

OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo principal o general de este trabajo fue:

Desarrollar una aplicación consistente en un analizador de redes utilizando el entorno de programación gráfica de LabVIEW, capaz de adquirir y procesar señales de tensión y corriente del mundo real, para poder utilizar este equipo en estudios de calidad de energía eléctrica.

Para lograr este objetivo se planteó un plan de trabajo cuyo cumplimiento permitió alcanzar otros objetivos particulares, entre los cuales se destacan:

- Familiarizarse con el uso de las herramientas de programación gráfica.
- Evaluar las relaciones costo/prestación de distintos hardware de adquisición de datos disponibles localmente. Elección de la mejor alternativa.
- Evaluar las relaciones costo/prestación de los sensores de corriente y tensión aplicables. Elección de la mejor alternativa.
- Analizar el funcionamiento de cargas no lineales de uso residencial, comercial y/o industrial, efectuando mediciones por medio de analizador de redes comercial. Conocer las características de las magnitudes a medir.
- Construir un prototipo utilizando programación gráfica LabVIEW capaz de medir parámetros de calidad de energía en cargas no lineales. Evaluar su funcionamiento, contrastando sus medidas con las realizadas con un analizador comercial.
- Proponer mejoras al prototipo en función de su desempeño.
- Generar material didáctico para el dictado de las asignaturas del área Medidas Eléctricas del Departamento de Ingeniería Eléctrica - Electromecánica en relación al tema analizado en el proyecto.
- Brindar un servicio a la Universidad Nacional, efectuando el análisis de calidad de la energía de las diferentes dependencias que así lo requieran.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	Definición de Calidad de Energía. Facetas.	7
1.2	Importancia de la Calidad del Servicio Eléctrico.	9
1.3	Por qué se realiza este proyecto	12
2	CAPÍTULO II: INDICADORES DE CALIDAD DE PRODUCTO	17
2.1	Contenido Armónico.....	17
2.1.1	Definición.....	17
2.2	Indicadores esenciales de la distorsión armónica	18
2.2.1	Factor de Potencia	18
2.2.2	Factor de Cresta.....	18
2.2.3	Potencia Activa.....	19
2.2.4	Potencia Reactiva.....	19
2.2.5	Potencia de Distorsión.....	19
2.2.6	Tasas de distorsión armónica.....	20
2.2.7	Factor K.....	22
2.3	Perturbaciones de tensión.....	22
2.3.1	Huecos de tensión (SAGS o DIPS).....	22
2.3.2	Flicker.....	23
3	CAPÍTULO III: NORMATIVAS	29
3.1	Evolución de las normativas locales en relación a la Calidad de Energía.....	29
3.1.1	Marco regulatorio de la calidad del producto.	29
3.2	Límites de emisión fijados por normativa.	31
3.2.1	Límites para variaciones lentas de tensión.	31
3.2.2	Perturbaciones	31
3.3	Puntos de Control	36
4	CAPÍTULO IV: ALTERNATIVAS DE MEDICIÓN.....	39
4.1	Algunas características de los Instrumentos comerciales tradicionales.....	39
4.1.1	Analizador de Red PQ1000 Power Quality Analyzer (ECAMEC)	39
4.1.2	Analizador de red PQ500 (ECAMEC)	40
4.1.3	QNA500 (CIRCUTOR).....	41
4.1.4	Analizador de Calidad de Suministro Portátil QNA-P.....	42
4.1.5	REI-3/FI Registrador de variables eléctricas y calidad de servicio	43

5	CAPÍTULO V: INSTRUMENTOS VIRTUALES	45
5.1	Generalidades de un sensor.	45
5.1.1	Características generales de los sensores	46
5.1.2	Características Estáticas	46
5.1.3	Características Dinámicas	47
5.1.4	Generalidades de una placa de adquisición de datos.	47
5.2	Software LabVIEW.....	49
5.2.1	¿Qué es LabVIEW?.....	49
5.2.2	¿Qué es un VI?	50
5.2.3	Tipos de datos	53
5.2.4	Estructuras	56
5.2.5	Sequence Structure	57
5.2.6	For Loop	58
5.2.7	While Loop.	60
5.2.8	Formula Node	60
5.2.9	SubVI.....	61
5.2.10	¿Cómo ejecutar un VI?.....	64
5.3	Ejemplos de Instrumentos Virtuales comerciales	66
5.3.1	Desarrollo de una plataforma completa de análisis de calidad de energía utilizando NI CompactRIO	66
5.3.2	Osciloscopio Multifunción LabVIEW para Media Tensión	70
6	CAPÍTULO VI: DESARROLLO DEL INSTRUMENTO PROPIO	73
6.1	Elección del sistema de comunicación inalámbrico	73
6.1.1	Introducción a los módulos Zigbee	74
6.1.2	Ajuste de la velocidad de comunicación entre módulos Zigbee	76
6.2	Elección de la placa de adquisición.....	78
6.2.1	Programación de la placa de adquisición con PIC18F4550	78
6.3	Elección del sensor para la medición de las tensiones.....	86
6.4	Elección del sensor para la medición de las corrientes	89
6.5	Placas acondicionadoras construidas	94
6.5.1	Placa acondicionadora de corriente	94
6.5.2	Placa acondicionadora de tensión	95

7	CAPÍTULO VII: APLICACIÓN EN LABVIEW.....	97
7.1	Adquisición de datos desde el PIC.....	97
7.2	Diseño de la aplicación en LabVIEW	100
7.2.1	Analizador de Variaciones Lentas de Tensión	100
7.2.2	Osciloscopio	109
7.2.3	Datalogger	116
8	CAPÍTULO VIII: RESULTADOS	122
8.1	Análisis del equipo	122
8.1.1	Desempeño del módulo inalámbrico.....	122
8.1.2	Desempeño de los transductores de tensión y corriente.....	122
8.1.3	Transformador Fase R.....	122
8.1.4	Transformador Fase S.....	124
8.1.5	Transformador Fase T	125
8.1.6	Transductores de corriente	127
8.1.7	Desempeño del software de adquisición de datos	127
8.1.8	Desempeño del conjunto	127
8.1.9	Pruebas de Campo.....	129
8.1.10	Modo Osciloscopio	129
8.1.11	Analizador de Variaciones Lentas de Tensión	131
9	CAPÍTULO IX: ANÁLISIS ECONÓMICO	134
9.1	Descripción de costos involucrados	134
9.2	Comparativa con equipos del mercado	135
9.2.1	AEMC 3955-BW/SR193 Power Quality Analyzer	135
9.2.2	Analizador de calidad de energía Circutor	136
9.2.3	HIOKI 3197.....	136
9.2.4	Gráfico comparativo.....	137
9.3	Resultados	138
10	CAPÍTULO X: IMPACTO AMBIENTAL	140
10.1	INTRODUCCIÓN.....	140
10.1.1	La fabricación de las tarjetas de circuito impreso (PWB).....	141
10.1.2	Fabricación de chips semiconductores	142
10.2	Análisis ambiental	143
10.2.1	Determinación de componentes y acciones del Proyecto	144

10.2.2	Identificación y evaluación de los diferentes impactos.....	144
10.2.3	Resultados	146
11	CAPÍTULO XI: CONCLUSIONES	149
12	REFERENCIAS.....	151

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA. FACETAS.

En las últimas décadas, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha adquirido mucha importancia acompañado por el aumento de productividad y competitividad de las empresas. [1]

Para aumentar la competitividad, las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Utilización de equipos de alta eficiencia como: motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatización de sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.).
- Reducción de costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reducción de las pérdidas de energía. Evitar costos por sobredimensionamiento y tarifas.
- Evitar el envejecimiento prematuro de los equipos.

Cuando se habla de Power Quality (PQ) o Calidad de la Energía Eléctrica, se está haciendo referencia tanto a la calidad de las señales de tensión y corriente, como a la continuidad o confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

La creciente utilización de dispositivos basados en microelectrónica, los cuales son cada vez más susceptibles y menos inmunes al entorno electromagnético, ha incrementado en los últimos años el interés por las señales de tensión y corriente eléctrica; esto ha venido potenciado con el desarrollo de equipos de protección y una terminología especial para describir los fenómenos.

Es así como el concepto de Power Quality ha evolucionado en la última década a escala mundial. De hecho, ha aumentado la importancia de un suministro de energía eléctrica basada en criterios que van más allá de la simple continuidad o confiabilidad del servicio, pasando a un espectro mucho más amplio que tiene que ver con grandes desarrollos científicos y tecnológicos en los campos de la interferencia y la compatibilidad electromagnética.

Por lo expuesto anteriormente, ha causado confusión entre usuarios que no comprenden porque un equipo no trabaja o funciona como se esperaba. Muchas palabras ambiguas han sido usadas con significados múltiples o no muy claros.

PQ en términos generales es un conjunto de propiedades inherentes tanto al servicio como a la señal de tensión o corriente eléctrica que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que otras. Por tanto, podemos afirmar que PQ en su concepto más amplio debe considerar tanto la continuidad del servicio como las señales de tensión y

corriente eléctrica, en un tiempo dado y en un espacio determinado de un sistema de potencia eléctrico.

La definición del término Calidad de la Energía Eléctrica no es única y varía entre países.

El Instituto EPRI (Electric Power Research Institute) de los Estados Unidos, por ejemplo, define la calidad de la Energía Eléctrica (Power Quality) como: "Cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión, de la corriente o de la frecuencia, de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario."

La norma IEC (61000-2-2/4) define a la Calidad de la Energía Eléctrica como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo" [2].

Para la norma IEEE 1159 de 1995: "El término se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctricas, en un tiempo dado y en una ubicación dada en el sistema de potencia" [3].

Algunos países han incluido en el concepto de Calidad de Energía Eléctrica tanto lo correspondiente al diseño, construcción y operación de la instalación eléctrica como la atención al usuario (facturación y reclamos).

A continuación se propone definir a PQ, y a partir de allí, desarrollar su concepto:

La Calidad de la Energía Eléctrica (PQ), "es un conjunto de características físicas de las señales de tensión y corriente para un tiempo dado y un espacio determinado, con el objetivo de satisfacer las necesidades de un cliente"

Algunos autores consideran que la entidad a la cual se aplica el concepto de Calidad de la Energía Eléctrica es solamente la señal de tensión. Esto sería cierto si se considera un sistema eléctrico lineal en el cual el generador alimenta una sola carga, mediante una fuente de tensión. Sin embargo, los sistemas eléctricos pueden ser enmallados y una carga (corriente) puede contaminar nuevamente la red de alimentación y esta a su vez aumentar la perturbación a otra carga con una señal de tensión y corriente contaminada. Por ello lo más conveniente es involucrar en la Calidad de la Energía Eléctrica tanto a la fuente como a la carga, es decir las señales de tensión y corriente.

Las características físicas de PQ, son la continuidad del servicio durante las 24 horas del día y los 365 días del año, la amplitud, frecuencia, forma de onda de la señal de tensión y corriente, las cuales están definidas por valores o índices en resoluciones, guías o normas nacionales e internacionales, dentro de rangos que son técnica y económicamente aceptables. La discontinuidad o variación de estos valores o índices, pueden causar degradación, mal funcionamiento o fallas en dispositivos,

equipos o sistemas eléctricos, electrónicos o de comunicación, que disminuyen la Calidad de la Energía Eléctrica y afectan técnica y económicamente a sus usuarios.

La calidad de energía eléctrica puede dividirse en tres grandes facetas:

- **Calidad del Servicio Técnico:** se entiende por calidad de servicio técnico a un conjunto de indicadores que evalúan la continuidad del servicio. En general la evaluación de la continuidad se hace por la medición del complemento de esta, es decir por las interrupciones. Las interrupciones como indicador de “mala calidad” tiene dos aspectos: Frecuencia y Duración. Cuanto más frecuentes y prolongadas sean las interrupciones peor será la calidad del servicio.
- **Calidad del Producto Técnico:** se entiende por calidad de producto técnico (o calidad del suministro), al control del nivel de tensión y de perturbaciones que pudieran afectar a la misma. A diferencia de la calidad de servicio que mide si hay o no suministro, la calidad del producto evalúa parámetros e índices reveladores de las características del suministro.
- **Calidad del Servicio Comercial:** se entiende por calidad del servicio comercial a los tiempos de respuesta para conectar nuevos usuarios, emisión de facturación estimada, reclamos por errores de facturación, restablecimiento del suministro suspendido por falta de pago.

1.2 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO.

La calidad del servicio eléctrico se ha convertido en un objetivo estratégico para las compañías de electricidad, para el personal de explotación, de mantenimiento o de gestión de las instalaciones terciarias o industriales, y para los fabricantes de equipos, especialmente por estos motivos [4]:

- La necesidad económica de aumentar la competitividad entre las empresas.
- La generalización de equipos sensibles a las perturbaciones de tensión, siendo, también ellos a su vez, perturbadores.
- La liberalización del mercado de la electricidad.
- La necesidad económica de aumentar la competitividad entre las empresas.
- La reducción de costes debidos a la pérdida de continuidad del servicio y a la falta de calidad.
- El costo de las perturbaciones (cortes, huecos de tensión, armónicos, sobretensiones atmosféricas) es elevado.

Estos costos deben tener en cuenta, entre otros, la falta de producción, las pérdidas de materias primas, el reinicio de las máquinas-herramientas, la falta de calidad de la producción, los retrasos de las entregas.

El mal funcionamiento o la parada de receptores prioritarios, como los ordenadores, el alumbrado y sistemas de seguridad, pueden poner en entredicho la seguridad de las personas (hospitales, balizamiento de los aeropuertos, locales de pública concurrencia, edificios de gran altura).

Es determinante también la detección anticipada de los problemas mediante un mantenimiento preventivo, dirigido y optimizado.

Se constata además una transferencia de responsabilidad del industrial-usuario hacia el constructor de los equipos para asegurar el mantenimiento de las instalaciones; el constructor se convierte en proveedor del producto.

Otras consecuencias más disimuladas pero adversas de la degradación de la Calidad de la Energía Eléctrica son:

- La disminución del rendimiento energético de la instalación, lo que hace más costosa la factura energética.
- La sobrecarga de la instalación, que provoca un envejecimiento prematuro de cables, motores, capacitores, etc. aumentando el riesgo de averías, lo que a su vez obliga a un sobredimensionamiento o redundancia de las instalaciones de distribución.

Por tanto, los usuarios profesionales de la electricidad manifiestan la necesidad de optimizar el funcionamiento de sus instalaciones eléctricas.

Los equipos sensibles a las perturbaciones de tensión, paradójicamente son también responsables de su incremento.

Debido a sus múltiples ventajas (flexibilidad de funcionamiento, excelente rendimiento, buenas prestaciones) se constata el desarrollo y la generalización de uso de autómatas y variadores de velocidad en la industria, y de sistemas informáticos y el incremento de lámparas de bajo consumo (fluorescente compactas y LED's) en el sector servicios y en el doméstico. Estos equipos tienen la particularidad de ser a la vez sensibles a las perturbaciones de la tensión y generadores de perturbaciones.

Su abundancia dentro de un mismo emplazamiento exige una alimentación eléctrica cada vez mejor en términos de continuidad y de calidad. En efecto, la parada temporal de un elemento de la cadena puede provocar la detención del conjunto del sistema de producción (fábricas de semiconductores, de cemento, tratamiento del agua, logística de suministros, imprentas, industrias siderúrgicas o petroquímicas) o de servicios (telecomunicaciones, centros de cálculo, bancos).

En consecuencia, los trabajos de la CEI sobre compatibilidad electromagnética (CEM) concluyen en normas y recomendaciones cada vez más exigentes (en cuanto a las limitaciones de los niveles de emisión de perturbaciones).

La liberalización del mercado de la electricidad tiene incidencia en los conceptos de Power Quality. Las reglas de juego del sector eléctrico tienen o van a tener una

profunda evolución: la liberalización del sector, es decir, la competencia en la producción de electricidad, la producción descentralizada, y la posibilidad, para los grandes consumidores, de escoger su proveedor.

Así, en 1985, la comisión europea determinó que la electricidad era un producto (directiva 85/374) lo que obliga a definir muy bien sus características esenciales.

Por otra parte, en el contexto de la liberalización del mercado de la energía, la búsqueda de la competitividad entre compañías eléctricas hace que la calidad sea un factor diferencial.

Precisamente, la garantía de calidad puede ser, para un industrial, un criterio determinante al elegir su proveedor de energía.

1.3 POR QUÉ SE REALIZA ESTE PROYECTO

Específicamente al análisis de la calidad del producto, uno de los fenómenos que produce una disminución de la calidad es la presencia de componentes armónicos en la corriente, producidos por cargas no lineales. Estas cargas pueden estar ubicadas tanto en los hogares como en los comercios o industrias.

Entre las cargas no lineales más comunes, con posibilidades de alta concentración de unidades y potencial efecto perjudicial sobre la calidad, se encuentran las computadoras personales (PC's), las lámparas fluorescentes de bajo consumo (LFC's) y las LED's, los variadores de velocidad y todos aquellos dispositivos que incluyan componentes electrónicos en su diseño.

Muchos son los problemas que pueden provocar los armónicos en una red. Entre ellos, que los índices máximos de distorsión de corriente y tensión sean excedidos, provocando riesgos en equipos sensibles (computadoras personales, dispositivos de protección, banco de capacitores, motores, etc.), [5].

Entre otras de las consecuencias que acarrea la presencia de armónicos en la red, se encuentra el impacto provocado en la corriente de neutro. La literatura técnica advierte que es probable encontrar como máximo una corriente de neutro igual a $\sqrt{3}$ veces la corriente de línea, conclusión demostrable desde el punto de vista teórico [6]. Es evidente que si las fases de un sistema trifásico alimentan cargas con alto contenido de armónicos (computadoras, monitores, lámparas fluorescentes, etc.), la recomendación clásica de considerar una sección en el conductor del neutro inferior a las de las fases deja de tener sustento

Cada día es mayor el número de cargas que generan este tipo de corrientes y, además, cada vez mayor el número de usuarios que requieren mejor calidad en el suministro eléctrico. Es por esto que la problemática de la calidad del producto está siendo objeto de un interés creciente. [6]-[10].

Por lo expuesto anteriormente, queda clara la necesidad de contar con instrumentos de medición capaces de evaluar los índices de calidad del producto eléctrico en algún punto de la red, y que esta información es de utilidad para las empresas prestadores del servicio y también para los usuarios, ya que a partir de estas mediciones pueden establecerse estrategias para resolver o mitigar los problemas que se han comentado resumidamente.

Hay varios tipos de equipos en el mercado que se pueden utilizar para monitorear la calidad de la energía eléctrica, o para realizar estudios del consumo de energía. Sin embargo, son generalmente muy costosos. Estos equipos permiten además programar y almacenar los parámetros clásicos de evaluación de una red para su posterior análisis: distorsión armónica de tensión, corriente, potencias (activa, reactiva, aparente), factor de desplazamiento, factor de potencia verdadero, valores

eficaces de tensión, corriente, con sus respectivas formas de ondas, acompañadas con los componentes armónicos en valores de amplitud y fase, etc.

Recientemente la Secretaría de Obras de la Universidad ha requerido al Departamento de Ingeniería Eléctrica el estudio de la factibilidad de medición de la calidad de energía en distintos ámbitos de la propia Universidad. Dicho departamento solo posee en su Laboratorio de Mediciones Eléctricas un único instrumento analizador de redes marca HIOKI 3166. El equipo actual es algo obsoleto pues solo tiene posibilidad de grabar registros en una disquetera de 3 ½" que está incorporada al aparato. Esta disposición constructiva acarrea problemas cuando se requiere un gran número de registros de lecturas, saturando al diskette por su escasa capacidad.

En el mismo sentido, recientes exigencias de mediciones fueron detectadas internamente en el propio edificio de la Facultad de Ingeniería y externamente en el Anexo de la Facultad (edificio ex-Ilia), en laboratorios pertenecientes a Ciencias Exactas, que padece problemas de caídas de tensión.

Por lo anteriormente comentado el estudio, proyecto y diseño, de un analizador flexible y versátil viene a cubrir una necesidad institucional y académica.

Porque utilizar instrumento virtual

La rápida adopción de la PC en los últimos 20 años generó una revolución en la instrumentación de ensayos, mediciones y automatización. Un importante desarrollo resultante de la ubicuidad de la PC es el concepto de instrumentación virtual, el cual ofrece variados beneficios a ingenieros y científicos que requieran mayor productividad, precisión y rendimiento.

Un instrumento virtual consiste de una computadora del tipo industrial, o una estación de trabajo, equipada con poderosos programas (software), hardware económico, tales como placas para insertar, y manejadores (drivers) que cumplen, en conjunto, las funciones de instrumentos tradicionales. Los instrumentos virtuales representan un apartamiento fundamental de los sistemas de instrumentación basados en el hardware a sistemas centrados en el software que aprovechan la potencia de cálculo, productividad, exhibición y capacidad de conexión de las populares computadoras de escritorio y estaciones de trabajo. Aunque la PC y la tecnología de circuitos integrados han experimentado avances significativos en las últimas dos décadas, es el software el que realmente provee la ventaja para construir sobre esta potente base de hardware para crear los instrumentos virtuales, proveyendo mejores maneras de innovar y de reducir los costos significativamente. Con los instrumentos virtuales, los ingenieros y científicos construyen sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a sus necesidades (definidos por el usuario) en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas (definidos por el fabricante).

Los instrumentos autónomos tradicionales, tales como osciloscopios y generadores de ondas, son muy poderosos, caros y diseñados para llevar a cabo una o más tareas específicas definidos por el fabricante. Sin embargo, el usuario por lo general no puede extender o personalizar esas tareas. Las perillas y botones del instrumento, sus circuitos electrónicos y las funciones disponibles para el usuario son todas específicas a la naturaleza del instrumento. Además, deben desarrollarse una tecnología especial y costosos componentes para construirlos, lo cual los hace muy caros y lentos para adaptarlos.

Debido a que están basados en la PC, los instrumentos virtuales aprovechan inherentemente los beneficios de la última tecnología de las computadoras personales corrientes.

Además de incorporar características poderosas, esas plataformas también ofrecen un acceso sencillo a herramientas también poderosas tales como la Internet. Los instrumentos tradicionales también adolecen frecuentemente de falta de portabilidad, en tanto que los instrumentos virtuales que corren en las computadoras portátiles automáticamente incorporan esta particularidad.

