxima servida está en el orden 43 kW y existe balance entre la potencia servida en las tres fases.

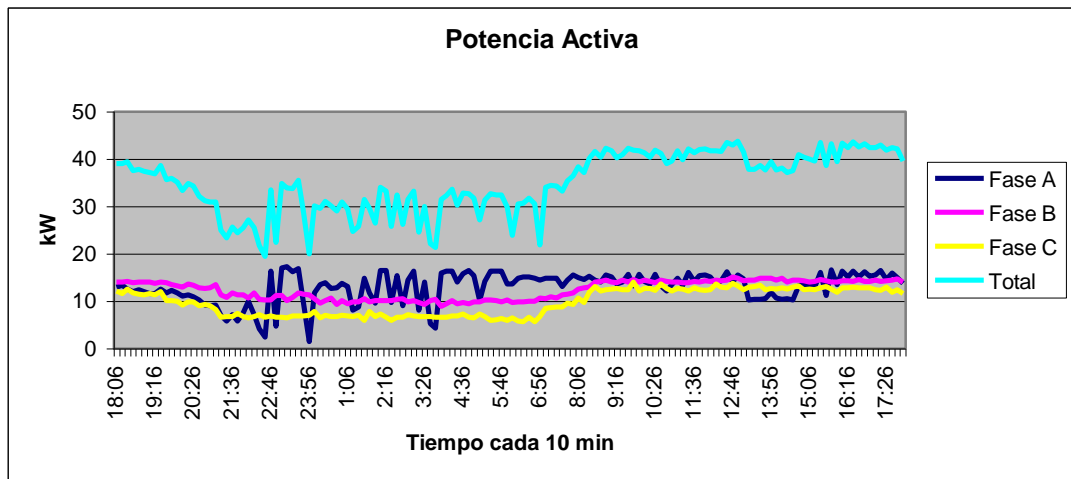


Figura 3.42. Potencia Activa servida en el centro de transformación

Potencia Reactiva

La figura 3.43, nos muestra el comportamiento de la potencia reactiva (kVAR) en cada una de las fases del transformador, durante la medición en un intervalo de 10 minutos.

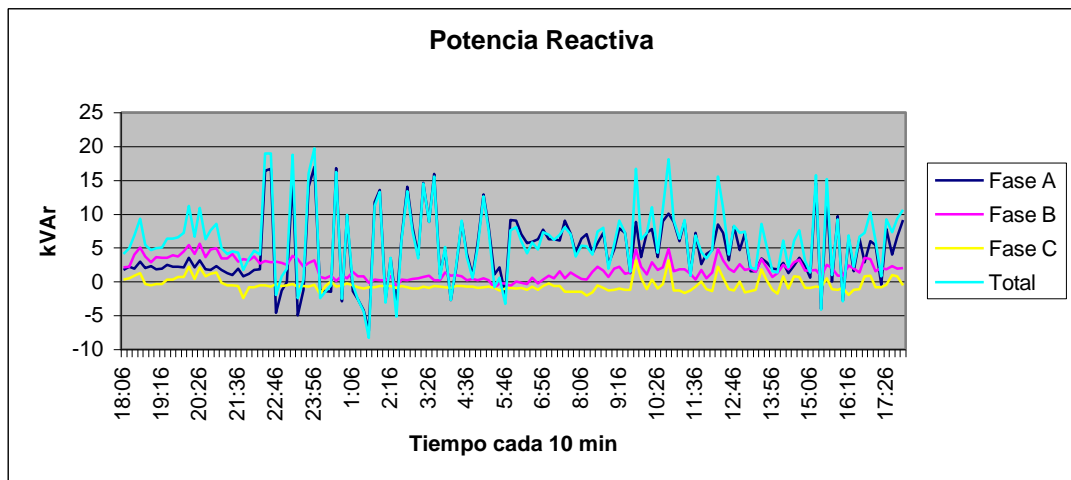


Figura 3.43. Potencia reactiva

Potencia Aparente

En cuanto a la potencia aparente suministrada por el transformador (Figura 3.44) se tiene una potencia máxima de 44,3 kVA, lo que representa una cargabilidad del transformador del 39% en un día normal de actividades por lo que se considera que el centro de transformación está correctamente dimensionado y tiene una reserva adecuada para el caso de un incremento imprevisto en la potencia demandada del sistema.

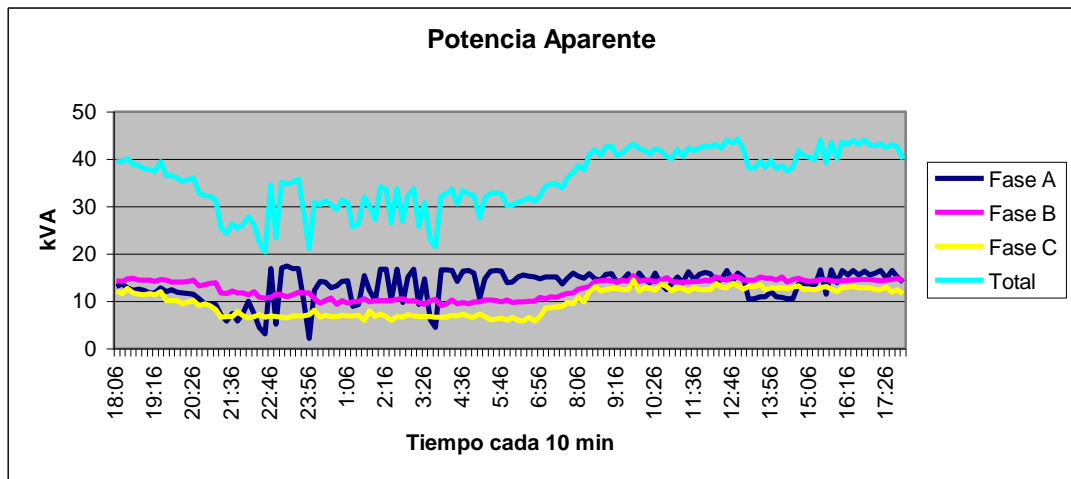


Figura 3.44. Potencia Aparente

Corrientes

En la figura 3.45, se puede observar que existe balance en las corrientes registradas en las fases A, B y C durante el día, pero existe un desbalance en la fase A durante la noche, siendo los valores máximos registrados los siguientes:

<i>Durante el día</i>	<i>Durante la noche</i>
Fase A: 140 A	Fase A: 140 A
Fase B: 130 A	Fase B: 85 A
Fase C: 120 A	Fase C: 70 A

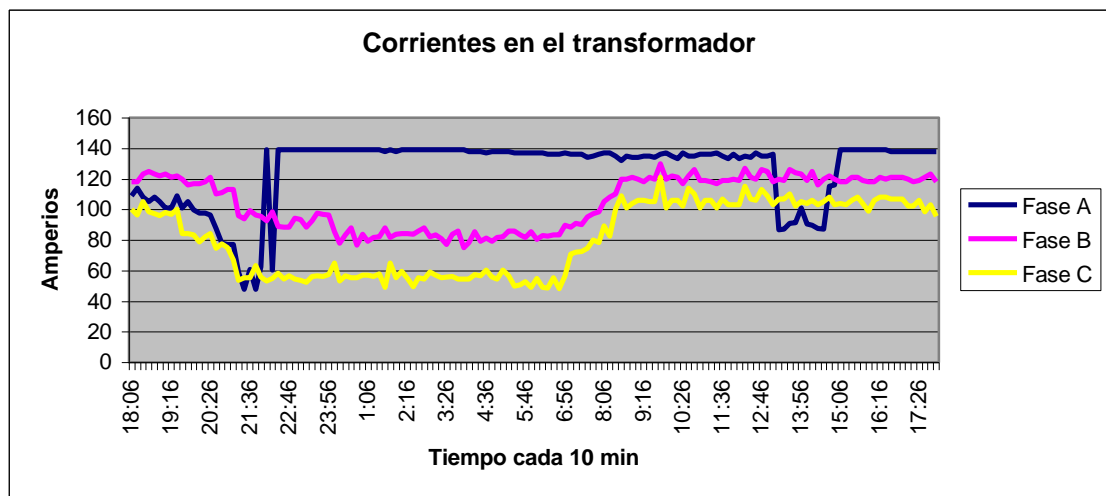


Figura 3.45. Corrientes en el bushing del transformador de distribución

CAPITULO IV

VALORACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICO Y SOCIAL

- ✚ INTRODUCCIÓN
- ✚ VALORACIÓN TÉCNICA
- ✚ VALORACIÓN ECONÓMICA
- ✚ VALORACIÓN SOCIAL

*“No se puede enseñar nada a un hombre;
sólo se puede ayudarlo a encontrar
la respuesta dentro de sí mismo”*

...Galileo Galilei

4.1 INTRODUCCIÓN

En este tópico se realizará, una valoración de los resultados obtenidos en el trabajo. Esta valoración se realizará tomando en cuenta lo técnico, económico y lo social tomando como referencia los analizadores de redes convencionales que realizan operaciones bastante similares. Aparece la apreciación de como influye en la didáctica de la Carrera de Electromecánica este resultado y se muestra de manera crítica las ventajas de este diseño.

4.2 VALORACIÓN TÉCNICA

Ventajas con respecto a un Analizador de Redes convencional

- Hardware reducido, donde la mayoría de las operaciones las realiza la PC.
- Visualización instantánea de los resultados con un entorno gráfico confortable.
- Los resultados periódicos de las magnitudes se pueden obtener como mínimo cada 1 segundo, intervalo de tiempo similar a los analizadores de redes actuales, aunque cambiando la configuración de reloj del sistema en el software se pueden obtener valores más pequeños.
- En la captura de forma de onda se pueden obtener cantidades de ciclos de las señales superiores a instrumentos modernos, con opción similar e inclusive para varias señales a la vez. Todo está en dependencia del tamaño del buffer que se le asigna al software y de la capacidad de memoria de la máquina.
- La cantidad de muestras por ventana puede ser variable buscando mayor resolución en los gráficos de la variable.
- Se pueden utilizar transformadores de medición para cualquier nivel de corriente y tensión respetando las características de entrada analógicas de la aplicación. Para validar estos datos, ante estas nuevas condiciones simplemente se cambia en el software la relación de transformación.
- Se puede seguir desarrollando opciones aprovechando las potencialidades del LabVIEW y sus excelentes condiciones de opciones de programación orientada a objeto, sobre la base de la instrumentación virtual sin gasto adicional de roturas de componentes.

- El costo de la aplicación si se compara con un analizador de redes convencional puede ser aproximadamente de un 50% menos.
- Se miden los valores RMS de las variables eléctricas, algo que no puede realizarse en los Analizadores de Redes de panel.

4.3 VALORACIÓN ECONÓMICA

Una valoración económica del trabajo desarrollado es muy importante realizarla, ya que este es el punto culminante de todo análisis, pues mide el costo de los beneficios que se obtienen. La tabla 4.1 nos muestra los materiales utilizados para el diseño y montaje de la aplicación didáctica.