Los ingenieros cuyas necesidades, aplicaciones y requerimientos varían muy rápidamente, necesitan flexibilidad para crear sus propias soluciones.

Un instrumento virtual puede adecuarse a sus necesidades particulares sin necesidad de reemplazar todo el instrumento dado que posee el software de aplicación instalado en la computadora y al amplio rango disponible de hardware para instalar en ella.

A excepción de los componentes especializados y los circuitos hallados en los instrumentos tradicionales, la arquitectura general de los instrumentos autónomos es muy similar a la hallada en un instrumento virtual basado en computadora.

Ambos requieren uno o más microprocesadores, puertos de comunicación (por ejemplo: serie y GPIB) y capacidad de mostrar resultados así como también módulos de adquisición de datos. Lo que diferencia uno del otro es su flexibilidad y el hecho de que se puede modificar y adaptar el instrumento a sus necesidades particulares. Un instrumento tradicional podría contener un circuito integrado para llevar a cabo un conjunto particular de instrucciones de procesamiento de datos; en un instrumento virtual estas funciones podrían llevarse a cabo por el programa que corre en el procesador de la computadora.

Existe una amplia variedad disponible de hardware que se puede insertar en una computadora o bien acceder a través de una red. Estos dispositivos ofrecen un amplio rango de capacidades de adquisición de datos a un costo significativamente inferior que el correspondiente a dispositivos dedicados. A medida que la tecnología de circuitos integrados avanza y los componentes comunes se vuelven más baratos y poderosos, también lo hacen las placas que ellos utilizan. Junto con estos avances

tecnológicos viene un incremento en las velocidades de adquisición de datos, precisión de las mediciones y mejor aislamiento de las señales.

El software es el componente más importante de un instrumento virtual. Con la herramienta de software apropiada los ingenieros pueden crear eficientemente sus propias aplicaciones, diseñando e integrando las rutinas que requiere un proceso en particular. También pueden crear las interfaces de usuario que mejor satisfagan el objetivo de la aplicación y de aquéllos que van a interactuar con ellas. Pueden definir cómo y cuándo la aplicación adquiere datos desde el dispositivo, cómo los procesa, manipula y almacena los datos y cómo se presentan los resultados al usuario.

Contando con un software poderoso, se puede dotar a los instrumentos con capacidades de inteligencia y de toma de decisiones de manera tal que se adapten cuando las señales medidas varíen inadvertidamente o cuando se requiera mayor o menor potencia de procesamiento.

Una importante ventaja que provee el software es la modularidad. Cuando se trata de un gran proyecto, generalmente se abordan la tarea dividiéndola en unidades funcionales manejables. Estas tareas subsidiarias son más manejables y más fáciles de probar dadas las menores dependencias que podrían causar comportamientos inesperados. Se puede diseñar un instrumento virtual para solucionar cada una de estas tareas subsidiarias y luego reunir las en un sistema completo para resolver la tarea de mayor envergadura. La facilidad con la cual se puede realizar esta división de tarea depende en mayor medida de la arquitectura subyacente en el software.

Un instrumento virtual no está limitado a estar confinado en una computadora autónoma. En realidad, con los recientes desarrollos en tecnologías de redes y la Internet, es más común utilizar la potencia de conectividad de los instrumentos con el fin de compartir tareas. Ejemplos típicos incluyen supercomputadoras, monitoreo distribuido y dispositivos de control, así como también datos o visualización de resultados desde múltiples sitios. [11]

CAPÍTULO II

INDICADORES DE CALIDAD DE PRODUCTO

2 CAPÍTULO II: INDICADORES DE CALIDAD DE PRODUCTO

Antes de introducirnos en analizar lo que refiere a Calidad del Producto Técnico, se realizará la explicación de los diversos fenómenos que forman parte de la Calidad de la Energía y se definirán los índices utilizados para cuantificarlos.

2.1 CONTENIDO ARMÓNICO

Los sistemas eléctricos cuentan actualmente con una gran cantidad de elementos llamados no lineales, los cuales generan a partir de formas de onda sinusoidales a la frecuencia de la red, otras ondas de diferentes frecuencias ocasionando el fenómeno conocido como generación de armónicos.

Los armónicos son un fenómeno que causa problemas tanto para los usuarios como para la entidad encargada de la prestación del servicio de energía eléctrica ocasionando diversos efectos nocivos en los equipos de la red. [12]

2.1.1 Definición

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. Las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la señal de frecuencia fundamental y los armónicos. La distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia. [12]

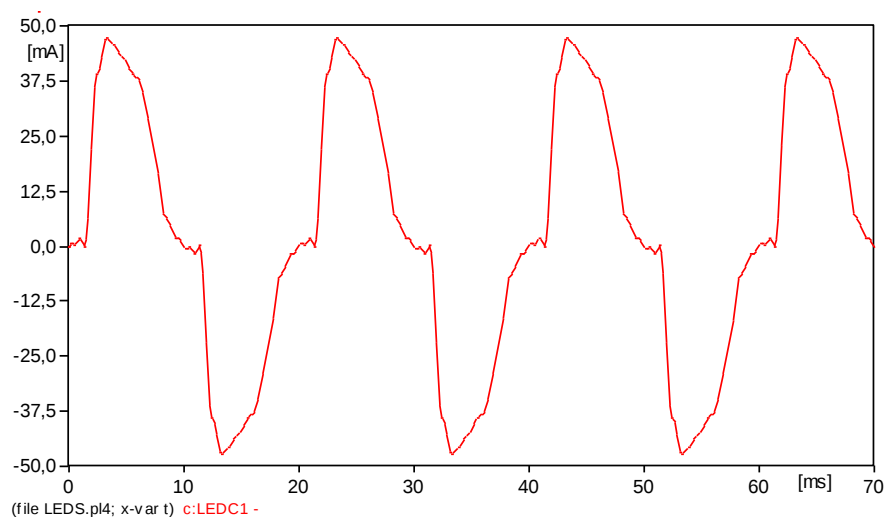


Figura 1 - Onda de corriente de una lámpara LED blanco cálido 2.3 W.

En la Figura 1 se ilustra la forma de tensión y corriente medidas en un sistema industrial con una distorsión típica por cargas no lineales.

2.2 INDICADORES ESENCIALES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

La existencia de indicadores permite cuantificar y evaluar la distorsión armónica de las ondas de tensión y de corriente. Estos son:

- Factor de potencia.
- Factor de cresta.
- Potencia de distorsión.
- Espectro en frecuencia.
- Tasa de distorsión armónica.

Estos indicadores son indispensables para la determinación de las acciones correctivas requeridas. [12]

2.2.1 Factor de Potencia

El factor de potencia se define como la relación entre la potencia activa P y la potencia aparente S .

$$fp = \frac{P}{S} \quad 2-1$$

En el área eléctrica, el factor de potencia es frecuentemente confundido con el Coseno phi ($\cos \varphi$), cuya definición es:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} \quad 2-2$$

P_1 = Potencia activa del fundamental.

S_1 = Potencia aparente del fundamental.

Por tanto, el “ $\cos \varphi$ ” se refiere únicamente a la frecuencia fundamental, y, en presencia de armónicos, es diferente del factor de potencia fp . [12]

2.2.2 Factor de Cresta

Se define como la relación entre el valor de cresta de corriente o de tensión ($I_{\max}$ o $V_{\max}$) y el valor eficaz.

$$k = \frac{I_{\max}}{I_{rms}} \quad 2-3$$

o

$$k = \frac{V_{\max}}{V_{rms}} \quad 2-4$$

Para una señal sinusoidal el factor de cresta es igual a $\sqrt{2}$, para una señal no sinusoidal el factor de cresta puede tener un valor superior o inferior a. Este factor es particularmente útil para detectar la presencia de valores de cresta excepcionales con respecto al valor eficaz.

El factor de cresta típico de corrientes absorbidas por cargas no lineales es mucho mayor que $\sqrt{2}$, puede tomar valores iguales a 1,5 o 2, llegando incluso a 5 en casos críticos.

Un factor de cresta muy elevado implica sobreintensidades puntuales importantes. Estas sobreintensidades, detectadas por los dispositivos de protección, pueden ser el origen de desconexiones indeseadas. [12]

2.2.3 Potencia Activa

La potencia activa P de una señal distorsionada por armónicos es la suma de las potencias activas correspondientes a las tensiones e intensidades del mismo orden.

La descomposición de la tensión y la intensidad en sus componentes armónicos puede ser escrita como:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h \quad 2-5$$

Siendo φ_h el desfase entre la tensión y la intensidad del armónico de orden h.

Se supone que la señal no contiene componente continua. En ausencia de armónicos, la ecuación $P = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$ indica la potencia de una señal sinusoidal, donde $\cos \varphi_1$ es igual a “cos φ ”. [12]

Si hay armónicos de corriente pero la tensión es sinusoidal pura, la expresión 2-5 también se expresa como $P = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$

2.2.4 Potencia Reactiva

La potencia reactiva se define únicamente para la fundamental y viene dada por la ecuación:

$$Q = V_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad 2-6$$

2.2.5 Potencia de Distorsión

Consideramos la potencia aparente S:

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} \quad 2-7$$

En presencia de armónicos, se puede describir la ecuación como:

$$S = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \quad 2-8$$

Como consecuencia, en presencia de armónicos, la relación $S^2 = P^2 + Q^2$ no es válida. Se define la potencia de distorsión D de tal forma que $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$. Así pues:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad 2-9$$

Es decir que en presencia de armónicos el triángulo de potencias deja de tener validez [12]. El gráfico de las potencias pasa a ser de la siguiente manera:

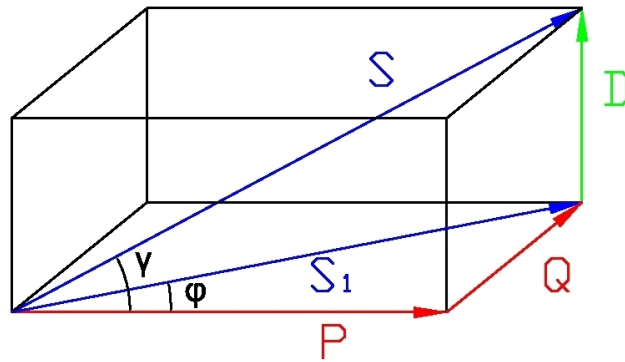


Figura 2 – Triangulo de potencias en presencia de armónicos.

2.2.6 Tasas de distorsión armónica

Antes de definir a las Tasas de Distorsión Armónica definiremos a una señal matemática en el dominio del tiempo.

Si la tensión y la corriente en una red eléctrica están definidos por:

$$v(t) = V \cdot \cos \omega_0 t \quad 2-10$$

$$i(t) = I \cdot \cos \omega_0 t \quad 2-11$$

En los sistemas eléctricos en estas señales podría darse la presencia de tensiones y corrientes con armónicos, entonces la tensión y la corriente se pueden representar por:

$$v(t) = V_1 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_1) + V_2 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_2) + V_3 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_3) + \dots \quad 2-12$$

$$i(t) = I_1 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_1) + I_2 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_2) + I_3 \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_3) + \dots \quad 2-13$$

Que en forma compacta se podrían escribir como:

$$\text{Factor } K = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_{rms}} \right)^2 \cdot h^2 \quad 2-14$$

$$v(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cdot \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad 2-15$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cdot \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad 2-16$$

Donde a:

V_n armónico de tensión de orden n .

I_n armónico de corriente de orden n .

θ_n ángulo del armónico n .

Los valores de distorsión están definidos en porcentaje (%) de cantidades eléctricas, estos valores son muy utilizados para conocer el grado de contaminación de las redes eléctricas. [12]

2.2.6.1 Distorsión armónica total

THD corresponde a Distorsión Total Armónica (tasa de distorsión armónica global). La tasa de distorsión armónica es frecuentemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa. [12]

Cuando se trata con armónicos de tensión, la expresión se expresa como:

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \cdot 100\% \quad 2-17$$

Cuando se trata con armónicos de intensidad, la expresión se convierte en:

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \cdot 100\% \quad 2-18$$

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más directa y fácil de utilizar cuando se conoce el valor eficaz total:

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1} \cdot 100\% \quad 2-19$$

Para armónicos individuales:

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} \cdot 100 \quad 2-20$$

2.2.7 Factor K

En la gran mayoría de los casos cuando un transformador alimenta cargas no lineales, este transformador presenta sobrecalentamiento aun cuando no ha alcanzado sus kVA nominales.

Se estima que el calentamiento de los transformadores debido a los armónicos es directamente proporcional al cuadrado de la armónica multiplicado por las pérdidas que esta produce, de esta manera aparece el factor K el cual es aplicado a transformadores.

Este factor K viene especificado en los datos de placa de algunos transformadores, indicando la capacidad del transformador para alimentar cargas no lineales sin exceder la temperatura de operación a la cual están diseñados, esto es:

$$Factor K = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_{rms}} \right)^2 \cdot h^2 \quad 2-21$$

Donde la corriente de esta expresión es la corriente de la carga no lineal la cual será o es alimentada por el transformador.

Los factores K más comunes de transformadores son de 4 y 13, los cuales son utilizados para alimentar cargas que utilizan rectificación principalmente. [12]

2.3 PERTURBACIONES DE TENSIÓN

2.3.1 Huecos de tensión (SAGS o DIPS)

Un hueco de tensión, es una reducción o una pérdida total de la tensión eficaz (RMS) de alimentación de un sistema eléctrico durante un breve periodo de tiempo. Se describe de acuerdo con su duración y la tensión remanente que, por lo general, se expresa en porcentaje de la tensión eficaz (RMS) nominal en el momento en que dicha tensión remanente alcanza su valor más bajo. En un hueco de tensión se supone que a la carga no le llegará la energía necesaria para su funcionamiento, lo que puede acarrear graves consecuencias que dependerán del tipo de carga de que se trate. [13]

En otras palabras se denomina hueco de tensión a una disminución de entre 0,1 y 0,9 pu en la tensión o corriente, para duraciones entre 0,5 y 1 minuto.

Se utilizan dos denominaciones distintas en el idioma inglés para los huecos de tensión, ya que en EE.UU, que se rigen por Normas IEEE utilizan la palabra “sag”, mientras que los europeos (IEC) utilizan la palabra “dip”.

Un microcorte es una reducción de la tensión eficaz (RMS) a cero durante un tiempo superior a 10 ms e inferior a un minuto.

Las principales causas de los huecos de tensión y los microcortes son:

- Fallas en los sistemas de potencia
- Descargas atmosféricas, cortocircuitos, contaminación de aisladores, contacto de animales o árboles, accidentes.
- Arranque de grandes motores de inducción.
- Cambios de carga.

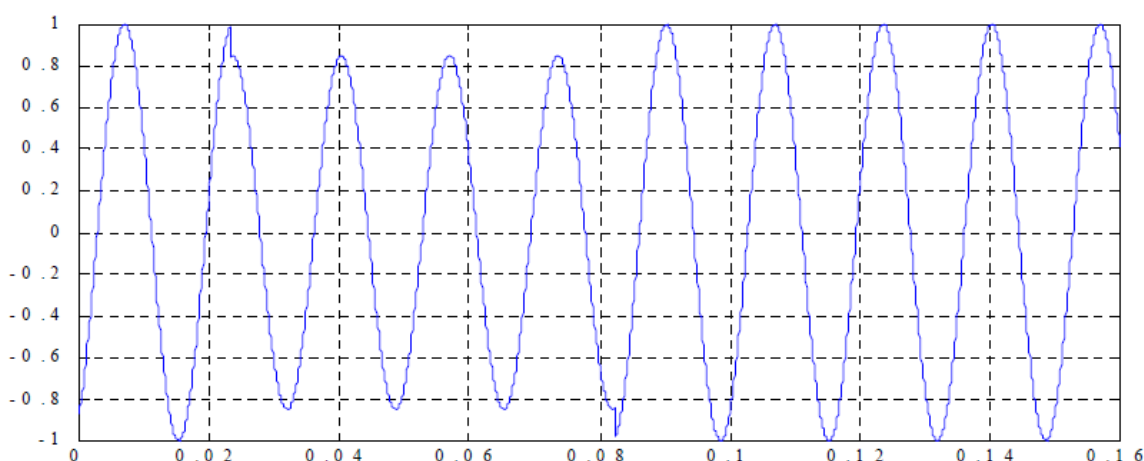


Figura 3 – Ejemplo de un hueco de tensión.

2.3.2 Flicker

El flicker o parpadeo de la luz (del inglés: to flicker = parpadear, titilar) se define como «impresión subjetiva de fluctuación de la luminancia» (CEI 555-1). Es un fenómeno de origen fisiológico visual que acusan los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a una iluminación y a una carga perturbadora.

La molestia del parpadeo se pone de manifiesto en las lámparas de BT. Por contra, las cargas perturbadoras pueden encontrarse conectadas a cualquier nivel de tensión. [13]

En el origen de este fenómeno están las fluctuaciones bruscas de la tensión de red. En esta definición del flicker sólo se incluyen las fluctuaciones:

- n de amplitud < 10%,
- n de período < 1 hora.

Principalmente el flicker es el resultado de fluctuaciones rápidas de pequeña amplitud de la tensión de alimentación, provocadas:

- por la variación fluctuante de potencia que absorben diversos receptores: hornos de arco, máquinas de soldar, motores, etc.
- por la puesta en tensión o fuera de tensión, de cargas importantes: arranque de motores, maniobra de baterías de condensadores en escalones, etc.

Especialmente estudiado para las lámparas de incandescencia, el flicker es más o menos importante según el tipo de fuente luminosa.

En todos los países industriales, los distribuidores de energía, así como los explotadores de instalaciones eléctricas, han de respetar unas tolerancias de variaciones de amplitud y de frecuencia en las redes, de lo contrario no estaría garantizado el buen funcionamiento de los equipos. Así, la norma

EN 50160 fija estas tolerancias:

- $\pm 10\%$. Esta tolerancia es para las tensiones nominales BT (Baja Tensión: $U_n < 1000 \text{ V}$).
- de + 6% a -10% específicamente para las tensiones BT 230/400 V, en el período 1996 y 2003, (armonización internacional).
- $\pm 1\%$ de la frecuencia nominal (50 Hz).

2.3.2.1 Explicación matemática del flicker

Las fuentes de estas fluctuaciones son equipos eléctricos cuyo funcionamiento necesita importantes variaciones cíclicas de intensidad.

Éstas, al recorrer la impedancia de la red (R, X), provocan variaciones de tensión ΔU .

Se define:

U = tensión nominal de la red (de funcionamiento).

E = tensión en vacío de la red.

$\Delta U = E - U$ caída de tensión.

P = potencia activa de la carga bajo la tensión nominal U .

Q = potencia reactiva de la carga bajo la tensión nominal U .

$\cos \varphi$ = factor de potencia de la carga,

I = corriente nominal de la carga,

S_{CC} = potencia de cortocircuito de la red aguas arriba.

R = resistencia total de la red aguas arriba.

X = reactancia de la red aguas arriba.

Si se considera que el ángulo entre E y U es pequeño:

$$\Delta U = E - U \approx R \cdot I \cos \varphi + X \cdot I \sin \varphi$$

se puede escribir:

$$P = U \cdot I \cos \varphi \text{ y } Q = U \cdot I \sin \varphi,$$

de donde resulta:

$$\Delta U = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U} \quad 2-22$$

y en valor relativo:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \quad 2-23$$

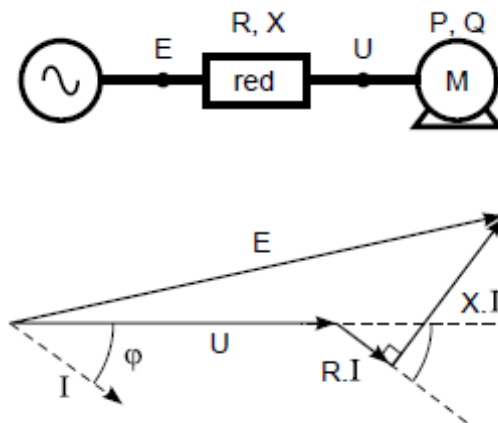


Figura 4 – Diagrama unifilar y vectorial de ejemplo de una carga genérica.

2.3.2.2 Parámetros P_{st} y P_{lt}

La evaluación final de la severidad del flicker según la CEI 868 se expresa por dos parámetros: el P_{st} (corta duración) y el P_{lt} (larga duración).

Mientras que el Pst se determina con un algoritmo multipunto utilizando los 5 puntos P_0 , P_1 , P_3 , P_{10} y P_{50} leídos sobre la FPC, el Plt se calcula a partir de varios valores de Pst.

Así, el Pst se calcula sobre un período de 10 minutos, y el Plt se calcula para 12 valores de Pst en un período de 2 horas. Estos parámetros valoran las distintas formas de FPC.

Este método de cuantificación del flicker tiene la ventaja de ser universal, independiente del tipo de fluctuación (periódica, súbita, senoidal, con otras formas, etc.) y por tanto independiente del tipo de perturbación.

2.3.2.2.1 Definición del Pst

El Pst se define por la ecuación:

$$P_{ST} = \sqrt{K_{0,1} \cdot P_{0,1} + K_1 \cdot P_1 + K_3 \cdot P_3 + K_{10} \cdot P_{10} + K_{50} \cdot P_{50}} \quad 2-24$$

con:

P_n = niveles en la curva FPC que tienen una probabilidad n% de que sean superados,

K_n = coeficientes de ponderación dados por la norma y que permiten que la curva límite de la CEI (Fig. 5) se corresponda con un $Pst = \text{constante} = 1$ (la curva CEI se determinó experimentalmente mucho antes de la definición del Pst). Así, el Pst representa la curva CEI.

La severidad de corta duración del flicker, definida por la norma CEI 868-0, queda expresada por la ecuación:

$$P_{ST} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_1 + 0,0657 \cdot P_3 + 0,28 \cdot P_{10} + 0,08 \cdot P_{50}} \quad 2-25$$

con:

$P_{0,1}$: nivel superado solamente durante el 0,1% del período de observación.

P_1 : nivel superado solamente durante el 1% del período de observación.