Tabla 4.1. Listado de materiales

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
4	Pinzas Amperimétricas i400s.	170,00	680,00
Set (4 negras, 1 verde)	Cables de prueba y pinzas de cocodrilo TLS430.		95,00
3	Transformadores de Tensión de fuente.	5,00	15,00
1	Tarjeta ADQ 6009 de la National Instrument.	396,48	396,48
	Costos adicionales		100,00
Subtotal			1286,48
1	Laptop ACER TravelMate 4222	1300,00	1300,00
Total			2586,48

Los actuales analizadores de redes portátiles oscilan entre los 6000 y 8000 USD, comparando este precio con el total obtenido en la tabla 4.1, se puede decir que nuestra aplicación didáctica es un 56,9% - 67,7% menos de los analizadores de redes convencionales y se pueden disminuir aún más los gastos en el caso de ya obtener una Laptop para el software. También al software ARCO-07 se lo puede seguir desarrollando con posibilidades de comercialización de esta aplicación.

4.4 VALORACIÓN SOCIAL

Con el presente trabajo, en el Área de Energía Industrias y Recursos Naturales no Renovables, específicamente la carrera de Electromecánica, contará con una aplicación moderna y a la vez didáctica que permitirá a lo estudiantes introducirse en el mundo de las mediciones eléctricas de una forma atractiva. Se combinan 3 elementos fundamentales que favorecen el proceso de enseñanza:

- Integración de contenidos de varias temáticas (mediciones eléctricas, informática aplicada, instrumentación, sistemas eléctricos, electrónica básica).
- Combinación de prácticas de laboratorio virtuales con datos de la realidad.
- Posibilidad de desarrollar investigaciones curriculares a partir del empleo de esta herramienta, que permita el estudio de sistemas eléctricos o de un equipamiento en específico.

Una vez perfeccionada esta aplicación los estudiantes de la carrera de Electromecánica pueden desarrollar investigaciones vinculadas con instituciones que permitan proponer soluciones para el empleo racional de la energía eléctrica y demostrar las afectaciones inherentes a la calidad de la energía eléctrica.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La aplicación permite realizar las operaciones básicas de un Analizador de Redes convencional con un 40% en lo que a costo de equipamiento se refiere.
2. El módulo de mayor consumo de procesamiento matemático son las mediciones y cálculos de las variables instantáneas.
3. Es posible diseñar mediante LAbVIEW, instrumentación virtual, capaz de sustituir y en muchas ocasiones superar las prestaciones de los analizadores de redes mediante el trabajo on line con variables de sistemas eléctricos reales.
4. La tarjeta interface junto con la tarjeta de adquisición de datos ADQ 6009 y los transformadores de medición, representan la unión entre el mundo analógico de las variables eléctricas y el mundo digital de la PC, garantizando para este caso específico mediciones directas de corriente hasta 400 A, tensiones hasta 230 V y mediciones eléctricas indirectas de las demás variables eléctricas presentes en un sistema.
5. La velocidad de muestreo de la tarjeta de adquisición de datos ADQ 6009, que es de 48 kS/s, permite verificar los diferentes elementos inherentes a la calidad de la energía eléctrica referidos en la Regulación No. CONELEC – 004/01, sin embargo en esta versión del software no se cumple a cabalidad con dicha Regulación.
6. Se verificó la aplicación con un Analizador de Redes de panel de la marca CIRCUTOR con el cuál se obtuvieron excelentes resultados durante las mediciones en diferentes sistemas y equipos eléctricos (circuitos residenciales, accionamientos eléctricos, suministro eléctrico de instalaciones), igualmente se obtuvo el margen de error de la Aplicación ARCO-07 con respecto al analizador de redes FLUKE 434.
7. Se verificó la viabilidad del proyecto mediante la socialización de los resultados parciales de la investigación en el CIPEL – CUJAE, ISMM y en residencias cubanas presentándose además un CD con información bibliográfica, software y demás que permiten un aporte a la didáctica de las mediciones eléctricas.

RECOMENDACIONES

- Continuar desarrollando la aplicación ARCO-07 para hacerlo más versátil y que pueda introducirse en el mercado.
- Emplear este resultado en la formación curricular de los estudiantes del ISMM (Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa), la UNL (Universidad Nacional de Loja) y otras instituciones a fines.

BIBLIOGRAFÍA

• Libros

1. COMITE DE DISTRIBUCIÓN – COMISIÓN TÉCNICA, 1996. Guía sobre la calidad de la onda en las redes eléctricas, Madrid, España. 72 p.
2. GONZÁLEZ, Rafael. 1988. Fundamentos de la teoría de circuitos eléctricos. Ciudad de la Habana, Editora ISPJAE.
3. MUSTELIER, Arquímedes. FONG, Julio. 1992. Mediciones Eléctricas. Cuba, Editorial Pueblo y Educación. 313 p.
4. MARTÍNEZ, Esteban. 2006. Electrotecnia Básica. Cuba, Editorial Félix Varela. 155 p.
5. NATIONAL INSTRUMENT. 2000. LabVIEW Basic Course Manual.
6. NATIONAL INSTRUMENT. 2000. LabVIEW Basic II Course Manual.
7. RAS, Enrique. 1975. Teoría de líneas eléctricas. Barcelona, Marcombo Boixareu Editores.
8. STEVENSON, William. 1981. Elements of Power Systems Analysis. Cuba, Editorial Pueblo y Educación. 225 p.
9. SOLIMAN, Samir. SRINATH, Mandyam. 1999. Señales y Sistemas continuos y discretos. 2ª Edición. España, Prentice Hall Iberia. 537 p.

• Páginas Web

10. www.yahoo.com “Analizadores de Redes”
11. www.monografias.com “Electrónica Analógica”
12. www.wikipedia.org “Electrónica Digital”
13. www.solociencia.com “Circuitos Lógicos”
14. www.monografias.com “Corriente Eléctrica”
15. www.ni.com “Software LabVIEW”
16. www.ni.com “Tarjetas de Adquisición de datos”
17. www.monografias.com “Procesamiento digital de señales”
18. www.google.com “Dispositivos de medición”
19. www.circuitor.com “Analizadores de panel y portátiles”

20. www.fluke.com “Medidores de calidad de la energía eléctrica”

- **Artículos**

21. HERNÁNDEZ M, Jorge Eduardo. Principios básicos de la adquisición y conversión de datos. Revista Electrónica & Computadores, CEKÍT

22. Regulación No. CONELEC – 004/01

ANEXOS

Anexo #1

Caracterización cuantitativa de los impulsos de tensión

Nivel de tensión Causa	Duración	Frecuencia de oscilación	Valor de pico
<i>Alta (1 kV < V < 36 kV)</i>			
Actuación elementos de corte	$t > 100 \mu\text{seg}$	$f < 10 \text{ kHz}$	(*)
Transferidas de un nivel superior de tensión	$t > 100 \mu\text{seg}$	$10 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$	(*)
Descarga atmosférica	$1 \mu\text{seg} < t < 100 \mu\text{seg}$	$10 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$	(*)
<i>Baja (<1 kV)</i>			
Actuación elementos de corte	$t > 100 \mu\text{seg}$	$f < 10 \text{ kHz}$	$V_p < 1 \text{ kV}$
Transferidas de un nivel superior de tensión	$t > 100 \mu\text{seg}$	$f < 10 \text{ kHz}$	$V_p < 1 \text{ kV}$
Descarga atmosférica	$1 \mu\text{seg} < t < 100 \mu\text{seg}$	$10 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$	$V_p < 5 \text{ kV}$
Reencendido	$1 \mu\text{seg} < t < 100 \mu\text{seg}$	$10 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$	$V_p < 5 \text{ kV}$

(*)Limitado por el nivel de protección de la red.

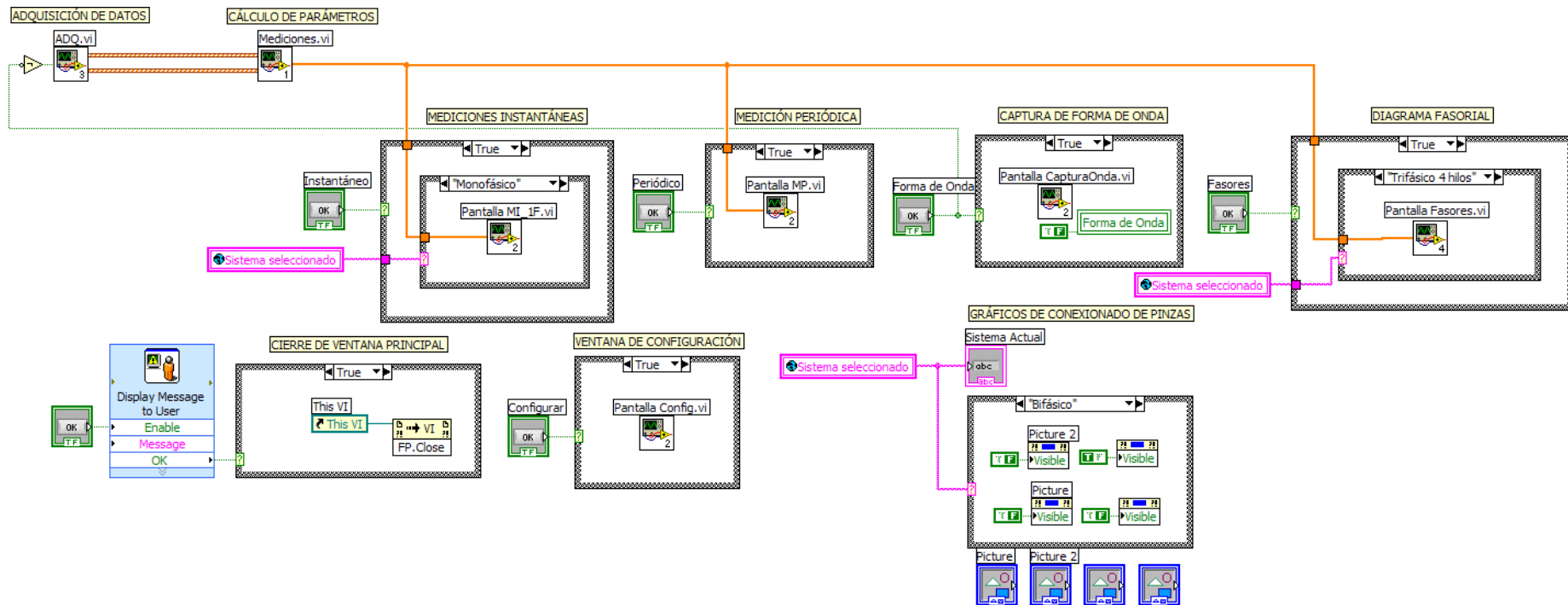
Anexo #2

Niveles de la Regulación No. CONELEC - 004/01 para las tasas de los armónicos de tensión

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' _o$ THD' (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