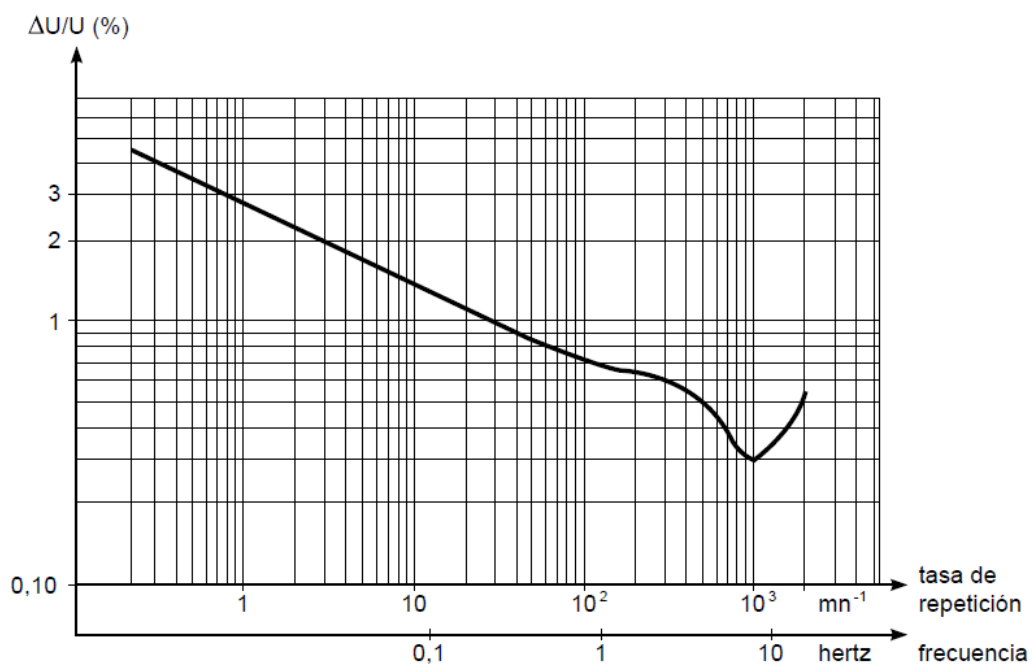


Figura 5 - Curva límite de la molestia del flicker. Indica la amplitud de las fluctuaciones de tensión, en función de su frecuencia de repetición, para una severidad del flicker $P_{st} = 1$ (según CEI 868). Obsérvese que la frecuencia corresponde a dos fluctuaciones

CAPÍTULO III

NORMATIVAS

3 CAPÍTULO III: NORMATIVAS

3.1 EVOLUCIÓN DE LAS NORMATIVAS LOCALES EN RELACIÓN A LA CALIDAD DE ENERGÍA

Entre los años 1984 y 1986 Se desarrolló en Argentina un proyecto financiado por el Banco Mundial denominado “Proyecto de Ingeniería”.

En dicho proyecto participaron las seis empresas de distribución de energía eléctrica más grandes de ese momento: AyEE, DEBA, EMSE, EPE, EPEC y SEGBA. Entre todas cubrían más del 80 % de los usuarios del país.

El desarrollo de este proyecto fue el requisito para la obtención de créditos para inversión en infraestructura de distribución.

Entre los múltiples temas que se desarrollaron, uno de ellos fue la Calidad de Distribución, que derivó en la creación de un software unificado para la obtención de indicadores globales, que las empresas implementaron en sus áreas de concesión.

Este software se denominó SIAIS (Sistema de Análisis de Interrupciones de Suministro), y es el germen desde el que se desarrollaron las distintas normativas actuales, vigentes en su mayoría desde la privatización de los servicios públicos.

En el año 1992 se privatiza la empresa SEGBA y se instrumenta el régimen de calidad bajo la jurisdicción del ENRE, aún vigente.

En el año 1997 se privatiza la empresa que presta el servicio eléctrico en gran parte de la provincia de Buenos Aires, ESEBA (Ex DEBA), fragmentándose en tres empresas de Distribución, ya anteriormente se había independizado la Generación y la Transmisión, y se instrumenta el régimen de calidad bajo la jurisdicción del OCEBA.[14]-[15]

3.1.1 Marco regulatorio de la calidad del producto.

La reestructuración del Sector Eléctrico Argentino introdujo nuevos conceptos en lo que respecta a la Calidad del Servicio Suministrado, que si bien no resultaban técnicamente desconocidos con anterioridad, no eran de aplicación sistemática en las empresas distribuidoras estatales.

En general no existían límites admisibles para la prestación en lo que se refiere a la Calidad del Suministro y, de existir, no se desarrollaban metodologías precisas de control, ni se encontraban penalizados los apartamientos a los mismos, como tampoco se bonificaba a los usuarios por recibir una Calidad de Servicio inferior a la correspondiente a la tarifa abonada.

Como resultado de la mencionada reestructuración, los Contratos de Concesión del Servicio Público de Distribución de Energía Eléctrica prevén la existencia de un régimen de penalizaciones en los casos en que las concesionarias superen los

límites establecidos de Calidad del Servicio, basados en el Costo de la Energía No Suministrada, otorgando a las empresas una señal para que sus inversiones sean acordes a las previstas al momento de determinar las tarifas.

Por lo tanto, dado que son los usuarios afectados los destinatarios de las penalizaciones aplicadas a las empresas por superar los indicadores de la Calidad del Servicio, las mismas actúan como compensación, reflejando la valorización que la sociedad le ha dado a la energía eléctrica, y adecuando el costo (tarifa) que paga la sociedad a la calidad realmente suministrada por las distribuidoras.

La Calidad del Servicio suministrado por las empresas concesionadas por el Poder Ejecutivo Nacional es controlada por el ENRE. En el caso particular de la Provincia de Buenos Aires, el “Subanexo D” del pliego de concesión para empresas Distribuidoras del Servicio Eléctrico establece las “NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO PUBLICO Y SANCIONES”. Tales normas regulan la Calidad del Producto Técnico, la Calidad de Servicio Técnico y la Calidad del Servicio Comercial. [14]-[15]

El sistema de regulación y control propuesto por el ENRE se aplicó en tres etapas, de la siguiente manera:

- **Etapla Preliminar**, de un año de duración a partir de la fecha de toma de posesión (1° de setiembre de 1992 - 31 de agosto de 1993), en la cual se efectuó la revisión e implementación de las metodologías de control. No se previeron ni aplicaron penalizaciones, constituyéndose en un período destinado a la realización de inversiones para adecuar las instalaciones a las exigencias de Calidad de Servicio previstas en la Etapa siguiente.
- **Etapla 1**, de tres años de duración (1° de setiembre de 1993 - 31 de agosto de 1996), en la cual se establecieron controles de la Calidad del Servicio Técnico en función a indicadores de frecuencias y tiempo total de las interrupciones y de la Calidad del Producto Técnico sólo en lo que se refiere a los apartamientos del Nivel de Tensión. En esta etapa se aplicaron sanciones en los casos en que se registraron apartamientos a los límites establecidos.
- **Etapla 2**, se inició a partir del 1° de setiembre de 1996, efectuándose controles a nivel de usuario, tanto en lo que se refiere a la Calidad del Servicio Técnico como a la Calidad del Producto Técnico, contemplándose para esta última el control del Nivel de Tensión y de las Perturbaciones. Al igual que en la Etapa 1, se aplican sanciones en todos los casos en que se registren apartamientos a los límites establecidos.[14]

3.2 LÍMITES DE EMISIÓN FIJADOS POR NORMATIVA.

3.2.1 Límites para variaciones lentas de tensión.

Se establecen bandas de tensión admisible en torno a la tensión nominal, que en caso de ser superadas durante más tiempo que el admitido, genera el cálculo de sanciones o compensaciones.

Se registran valores medios de tensión y potencia (o energía) cada 15 minutos durante un período típico de 7 días. Una forma típica de obtener valor medio de tensión de 15 minutos es tomando un valor cada segundo y promediarlo con los 59 tomados anteriormente guardando este valor medio de los 60 segundos. Un segundo después se repite el procedimiento descartando el valor más viejo y tomando uno nuevo. Tenemos entonces una ventana móvil de un minuto de ancho, que se desplaza segundo a segundo guardando al cabo de los 15 minutos 900 datos que se promedian y representan el valor medio de los 15 minutos, denominado período de integración. Se promedian así valores ya promediados, descartando valores extremos, ya que justamente lo que se quiere apreciar es la variación lenta de tensión. [14]

En la provincia de Buenos Aires se establecieron bandas de tolerancia diferentes para cada nivel de tensión y para áreas urbanas y rurales¹.

Tabla I. Límites de variación de tensión en la etapa de transición.

ALTA TENSION	± 7,0 %
MEDIA TENSION	± 10,0 %
BAJA TENSION	± 10,0 %
Para las zonas Rurales se admitirá, en el punto de suministro, hasta:	± 13,0 %

Tabla II. Límites de variación de tensión en la etapa de régimen.

ALTA TENSION	± 7,0 %
MEDIA TENSION	± 8,0 %
BAJA TENSION	± 8,0 %
Para las zonas Rurales se admitirá, en el punto de suministro, hasta:	± 12,0 %

3.2.2 Perturbaciones

La única referencia que hace el Subanexo D al tema perturbaciones, es la siguiente:

¹ No se hace la distinción de tipo servicios A y B como en Calidad de Servicio Técnico, ya que en ambos tipos de servicio se parte de un transformador con regulación automática en la estación transformadora.

“Las perturbaciones que se controlarán son las variaciones rápidas de tensión (flicker), las caídas lentas de tensión y las armónicas.

La resolución del OCEBA 410/01 establece la cantidad de mediciones que debe realizar mensualmente cada distribuidora provincial. [14]

Tabla III. Cantidad de mediciones que debe realizar mensualmente cada distribuidora provincial

Distribuidora	Flicker	Armónicos
EDEN S.A.	3	3
EDES S.A.	1	1
EDEA S.A.	3	3

El Oceba no fijó formalmente la metodología de control. En la práctica los niveles admitidos son los fijados por el ENRE para su jurisdicción.

Las mediciones que se realizan son de nivel de perturbación (flicker o armónicas) en la tensión, cuyos límites son denominados Niveles de Referencia y se establecen en la Resolución ENRE 184/00.

*“Se define el **Nivel de Referencia** como aquel nivel de perturbación garantizado en un dado punto de suministro (definido para cada tipo de perturbación), que asegura que si no es sobrepasado en un tiempo mayor al 5% del período de medición, la calidad del producto técnico es adecuada y existe compatibilidad electromagnética satisfactoria entre las instalaciones y equipos del usuario con la red de suministro”.* [14].

Estos Niveles de Referencia son garantizados, lo que significa que en cualquier punto de suministro es exigible el Nivel de Referencia con la probabilidad especificada (95 %), y se corresponden a valores establecidos por normativa internacional.”

3.2.2.1 Niveles de Referencia para flicker

Tabla IV. Niveles de Referencia para fluctuaciones rápidas de tensión (Flicker) que no deben ser superados durante más del 5 % del período de medición.

Nivel de tensión en el punto de suministro	Niveles de Referencia
AT ($66 \text{ kV} \leq U \leq 220 \text{ kV}$)	Pst=1,00
MT ($1\text{kV} < U < 66\text{kV}$)	Pst=1,00
BT ($U \leq 1\text{kV}$)	Pst=1,00

3.2.2.2 Niveles de Referencia para Tensiones Armónicas.

Los niveles de Tensiones Armónicas presentes en los puntos de suministro (Tasas de distorsión individual y total de las tensiones Armónicas medidas en valor

eficaz cada 10 minutos), no deberán sobrepasar los Niveles de Referencia indicados en la Tabla 2 para puntos de suministro en MT (1kV<U<66kV) y AT (U≥66kV) y en la Tabla 3 para puntos de suministro en BT (U ≤ 1kV), durante más de un 5 % del tiempo total del período de medición. [14]

Los Niveles de Referencia de las Tablas 2 y 3 son obligatorios para las Armónicas hasta el orden 40 (inclusive). La Tasa de Distorsión Total se define así como:

$$TDT = \sqrt{\sum_{i=2}^{40} \left(\frac{U_i}{U_1} \right)^2} \quad 3-1$$

Dónde:

U_i amplitud de la tensión de la armónica de orden i;

U₁ amplitud de la tensión fundamental.

Tabla V. Niveles de Referencia para las Armónicas de tensión en MT y AT, que no deben ser superados durante más del 5 % del período de medición.

Orden de la armónica	Nivel de Referencia de la armónica (en % con respecto a la fundamental)	
(n)	MT (1 kV<U<66 kV)	AT 66 kV≤U≤220 kV
(impares no múltiplos de 3)		
5	6,0	2,0
7	5,0	2,0
11	3,5	1,5
13	3,0	1,5
17	2,0	1,0
19	1,5	1,0
23	1,5	0,7
25	1,5	0,7
>25	$0,2 + \frac{2}{5;n}$	$0,1 + \frac{2}{5;n}$
(impares múltiplos de 3)		
3	5,0	1,5
9	1,5	1,0
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
>21	0,2	0,2

(pares)		
2	2,0	1,5
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,5	0,2
10	0,5	0,2
12	0,2	0,2
>12	0,2	0,2
Tasa de Distorsión Total:	TDT 8 %	TDT 3 %

Para redes de EAT ($U > 220$ kV) se considerarán como Niveles de Referencia para las Armónicas de tensión, valores mitad de los indicados en la Tabla V para redes de AT ($66\text{kV} \leq U \leq 220\text{kV}$).

Tabla VI. Niveles de Referencia para las Armónicas de tensión en BT ($U \leq 1\text{kV}$), que no deben ser superados durante más del 5 % del período de medición.

Nivel de Referencia de la armónica de tensión en BT ($U \leq 1$ kV)					
Impares no múltiplos de 3		Impares múltiplos de 3		Pares	
Orden de la armónica (n)	Nivel de Referencia de la armónica (en % de la fundamental)	Orden de la armónica (n)	Nivel de Referencia de la armónica (en % de la fundamental)	Orden de la armónica (n)	Nivel de Referencia de la armónica (en % de la fundamental)
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3,0	21	0,2	8	0,5
17	2,0	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2 + \frac{0,5 \times 25}{n}$				
Tasa de Distorsión Total: TDT 8%					

3.2.2.3 Límites de emisión para Corrientes Armónicas.

El Límite de Emisión individual asignado a un usuario conectado a una red se obtiene para cada intensidad armónica y se determina en función de su potencia contratada y el nivel de tensión (BT, MT y AT). [14]

Para el cálculo de la corriente de carga contratada se supondrá un factor de potencia de 0,85 para cada banda horaria según corresponda.

Tabla VII. Límites de emisión de corrientes armónicas según el tipo de usuario.

Orden de la armónica	Usuarios T1	Usuario T2 y T3 en BT y MT	Usuario T3 en AT
(n)	Intensidad armónica máxima en A	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada ²	
Impares no múltiplos de 3			
5	2,28	12,0	6,0
7	1,54	8,5	5,1
11	0,66	4,3	2,9
13	0,42	3,0	2,2
17	0,26	2,7	1,8
19	0,24	1,9	1,7
23	0,20	1,6	1,1
25	0,18	1,6	1,1
> 25	4,5/n	0,2+0,8*25/n	0,4
Impares múltiplos de 3			
3	4,60	16,6	7,5
9	0,80	2,2	2,2
15	0,30	0,6	0,8
21	0,21	0,4	0,4
> 21	4,5/n	0,3	0,4
Pares			
2	2,16	10,0	10,0
4	0,86	2,5	3,8
6	0,60	1,0	1,5
8	0,46	0,8	0,5
10	0,37	0,8	0,5
12	0,31	0,4	0,5
> 12	3,68/n	0,3	0,5
TDTI (en %)		20,0	12,0

3.2.2.4 Límites de Emisión de Flicker

Se define al **Límite de Emisión Individual** de un usuario como aquel nivel de perturbación que puede inyectar en la red en su punto de suministro, y que no podrá ser superado en más de un 5% del tiempo total del período de medición.

El límite de emisión individual asignado a un usuario conectado a una red, se determina en función de su potencia contratada y su nivel de tensión (BT, MT o AT).
[14]

² Por banda horaria considerando $\cos \phi = 0.85$

Límite de Emisión Individual para usuarios con tarifa T-1 ($P < 10$ kW) conectados en BT ($U \leq 1$ kV).

Se establece como Límite de Emisión Individual un $P_{st}=1$, medido en el punto de suministro sobre la impedancia de referencia fijada por Norma IEC 1000-3-3 para BT.

Tabla VIII. Límite de Emisión Individual para usuarios con tarifa T-2 ($10 \text{ kW} \leq P < 50 \text{ kW}$) conectados en BT ($U \leq 1$ kV).

Potencia Contratada (kW)	Límites de Emisión Individuales (P _{st})
$10 \leq P < 20$	1,00
$20 \leq P < 30$	1,26
$30 \leq P < 40$	1,58
$40 \leq P < 50$	1,86

Tabla IX. Límite de Emisión Individual para usuarios con tarifa T-3 ($P > 50$ kW) conectados en BT ($U \leq 1$ kV) o MT ($1 \text{ kV} < U < 66 \text{ kV}$) y/o en AT ($66 \text{ kV} \leq U \leq 220 \text{ kV}$)

Usuarios en BT ($U \leq 1$ kV) $\frac{S_L}{S_{MT / BT}} = K_1$	Usuarios en MT y AT ($1 \text{ kV} < U \leq 220 \text{ kV}$) $\frac{S_L}{S_{cc}} = K_2$	Límites de Emisión Individuales (P _{st})
$K_1 \leq 0,1$	$K_2 \leq 0,005$	0,37
$0,1 < K_1 \leq 0,2$	$0,005 < K_2 \leq 0,01$	0,46
$0,2 < K_1 \leq 0,4$	$0,01 < K_2 \leq 0,02$	0,58
$0,4 < K_1 \leq 0,6$	$0,02 < K_2 \leq 0,03$	0,67
$0,6 < K_1 \leq 0,8$	$0,03 < K_2 \leq 0,04$	0,74
$0,8 < K_1$	$0,04 < K_2$	0,79

3.3 PUNTOS DE CONTROL

Los puntos de control son las barras de Estaciones Transformadoras (AT/MT, o MT/MT), en todas las barras de todas las EETT una vez por semestre; Centros de Transformación MT/BT en el tres por ciento de los centros de transformación MT/BT por semestre. [14]

En lo que respecta al control sobre clientes, se aplica de la siguiente manera:

- 0,005 % de los clientes de Pequeñas Demandas
- Uno por ciento (1%) de los clientes de las Tarifas T2, T3 y T5, no pudiendo resultar esta cantidad inferior a diez (10) registros mensuales.

En etapa de régimen se agrega por resolución 499/01 y 500/01 el control en puntas de línea de BT, que consiste en lo siguiente:

- Se realizarán mediciones en puntos de la red de BT en una cantidad equivalente al 10 % de las realizadas para Centros de Transformación para el semestre de control.
- Las mediciones en dichos puntos de red estarán asociadas a algunas de las de Centros de Transformación y se realizarán en forma simultánea con las mismas.
- La ubicación de tales puntos se determinará sobre la base de la información suministrada por el sistema geo-referencial, analizando el área de influencia del Centro de Transformación elegido, a partir del cual y sobre una de sus salidas, se procederá a medir inmediatamente antes del último usuario ubicado sobre la derivación considerada.
- De cotejar ambas mediciones puede resultar lo siguiente:

	Centro de Transformación	Punto de red	Resultado
a)	Alta tensión	Alta tensión	Penalizan todos los usuarios
b)	Alta tensión	Normal	Penalizan todos los usuarios
c)	Normal	Baja Tensión	Ver nota 1
d)	Normal	Normal	Medición No penalizada
e)	Baja Tensión	Baja Tensión	Penalizan todos los usuarios

Nota 1: En el supuesto indicado en el punto c), se deberá determinar el punto de corte aguas arriba sobre la red de BT hasta el cual se propagarán los resarcimientos a usuarios, ya sea mediante sucesivas remediciones o analíticamente a partir de la información resultante de la campaña de curvas de carga y de factores horarios “Ki”

CAPÍTULO IV

ALTERNATIVAS DE MEDICIÓN

4 CAPÍTULO IV: ALTERNATIVAS DE MEDICIÓN

La medición de la calidad de producto puede realizarse con instrumentos convencionales como es normal, pero también puede realizarse a partir de instrumentos virtuales. En este capítulo realizaremos una breve descripción de ambos sistemas.

4.1 ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS COMERCIALES TRADICIONALES.

Actualmente existen en el mercado una gran cantidad de instrumentos destinados a la medición y el registro de los diversos parámetros de calidad de la energía eléctrica. A continuación se detallarán los diferentes tipos y las características de algunos de ellos, en particular los que utilizan las Empresas Distribuidoras para llevar a cabo los controles necesarios.

4.1.1 Analizador de Red PQ1000 Power Quality Analyzer (ECAMEC)

Diseñado para aplicaciones de campo. Exactitud de un Clase A. memoria fija. Transductor de corriente sin baterías ni fuente auxiliar. UPS interna, más de 2 horas de autonomía.



Parámetros que miden:

- Potencia Activa, Reactiva, Aparente, Fundamental y Deformación.
- Energía Activa y Reactiva por fase. Medición en los 4 cuadrantes.
- Energía (módulo y signo) de cada armónico hasta la armónica 50°.
- Factor de Potencia y de Desplazamiento.
- Espectro armónico de Tensión y Corriente. Módulo y fase.
- Inter-Armónicos de Tensión y Corriente hasta la componente 50°.
- Factor de Distorsión Armónica e Inter-Amónica de Tensión y Corriente.
- Distorsión armónica de tensión y corriente. THD y TID.
- Flicker Pst y Plt hasta nivel 20. Flicker en Tiempo Real.
- Eventos de Sags, Swell e Interrupciones. Perfil de perturbación.
- Desbalance de Tensión y Corriente. Componentes simétricas.
- Frecuencia.

Opciones de comunicación:

- Puerto USB. Aislación 5kV. 500 kbps
- Comunicación inalámbrica remota: GPRS/GSM.
- Comunicación Bluetooth SPP.

4.1.2 Analizador de red PQ500 (ECAMEC)

Registrador trifásico portátil para el control de calidad de suministro y análisis de red.

Parámetros que mide:

- Tensiones de fase y línea.
- Desviación de Tensión.
- Corriente RMS, máxima y mínima, por fase.
- Distorsión Armónica de tensión (THD%) hasta la componente 50° (según IEC61000-4-7 Clase II).
- Flicker (Pst y Plt) hasta Pst=5 (según IEC61000-4-15).
- Sobre y Sub tensión del tipo Sag y Swell;
- Desbalance de tensión;
- Frecuencia de red;
- Potencia Activa en 4 cuadrantes;
- Reactiva y Aparente;
- Energía Activa y Reactiva;
- Factor de Potencia;
- Interrupciones



Opciones de comunicación

- Puerto de comunicación opto aislado USB

4.1.3 QNA500 (CIRCUTOR)

Analizador de Calidad de Suministro modular.