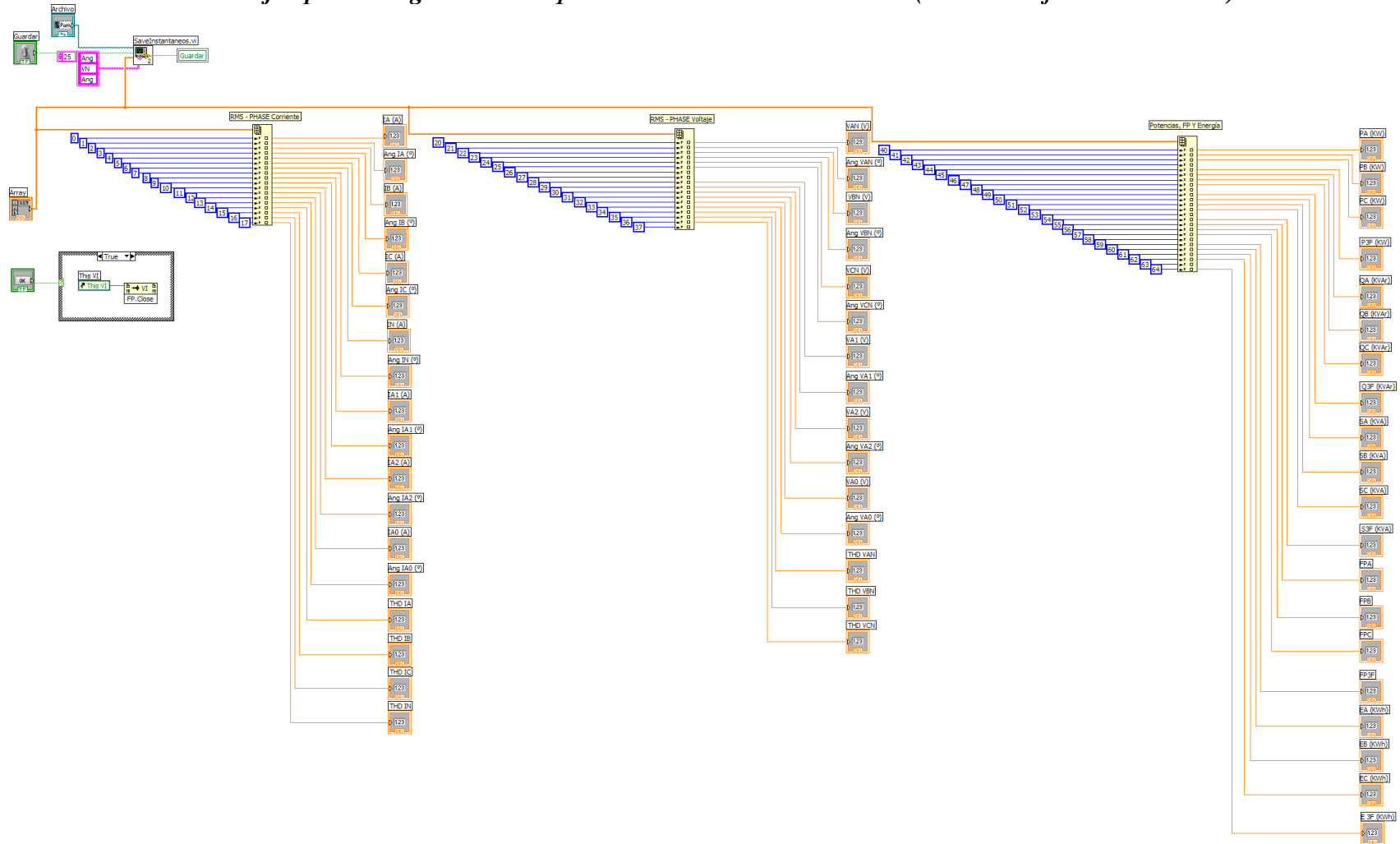
Anexo #3

Diagrama de bloques de la ventana principal



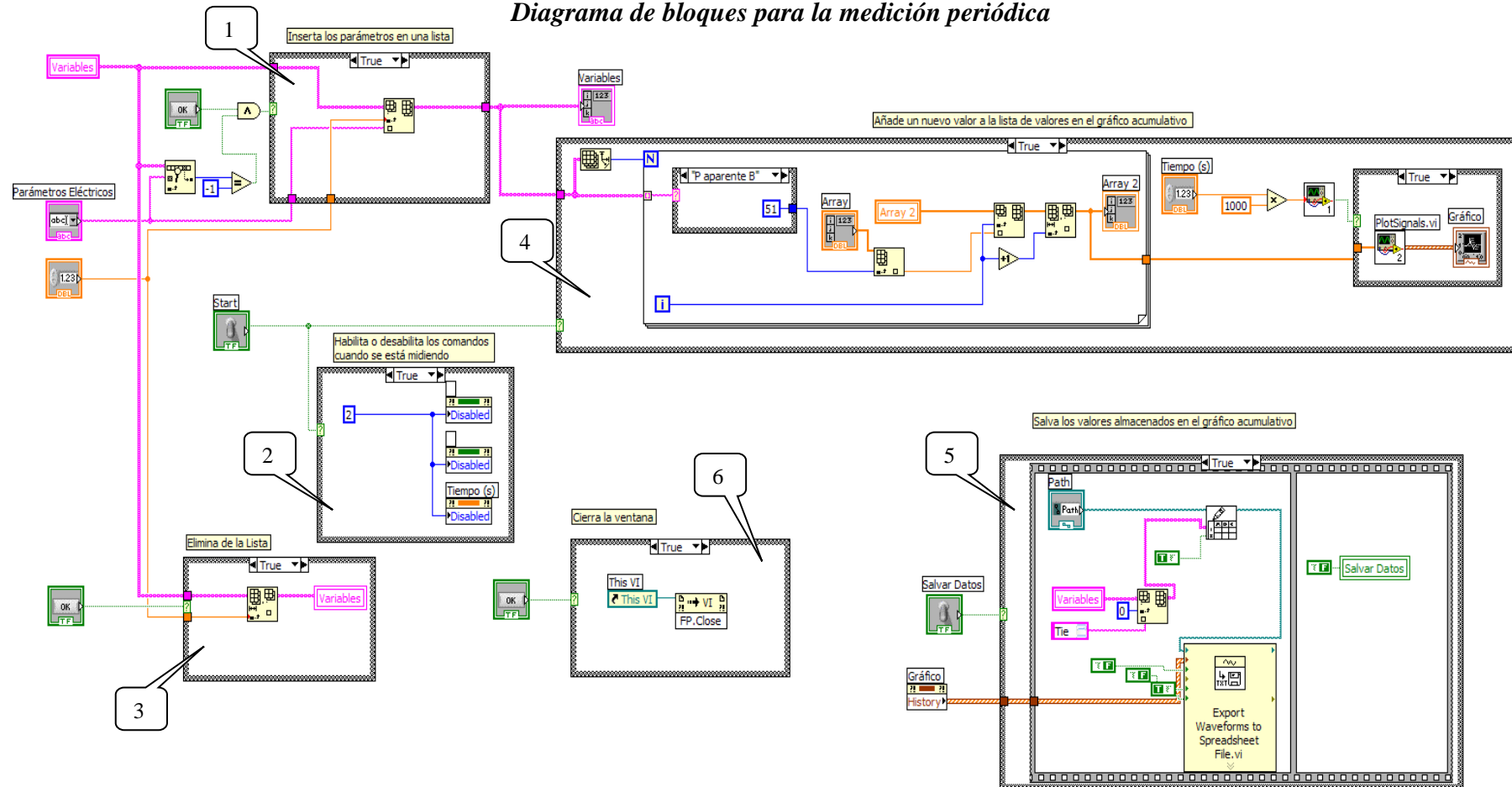
Anexo #5

Ejemplo de diagrama de bloques de Mediciones instantáneas (circuito trifásico de 4 hilos)



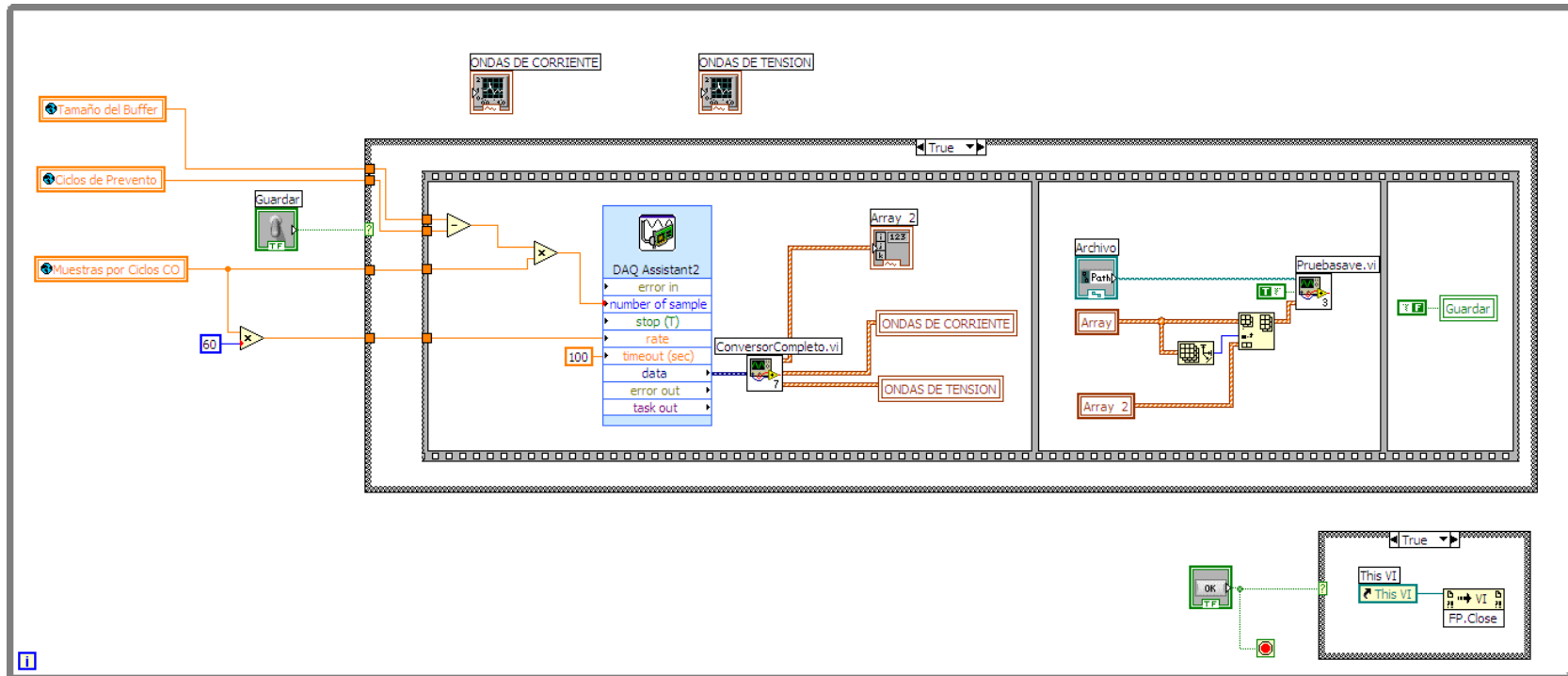
Anexo #6

Diagrama de bloques para la medición periódica



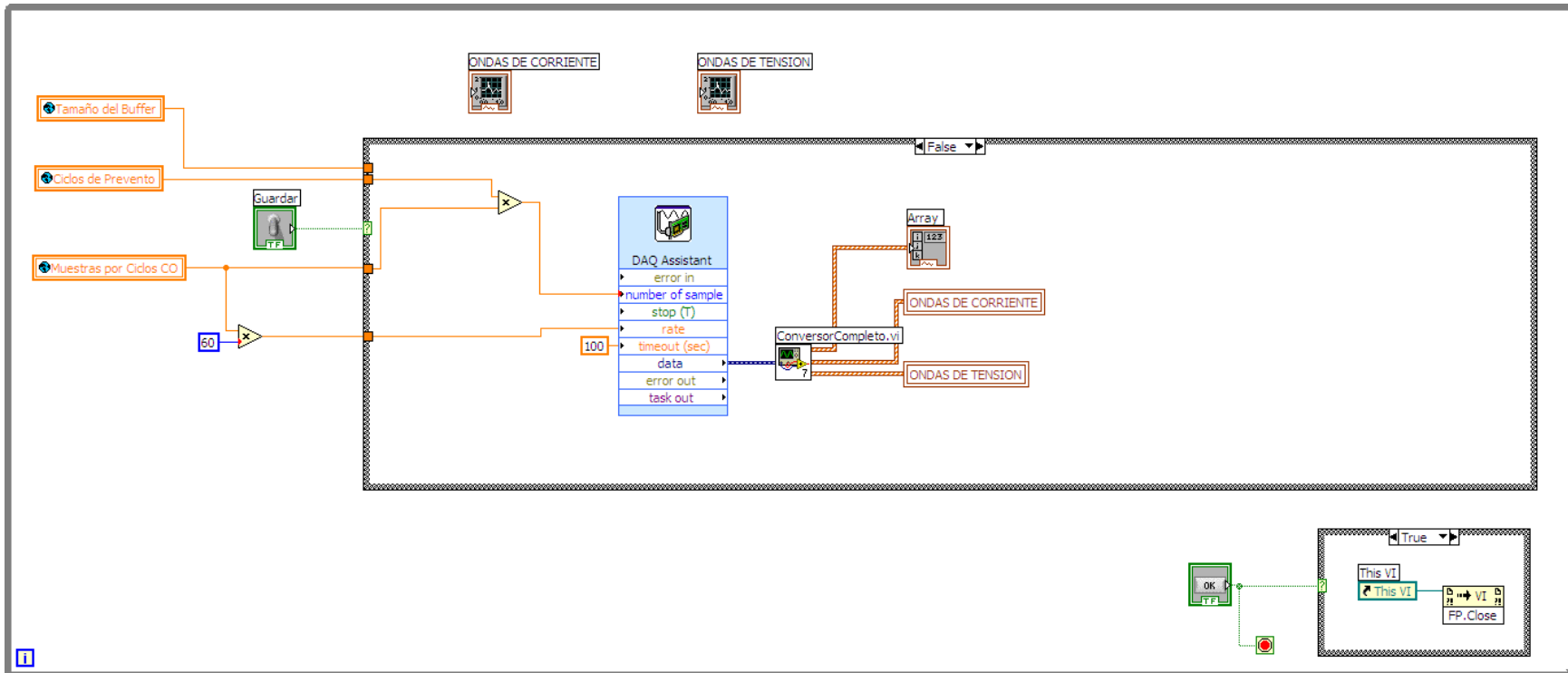
Anexo #7

Diagrama de bloques para la captura de ondas en true



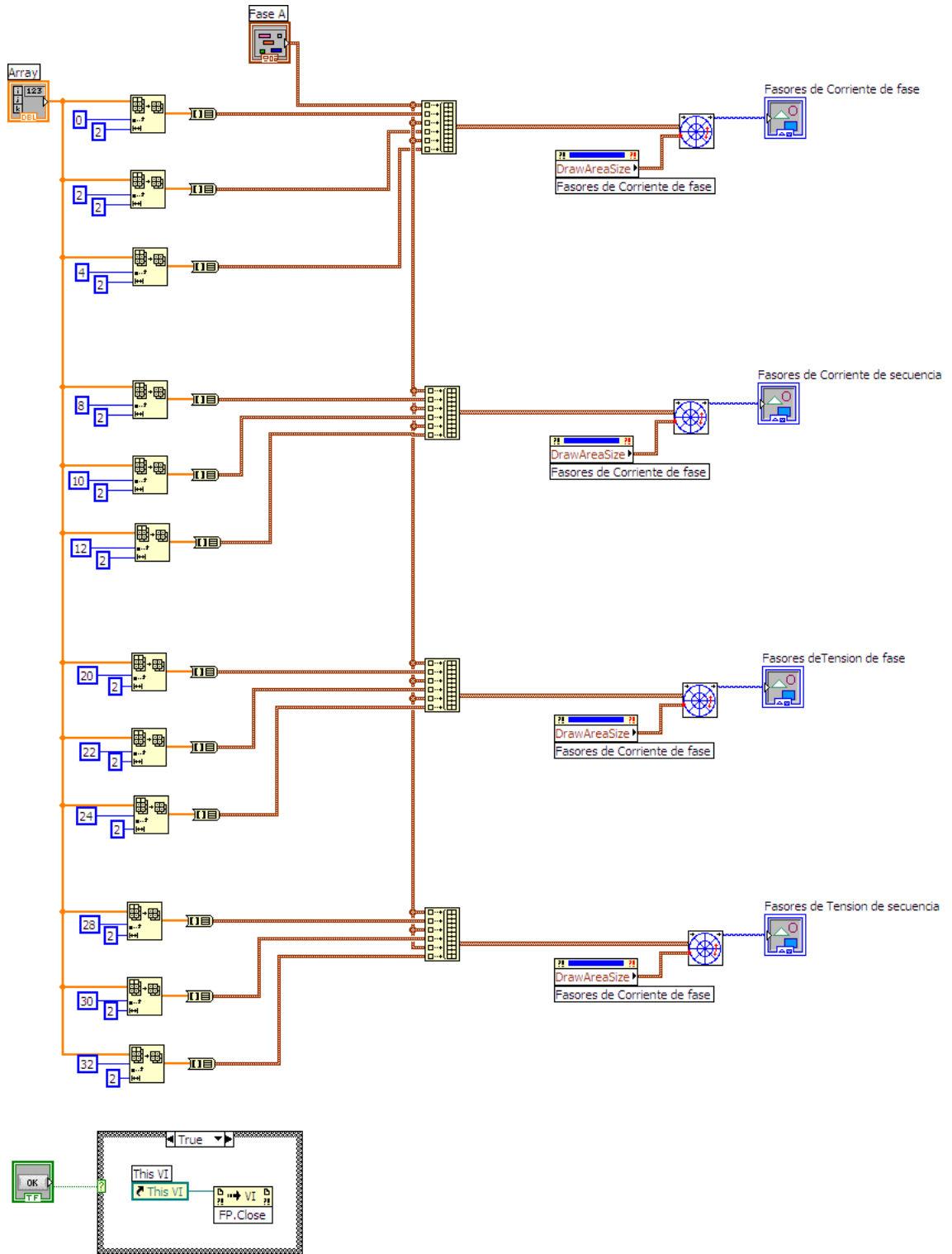
Anexo #8

Diagrama de bloques de captura de Onda en False



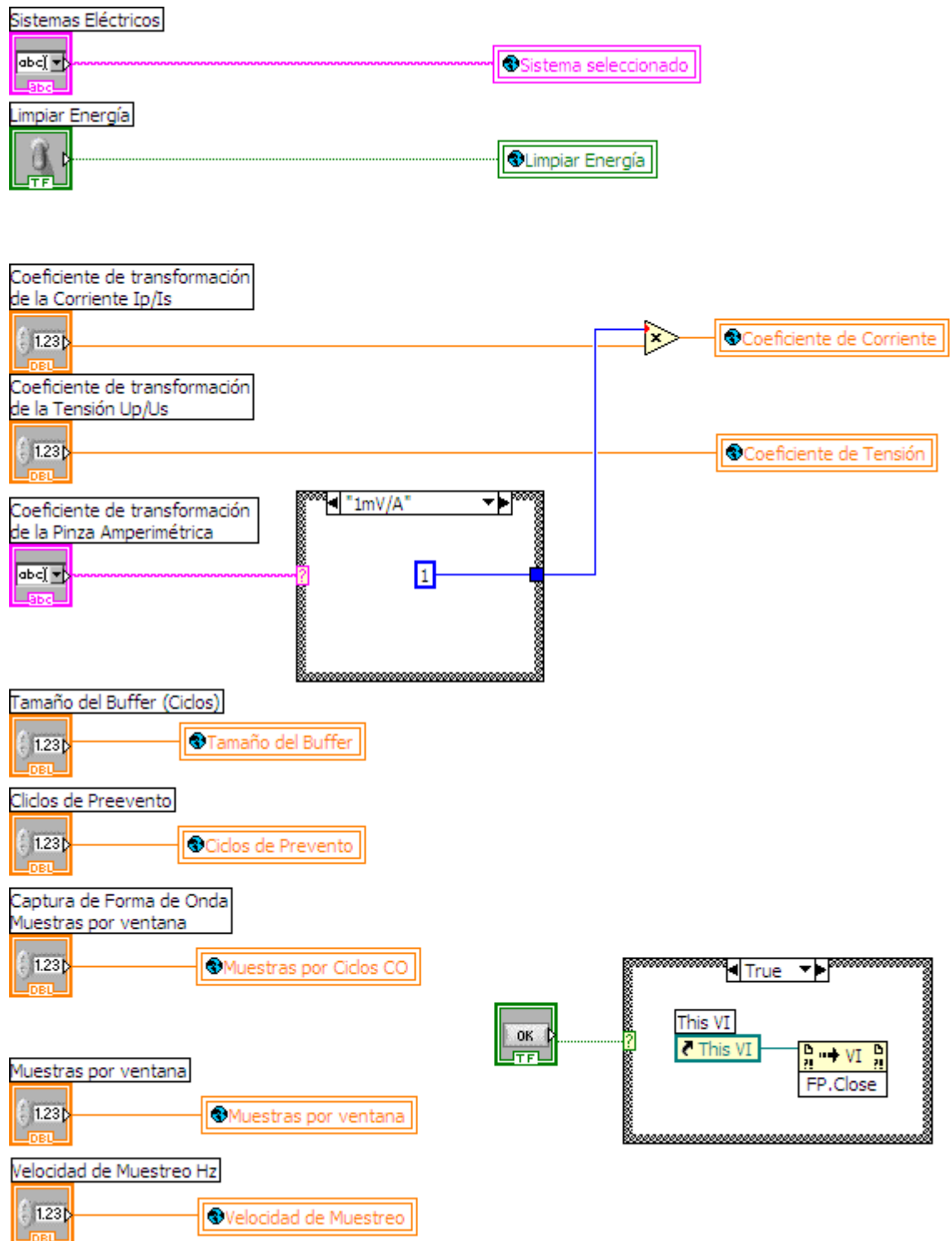
Anexo #9

Diagrama de bloques para determina el ángulo de fase en un sistema trifásico 4 hilos