Parámetros que mide:

- Tensión fase-fase y fase-neutro (eficaz máxima, mínima).
- Corriente (eficaz, máxima, mínima).
- Corriente de neutro (eficaz, máxima, mínima).
- Tensión neutro tierra (eficaz, máxima, mínima).
- Frecuencia (eficaz, máxima, mínima).
- Potencia activa (eficaz, máxima, mínima).
- Potencia reactiva inductiva (eficaz, máxima, mínima).
- Potencia reactiva capacitiva (eficaz, máxima, mínima).
- Potencia aparente (eficaz, máxima, mínima).
- Máxima demanda.
- Factor de potencia (eficaz, máximo, mínimo).
- Factor de cresta (tensión y corriente).
- Factor K.
- Energía activa.
- Energía reactiva inductiva.
- Energía activa capacitiva.
- THD o TDD de tensión (eficaz, máxima, mínima).
- THD o TDD de corriente (eficaz, máxima, mínima).
- Armónicos de tensión y corriente (hasta orden 50).
- Interarmónicos de tensión y corriente (hasta orden 50).
- Flicker (PST).
- Huecos.
- Interrupciones.
- Sobretensión.
- Transitorios de tensión y corriente.
- Desequilibrio de tensión y corriente.
- Memoria 2 Gb (Tarjeta Micro SD).
- Frecuencia de muestreo 512 muestras/ciclo.
- Conversor DSP 24 bits. Comunicación RS232, RS485.



4.1.4 Analizador de Calidad de Suministro Portátil QNA-P



Analizador de calidad de suministro eléctrico portátil, que mide y registra según la Norma IEC-61000-4-30 clase A.

Parámetros que mide:

- Potencia Activa, Reactiva, Aparente, Fundamental y Deformación.
- Energía Activa y Reactiva por fase. Medición en los 4 cuadrantes.
- Energía (módulo y signo) de cada armónico hasta la armónica 50°.
- Factor de Potencia y de Desplazamiento.
- Espectro armónico de Tensión y Corriente. Módulo y fase.
- Inter-Armónicos de Tensión y Corriente hasta la componente 50°.
- Factor de Distorsión Armónica e Inter-Amónica de Tensión y Corriente.
- Distorsión armónica de tensión y corriente. THD y TID.
- Flicker Pst y Plt hasta nivel 20. Flicker en Tiempo Real.
- Eventos de Sags, Swell e Interrupciones. Perfil de perturbación.
- Desbalance de Tensión y Corriente. Componentes simétricas.
- Frecuencia.

Opciones de Comunicación:

- RS-232
- RS-485
- GPRS
- GSM

Memoria interna de 4Mb

Dimensiones: 357mm x 470mm x 176mm (alto, ancho, profundidad)

4.1.5 REI-3/FI Registrador de variables eléctricas y calidad de servicio

Parámetros que mide:

- Potencia Activa, Reactiva, Aparente.
- Calidad del Servicio / Producto.
- Interrupciones.
- Consumos, Demandas, Tensiones, Factor de Potencia.
- Armónicas de tensión y de corriente en módulo y en fase, hasta la componente 15°.
- Flicker (IEC).
- Frecuencia.

Opciones de comunicación:

- interfaz RS-232 C.
- por intermedio de tarjetas RAM CARD, norma PCMCIA.
- Interfaz óptica RS-485.

Dimensiones: 200mm x 300mm x 175 mm (alto, ancho, profundidad)



CAPÍTULO V

INSTRUMENTOS

VIRTUALES

5 CAPÍTULO V: INSTRUMENTOS VIRTUALES

La instrumentación virtual lo constituye el conjunto de software y hardware que agregado a una PC, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si se estuviera utilizando un instrumento electrónico hecho a gusto del cliente. Las mediciones y accionamientos se realizan sobre el campo real, pero los sistemas de control, mecanismos, registradores, y otros dispositivos serán adquiridos e interconectados en el campo virtual. La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software".

La instrumentación virtual tiene una amplia gama de aplicaciones, una de sus principales aplicaciones es en la industria para sistemas de medición, monitoreo de procesos, y aplicaciones de control. También pueden ser utilizados en laboratorios de universidades en carreras de ingenierías orientadas a procesos de control industrial. También es muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real, para aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, diseño de filtros digitales, generación de señales, automatización de hogares y edificios inteligentes, entre otras.

La Figura 6 muestra el diagrama general de un sistema de instrumentación virtual basado en la adquisición de datos por PC. Puede decirse que un sistema de este tipo está formado básicamente por: sensor + placa de adquisición con acondicionamiento de señal + PC + Software.

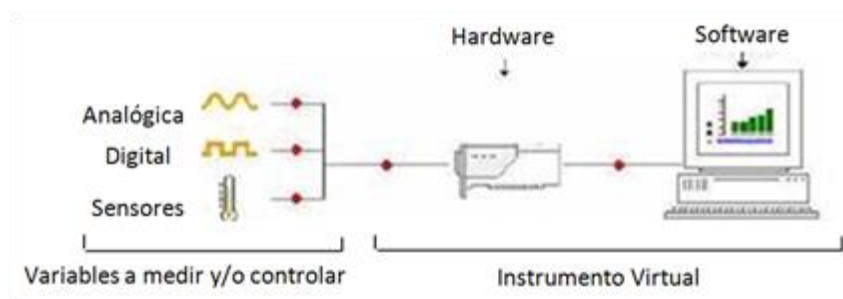


Figura 6 – Diagrama general de un sistema de instrumentación virtual.

Las variables eléctricas que se desean medir (o las que puede generar el instrumento virtual) pueden ser del tipo digital o del tipo analógico. En forma muy sintética, una variable es del tipo digital cuando solo se reconocen dos estados posibles, mientras que una variable es analógica cuando se reconocen múltiples estados entre un valor mínimo y uno máximo. [16]

5.1 GENERALIDADES DE UN SENSOR.

Los sensores o transductores se encargan de convertir una señal física (temperatura, luz, sonido, etc.) en una señal eléctrica de corriente o voltaje que puede ser manipulada (medida, amplificada, transmitida, etc.).

5.1.1 Características generales de los sensores

El transductor ideal sería aquel en que la relación entre la magnitud de entrada y la magnitud de salida fuese proporcional y de respuesta instantánea e idéntica para todos los elementos de un mismo tipo.

Sin embargo, la respuesta real de los transductores nunca es del todo lineal, tiene un rango limitado de validez, suele estar afectada por perturbaciones del entorno exterior y tiene un cierto retardo en la respuesta.

Las características de los transductores se pueden agrupar en dos grandes bloques:

Características estáticas, que describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir.

Características dinámicas, que describen el comportamiento del sensor en régimen transitorio. [17]

5.1.2 Características Estáticas

- Rango de medida: el conjunto de valores que puede tomar la señal de entrada comprendidos entre el máximo y el mínimo detectados por el sensor con una tolerancia de error aceptable.
- Resolución: indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Indica que variación de la señal de entrada produce una variación detectable en la señal de salida.
- Precisión: define la variación máxima entre la salida real obtenida y la salida teórica dada como patrón para el sensor.
- Repetibilidad: Indica la máxima variación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces la misma entrada con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales.
- Linealidad: un transductor es lineal si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de la señal de salida con los respectivos incrementos de la señal de entrada en todo el rango de medida.
- Sensibilidad: indica la mayor o menor variación de la señal de salida por unidad de la magnitud de entrada. Cuanto mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación en la señal de entrada, el sensor es más sensible.
- Ruido: cualquier perturbación aleatoria del propio sistema de medida que afecta la señal que se quiere medir.

5.1.3 Características Dinámicas

- Velocidad de respuesta: mide la capacidad del sensor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.
- Respuesta en frecuencia: mide la capacidad del sensor para seguir las variaciones de la señal de entrada a medida que aumenta la frecuencia, generalmente los sensores convencionales presentan una respuesta del tipo pasa bajos.
- Estabilidad: indica la desviación en la salida del sensor con respecto al valor teórico dado, al variar parámetros exteriores distintos al que se quiere medir (condiciones ambientales, alimentación, etc.).

5.1.4 Generalidades de una placa de adquisición de datos.

También conocidas como DAQ es el dispositivo electrónico que recibe la información del mundo exterior y la envía a la PC (o viceversa). Existe gran cantidad de modelos de DAQ diseñadas para las distintas interfaces que posee una computadora personal (puerto serie, puerto paralelo, bus ISA, bus PCI o bus USB). [17]

Especificaciones más importantes de una placa de adquisición:

Resolución de una entrada analógica:

La resolución de entrada de un sistema de adquisición se especifica comúnmente en "N° de bits". La mayoría de los productos disponibles ofrecen 12 bits de resolución y en menores cantidades existen otros de 8, 10, 14 y 16 bits. La conversión desde bits de resolución a la verdadera resolución se describe como:

$$\text{Resolución} = \frac{1}{2^N} \quad 5-1$$

Donde N = N° de bits

Para determinar la resolución en volts, debemos tomar el rango total de tensión de entrada (fondo de escala FE) y dividirlo por la resolución especificada. Por ejemplo para una resolución de 12 bits y un fondo de escala de 5V la resolución será:

$$\text{Resolución} = 1 / 4095 = 0,0244 \%$$

$$\text{Resolución (en volts)} = 5 / 4095 = 1,22 \text{ mV}$$

La clave para encontrar la resolución más apropiada para una aplicación es adaptar la resolución de la plaqueta a la requerida para la medición.

En general los conversores A/D de alta resolución son más costosos que los de baja resolución y por lo tanto deberá utilizarse un conversor A/D que por lo menos tenga 1 bit más de resolución que la requerida por la aplicación.

Exactitud:

La exactitud (o nivel de error) de entrada puede especificarse de diferentes formas en una placa de adquisición, tres de los métodos más comunes se describen a continuación. Para los cálculos se parte de un conversor A/D de 12 bits y un fondo de escala de 5V (0 a 5V).

1- Exactitud: 0,024 % de lectura $\pm$ 1 bit

$$5V * (0,024/100 + 1/4096) = 2,42 \text{ mV}$$

2- Exactitud: $\pm$ 2 bits

$$2 * (5V/4096) = 2,42 \text{ mV}$$

3- Exactitud: 0,048 % del FSR (Full Scale Range)

$$5V * (0,048/100) = 2,42 \text{ mV}$$

En estos ejemplos, la exactitud del conversor A/D es especificada en diferentes formas, pero significan lo mismo: 2,42 mV

Velocidad de muestreo:

La máxima velocidad de muestreo también es una especificación muy importante. Comúnmente está dada en muestras/segundo (sample/sec; Ksample/sec o Msample/sec) en vez de utilizar el Hz.

Por otro lado la mayoría de las plaquetas de adquisición multicanal consisten de un solo conversor A/D y un multiplexor de entrada que actúa como llave para seleccionar a alguno de los canales de entrada del cual se toman muestras. Pero cuando la adquisición se hace sobre varios canales de entrada, la máxima velocidad de muestreo por canal se obtiene dividiendo la máxima velocidad de conversión del A/D dividida por el número de canales muestreados. Por ejemplo, en una plaqueta de 8 canales de entrada que tiene una especificación de 100 Ksamples/sec, si seleccionamos un solo canal de entrada este será muestreado a una frecuencia de hasta 100 Ksample/sec si en cambio muestreamos 4 canales la velocidad bajará a 25 Ksamples/sec por canal.

La teoría de muestreo establece que el mínimo de velocidad de muestreo que deberá utilizarse en una aplicación deberá ser:

$\text{Frecuencia de muestreo (para medida de una frecuencia)} = 2 * \text{frecuencia mayor.}$
--

<i>Frecuencia de muestreo (para ver el detalle de forma de onda) = 10 * frecuencia mayor.</i>

De no cumplirse con el teorema de muestreo se produce un error denominado aliasing que consiste en tener una señal digitalizada de menor frecuencia que la real.

Entradas diferencial o desbalanceada y número de canales

En muchas plaquetas de adquisición se ofrece la posibilidad de configurar la entrada en forma diferencial para proveer mejor inmunidad al ruido. El modo diferencial consiste en que la tensión que se mide es la diferencia entre las tensiones aplicadas a dos entradas. Esto es importante especialmente en sistemas que toman datos desde dispositivos que están localizados a mucha distancia.

Las entradas desbalanceadas (single-ended) en cambio están referidas a un punto de masa común.

El número de canales está determinado por el multiplexor de entrada y es especificado para las dos configuraciones mencionadas, de esta forma es común una especificación de 16 canales en modo desbalanceado y 8 para el diferencial.

5.2 SOFTWARE LABVIEW.

El siguiente punto se destina a presentar la herramienta de programación LabVIEW usada en el Laboratorio de Mediciones Eléctricas adquirida por el Departamento de Ingeniería Eléctrica en su versión 8.2, a fin de realizar la resolución de problemas sencillos de instrumentación virtual.

5.2.1 ¿Qué es LabVIEW?

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

National Instruments es la empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW, comenzó en 1976 en Austin, Texas y sus primeros productos eran dispositivos para el bus de instrumentación GPIB. En abril de 1983 comenzó el desarrollo de lo que sería su producto estrella: LabVIEW, que vería la luz en octubre de 1986 con el lanzamiento de LabVIEW 1.0 para Macintosh (los ordenadores más populares en aquella época que ya disponían de interfaz gráfica) y en 1990 la versión 2.0. Para Windows habría que esperar hasta septiembre de 1992.

LabVIEW es un revolucionario ambiente de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones y presentaciones de datos. LabVIEW da la flexibilidad de un poderoso ambiente de programación sin la complejidad de los ambientes tradicionales.

A diferencia de los lenguajes de propósito general, LabVIEW provee funcionalidad específica para que pueda acelerar el desarrollo de aplicaciones de medición, control y automatización.

LabVIEW le entrega herramientas poderosas para crear aplicaciones sin líneas de texto de código. Con LabVIEW usted coloca objetos ya contruidos para rápidamente crear interfaces de usuario. Después usted especifica la funcionalidad del sistema armando diagramas de bloques.

Además usted puede conectar con otras aplicaciones y compartir datos a través de ActiveX, la Web, DLLs, librerías compartidas, SQL, TCP/IP, XML, OPC y otros.

Con LabVIEW puede desarrollar sistemas que cumplan con sus requerimientos de desempeño a través de las plataformas incluyendo Windows, Macintosh, UNIX o sistemas de tiempo real.

Además LabVIEW trabaja con más de 1000 librerías de instrumentos de cientos de fabricantes, y muchos fabricantes de dispositivos de medida incluyen también herramientas de LabVIEW con sus productos.

Utilizando un sistema basado en LabVIEW, tiene acceso a sistemas de instrumentación completos con costos mucho más bajos que un único instrumento comercial. National Instruments también asegura que los programas que desarrolla hoy pueden migrar para aprovechar las tecnologías del futuro.

LabVIEW tiene extensas capacidades de adquisición, análisis y presentación disponibles en un sólo paquete, de tal forma que se puede crear una solución completa de manera única en la plataforma que ha elegido. Con LabVIEW puede publicar sus aplicaciones de datos en la Web muy fácilmente o conectarse a otras aplicaciones a través de una variedad de tecnologías estándar, como TCP/IP, DLLs y ActiveX.

5.2.2 ¿Qué es un VI?

Los programas creados con LabVIEW son usualmente denominados VI (Virtual Instruments) por la sencilla razón de que estos parecen y actúan como una copia de los instrumentos físicos, como por ejemplo, osciloscopios e instrumentos de medición como ya se dijo.

Al arrancar el software a través del acceso directo o del menú de Inicio» Programas» National Instruments LabVIEW 8.2, se nos presenta la ventana (ver Figura 7) en donde se da inicio a la construcción del VI.

Blank VI = VI en blanco.



Figura 7 – Pantalla de Ingreso al Software LabVIEW.

Al hacer clic en “Blank VI”, automáticamente se abren 2 ventanas. Una contiene al Panel Frontal y la otra al Diagrama de bloque (ver Figura 8 y Figura 9).

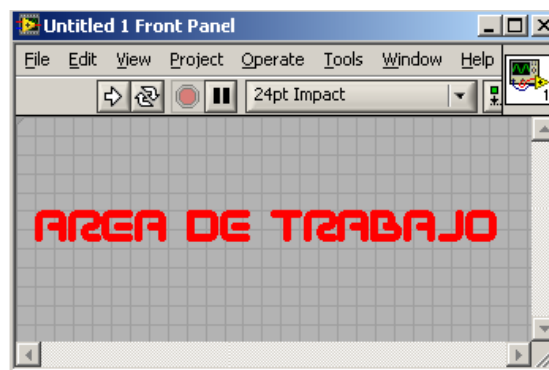


Figura 8 – Panel Frontal.

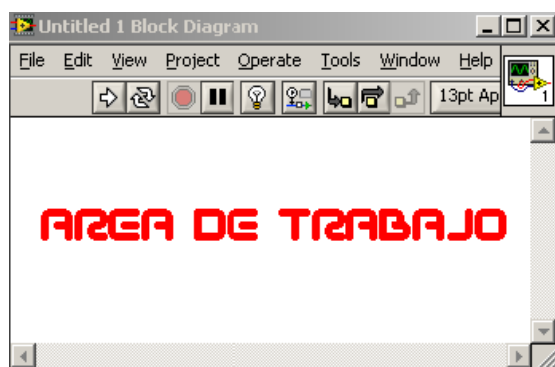


Figura 9 – Diagrama de Bloque.

El Panel frontal y el Diagrama de bloques son los componentes más importantes dentro de un VI.

a) **Panel Frontal** (Front panel): Se utiliza como interface entre usuario/VI y es donde los datos son manipulados, controlados y monitoreados. Se construye a partir de controles (entradas) e indicadores (salidas).

Los **controles** simulan instrumentos de entrada y entregan los respectivos datos al Diagrama de bloques del VI. Entre los controles tenemos perillas, pushbuttons y otros dispositivos de entrada.



Figura 10 – Controles de entrada.

Los **indicadores** simulan instrumentos de salida y muestran los datos que el diagrama de bloques genera o adquiere. Dentro de los indicadores podemos encontrar leds, gráficos y otros tipos de display.

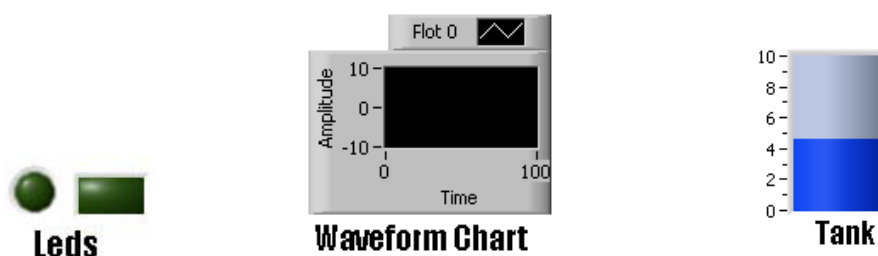


Figura 11 – Indicadores de salida.

b) **Diagrama de bloque** (Block diagram): contiene el código gráfico que define la funcionalidad del VI. Por ende, podemos ver la estructura del programa de una forma gráfica donde los datos fluyen a través de cables o líneas. Además contiene las librerías de LabVIEW como son las funciones y estructuras para conseguir nuestro programa.

Una vez construido el panel frontal, se crea automáticamente el código gráfico en el diagrama de bloques, representando las funciones de los controles que fueron puestos en el panel frontal y sólo bastaría unir correctamente los terminales de los controles e indicadores para el funcionamiento del VI creado.

Dentro del panel frontal se desprenden dos tipos de paletas: Controls Palette (paleta de controles) y Tools Palette (paleta de herramientas).

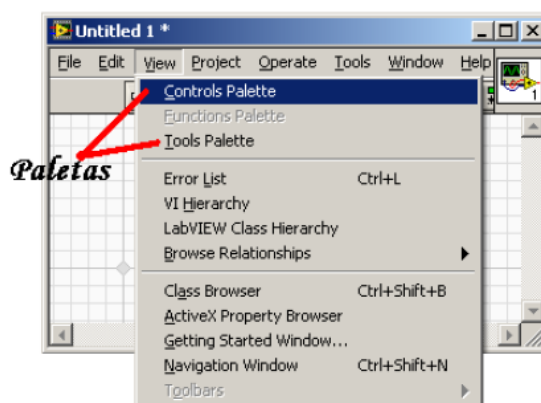


Figura 12 – Ubicación de las paletas de herramientas.

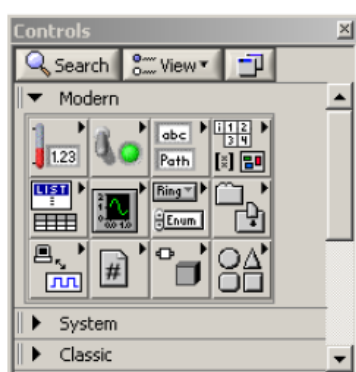


Figura 13 – Paleta de controles.



Figura 14 – Paleta de herramientas.

La paleta de controles (ver Figura 13) está habilitada solamente en el panel frontal y posee los controles e indicadores que se necesitan para crear el mismo. La paleta también aparece haciendo clic con el botón derecho del mouse sobre el área de trabajo del panel frontal.

La paleta de herramientas (ver Figura 14) está habilitada en el panel frontal y en el diagrama de bloques y es necesaria para trabajar o modificar los objetos.

5.2.3 Tipos de datos

Existen tres tipos o clases de datos en LabVIEW (ver Figura 15):



Figura 15 – Esquema Tipos de datos.

Dependiendo de nuestra aplicación, utilizamos estos datos en el diagrama de bloques existiendo un color para cada uno que se asigna automáticamente. (Booleanos: verde claro, Numéricos: azules-naranjas y los Alfanuméricos: rosados). Esto con la finalidad de familiarizarse tempranamente con ellos.

Boolean (Booleano)

Definidos por enteros de 16 bits. El bit más significativo contiene al valor booleano. Si el bit 15 se pone a 1, el valor del control o indicador es true (verdadero) y si se pone a 0, toma el valor false (falso). Al dar un clic con el botón derecho del mouse sobre el área de trabajo del panel frontal nos aparecerá la paleta de controles (ver Figura 16) allí podemos hallar los diferentes controles e indicadores booleanos que posee LabVIEW.