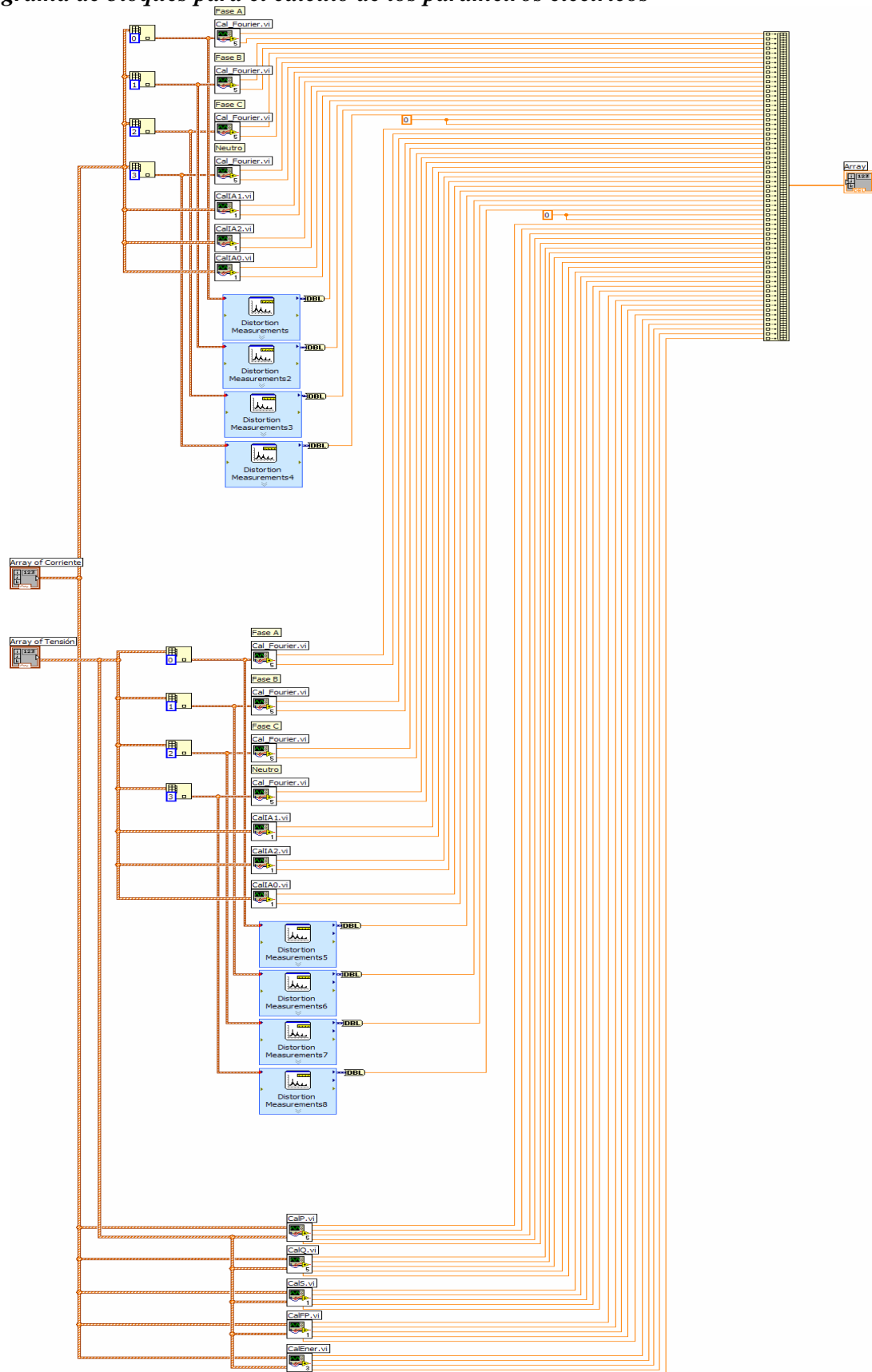
Anexo #10

Diagrama de bloques de la Pantalla de Configuración




Anexo #4

Diagrama de bloques para el cálculo de los parámetros eléctricos



Anexo #14

 CALIDAD DEL PRODUCTO										
PUNTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN A SER EVALUADOS										
NOMBRE DE LA EMPRESA: EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A										
MES DE MEDICIÓN: <u>Feb-08</u>										
FECHA DE REPORTE: <u>25-02-08</u>										
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN (Voltaje, Flicker y Armónicos)										
No.	Código del Transformador	Ubicación			Subestación	Alimentador	Voltaje Nominal		Fecha inicio de la medición	Fecha final de la medición
		X (UTM)	Y (UTM)	Z (UTM)			f-f	f-n		
1	7627	699647	9557897	2100	San Cayetano	Sur	220	127	19-02-08	20-02-08

Anexo #16

**FORMULARIO DE CALIDAD DE CONTROL DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN
CALIDAD DEL PRODUCTO – MEDICIÓN EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN**

DATOS GENERALES										
No.	Transformador	Ubicación			Provincia	Ciudad	Subestación	Alimentador	Voltaje Nominal	
		X (UTM)	Y (UTM)	Z (UTM)					f-f	f-n
1	7627	699647	9557897	2100	Loja	Loja	San Cayetano	Sur	220,00	127,00

PERÍODO DE LA MEDICIÓN				
Fecha inicio		Fecha final		No. Registros
Día- Mes-Año	Hora:min:seg	Día- Mes-Año	Hora:min:seg	
19-02-08	18:06:00	20-02-08	18:06:00	144

MEDICIONES FUERA DE LÍMITES (%)									
DESVIACIONES DE VOLTAJE	Fase - A			Fase - B			Fase - C		
	V	PST	VTHD	V	PST	VTHD	V	PST	VTHD
Submenú 1	4.86%		0.00%	2.08%		0.00%	4.16%		0.00%

Energía total suministrada (kWh)	Energía Suministrada en Malas Condiciones de Calidad (kWh)	Distorsión Armónica Individual	Observaciones
785	118.4	Submenú 2	

Nota: Cabe recalcar que la aplicación ARCO-07 no está diseñada para realizar la evaluación de la calidad en cuanto al flícker. Así mismo es importante resaltar, que no se utilizó el formulario del contenido armónico individual de voltaje, porque los porcentajes de VTHD obtenidos, no sobrepasan el límite del 8% que establece la regulación 004/01 del CONELEC.

Anexo #11

Datos de las mediciones realizadas con el Analizador de Redes FLUKE 434

Voltios/Amperios

25/06/2008 Tiempo	Vrms			Arms		
	A	B	C	A	B	C
9:36	123.4	126.0	125.2	143	63	151
9:41	124.7	126.4	125.3	142	59	162
9:46	124.1	126.0	125.0	144	60	155
9:51	125.3	127.5	125.8	147	63	155
9:56	124.2	125.7	125.3	144	65	159
10:01	124.0	125.4	125.1	145	60	153

Potencia

25/06/2008 Tiempo	Kw			KVA			KVAr			FP		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9:36	16.9	7.4	18.7	17.6	7.9	18.9	4.9	2.0	4.0	0.96	0.94	0.98
9:41	16.9	7.0	19.1	17.7	7.4	20.3	4.9	1.9	3.9	0.95	0.94	0.94
9:46	17.0	7.3	18.8	17.8	7.5	19.3	4.6	2.0	4.1	0.96	0.97	0.97
9:51	17.9	7.6	19.0	18.4	8.0	19.4	4.8	2.2	3.7	0.97	0.95	0.98
9:56	17.5	7.9	18.9	17.9	8.1	19.9	4.5	2.4	4.2	0.98	0.98	0.95
10:01	17.6	7.1	18.8	17.9	7.5	19.1	4.7	2.1	4.0	0.98	0.95	0.98

Anexo #12

Datos de las mediciones realizadas con la Aplicación ARCO-07

Voltios/Amperios

25/06/2008 Tiempo	Vrms			Arms		
	A	B	C	A	B	C
9:36	123.0	125.0	124.8	142	62	150
9:41	123.7	125.2	125.0	141	57	161
9:46	123.1	125.7	124.3	144	59	155
9:51	124.2	126.3	125.1	146	63	154
9:56	123.8	124.9	124.7	143	64	159
10:01	123.1	124.8	124.5	145	59	153

Potencia

25/06/2008 Tiempo	Kw			KVA			KVAr			FP		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9:36	16.3	7.0	18.0	17.4	7.7	18.7	4.7	1.9	3.9	0.94	0.91	0.96
9:41	16.5	6.6	18.7	17.4	7.1	20.1	4.8	1.8	3.8	0.94	0.93	0.93
9:46	16.8	6.9	17.9	17.7	7.4	19.2	4.4	2.0	3.9	0.95	0.93	0.93
9:51	17.2	7.3	18.4	18.1	7.9	19.2	4.6	2.1	3.6	0.95	0.92	0.96
9:56	16.9	7.4	18.0	17.7	7.9	19.1	4.3	2.3	4.2	0.95	0.94	0.94
10:01	17.1	6.8	18.5	17.8	7.3	19.0	4.6	2.0	3.9	0.96	0.93	0.97

Anexo #13

Porcentaje de error de las mediciones realizadas con la Aplicación ARCO-07

Voltios/Amperios

25/06/2008 Tiempo	V%			A%		
	A	B	C	A	B	C
9:36	0.3	0.8	0.3	0.7	1.5	0.6
9:41	0.8	0.9	0.2	0.7	3.3	0.6
9:46	0.8	0.2	0.5	0.0	1.5	0.0
9:51	0.8	0.9	0.6	0.7	0.0	0.6
9:56	0.3	0.6	0.5	0.7	1.5	0.0
10:01	0.7	0.5	0.5	0.0	1.6	0.0
TOTAL	0.6	0.7	0.4	0.5	1.6	0.3

Potencia

25/06/2008 Tiempo	P(%)			S(%)			Q(%)			FP(%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9:36	3.5	5.4	3.7	1.1	2.5	1.1	4.0	5.0	2.5	2.0	3.2	2.0
9:41	2.3	5.7	2.0	1.7	4.0	0.9	2.0	5.2	2.6	1.0	1.1	1.1
9:46	1.1	5.4	4.7	0.6	1.3	0.5	4.3	0.0	4.8	1.0	4.1	4.1
9:51	3.9	3.9	3.1	1.6	1.3	1.0	4.2	4.5	2.7	2.1	3.2	2.0
9:56	3.4	6.3	4.7	1.1	2.5	4.0	4.4	4.2	0.0	3.0	4.1	1.1
10:01	2.8	4.2	1.6	0.6	2.7	0.5	2.1	4.7	2.5	2.0	2.1	1.0
TOTAL	2.8	4.8	3.3	1.1	2.3	1.3	3.5	3.9	2.5	1.9	2.9	1.9

El porcentaje total de error de medición de la aplicación ARCO-07 es de: 2% comparado con un analizador de redes convencional que en nuestro caso de estudio se tomó como patrón para nuestra prueba el Analizador de Redes Trifásico FLUKE 434.

ARCO-07

MANUAL DE INSTRUCCIONES

- ✚ INSTRUCCIONES BÁSICAS
- ✚ CARACTERÍSTICAS GENERALES
- ✚ CONEXIONADO
- ✚ FUNCIONAMIENTO
- ✚ MANIPULACIÓN DE LOS ARCHIVOS ALMACENADOS

1. INSTRUCCIONES BÁSICAS

1.1 Comprobaciones a la recepción.

Este manual pretende ser una ayuda en la instalación y manejo de la *aplicación ARCO-07 para la medición de variables eléctricas con computador mediante tarjeta de adquisición de datos y software LabVIEW*.

A la recepción de los aditamentos compruebe que está equipado con los siguientes accesorios estándar:

- 4 pinzas transductoras de corriente de 400 A
- 4 pinzas de tensión.
- Tarjeta interfase de National Instrument ADQ 6009.
- Cable USB para conexión tarjeta interfase-PC.
- CD con ejecutable del software ARCO-07 y driver correspondiente a la tarjeta.
- Manual de instrucciones.

1.2 Instrucciones de conexión.

ARCO-07 gracias a su diseño, su única fuente de alimentación es un computador portátil mediante conexión USB. Esta misma conexión servirá para la instalación del driver de la tarjeta, el software de la aplicación el cual permite la visualización y captura de datos del sistema eléctrico seleccionado.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

ARCO-07 es un software de fácil uso, por lo que ofrece una serie de posibilidades de empleo que Ud. podrá seleccionar mediante menús que el propio software le presentará en la pantalla principal. Antes de poner en marcha el programa, lea detenidamente los apartados de conexionado, configuración y elija la forma de operación más conveniente para obtener los datos que Ud. desea.

ARCO-07 es un software que mide, calcula, visualiza y captura los principales parámetros de las redes eléctricas para cualquiera de sus configuraciones y principalmente para sistemas de baja tensión. La medida se realiza en verdadero valor eficaz, mediante 4 entradas de tensión c.a. (a través de 3 transformadores de fuente $Un/7,5$ V) y 4 entradas de intensidad c.a. (a través de pinzas transductoras con rango de entrada de 400A y 40A de manera selectiva y salidas de 10mV/A y 1mV/A respectivamente).

ARCO-07 permite analizar simultáneamente:

- Tensión(V)
- Ángulo de tensión(grados)
- Secuencia de la tensión.
- THD de la tensión (%)
- Corriente(A)
- Ángulo de la corriente(grados)
- Secuencia de la corriente.
- THD de la corriente (%)
- Potencia Activa (kW)
- Potencia Reactiva (kVAr)
- Potencia Aparente(kVA)
- Factor de Potencia.
- Energía Activa(kWh)
- IHD hasta el armónico 40 (%)

ARCO-07 permite la visualización de varios parámetros eléctricos, mediante indicadores numéricos dispuestos en la pantalla de mediciones instantáneas, así como también la captura en archivo Excel de dichos parámetros.

Con las mediciones directas de la tensión y de la corriente la aplicación determina los restantes parámetros eléctricos.

Tiene incorporada la opción de medición periódica, esta nos muestra un combo box (Figura 1), con los parámetros eléctricos a seleccionar, para visualizarlos y capturarlos en un tiempo configurable por el usuario para su respectivo análisis.

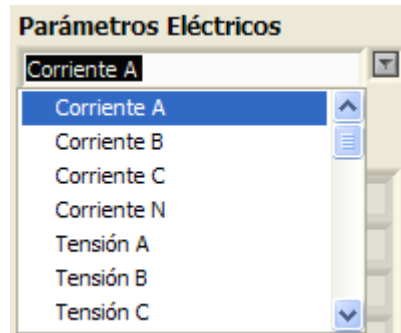


Figura 1. Combo box de parámetros eléctricos

La opción Forma de Onda nos presenta 2 visualizadores gráficos, uno para ondas de corriente y otro para ondas de tensión, así como la facilidad de guardar en un archivo dichas señales.

Está incorporada la opción de Fasores, que nos muestran tanto los vectores de corriente como de tensión, también está incluida la opción de configurar, para seleccionar el sistema eléctrico a analizar, se puede configurar:

- Coeficiente de transformación de la tensión K_u .
- Coeficiente de transformación de la corriente K_I .
- Limpiador de Energía.
- Tamaño del Buffer.
- Ciclos de preevento.
- Muestras por ciclo.
- Muestras por ventana.
- Velocidad de muestreo.

3. CONEXIONADO

3.1 Bornes de Conexión.

ARCO-07 dispone de una tarjeta interfase (Figura 2), misma que tiene incorporada 8 bornes identificados para la conexión de las pinzas tanto de corriente como de tensión, estos bornes se encuentran en la parte inferior de la tarjeta.

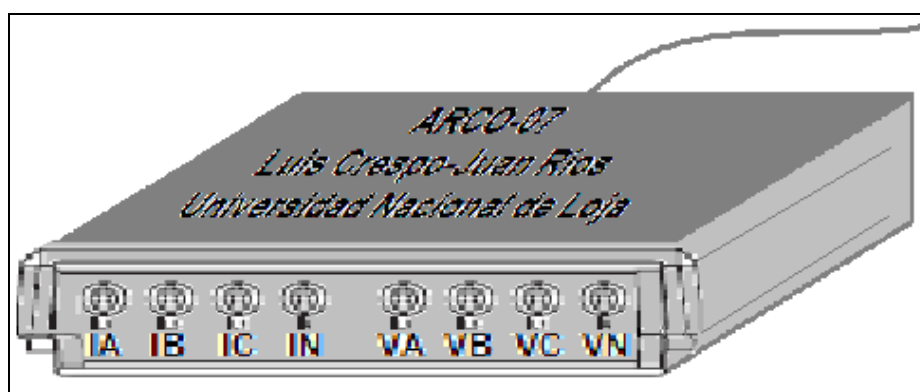


Figura 2. Tarjeta Interface

3.2 Esquema de conexión del ARCO-07 (Sistema Monofásico)

En este punto se muestra el esquema de conexión del ARCO-07 en una red monofásica en la que no se mide el neutro, solo se toma como referencia (Figura 3).

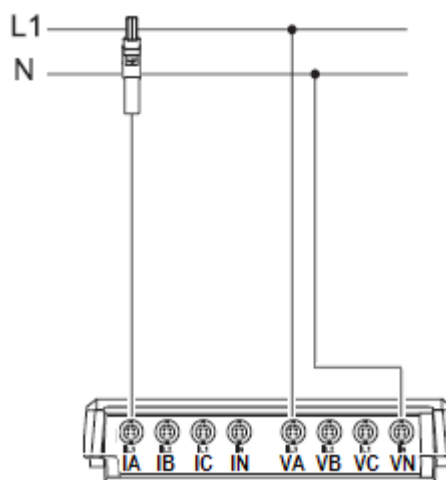


Figura 3. Medición en un Sistema Monofásico

3.3 Esquema de conexión del ARCO-07 (Sistema Bifásico de 3 hilos con el neutro en off)

En la figura 4 se puede observar la conexión del ARCO-07 en un sistema bifásico 3 hilos. En este caso no se tiene en cuenta los parámetros inherentes al neutro.

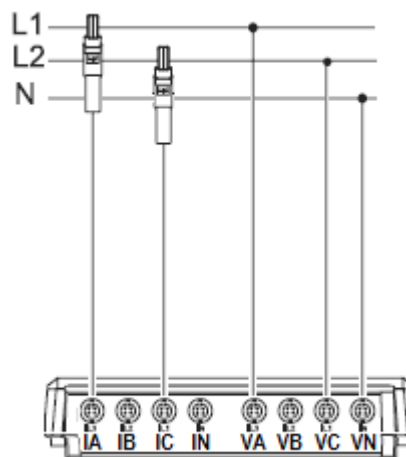


Figura 4. Medición en un Sistema Bifásico 3 hilos

3.4 Esquema de conexión del ARCO-07 (Sistema Trifásico 3 hilos)

La (Figura 5) muestra la forma de conexión de las pinzas tanto de corriente como de tensión en un sistema trifásico 3 hilos.

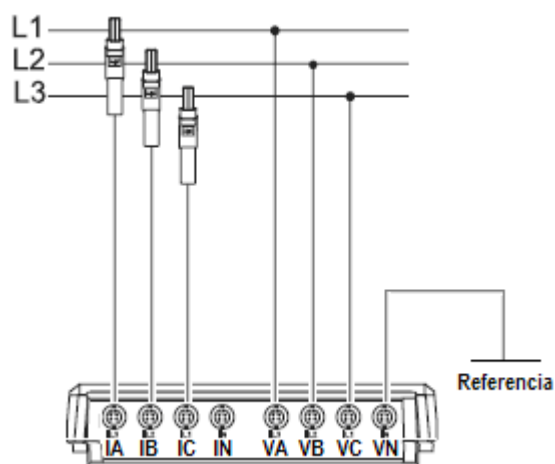


Figura 5. Medición en un Sistema trifásico 3 hilos

3.5 Esquema de conexión del ARCO-07 (Sistema Trifásico 4 hilos)

La figura 6, nos revela el conexionado de las pinzas en un sistema trifásico 4 hilos.

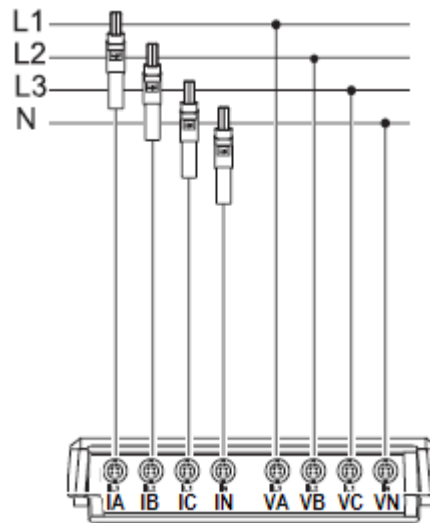


Figura 6. Medición en un Sistema Trifásico 4 hilos

4. FUNCIONAMIENTO

Para explicar el funcionamiento del ARCO-07, comenzaremos con las opciones que nos presenta la ventana principal del software (Figura 7).



Figura 7. Ventana principal del ARCO-07

A primera vista se puede observar el gráfico de conexión de las pinzas al analizador de redes mostrado de acuerdo al sistema seleccionado en la ventana de configurar.

En la parte inferior de la ventana encontramos 5 opciones que son:

- Medición Instantánea
- Medición Periódica
- Forma de Onda
- Fasores
- Configurar

En la parte inferior derecha de esta ventana se encuentra la opción “Cerrar” para cerrar la ventana pero no sin antes mostrar, un mensaje de verificación de esta acción.

4.1 Medición Instantánea

Esta ventana de medición instantánea (Figura 8), se pueden observar los diferentes parámetros calculados, y capturarlos guardándolos en un archivo Excel para su posterior análisis mediante el interruptor guardar.



Figura 8. Ventana de Medición Instantánea

Para guardar los datos adquiridos en ese instante hay que hacer un clic en el icono de la carpeta, para ingresar el destino de los datos a guardar, finalmente se hace un clic en el switch vertical “Guardar”, y de esta manera los datos se almacenan en el archivo especificado según el nombre que se le designe.

En la parte inferior derecha de la ventana se encuentra el botón “Cerrar”, mismo que sirve para salir de la ventana al presionarse.

4.2 Medición Periódica

En esta ventana del software (Figura 9) se puede elegir con facilidad cualquiera de las variables eléctricas inherentes al sistema de suministro, lo cuál permite especificarle al sistema, sólo las variables de interés y a la vez son monitoreadas en un gráfico, en función de la cantidad de segundos que se le especifique en la opción tiempo, de la ventana.