Figura 16 – Controles e Indicadores booleanos

Numeric (Numérico)

Los datos numéricos se clasifican en 12 representaciones para los controles e indicadores, señalados por su respectivo color:

Strings (Alfanuméricos)

LabVIEW almacena los “strings” como si fuera un “array” uni-dimensional de bytes enteros (caracteres de 8 bits). Sus principales aplicaciones van definidas a crear mensajes de texto, pasar los datos numéricos a caracteres de datos para instrumentos y luego convertirlos nuevamente de “strings” a datos numéricos, guardar datos numéricos en el disco, etc.

Como mencionamos anteriormente, los datos alfanuméricos se visualizan en el diagrama de bloques con el color rosado, mientras que en el panel frontal estos datos aparecen como etiquetas, tablas y entradas de texto (ver Figura 17 y Figura 18).

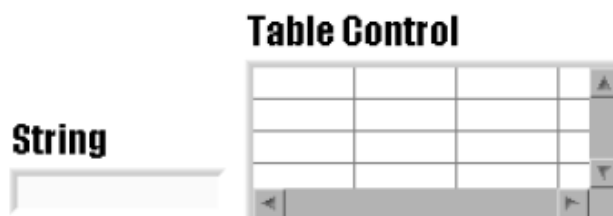


Figura 17 – Datos alfanuméricos Panel de control



Figura 18 – Datos alfanuméricos Diagrama de bloque

En el diagrama de bloques existen muchas funciones donde se ven involucrados los datos alfanuméricos, para verlas hacemos clic con el botón derecho del mouse sobre el área de trabajo para ver la paleta de funciones (ver Figura 19), nos dirigimos al icono *string* y se desplegará una ventana con las distintas funciones, como por ejemplo la más simple, *string length* que indica la longitud de la cadena de datos alfanuméricos.

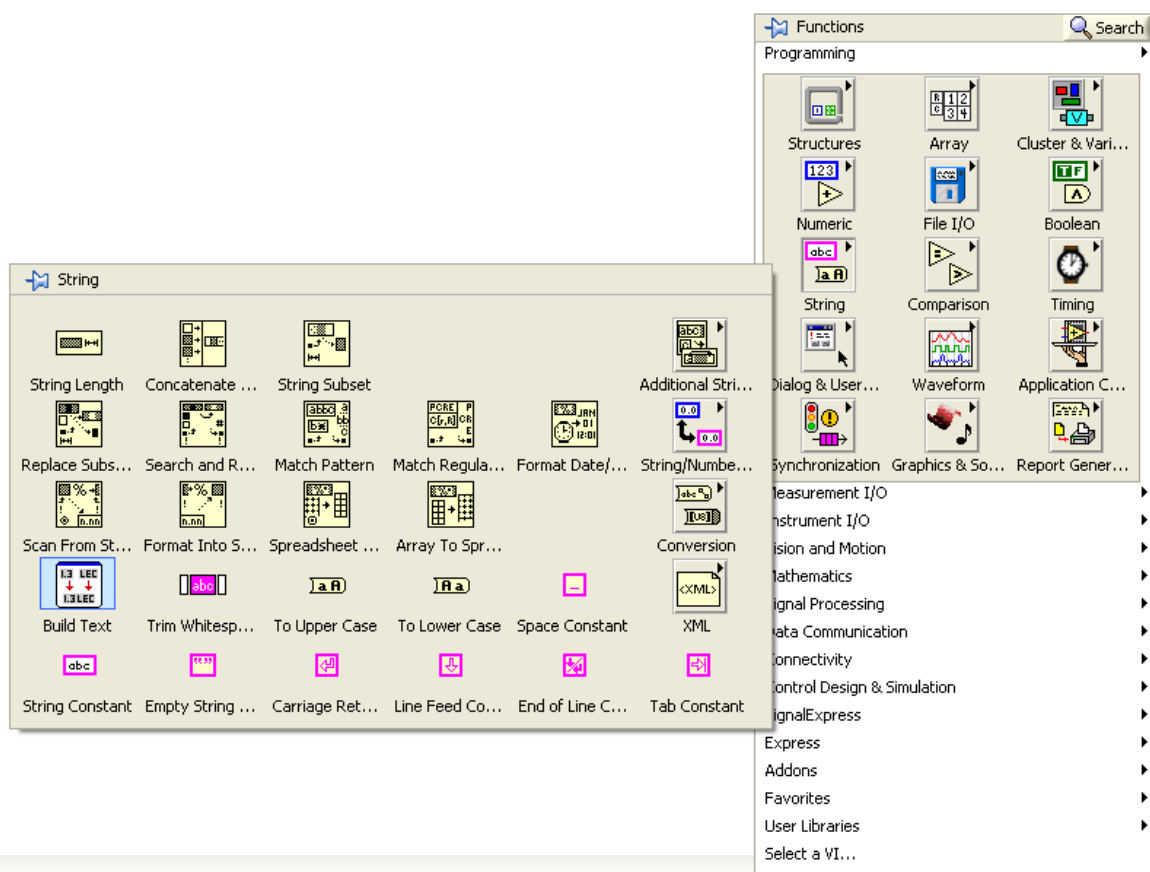


Figura 19 – Paleta de Funciones con las opciones String activada.

	Tipo de dato	Bits de almacenamiento	Dígitos decimales (Aprox.)	Límites	Color
	Precisión extendida Coma flotante	128	33/15 (20)	6,48e-4986 a 1,19e+4932 -6,48e-4986 a -1,19e+4932	Naranja
	Precisión doble Coma flotante	64	15	4,94e-324 a 1,79e+308 -4,94e-324 a -1,79e+308	Naranja
	Precisión simple coma flotante	32	6	1,40e-45 a 3,40e+38 -1,40e-45 a -3,40e+38	Naranja
	Largo Entero con signo	32	9	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	Azul
	Palabra Entero con signo	16	4	-32.768 a 32.767	Azul
	Byte Entero con signo	8	2	-128 a 127	Azul
	Largo Entero sin signo	32	9	0 a 4.294.967.295	Azul
	Palabra Entero sin signo	16	4	0 a 65.535	Azul
	Byte Entero sin signo	8	2	0 a 255	Azul
	Precisión Extendida Complejo	256	33/15	Igual que EXT para cada parte (real e imaginario)	Naranja
	Precisión doble Complejo	128	15	Igual que DBL para cada parte (real e imaginario)	Naranja
	Precisión simple Complejo	64	6	Igual que SGL para cada parte (real e imaginario)	Naranja

Figura 20 – Resumen de los tipos de datos en LabVIEW.

5.2.4 Estructuras

En la *paleta de funciones* la primera opción es la de las *estructuras*. Éstas controlan el flujo del programa, bien sea mediante la secuenciación de acciones, ejecución de bucles, etc.

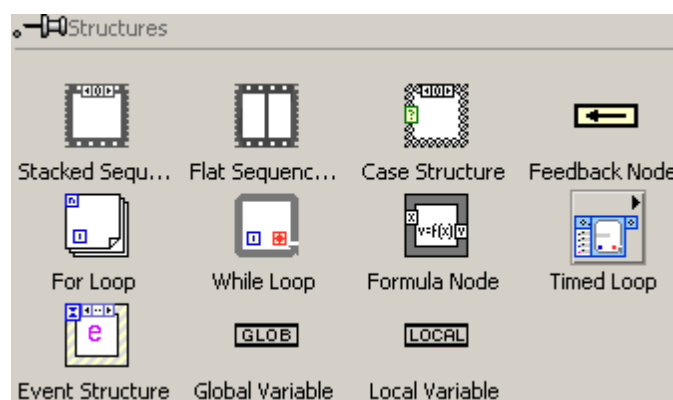


Figura 21 – Paleta de Structure.

Las estructuras se comportan como cualquier otro nodo en el diagrama de bloques, ejecutando automáticamente lo que está programado en su interior una vez tiene disponibles los datos de entrada, y una vez ejecutadas las instrucciones requeridas, suministran los correspondientes valores a los cables unidos a sus

salidas. Sin embargo, cada estructura ejecuta su *subdiagrama* de acuerdo con las reglas específicas que rigen su comportamiento, y que se especifican a continuación.

Un *subdiagrama* es una colección de nodos, cables y terminales situados en el interior del rectángulo que constituye la estructura. El *For Loop* y el *While Loop* únicamente tienen un subdiagrama. El “*Case Structure*” y el “*Sequence Structure*”, sin embargo, pueden tener múltiples subdiagramas superpuestos como si se tratara de cartas en una baraja, por lo que en el diagrama de bloques únicamente será posible visualizar uno a la vez. Los subdiagramas se construyen del mismo modo que el resto del programa. Las siguientes estructuras se hallan disponibles en el *lenguaje G*.

5.2.4.1 Case Structure

Al igual que otras estructuras posee varios *subdiagramas*, que se superponen como si de una baraja de cartas se tratara. En la parte superior del subdiagrama aparece el identificador del que se está representando en pantalla. A ambos lados de este identificador aparecen unas flechas que permiten pasar de un *subdiagrama* a otro.

En este caso el identificador es un valor que selecciona el subdiagrama que se debe ejecutar en cada momento.

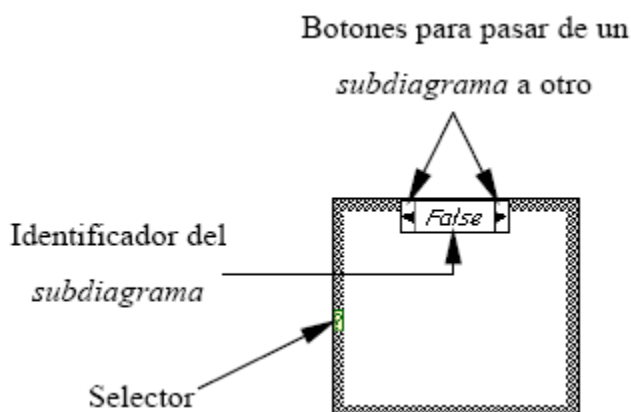


Figura 22 – Case Structure.

La estructura *Case* tiene al menos dos *subdiagramas* (*True* y *False*). Únicamente se ejecutará el contenido de uno de ellos, dependiendo del valor de lo que se conecte al *selector*.

5.2.5 Sequence Structure

Este tipo de estructuras presenta varios subdiagramas, superpuestos como en una baraja de cartas, de modo que únicamente se puede visualizar una en pantalla.

También poseen un identificador del subdiagrama mostrado en su parte superior, con posibilidad de avanzar o retroceder a otros subdiagramas gracias a las flechas situadas a ambos lados del mismo. Estos subdiagramas se insertan pulsando el botón

derecho del ratón sobre el borde de la estructura, seleccionando la opción Add Frame After.

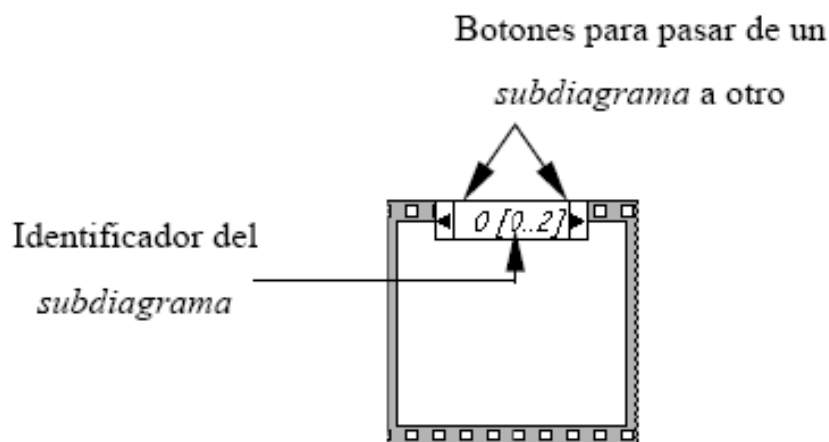


Figura 23 – Sequence Structure.

Esta estructura secuencía la ejecución del programa. Primero ejecutará el *subdiagrama* del *frame* nº0 (círculo rojo) que ejecutará valores aleatorios entre 0 y 1, después se ejecutará el *frame* nº 1 que entregará el resultado (salida), y así sucesivamente. Para pasar datos de una hoja a otra se pulsará el botón derecho del ratón sobre el borde de la estructura, seleccionando la opción *Add sequence local*, se agregaran etiquetas similares a las encerradas en los círculos azules.

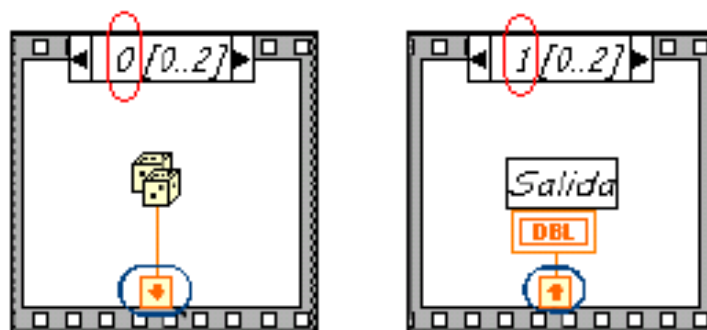


Figura 24 - Paso del frame 0 a la 1.

Las dos *Sequence Structure* mostradas arriba en realidad son solo una pero que posee dos frame (0 y 1 encerrados en un círculo rojo).

5.2.6 For Loop

Es el equivalente al bucle “FOR” en los lenguajes de programación convencionales. Ejecuta el código dispuesto en su interior un número determinado de veces.

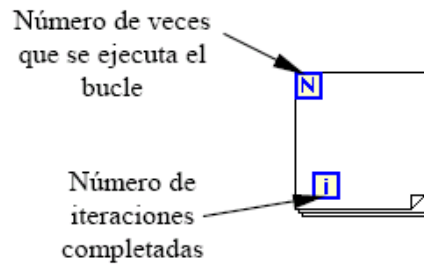


Figura 25 - For Loop.

Para pasar valores de una iteración a otra se emplean los llamados “*Shift Registers*” (*registros de desplazamiento*). Para crear uno, se pulsará el botón derecho del ratón mientras éste se halla situado sobre el borde del bucle, seleccionando la opción “*Add Shift Register*”. El “*Shift Register*” consta de dos terminales, situados en los bordes laterales del bloque. El terminal izquierdo almacena el valor obtenido en la iteración anterior. El terminal derecho guardará el dato correspondiente a la iteración en ejecución. Dicho dato aparecerá, por tanto, en el terminal izquierdo durante la iteración posterior. La siguiente figura esquematiza lo anterior.

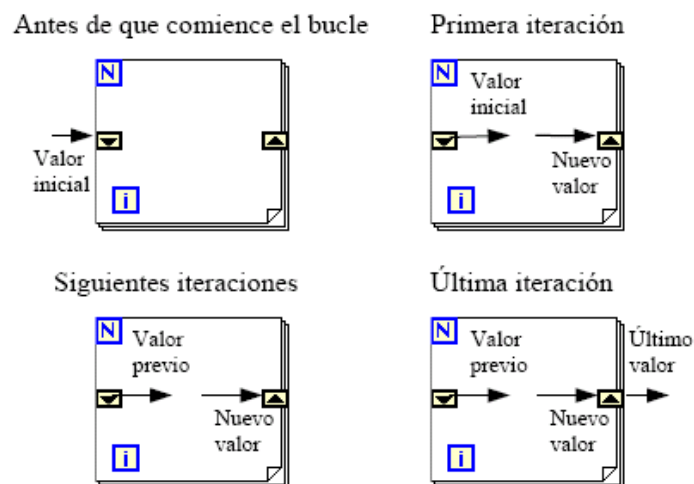


Figura 26 - Secuencia de Iteraciones, de la inicial a la última.

Se puede configurar un shift register para memorizar valores de varias iteraciones previas. Para ello, con el ratón situado sobre el terminal izquierdo del shift register se pulsará el botón derecho, seleccionando a continuación la opción *Add Element*.

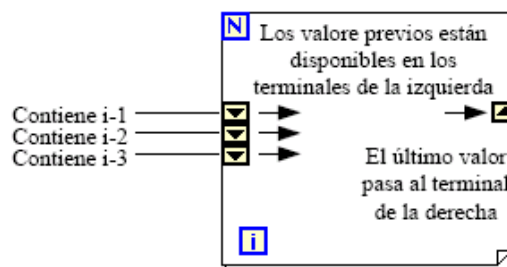


Figura 27 - For Loop que permite memorizar tres iteraciones.

5.2.7 While Loop.

Es el equivalente al bucle *while* empleado en los lenguajes convencionales de programación. Su funcionamiento es similar al del bucle *for*.

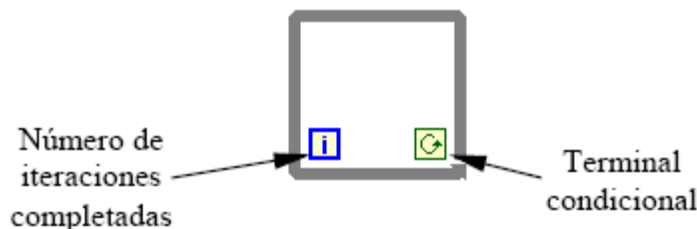


Figura 28 - While Loop.

El programa comprueba el valor de lo que se halle conectado al terminal condicional para finalizar el bucle. Por lo tanto, el bucle siempre se ejecuta al menos una vez. Con esta estructura también se pueden emplear los *shift registers* para tener disponibles los datos obtenidos en iteraciones anteriores (es decir, para memorizar valores obtenidos), su empleo es análogo al de los bucles *for*, por lo que se omitirá su explicación.

5.2.8 Formula Node

La estructura denominada *Formula Node* se emplea para introducir en el diagrama de bloques fórmulas de un modo directo. Resulta de gran utilidad cuando la ecuación tiene muchas variables o es relativamente compleja. Por ejemplo, se desea implementar la ecuación:

$$y = x^2 + x + 1$$

Mediante utiliza esta función se puede escribir directamente la ecuación a calcular, como se puede observar en la figura siguiente.

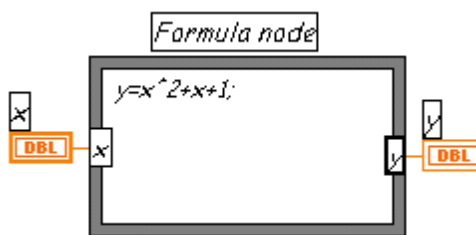


Figura 29 – Aplicación de la Formula Node.

X es un *Numeric Control*, que básicamente permite cambiar a voluntad el dato ingresado, en este caso este dato es un entero. *Y* es un *Numeric Indicator*, este muestra el resultado del cálculo. Ambos se visualizan en el panel frontal, y se encuentran ingresando al menú *Numeric*.

5.2.9 SubVI

Como se comentó anteriormente, los programas creados en LabVIEW se llaman VIs (Virtual Instrument). En muchas ocasiones un programa será de un tamaño tal que habrá que separarlo en varios VIs o habrá alguna sección de código que convenga reutilizarla varias veces. Un VI puede contener a otro de forma que el segundo sería un sub VI del primero, el concepto es equivalente a las funciones de un lenguaje tradicional. Por ejemplo, el siguiente programa es posible reducirlo notablemente, basta con solamente crear sub VI.

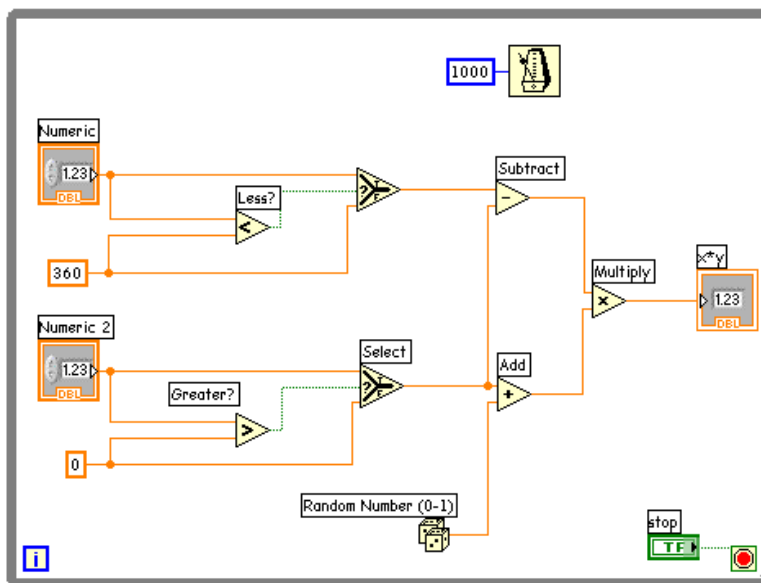


Figura 30 - Programa que utiliza diferentes funciones.

En el ejemplo de la figura 30 se puede ver un programa que tiene como entradas Límite superior y Límite inferior, estas entradas se limitan de forma programada a 360 y 0 respectivamente mediante las funciones de comparación *Less?*, *Greater?* y *Select*. A las salidas de las funciones de comparación se obtendrá un valor *true* si la comparación es cierta y *false* en caso contrario. *Select* funciona como un multiplexor: a su salida estará el valor de la entrada superior (T) si la señal de selección (?) es cierta y el de la entrada inferior (F) si es falsa. Por otra parte, *Random Number (0-1)* genera un número aleatorio entre cero y uno. *Less?*, *Greater?* y *Select* se encuentran en el menú *Comparison*, ubicable en la paleta de funciones, en el diagrama de bloques. *Random Number (0-1)* es ubicable en el menú *Numeric*.

La parte central del programa resta las dos entradas y el resultado lo multiplica por la suma del límite inferior y el número aleatorio. Con esto se consigue generar un número aleatorio que será visto en el *Indicador Numeric*.

En el ejemplo anterior puede ser deseable hacer una función para la generación del número aleatorio entre dos límites, es decir, hacer que esa parte del código sea un VI distinto, de esta forma podrá ser usado en otras ocasiones. La forma más sencilla de conseguir esto es seleccionando la parte deseada del Diagrama de Bloques e ir a

Edit → *Create Sub VI*. Al hacerlo el código seleccionado será sustituido por el icono de un VI, con un doble clic sobre este icono se accederá al código de este sub VI.