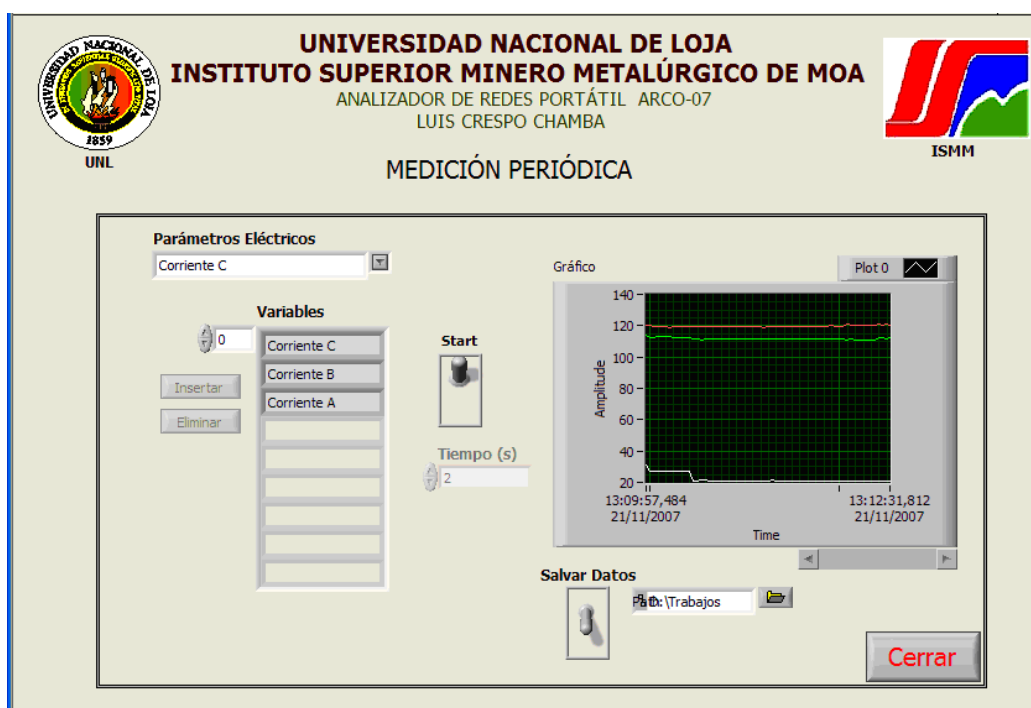


Figura 9. Ventana de Medición periódica

Existen una gran gama de parámetros eléctricos en esta ventana que se pueden elegir para mostrar sus valores, estos parámetros son: corrientes, tensiones, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, energía e IHD.

Estos parámetros se seleccionan en el combo box (Parámetros eléctricos), de acuerdo a las necesidades y se insertan en la lista variables, así también se pueden eliminar por medio del botón del mismo nombre, ó especificando el número que tiene el parámetro en la lista para eliminarlo. Cabe recalcar que una vez iniciada la medición con los parámetros insertados en la lista de variables, se bloquean los botones insertar, eliminar y el control numérico tiempo, esto sucede hasta cuando se termine la medición desbloqueándose dichas opciones.

El proceso de guardar los datos es el mismo explicado anteriormente, se selecciona el archivo y destino del mismo y se presiona el switch vertical guardar, también se cuenta con el botón “Cerrar” para el cierre de la ventana.

4.3 Forma de Onda

La forma de onda en los sistemas de suministro eléctrico se manifiesta en consecuencia de las perturbaciones armónicas, la simetría de las fases, el balance que existe entre las fases y la presencia de otras perturbaciones. La visualización de la forma de onda permite detectar de forma rápida la presencia de una anomalía en el sistema eléctrico, se pueden poner por ejemplo: los huecos y cortes breves de tensión, los desequilibrios de corriente, etc.

Esta ventana de la aplicación (Figura 10) permite guardar acorde con las especificaciones de la ventana de configuración, los valores registrados de la forma de onda para su posterior reproducción. Este proceso lo realiza especificando el “Archivo” donde se quiere guardar los datos de las ondas y activando el switch vertical “Guardar”. Para cerrar la ventana simplemente se presiona el botón del mismo nombre.

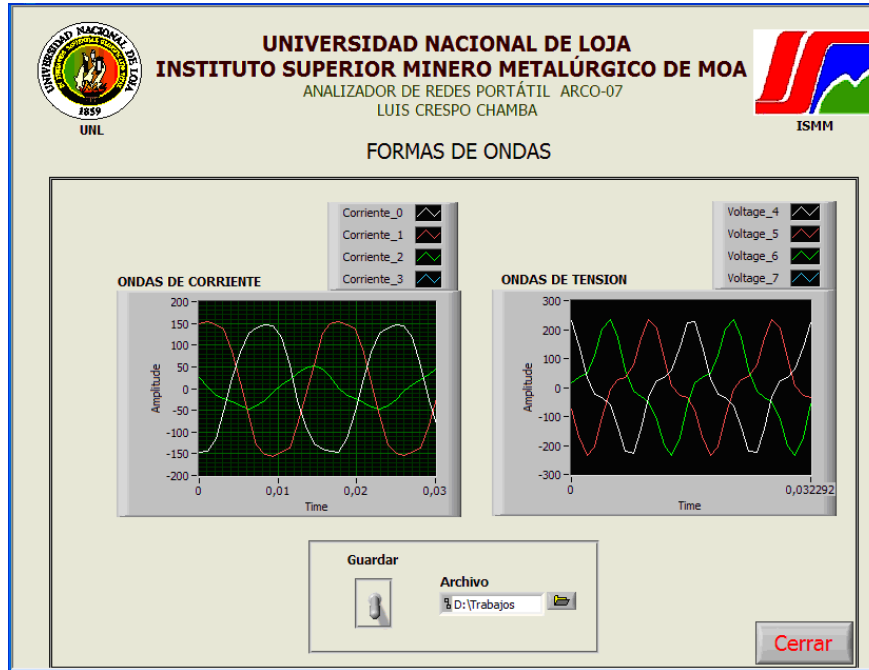


Figura 10. Ventana de Forma de Onda

4.4 Fasores

El diagrama fasorial (Figura 11) no es más que la representación gráfica de las señales tanto de corriente como de tensión en cada una de las fases, así como la representación de las corrientes y tensiones de secuencia, en forma de vectores con su respectivo ángulo, esto nos permite conocer la relación de fases entre tensiones y corrientes.

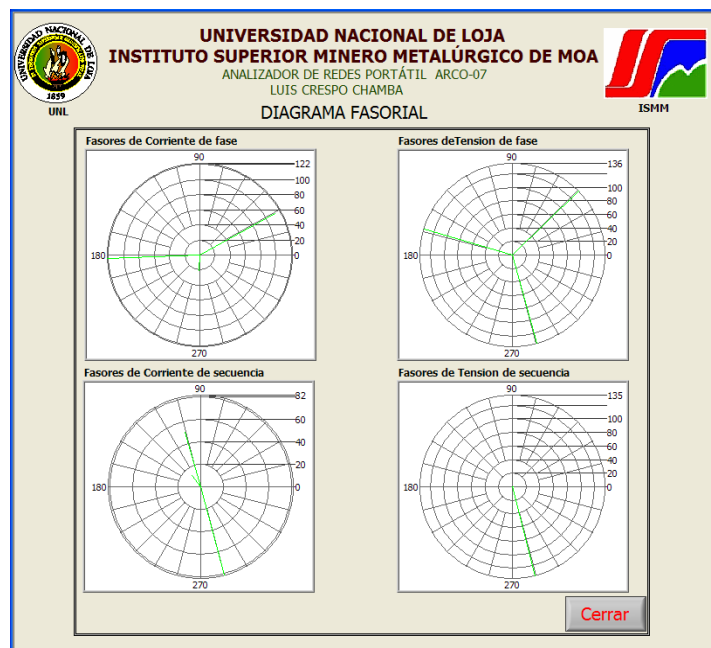


Figura 11. Ventana de Fasores

Esta ventana es para la visualización de los vectores tanto de corriente como tensión con su respectivo ángulo. El botón “Cerrar” nos da la opción de cerrar dicha ventana.

4.5 Configuración

Todos los analizadores de redes con enlace a PC, comerciales, poseen por lo general un setup en el cuál se le especifican las características del sistema de suministro eléctrico en el cuál se van a emplear. En esta ventana de configuración (Figura 12) se puede seleccionar 4 tipos de redes eléctricas que por lo general están presente en los sistemas de distribución (circuito monofásico, bifásico 3 hilos, trifásico 3 hilos, trifásico 4 hilos). Estas 4 configuraciones posibles emplean como base el teorema de Blondel que plantea:

“La potencia de un circuito de n líneas se puede medir con n wattímetros dispuestos de modo que cada una de las n líneas contenga una bobina de corriente, estando conectadas las correspondientes bobinas de tensión entre cada línea y un punto común”.



Figura 12. Ventana de Configuración

Al seleccionar el sistema eléctrico a medir aparece en la pantalla principal del software, la imagen del conexionado correspondiente.

Los controles numéricos, para los coeficientes tanto de tensión como de corriente, se utilizan en el caso de medir en el secundario de algún transformador de medición conectado en alta tensión, pero para medir en baja tensión es suficiente con la unidad como coeficiente de transformación, ya que la relación de transformación tanto de las pinzas como de los transformadores de tensión las tiene internamente este software.

Para el caso de las pinzas empleadas en esta aplicación, poseen 2 coeficientes de transformación fijos uno de 10 mV/A y otro de 1 mV/A, pudiéndose elegir el que necesite usar el usuario en la medición, sabiendo que los rangos de medición de las pinzas son de 0,5 A a 40 A con salida de 10mV/A, y 5 A a 400 A con salida de 1mV/A. Otros elementos implícitos en la instrumentación moderna de variables eléctricas es la captura de onda, es por tanto que se previó la opción de configurar el tamaño del buffer en ciclos que permiten realizar captura de eventos hasta una cantidad limitada de ciclos en función de la memoria aleatoria de la máquina. En varios instrumentos actuales el tamaño del buffer se ve limitado a sólo unos cuantos ciclos, se le suma al tamaño del buffer la opción de ciclos de preevento, en este caso específico se puede aumentar el valor hasta un número determinado en función del evento que se desee capturar y estará limitado por la experiencia en el análisis de los sistemas eléctricos que conozca el usuario. Una limitación de estas opciones que hemos comentado es que el evento empieza a tomarse por decisión del usuario y no por la ocurrencia de un evento específico en el sistema de suministro (transitorio, corto circuito, picos de tensión, etc.).

Otro elemento incluido es las muestras por ciclos, lo cuál está estrechamente relacionado con la resolución de la captura, algo muy estrechamente ligado además con la resolución de la tarjeta de adquisición de datos 6009 (14 bits diferenciales, 13 bits single-ended).

Otra forma de muestrear una señal es el método de la ventana que es como si fuéramos desplazando un cuadro de muchas muestras por toda la forma de onda, lo cuál nos brinda mayor precisión y no se escapa ningún fenómeno que ocurra en el proceso de captura.

Luego de los ajustes realizados con la aplicación midiendo en un sistema real, se logró determinar que la velocidad de muestreo con la cuál se lograba la mejor representación de todas las variables eléctricas incluidas en el software es de 960 Hz. Es conocido que por el teorema de Nyquist, que la frecuencia de muestreo depende de la componente de mayor frecuencia del sistema y del número de variables, por lo tanto hubo de realizar varias pruebas para determinar como se podían obtener los mejores resultados en función del hardware empleado (tarjeta de adquisición de datos y PC).

Todos estos elementos abordados en la ventana de configuración constituyen las especificaciones para poder validar y muestrear las magnitudes eléctricas de la mejor manera posible, sólo queda expresar el switch vertical de limpiar energía, que permite llevar el contador de energía de la aplicación a cero.

5. MANIPULACIÓN DE LOS ARCHIVOS ALMACENADOS

Como sabemos, todos los datos de las mediciones que se realizan, son guardados en un archivo para su posterior análisis, pues bien, ahora veremos como se debe manipular estos archivos almacenados en una hoja de cálculo Excel, de acuerdo a las configuraciones de almacenamiento realizadas.

5.1 Hoja de cálculo con los datos de medición instantánea

Al activar el switch vertical de guardar en la ventana de medición instantánea, se hace necesario especificar el destino y el nombre del archivo con que se desea almacenar, una vez activado el switch los datos se guardan en ese archivo u hoja de cálculo. Los datos se almacenan en orden horizontal con su respectiva identificación (Figura 13).

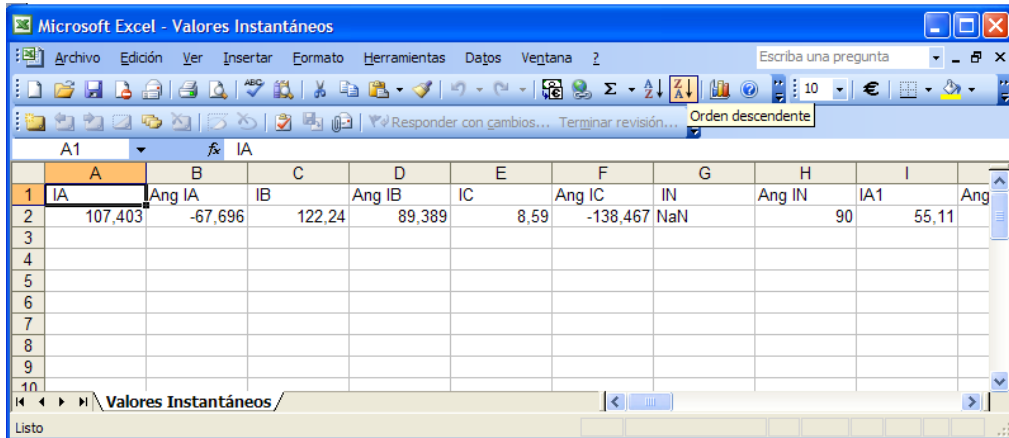


Figura 13. Archivo Excel guardados con datos instantáneos

Dependiendo de las veces que se guarden los datos, se van archivando uno debajo de otro respectivamente.

5.2 Hoja de cálculo con los datos de medición periódica

Cuando se archivan los datos de la medición periódica en la hoja de cálculo de Excel, se guardan todos los valores en el intervalo de tiempo dispuesto por el usuario con su respectiva identificación (Figura 14).

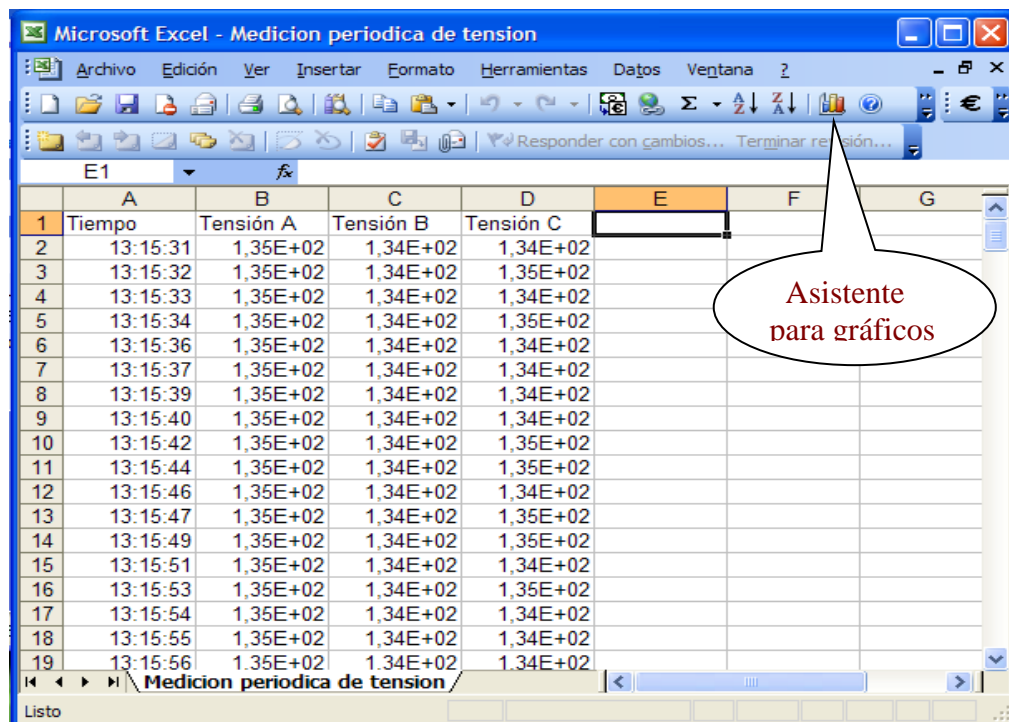


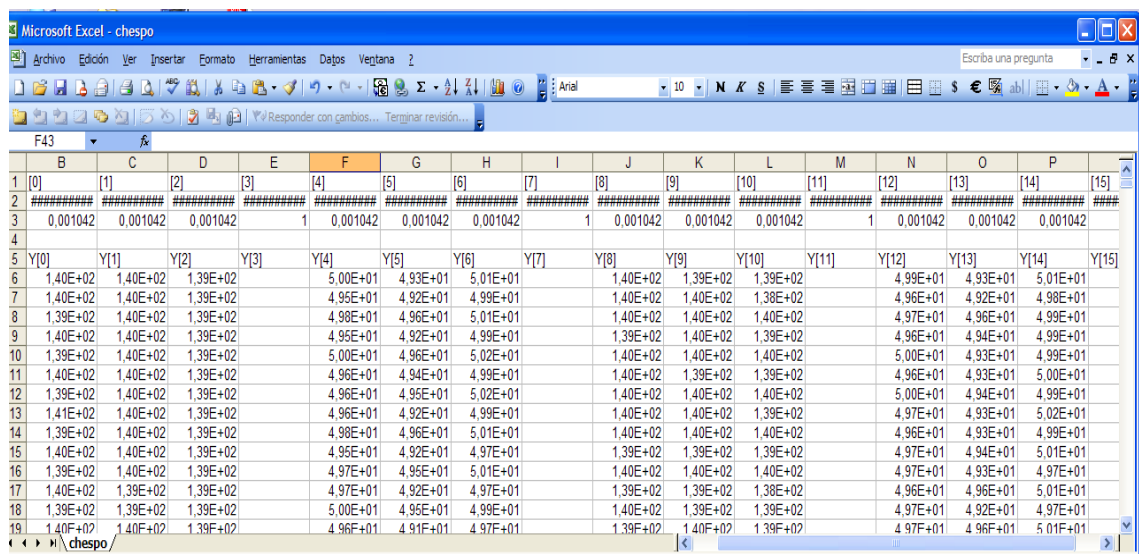
Figura 14. Hoja de cálculo de medición periódica

El proceso de representación gráfica de los datos guardados, se realiza señalando la identificación, el tiempo y los datos adquiridos, luego ayudándonos con el asistente para gráficos que posee Microsoft Excel, utilizamos el tipo de gráfico que nos convenga.

5.3 Hoja de cálculo con los datos de captura de forma de onda

Todos los datos que se utilizan para formar la onda, tanto de corriente como de tensión son archivados en una hoja de cálculo al presionarse el switch vertical de guardar, como sabemos en este proceso de captura de onda intervienen, el tamaño del buffer, los ciclos de preevento y las muestras por ciclo, pues gracias a esta configuración es posible capturar datos desde antes del evento y después del evento tanto para la corriente como la tensión.

Los datos guardados en la hoja de cálculo se archivan comenzando con los datos de antes del evento siguiendo con los datos de después del evento (Figura 15).



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]
2	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
3	0.001042	0.001042	0.001042	1	0.001042	0.001042	0.001042	1	0.001042	0.001042	0.001042	1	0.001042	0.001042	0.001042	
4																
5	Y[0]	Y[1]	Y[2]	Y[3]	Y[4]	Y[5]	Y[6]	Y[7]	Y[8]	Y[9]	Y[10]	Y[11]	Y[12]	Y[13]	Y[14]	Y[15]
6	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	5.00E+01	4.93E+01	5.01E+01	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.99E+01	4.93E+01	5.01E+01	5.01E+01	4.98E+01	
7	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.95E+01	4.92E+01	4.99E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.38E+02	1.38E+02	4.96E+01	4.92E+01	4.98E+01	4.98E+01	4.99E+01	
8	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.98E+01	4.96E+01	5.01E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	4.97E+01	4.96E+01	4.99E+01	4.99E+01	4.99E+01	
9	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.95E+01	4.92E+01	4.99E+01	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.96E+01	4.94E+01	4.99E+01	4.99E+01	4.99E+01	
10	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	5.00E+01	4.96E+01	5.02E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	5.00E+01	4.93E+01	4.99E+01	4.99E+01	4.99E+01	
11	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.96E+01	4.94E+01	4.99E+01	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.96E+01	4.93E+01	5.00E+01	5.01E+01	5.00E+01	
12	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.96E+01	4.95E+01	5.02E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	5.00E+01	4.94E+01	4.99E+01	4.99E+01	4.99E+01	
13	1.41E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.96E+01	4.92E+01	4.99E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.97E+01	4.93E+01	5.02E+01	5.02E+01	5.02E+01	
14	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.98E+01	4.96E+01	5.01E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	4.96E+01	4.93E+01	4.99E+01	4.99E+01	4.99E+01	
15	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.95E+01	4.92E+01	4.97E+01	1.39E+02	1.39E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.97E+01	4.94E+01	5.01E+01	5.01E+01	5.01E+01	
16	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.97E+01	4.95E+01	5.01E+01	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	1.40E+02	4.97E+01	4.93E+01	4.97E+01	4.97E+01	4.97E+01	
17	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.97E+01	4.92E+01	4.97E+01	1.39E+02	1.39E+02	1.38E+02	1.38E+02	4.96E+01	4.96E+01	5.01E+01	5.01E+01	5.01E+01	
18	1.39E+02	1.39E+02	1.39E+02	5.00E+01	4.95E+01	4.99E+01	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.97E+01	4.92E+01	4.97E+01	4.97E+01	4.97E+01	
19	1.40E+02	1.40E+02	1.39E+02	4.96E+01	4.91E+01	4.97E+01	1.39E+02	1.40E+02	1.39E+02	1.39E+02	4.97E+01	4.96E+01	5.01E+01	5.01E+01	5.01E+01	

Figura 15. Hoja de cálculo de captura de onda

Las tres primeras columnas de la izquierda, sin tomar en cuenta el tiempo, son los datos de corriente de las 3 fases medidas antes del evento, las tres siguientes son los datos de tensión de las 3 fases medidas antes del evento, las siguientes 3 columnas de datos son

los valores de corriente de las 3 fases pero después del evento, así también las últimas 3 columnas que son los datos de tensión capturados también después del evento.

Con estos datos guardados en la hoja de cálculo, se puede graficar la onda de corriente o tensión de cualquiera de las fases, es importante señalar los datos de corriente o tensión de antes y después del evento para ver la gráfica completa y analizar cualquier disturbio o suceso en las mismas. El proceso de representación gráfica de las ondas, se realiza siguiendo los mismos pasos anteriores usados en la hoja de cálculo de medición periódica.