Otra forma de crear un Sub VI es definiendo de forma manual su interfaz, es decir, la forma en que se realizarán las conexiones cuando se use como sub VI dentro de otro VI. El primer paso será guardar el VI, después situarse en su Panel Frontal y hacer clic con el botón secundario del ratón sobre el icono del VI (parte superior derecha) para desplegar su menú contextual, como se puede ver en la Figura 31.

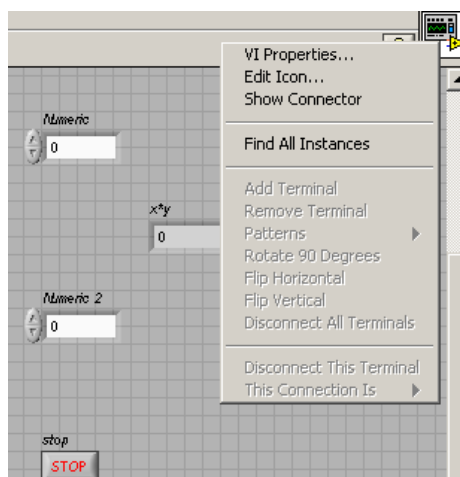


Figura 31- Otra opción para crear un VI en subVI.

En *Edit Icon...* es utilizado para cambiar la presentación original del icono de cualquier VI. *Show Connector* es utilizado para agregar o eliminar terminales, los terminales son los lugares donde se conectarán los cables cuando se use como sub VI. Al presionar la opción *Show Connector* se muestra el icono en blanco indicando que no tiene ningún conector de entrada o salida asignado, para asignarle contactos se pincha sobre el icono con el botón derecho del Mouse, se selecciona la opción *Patterns*, según muestra la Figura 32.

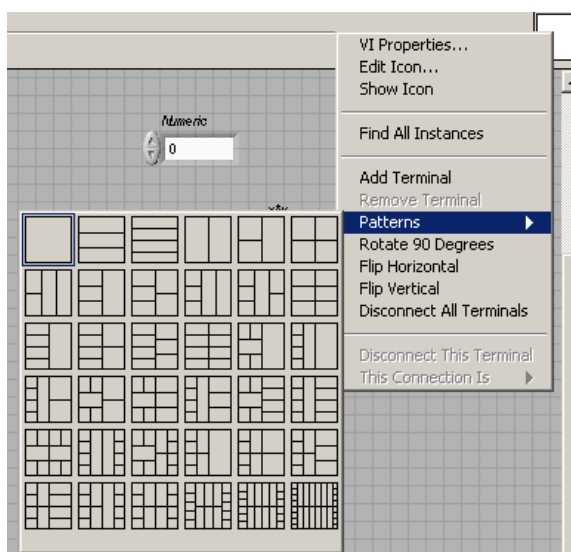


Figura 32 - Selección de contactos, según sea necesario.

La rejilla de conexión define las entradas y salidas que se pueden conectar al VI al usarlo como sub VI. La rejilla de conexión recibe datos en los terminales de entrada y los pasa al código del diagrama de bloques a través de los controles del panel frontal y recibe los resultados en sus salidas a través de los indicadores del panel frontal.

La rejilla de conexión se presenta como un modelo de conectores, se puede elegir otro modelo si es necesario. Cuenta con un terminal por cada control o indicador del panel frontal, se pueden asignar hasta 28 terminales. Si se piensa que van a haber cambios que requieran entradas o salidas, se pueden colocar terminales extra sin asignar.

Nota: no es aconsejable asignar más de 16 terminales, ya que se reduce mucho su funcionalidad y conectividad.

Finalmente, en este punto, para asignar un control o indicador a un terminal se debe seleccionar la herramienta Connect Wire y hacer clic en el terminal y en el control o indicador asociado del Panel Frontal, en ese momento el terminal se coloreará indicando el tipo de datos.

En la figura 31 se presentó un VI en el que se seleccionó cierta parte para crearlo como un subVI, veamos entonces como queda el diagrama de bloques (marco rojo) según figura 33. Se presenta además el Panel frontal del subVI.

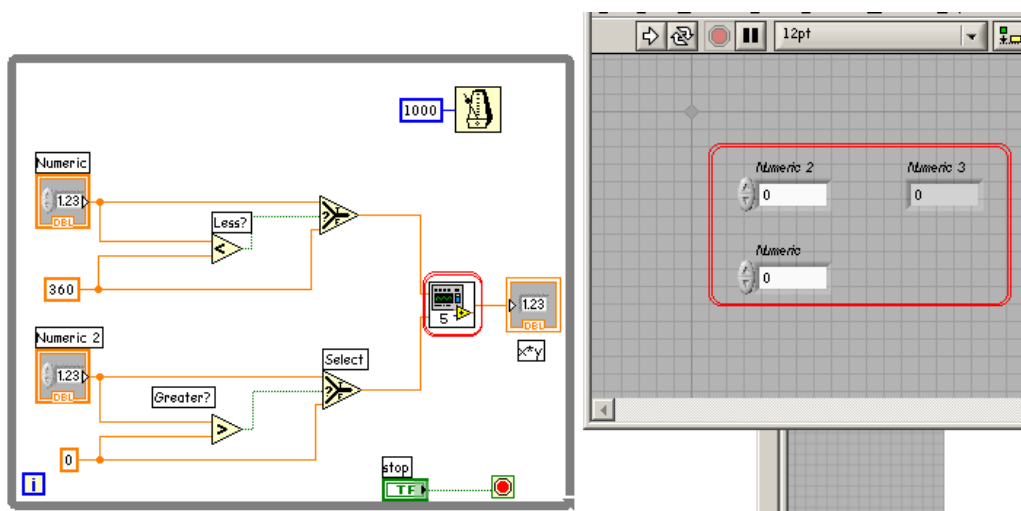


Figura 33 - Presentación final del diagrama de bloques, con el subVI.

Para editar el icono se selecciona con el botón derecho del mouse en el icono del panel frontal y se selecciona '**Edit Icon**'. En este editor se puede dibujar el ícono deseado.

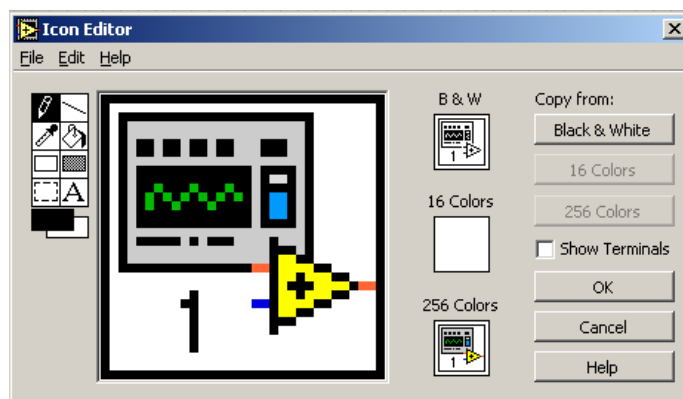
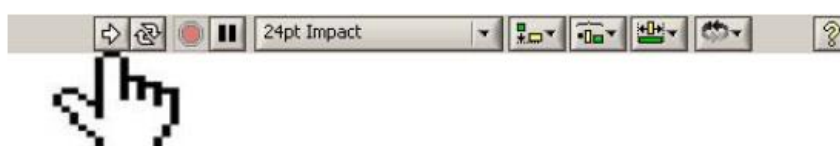


Figura 34 - Opciones de edición de íconos.

5.2.10 ¿Cómo ejecutar un VI?

Al haber finalizado la programación del VI y viendo que no existe error, se puede ejecutar. Para ello, debemos situarnos en el panel frontal y pulsar el botón Run ubicado en la barra de herramientas.



Run: ejecución



Stop: finaliza la ejecución.



Continuamente Run: ejecución continua



Pausa: detención del programa.



Error

Figura 35 – Ejecución de un VI.

Si existe error, se puede pulsar el mismo botón de Run y nos muestra el tipo de error que se está cometiendo (líneas rotas, conexiones malas, etc.).

Según la necesidad del programador, este puede colocar un botón de stop en el panel frontal de su VI, cuya pulsación provoque una interrupción en el bucle de ejecución de la aplicación.

Con todo lo anterior se procede a dar un pequeño ejemplo sobre la operabilidad de funciones, en este caso funciones lógicas.

Ejemplo:

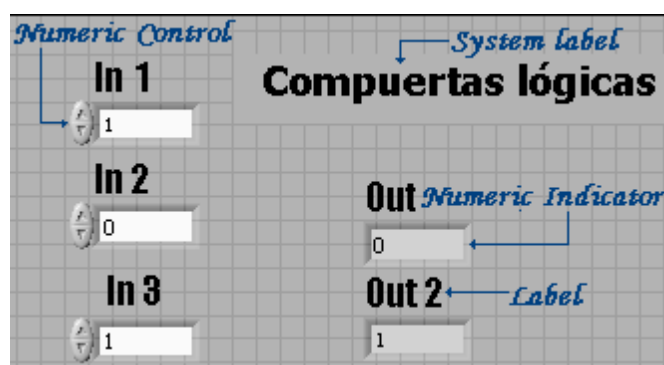


Figura 36 – Panel control Compuertas Lógicas.

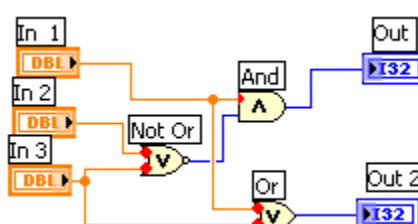


Figura 37 – Diagrama de bloques Compuertas Lógicas.

Observación 1: Los controles e indicadores numéricos y etiqueta del sistema (ver Figura 13) los encontramos en la paleta de controles. Las compuertas lógicas (ver Figura 14) las encontramos en la paleta de funciones. Para insertar los controles e indicadores en el panel frontal o diagrama de bloques se selecciona el elemento y se arrastra con el mouse hasta su posición final.

Dependiendo de la aplicación procedemos a unir los elementos con ayuda de la paleta herramientas (ver Figura 14), en particular hacemos uso de la herramienta *Connect Wire* cuyo icono es un carretel.



Figura 38 – Diagrama de bloques Compuertas Lógicas.

Observación 2: Al presionar el botón de *Run Continuously* el programa se ejecuta continuamente, y así el usuario puede cambiar los valores de los controles para realizar otras combinaciones lógicas sin parar el programa. Para detenerlo se debe volver a presionar el botón *Run Continuously* o presionando el botón de stop.

Observación 3: Para guardar el programa, nos dirigimos a la barra de herramientas **File»Save**, aparecerá un cuadro de diálogo donde se debe especificar la dirección donde se desea guardar el programa, el nombre del programa y la extensión (si no se especifica la extensión LabVIEW automáticamente le agrega la extensión .VI) [18]

5.3 EJEMPLOS DE INSTRUMENTOS VIRTUALES COMERCIALES

5.3.1 Desarrollo de una plataforma completa de análisis de calidad de energía utilizando NI CompactRIO

Un analizador de calidad de energía típico analiza 3 señales de voltaje de la red para determinar su calidad, según estándares internacionales. La calidad del voltaje suministrado se describe por la frecuencia, la variación de su nivel, oscilación (flicker), desbalanceo de sistema trifásico, espectro armónico, THD e intensidad de la señal. En algunos casos es necesario analizar las señales de corriente junto a las de voltaje, lo que permite el análisis de otros parámetros y el cálculo indirecto de variables como la potencia activa y reactiva.

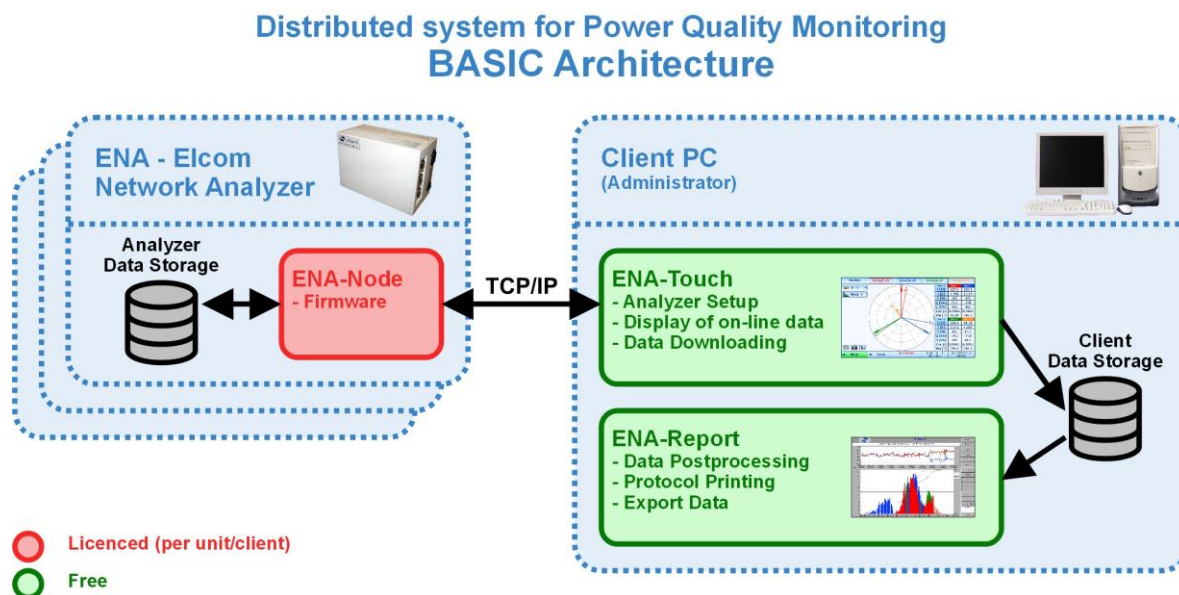


Figura 39 – Transmisión y monitoreo de calidad de energía eléctrica

El sistema ENA (ELCOM Network Analyzer) combina hardware y software para análisis de calidad de energía y representa un sistema modular complejo para monitoreo, cumpliendo con los principales estándares internacionales y otros específicos por nación.

Capacidades de Medición

- Analizador FFT.
- Analizador de vectores.
- Monitor de flujo de energía.
- Medidor de oscilaciones (*flickermeter*).
- Monitor de voltaje EN50160.
- Monitor RMS de medio periodo.
- Alarmas y avisos de voltaje.
- Entradas digitales.

Todos los módulos de firmware funcionan para sistemas de 50 o 60Hz. Los usuarios pueden observar los datos en pantalla y almacenarlos en archivos. Los instrumentos funcionan a una misma velocidad de muestreo de 9.6kS/s por canal, que está sincronizada con la frecuencia de las señales medidas. Los algoritmos implementados siguen los requerimientos de estándares de calidad de energía como IEC61000-4-30, IEC61000-4-15 y IEC61000-4-7.

El software analiza tres señales de voltaje y tres valores instantáneos de corriente de la red para calcular variables como valores RMS, frecuencia, espectro armónico, distorsión armónica total (THD), flicker, desbalanceo de sistema trifásico, potencia activa y reactiva, entre otras. Las corrientes hasta 5 A pueden ser medidas directamente en el módulo NI 9227, o a través de pinzas de corriente utilizando el ELCOM EL9215I-R1.

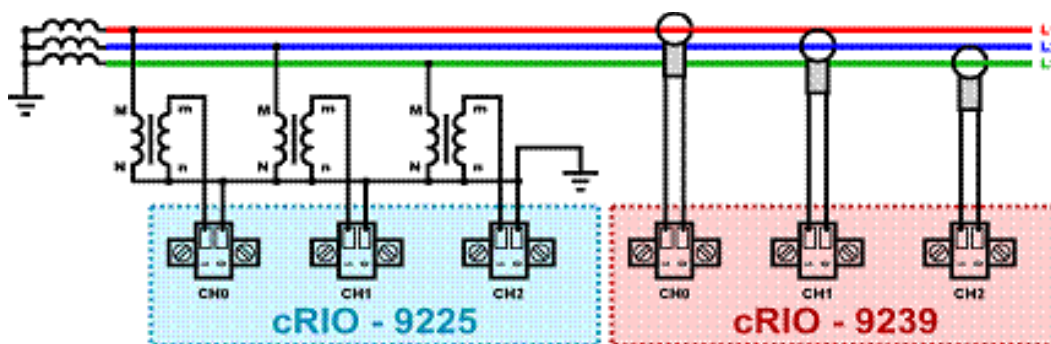


Figura 40 – Diagrama de cableado del ENA450– Cómo conectarlo a las líneas de energía



Figura 41 – ELCOM Power Quality Analyzer - ENA450.NC



Figura 42 – Solución llave en mano basada en RIO – ENA460

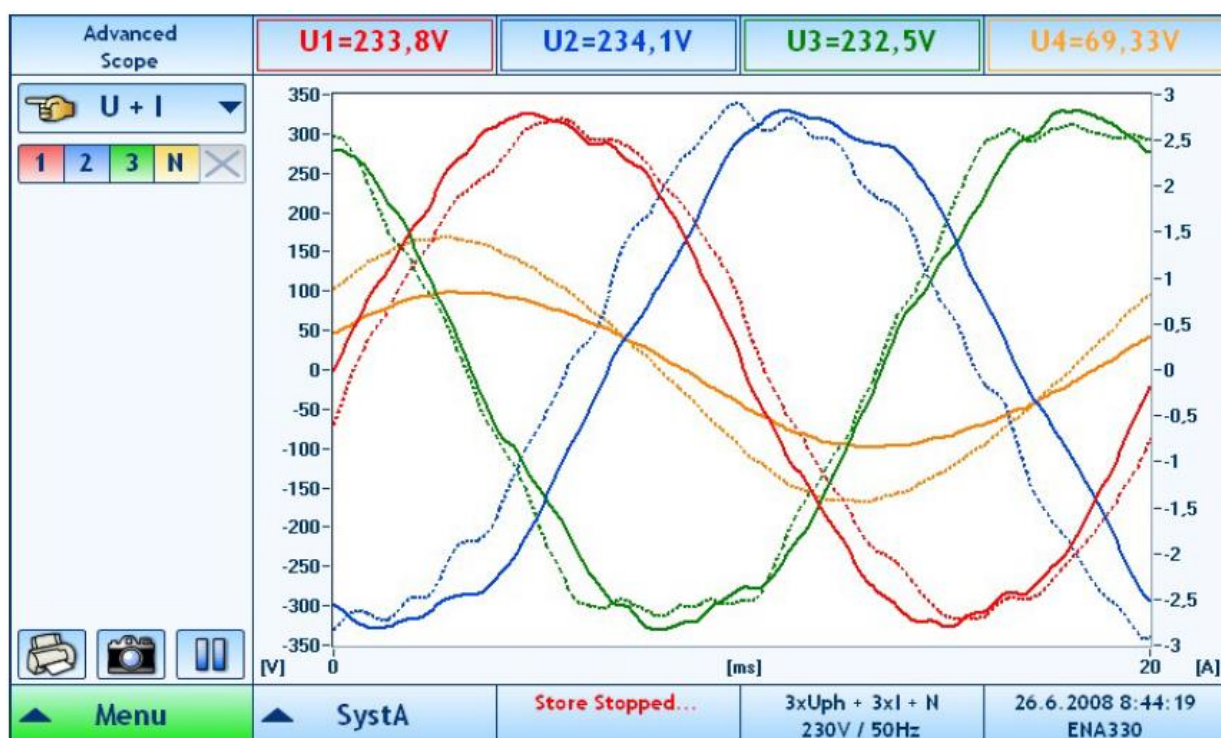


Figura 43 – Ejemplo de pantalla del ENA-Touch – Osciloscopio.

Advanced Table	U1=225,6V	U2=230,7V	U3=225,7V	U4=67,84V	
Define	Avg [V]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase N
Custom 2	U RMS	225,6	231,2	227,5	68,06
	Avg [%]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase N
	THD U	4,663	2,990	5,586	4,624
	Avg [A]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase N
	I RMS	1,859	1,985	1,978	0,9819
	Avg [W]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase N
	P	412,3	431,1	444,6	65,81
	Avg [VAr]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase N
	Q	76,33	-157,9	-69,16	-11,62
	Avg [Wh]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase N
	AP	965,8	959,9	1,027k	152,6
	Avg [V]	Total	Positive	Negative	Zero
	Symm. U	228,1	227,9	8,059	6,413
	Avg [%]	Neg/Pos	Zero/Pos		
	Unb. U	3,536	2,814		
	Avg [V]	Total	Positive	Negative	Zero
	Symm. U1	227,9	227,9	2,114	1,331
	Min [Hz]				
	f				49,99
Menu	SystA	Store Stopped...	3xUph + 3xI + N 230V / 50Hz	25.6.2008 16:41:40	ENA330

Figura 44 – Ejemplo de pantalla del ENA-Touch – Tablas

5.3.2 Osciloscopio Multifunción LabVIEW para Media Tensión

El osciloscopio multifunción para el ensayo de equipamiento de Media tensión está formado por el chasis PXI-1042 que cuenta con el controlador PXI-PCI-8336 y el kit de control remoto MXI-4 por fibra óptica, cuatro digitalizadores de alta velocidad PXI-5122, la tarjeta de salida analógica de alta velocidad PXI-6711, la tarjeta multifunción de E/S de bajo coste PXI-6221 y la tarjeta medidora de temperatura y tensión PXI-4351.

Los digitalizadores PXI-5122 disponen de dos canales de muestreo simultáneo a 100MS/s con 14 bits de resolución. Estos digitalizadores permiten la adquisición de datos en modo continuo, evitando así la pérdida de datos durante el ensayo. Cada canal puede ser configurado independientemente (atenuación, impedancia de entrada, etc.) así haciendo frente a diferentes tipos de mediciones desde tensiones de conmutación de convertidores a varios KHz, como mediciones de corriente a frecuencia de red. Los digitalizadores han sido programados mediante el driver “NI-SCOPE” permitiendo así una configuración sencilla y de alto nivel. La librería “NI-TCk” permite la sincronización de los diferentes digitalizadores para así conseguir las adquisiciones en el mismo instante de tiempo. La tarjeta maestra que sincroniza el disparo debe estar colocada en la ranura número 2 del chasis PXI-1042.

El kit PXI-PCI-8336 permite ampliar el bus PCI de la PC mediante una comunicación MXI-4 de 78 MB/s mediante transmisión de fibra óptica de hasta 200 m de distancia. El aislamiento proporcionado por la fibra óptica permite garantizar el aislamiento eléctrico y da robustez ante la alta contaminación electromagnética emitida por los equipos de electrónica de potencia. La velocidad de 78 MB/s de transferencia nos da la capacidad de transmitir todos los datos adquiridos mediante los digitalizadores sin pérdida de datos. Si se utilizan los 8 canales disponibles de los digitalizadores en captura continua, y no se quiere perder ningún dato de las capturas se tiene una velocidad de muestreo máxima de 5 MS/s para los digitalizadores.

La tarjeta PXI-4351 permite analizar la variación térmica de los radiadores, semiconductores, cargas durante el ensayo del equipo. Esta tarjeta dispone del Driver “Traditional NI-DAQ” que facilita la programación de la tarjeta.

La tarjeta PXI-6211 permite la implementación de elementos de seguridad como pueden ser activación/desactivación de interruptores, activación de alarmas, etc. Mediante el driver “NI-DAQmx”.

Todas las tarjetas han sido configuradas desde LabVIEW creando un Front Panel capaz de competir con cualquier osciloscopio. (Figura 46)



Figura 45 – Equipamiento PXI- MXI-4 y PXI-RT de MGEP para Media Tensión.

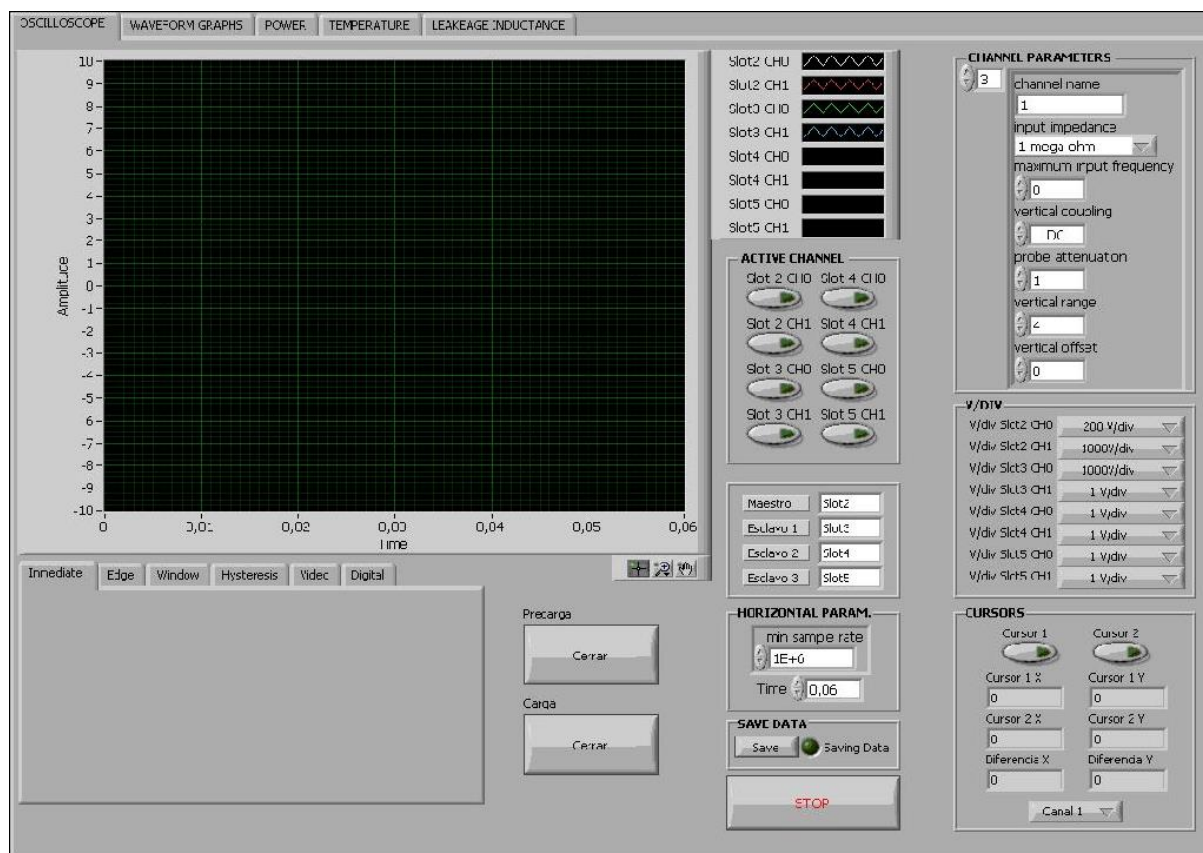


Figura 46 – Pantalla principal del osciloscopio realizado para Media Tensión.

CAPÍTULO VI

DESARROLLO DEL INSTRUMENTO PROPIO

6 CAPÍTULO VI: DESARROLLO DEL INSTRUMENTO PROPIO

En este capítulo se describe el instrumento virtual desarrollado durante la investigación.

Para cumplir con los objetivos proyectados al inicio del proyecto se planteó que el equipo a construir tuviera las siguientes características técnicas:

- Trifásico, capaz de medir las tres tensiones de fase (de 220V nominal) y tres corrientes.
- Con pinzas sensores de corriente que permitan medir intensidades sin requerir interrumpir un circuito para conectar transformadores de medida.
- Capaz de medir distintos rangos de corriente.
- Portátil, económico y lo más simple posible.
- Con comunicación inalámbrica a una computadora personal, que permita instalar la misma a cierta distancia del punto de medición.

En base a lo anterior se seleccionó un sistema de comunicación inalámbrico, una placa de adquisición, sensores y acondicionadores como sigue.

6.1 ELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO

El desarrollo comenzó con la elección del sistema de comunicación inalámbrica. Se encontró que uno de los métodos más sencillos y económicos para realizar un enlace inalámbrico entre la PC y el dispositivo de adquisición es por radio frecuencia, existiendo módulos denominados “XBee” o “Zigbee” que tienen salida a RS232.

Otros sistemas basados en el protocolo TCP/IP o Bluetooth resultaban posibles, pero implicaban profundizar en aspectos de programación que exceden las incumbencias de un ingeniero electricista.

Con el uso de estos dispositivos de radio frecuencia, el sistema de comunicación inalámbrica quedó resuelto de la siguiente manera:

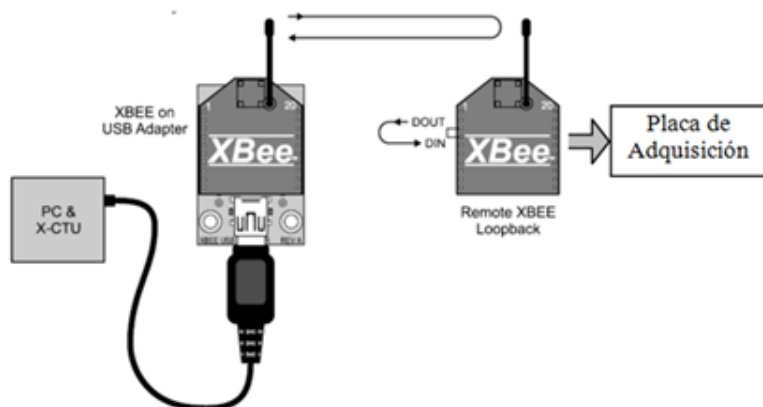


Figura 47 – Sistema de comunicación inalámbrica implementado.

- Un adaptador usb a zócalo XBee permite, junto con el driver correspondiente, emular un puerto serie a partir de un puerto USB, y generar la tensión necesaria para la conexión de un módulo XBee.
- Los dos módulos XBee configurados a la máxima velocidad de comunicación forman el enlace inalámbrico.
- Un acondicionador XBee a TTL permite acceder a una placa de adquisición comunicada a la PC vía RS232.
- Una placa de adquisición con salida a RS232 permite la toma de datos.

6.1.1 Introducción a los módulos Zigbee

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Creado por Zigbee Alliance, una organización, teóricamente sin ánimo de lucro, de más de 200 grandes empresas (destacan Mitsubishi, Honeywell, Philips, _ODEM_ do, Invensys, entre otras), muchas de ellas fabricantes de semiconductores. Zigbee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y, sobre todo, domóticos.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc.) El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente (tomando como ejemplo el caso de MaxStream, en la versión de 1mW de potencia) de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 250 kbps. Una red Zigbee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos.

Entre las necesidades que satisface el módulo se encuentran:

- Bajo costo.
- Ultra-bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- Instalación barata y simple.
- Redes flexibles y extensibles.

Características del equipo adquirido

Performance	
Indoor/Urban Range	Up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output (software selectable)	60 mW (18 dBm) conducted, 100 mW (20 dBm) EIRP*
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	If PL=0 (10dBm): 137mA(@3.3V), 139mA(@3.0V) PL=1 (12dBm): 155mA (@3.3V), 153mA(@3.0V) PL=2 (14dBm): 170mA (@3.3V), 171mA(@3.0V) PL=3 (16dBm): 188mA (@3.3V), 195mA(@3.0V) PL=4 (18dBm): 215mA (@3.3V), 227mA(@3.0V)
Idle / Receive Current (typical)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A
General	
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz
Dimensions	2.438cm x 3.294cm
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector

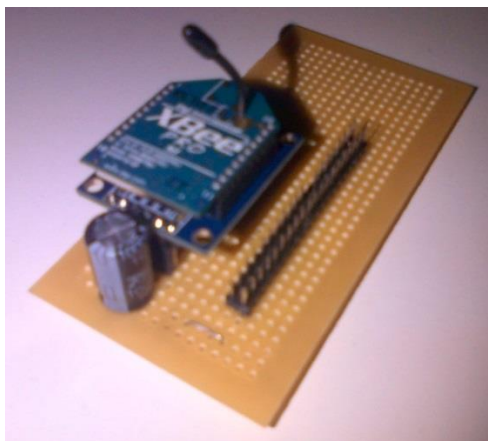


Figura 48 – Módulo XBEE Pro y circuito acondicionador utilizado.

6.1.2 Ajuste de la velocidad de comunicación entre módulos Zigbee

La comunicación entre módulos Zigbee puede configurarse con el programa X-CTU. Conectando dicho módulo al zócalo usb y presionando el botón “test” se puede ver que por defecto vienen configurados en 9600 baud.

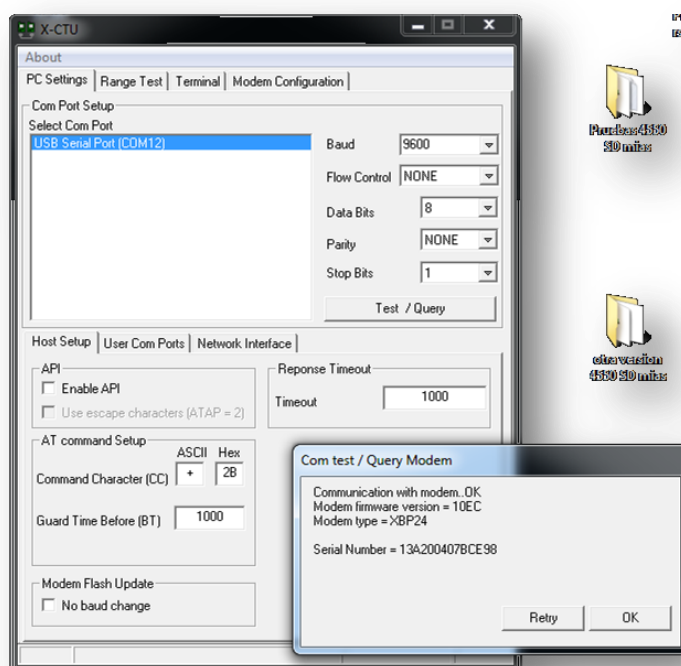


Figura 49 – Opción “Test” para observar la configuración del módulo.

En la pantalla “PC Setting” se puede cambiar la velocidad, eligiendo en la opción modem XBEE el tipo XB24. Para nuestro caso se configuró la velocidad al máximo admisible por el equipo (115200 baud). Una vez elegida la nueva velocidad en data rate se presiona “Write” para cargar la nueva configuración.

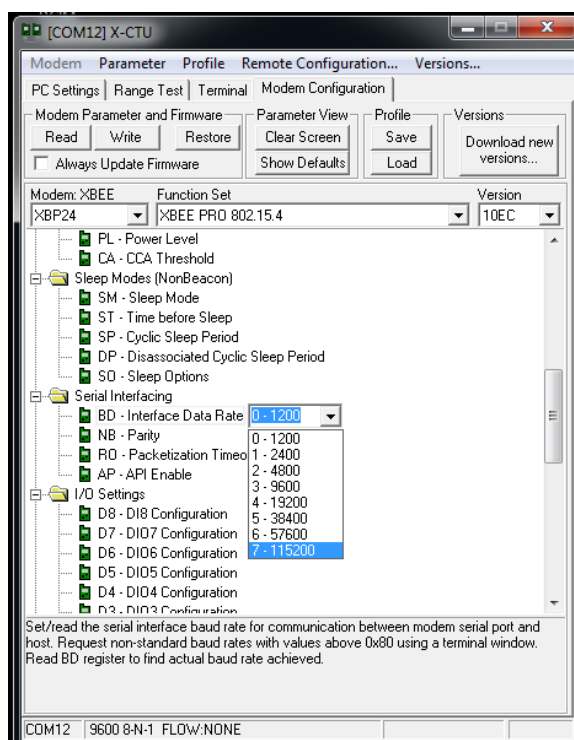


Figura 50 – Configuración de velocidad del módulo.

Luego volviendo a la pestaña PC settings se puede verificar si el cambio fue exitoso, resultando lo siguiente:

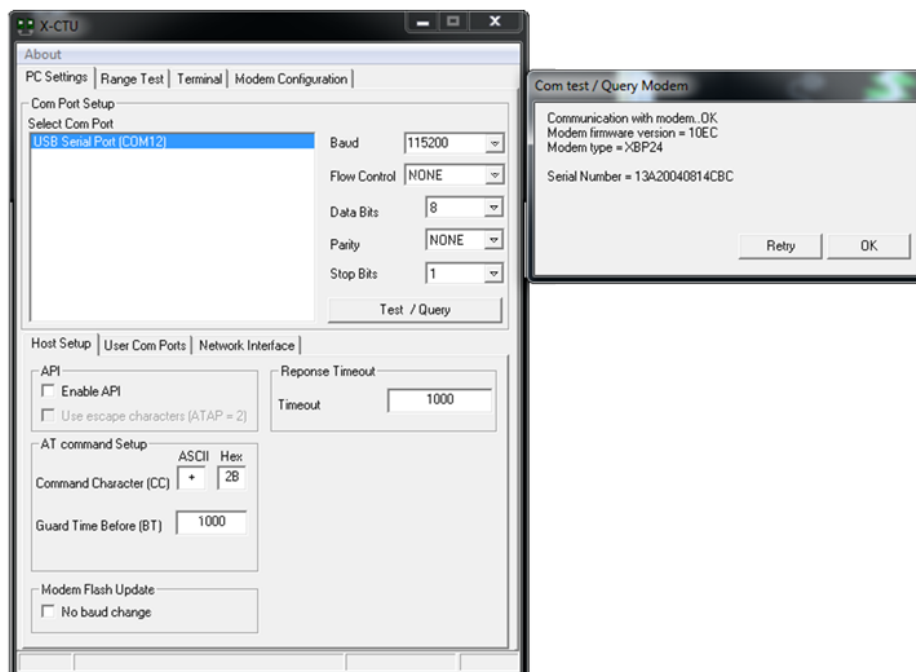


Figura 51 – Verificación de seteo.

Este procedimiento se repite para los dos módulos XBEE, con los cual quedan configurados a la máxima velocidad posible.

6.2 ELECCIÓN DE LA PLACA DE ADQUISICIÓN.

Como el Laboratorio de Medidas Eléctricas no cuenta con una placa de adquisición de datos comercial con salida a RS232 se decidió utilizar un microcontrolador PIC18F4550 para este fin, ya que posee la cantidad de entradas analógicas necesarias para la aplicación deseada, salida RS232 para comunicación y USB para programación mediante el auxilio de un programa bootloader.

Se encontró en el mercado una placa construida con este PIC a un costo razonable, perteneciente a la empresa MCElectronics, por lo cual se decidió su compra y utilización. Se trata del modelo MCE Starter KIT USB.

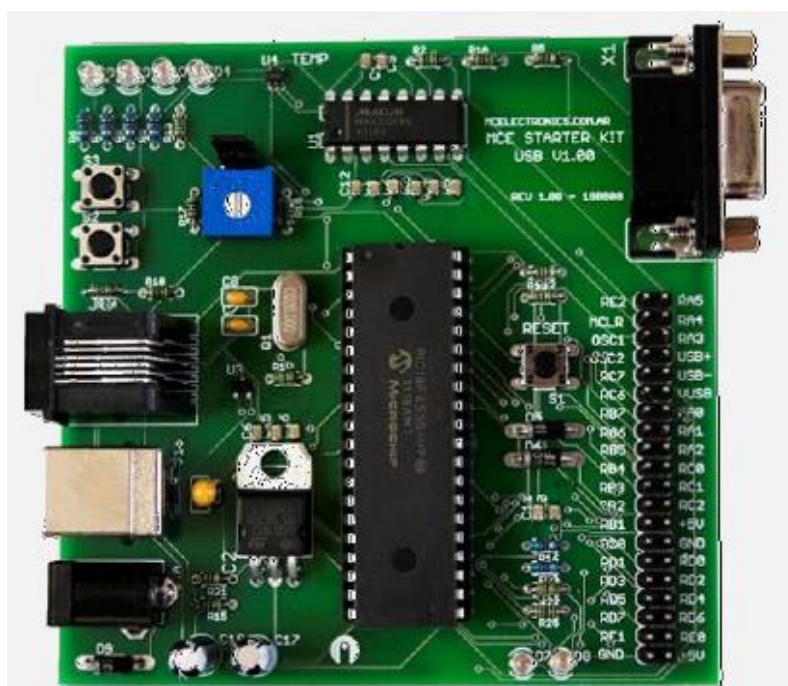


Figura 52 – Placa de adquisición utilizada.

6.2.1 Programación de la placa de adquisición con PIC18F4550

El microcontrolador PIC18F4550 fue reprogramado en C para muestrear seis canales analógicos en 10 bits (donde se aplican las tres tensiones y las tres corrientes de fase previamente acondicionadas) y enviar a la PC vía RS232 las muestras adquiridas a través del módulo inalámbrico.

Se analizaron dos maneras de realizar la tarea, que brevemente comentamos aquí.

Método de adquisición 1: En principio se evaluó crear un buffer de datos dentro de la memoria RAM del microcontrolador y realizar el envío de ese buffer una vez que estuviera completo. Este método implica que luego de realizar la adquisición las muestras se envían y no se vuelve a adquirir hasta que esto se complete. Este

método tiene la desventaja de que hay instantes en los cuales no se mide porque el microcontrolador se encuentra ocupado enviando el buffer de datos a la PC.

Método de adquisición 2: Posteriormente se evaluó no crear un buffer sino adquirir una muestra de cada canal e inmediatamente enviarlas a la PC antes de volver a tomar otras nuevas muestras. Este método implica aprovechar el intervalo de tiempo entre muestra y muestra de un mismo canal para enviar los datos, de manera que la adquisición no se detiene nunca, siempre se está midiendo y enviando datos a la PC. La desventaja de este método es que la velocidad de muestreo debe ser tal que la cantidad de datos tomados por segundo se pueda enviar en ese segundo, lo que hace disminuir la frecuencia de muestreo a un valor compatible con la velocidad de transferencia de datos del módulo inalámbrico.

Las pruebas realizadas con el método de adquisición 1 demostraron que la memoria RAM del microcontrolador nos permitió crear un buffer de 150 muestras en cada canal, lo que hace un total de 900 muestras que pueden ser enviadas en cada adquisición. Esto implica que se puede tomar por ejemplo una muestra cada 0,5 ms en cada canal (frecuencia de muestreo 2 ksample/s) hasta llenar el buffer, lo que hace que se puedan reconstruir 75 ms de cada señal de tensión o corriente (tres ciclos y medio en una señal de 50Hz). Si se tiene en cuenta el teorema de Nyquist-Shannon, esta velocidad de muestreo permitiría detectar armónicos de 1000 Hz (orden 20º para una frecuencia fundamental de 50Hz).

Las pruebas realizadas con el método de adquisición 2 demostraron que para una velocidad de comunicación de 115200 baudios, se puede muestrear cada canal a 1 ksample/s, lo que implica que según el teorema de Nyquist-Shannon, esta velocidad de muestreo permitiría detectar armónicos de 500 Hz (orden 10º para una frecuencia fundamental de 50Hz).

En base a lo anterior, se decidió programar el microcontrolador para poder realizar los dos métodos de adquisición, y que el usuario decida cuál de ellos se ajusta mejor a sus necesidades. El método 1 permitiría reproducir más “fielmente” las formas de onda de las tensiones o corrientes, pero el método 2 permitiría detectar micro cortes o interrupciones que se produzcan al no detener en ningún momento la toma de datos y poder observar en pantalla todos los ciclos de las señales medidas.

6.2.1.1 Uso de la interrupción CCP1 para lograr la frecuencia de muestreo deseada

Para lograr la frecuencia de muestreo deseada (2 ksample/s para el método 1 y 1 ksample/s para el método 2) se utilizó la herramienta interrupción CCP1 (#int_ccp1) admitida por el microcontrolador PIC18F4550 [19].

Como es sabido, una interrupción es código que se ejecuta cuando se cumple cierta condición que lo “dispara”. Para el caso de la interrupción CCP1 la condición

que la dispara es el estado del Timer1; uno de los temporizadores/contadores internos con los que cuenta el PIC18F4550.

El Timer1 es un contador que puede contar hasta 65535 pulsos de una señal de reloj cuya frecuencia se fija previamente, lo que lo transforma en un temporizador. Esta frecuencia resulta de la división de la frecuencia del reloj principal (48 MHz) por 1, 2, 4 u 8, y así se pueden obtener distintas resoluciones de tiempo. Para nuestro caso se decidió utilizar un divisor por 2 con lo que la resolución “R” de tiempo vale:

$$R = \frac{4}{F_{osc}} \text{ Divisor} = \frac{4}{48\text{MHz}} 2 \cong 0,1666\mu\text{s}$$

Para lograr una tasa de muestreo de 2000 muestras/segundo debe tomar una muestra cada 0,5ms, por lo que se deberán contar los siguientes “N” pulsos:

$$N \times 0,1666\mu\text{s} = 0,5\text{ms} \Rightarrow N = \frac{500\mu\text{s}}{0,1666\mu\text{s}} \cong 3000$$

De la misma manera, para lograr una tasa de muestreo de 1000 muestras/segundo debe tomar una muestra cada 1ms, por lo que se deberán contar los siguientes “N” pulsos:

$$N \times 0,1666\mu\text{s} = 1\text{ms} \Rightarrow N = \frac{1000\mu\text{s}}{0,1666\mu\text{s}} \cong 6000$$

Por lo anterior, como se ve en programa de la figura 56, cargando la variable CCP1=3000 o CCP1=6000 cada vez que el Timer1 llegue a esa cantidad habrá pasado 0,5 ms o 1ms respectivamente, y se ejecutará la interrupción en la cual se realiza la lectura de los valores de las 6 entradas analógicas a la tasa de muestreo deseada.

A continuación se explica cómo se utiliza esta interrupción para lograr los dos métodos de adquisición propuestos.

6.2.1.2 Código de Programación

La Figura 56 muestra el código programado para esta aplicación (realizado con el programa PCW).

El programa básicamente consiste en un ciclo While que se repite indefinidamente [20], en el cual se espera recibir algún carácter desde la PC para iniciar algún proceso.

Si se recibe el carácter “A” proveniente desde la PC se realiza la adquisición por el método 1.

Si se recibe el carácter “B” proveniente desde la PC se realiza la adquisición por el método 2.

Si se recibe el carácter “S” proveniente desde la PC se detiene la adquisición que esté en curso.

Si se recibe el carácter “T” proveniente desde la PC se mide la temperatura aprovechando que la placa adquirida dispone de un sensor para tal fin.

6.2.1.3 Adquisición y envío de datos por el método de adquisición 1

Como se ve en la figura 56 al recibir el carácter “A” se ingresa en el “if” correspondiente, se accionan dos salidas digitales desde la PC cuya función veremos luego, se le asigna a la variable “modo” el valor 1 y se dispara la interrupción CCP1 con un valor de 3000 pulsos a contar.

Al estar la variable “modo” en 1 la interrupción CCP1 toma el valor de 6 entradas analógicas y las acumula en el buffer hasta llegar a 150 valores. En ese momento se detiene la adquisición y se envían los datos tomados, reiniciándose el proceso a menos que se detenga con el carácter “S”.

Para transmitir el estado de los 6 canales analógicos en 10 bit se envían 8 bytes. Los primeros 6 bytes contienen los 8 bit menos significativos de cada canal, y los 2 bytes restantes se arman con los 2 bit más significativos de cada canal en distintas posiciones. Este proceso se repite 150 veces dentro de un ciclo “for”.

Para asegurar que las muestras enviadas a la PC sean interpretadas correctamente se ha programado un código de verificación compuesto por una secuencia de caracteres (en este caso 255, 255, 0, 0, 255, 255, 0, 0) que se envía al final del ciclo “for”. Su función es para corroborar que la transmisión de datos ha llegado a su fin y ha sido correcta como veremos luego.

También se envía la variable “rango” y la variable “temperatura”.

Con este método se envía a la PC un conjunto de 1215 bits, donde los 1200 primeros (150 x 8) contienen los datos adquiridos, el siguiente el rango, los 8 siguientes el código de verificación y los 5 restantes la temperatura. La figura 53, 54 y 55 ilustran lo comentado.

6.2.1.4 Adquisición y envío de datos por el método de adquisición 2

Como se ve en la Figura 56 al recibir el carácter “B” se ingresa en el “if” correspondiente, se accionan dos salidas digitales desde la PC cuya función veremos luego, se le asigna a la variable “modo” el valor 0 y se dispara la interrupción CCP1 con un valor de 6000 pulsos a contar.

Al estar la variable “modo” en 0 la interrupción CCP1 toma el valor de 6 entradas analógicas y las envía sin entrar en ningún ciclo “for”, no deteniéndose la adquisición a menos que se reciba el carácter “S”.

Para asegurar que las muestras enviadas a la PC sean interpretadas correctamente se ha programado un contador que incrementa su valor en cada interrupción hasta llegar a 1000. Cuando esto sucede el contador se resetea y se envía el código de verificación compuesto por una secuencia de caracteres (en este caso 255, 255, 0, 0, 255, 255, 0, 0) como se ve también en la Figura 55.

También se envía la variable “rango” y la variable “temperatura”.

Con este método, cada segundo se envía a la PC un conjunto de 8015 bytes, donde los 8000 primeros (1000 x 8) contienen los datos adquiridos, el siguiente, el rango, los 8 siguientes el código de verificación y los 5 restantes la temperatura.

En la Figura 53 se puede observar la forma de envío de los datos de las tensiones de fase a la PC. Para aprovechar la cantidad de datos disponibles y teniendo en cuenta que cada canal tiene una resolución de 10 bits, se envían los 8 bits menos significativos de cada canal de tensión por un lado, y los dos bits más significativos de cada canal se envían en un vector llamado “ENVIA 0”. Luego mediante software se rearma cada vector de tensión. Esta forma de envío de datos se repite para las corrientes (Figura 54). En la figura 55 se puede observar los 8 bits que corresponden al código de verificación proveniente del PIC.

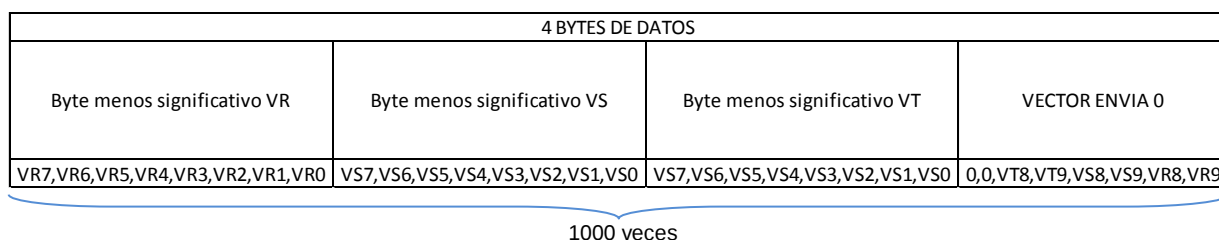


Figura 53 - Estructura de la información enviada desde el PIC a la PC (Canales de Tensión).

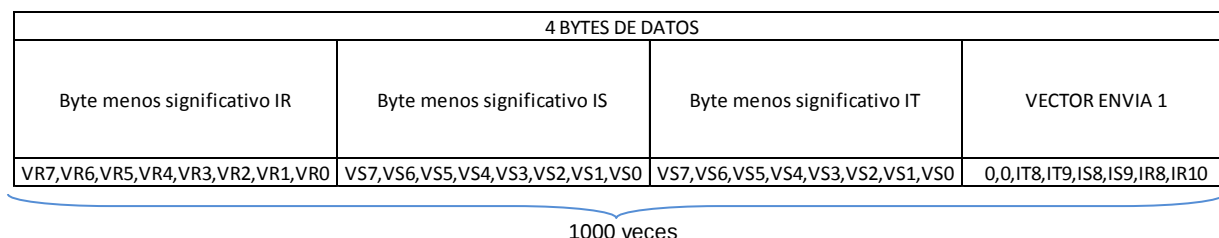


Figura 54 - Estructura de la información enviada desde el PIC a la PC (Canales de Corriente).

Código de verificación							
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
11111111	11111111	0	0	11111111	11111111	0	0

1 vez

Figura 55 - Estructura de la información enviada desde el PIC a la PC (Código de verificación).

6.2.1.5 Código realizado en el programa CCS

```
#include <18F4550.h>
#DEVICE ADC=10
#include <usb_bootloader.h>
#fuses HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGEN
#use delay(clock=48000000)
#use rs232(baud=115200, xmit=PIN_A2, rcv=PIN_B4)
#use i2c(master, SDA=PIN_B6, SCL=PIN_B7)
//declaramos variables globales
char c;
unsigned int16 auxiliar[6],envia[2],V_VR[150],V_VS[150],V_VT[150],V_IR[150],V_IS[150],V_IT[150];
int16 contador, logica,Templ=0,TempH=0;
int8 t,i,rango,rangoaux,modo;
unsigned int16 D_VR,D_VS,D_VT,D_IR,D_IS,D_IT;
signed int16 Temp16Bits=0;
float temperatura,decimales=0,enteros=0;
int1 D2,D3, banderanegativo=0;

//////// Función que lee la temperatura  //////////
float get_temp()
{
    output_low(CS);
    TempH=spi_read(0); //obtenemos el Temp alto del registro
    Templ=spi_read(0); //obtenemos el Temp bajo del registro
    output_high(CS);
    Temp16Bits=make16(TempH,Templ); //convertimos a 16Bits
    banderanegativo=0;
    if (Temp16Bits<0) {
        banderanegativo=1;
        Temp16Bits=~Temp16Bits+8;
    } // si es negativo lo complementamos a 2 y le sumamos 8
    Temp16Bits=Temp16Bits>>3; // descartamos los 3 bits menos significativos
    decimales=(float)(Temp16Bits&0b0000000000001111)*0.0625; //damos formato a los decimales
    enteros=(float)(Temp16Bits>>4); // damos formato a los enteros, solo descartando los decimales
    if (banderanegativo) {
        temperatura=-1*(enteros+decimales);
    }
    else {
        temperatura=(enteros+decimales);
    }
    return(Temperatura);
}

//////// Fin de la función temperatura  //////////

//////// inicio de la interrupción CCP1  //////////
//////// toma y envío de datos a PC  //////////
```

```
#int_ccp1
void isr()
{
    set_adc_channel(0);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_us(5);
    V_VR[i]=read_adc();

    set_adc_channel(6);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_us(5);
    V_IR[i]=read_adc();

    set_adc_channel(9);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_us(5);
    V_VS[i]=read_adc();

    set_adc_channel(7);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_us(5);
    V_IS[i]=read_adc();

    set_adc_channel(5);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_us(5);
    V_VT[i]=read_adc();

    set_adc_channel(4);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_us(5);
    V_IT[i]=read_adc();

    if (modo==0){ // Método de adquisición 2
        auxiliar[0]=(V_VR[0]&0xFF00)>>8;
        auxiliar[1]=(V_VS[0]&0xFF00)>>6;
        auxiliar[2]=(V_VT[0]&0xFF00)>>4;
        auxiliar[3]=(V_IR[0]&0xFF00)>>8;
        auxiliar[4]=(V_IS[0]&0xFF00)>>6;
        auxiliar[5]=(V_IT[0]&0xFF00)>>4;
        printf("%c%c%c%c%c%c%c",V_VR[0],V_VS[0],V_VT[0],V_IR[0],V_IS[0],V_IT[0]);
        envia[0]=auxiliar[0]|auxiliar[1]|auxiliar[2];
        envia[1]=auxiliar[3]|auxiliar[4]|auxiliar[5];
        printf("%c%c",envia[0],envia[1]);
        i=0;
        contador=contador+1;
        if (contador==1000){
            contador=0;
            printf("%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c\n",rango,255,255,0,0,255,255,0,0); // código de
verificación y rangol
            temperatura=get_temp();
            printf("%3.2f",temperatura);
        }
    }

    if (modo==1){ // Método de adquisición 1
        i=i+1;
```

```
        if (i==149){
            disable_interrupts(INT_CCP1);
            for (t=0; t<150; t++){
                auxiliar[0]=(V_VR[t]&0xFF00)>>8;
                auxiliar[1]=(V_VS[t]&0xFF00)>>6;
                auxiliar[2]=(V_VT[t]&0xFF00)>>4;
                auxiliar[3]=(V_IR[t]&0xFF00)>>8;
                auxiliar[4]=(V_IS[t]&0xFF00)>>6;
                auxiliar[5]=(V_IT[t]&0xFF00)>>4;
                printf("%c%c%c%c%c%c%c",V_VR[t],V_VS[t],V_VT[t],V_IR[t],V_IS[t],V_IT[t]);
                envia[0]=auxiliar[0]|auxiliar[1]|auxiliar[2];
                envia[1]=auxiliar[3]|auxiliar[4]|auxiliar[5];
                printf("%c%c",envia[0],envia[1]);
            }
            printf("%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c\n",rango,255,255,0,0,255,255,0,0); // código de verificación
y rango
            temperatura=get_temp();
            printf("%.2f",temperatura);
            i=0;
            enable_interrupts(INT_CCP1);
        }
    }
}
/////   Fin de la interrupción CCP1   /////

void main(void)
{
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN9|VSS_VDD);
    setup_adc(adc_clock_div_16|0x10);
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_2);
    setup_ccp1(CCP_COMPARE_RESET_TIMER);
    CCP_1=6000;
    // enable_interrupts(INT_CCP1);
    disable_interrupts(INT_CCP1);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    setup_spi(spi_MASTER | spi_L_to_H | spi_clk_div_16| SPI_XMIT_L_TO_H);

    contador=0;
    logica=1;
    modo=0;

    while (TRUE) //bucle principal
    {
        if (kbhit()) {
            c=getc();

            if (c=='A') //Dispara el método de adquisición 1
            {
                rango=getc();
                rangoaux=rango;
                D2=rangoaux;
                D3=rangoaux>>1;
                output_bit(PIN_D2,D2);
                output_bit(PIN_D3,D3);
                modo=1;
                i=0;
                CCP_1=3000;
                enable_interrupts(INT_CCP1);
            }
        }
    }
}
```

```
}  
  
if (c=='B') //Dispara el método de adquisición 2  
{  
    rango=getc();  
    rangoaux=rango;  
    D2=rangoaux;  
    D3=rangoaux>>1;  
    output_bit(PIN_D2,D2);  
    output_bit(PIN_D3,D3);  
    contador=0;  
    modo=0;  
    i=0;  
    CCP_1=6000;  
    enable_interrupts(INT_CCP1);  
}  
  
if (c=='S') //Detiene la toma de datos  
{  
    contador=0;  
    disable_interrupts(INT_CCP1);  
}  
  
if (c=='T') // Solo envía la temperatura  
{  
    temperatura=get_temp();  
    printf("%3.2f\n",temperatura);  
}  
}  
}
```

Figura 56. Código realizado en el lenguaje “C” para programar el Microcontrolador 18F4550

6.3 ELECCIÓN DEL SENSOR PARA LA MEDICIÓN DE LAS TENSIONES

A lo largo de la investigación para el diseño del equipo se construyeron diferentes prototipos con el fin de obtener una última versión que cumpla con los objetivos planteados, es decir, en lo que refiere a esta sección, obtener un sensor de tensión con las siguientes características:

- Bajo error.
- Medición lineal.
- Que posea aislación eléctrica entre el circuito de medición y el circuito de medida.
- Pequeño (para poder lograr un instrumento portátil).
- Económico

Lo que se debe medir es una tensión, en cada fase, del rango 0-260[V] eficaz de componente fundamental de frecuencia igual a 50 Hz. El sensor debe además poseer linealidad para componentes armónicos de orden 10, por lo menos.

En base a lo anterior, se analizaron diferentes alternativas:

- La opción más simple es realizar un **divisor resistivo**, que consiste en colocar dos resistencias de valor conocido con el fin de lograr que en una de ellas caiga la mayor parte de la tensión, de esta forma se obtiene en la salida (V_{out}) una tensión proporcional a la de la entrada, que junto con el valor de las resistencias se obtiene, la tensión a la entrada (V_{in}).

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad 6-1$$

Este sistema posee el inconveniente de que no existe aislación eléctrica entre el circuito de medición y el circuito de medida, por lo que esta alternativa se rechazó por obvias razones de seguridad.

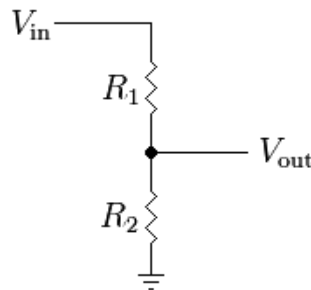


Figura 57 – Divisor de tensión.

- Otra opción analizada fue recurrir al uso de **transformadores de medición** de tensión. Esta posibilidad posee ventajas de linealidad, bajo error y aislación eléctrica del circuito de medición con el circuito de medida, pero para un instrumento portátil como el que se quiere construir, representa una desventaja tanto en el tamaño como en el peso.



Figura 58 – Transformador de medida.

- Luego se investigó acerca de dos tipos de dispositivos para realizar la medición, uno fue el amplificador aislado ISO122 que combinados a un divisor

resistivo presentan linealidad y aislación eléctrica. Otro fue un transductor LV25-400, el mismo cuenta con aislación eléctrica y cuenta con un circuito preparado para entregar una corriente proporcional a la tensión aplicada del lado de medición; de esta forma agregando una resistencia de valor conocido es posible obtener una tensión entre 0 y 5V, necesaria para el rango de adquisición de la placa utilizada.

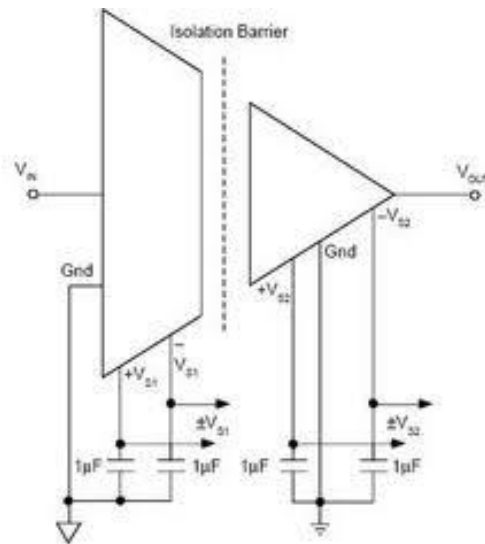


Figura 59 – Amplificador aislado ISO122

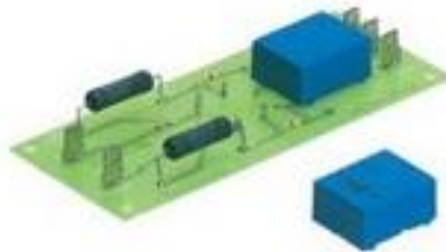


Figura 60 – Transductor LV25-400

- Otra variante y a un costo menor es emplear un fototransistor por fase con dos fuentes de alimentación, debido a su simplicidad, aceptable error y fácil obtención. En la figura 61 se muestra el fototransistor como sensor de tensión y su circuito de acondicionamiento que logra una tensión en el rango de medición del microcontrolador empleado como DAQ. Esta solución utiliza dos fuentes de 5 V con sendos transformadores para producir la aislación eléctrica del circuito de medición con el circuito de medida. Basta con colocar un transformador del lado de medición y otro del lado de medida para las tres fases ya que los diodos en inversa evitan corrientes entre líneas.

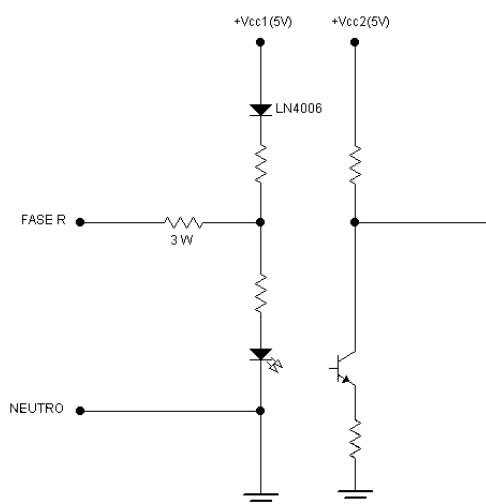


Figura 61 – Circuito necesario para la medición de tensión mediante un fototransistor

Luego del análisis y funcionamiento se llegó a la conclusión de que estos dispositivos no mantienen su linealidad a lo largo del tiempo, posiblemente por el calentamiento por lo cual se analizaron otras posibilidades.

- Como última instancia se comenzó la construcción de transformadores de medida utilizando los polos voltimétricos de un medidor trifásico. Lo que se hizo fue bobinar un secundario de 50 vueltas para generar una tensión proporcional al flujo del polo voltimétrico. De esta forma se lograron sensores de tamaño y peso relativamente bajos, buena linealidad, bajo error (instrumento clase 1) y logrando la aislación necesaria para evitar cualquier imprevisto.



Figura 62 – Detalle del transformador de medida construido

6.4 ELECCIÓN DEL SENSOR PARA LA MEDICIÓN DE LAS CORRIENTES

Lo que se debe medir es una corriente, en cada fase, del rango 0-200[A] eficaz de componente fundamental de frecuencia igual a 50 Hz. El sensor debe además poseer

linealidad para componentes armónicas de orden 15, por lo menos. En base a lo anterior, se analizaron diferentes alternativas:

- La opción más simple es recurrir al uso de transformadores de medición de corriente con convertidor incorporado de salida, y realizar un conexionado en el secundario (Figura 63) de tal manera de obtener una corriente en el rango de 0 a 20 mA o 4 a 20 mA. Luego, con una resistencia de valor conocido obtenemos una caída de tensión que puede ser medida por el PIC actuando como DAQ. Esta alternativa posee ventajas de linealidad, bajo error y aislación eléctrica del circuito de medición con el circuito de medida, pero para un instrumento portátil como el que se quiere construir presenta la desventaja de su tamaño y peso. Además, salvo que se utilicen transformadores de núcleo partido, que son más costosos, obliga a desmontar el conductor que transporta la corriente a medir para colocar el transformador de medida, por lo que esta opción fue descartada para un equipo portátil.

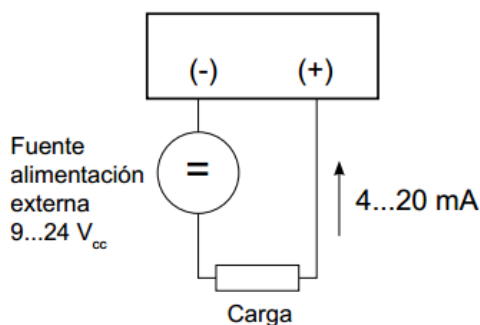


Figura 63 – Circuito utilizado para obtener un corriente proporcional a la de primario a 0...20 mA / 4...20 mA en el secundario

- Una opción analizada fue la de utilizar sensores de corriente basados en el principio de una bobina de Rogowski.
Una bobina de Rogowski es un transformador de corriente. Consiste básicamente en una bobina con nucleó de aire de forma toroidal a través de la cual se hace circular la corriente que se desea medir.
Se basa, esencialmente, en que la corriente que se pretende medir crea un campo magnético alrededor del conductor por el que circula.
Al situar la bobina rodeando este conductor, el campo magnético induce una diferencia de potencial entre los extremos de la bobina.
La bobina de Rogowski puede ser considerada como un ejemplo de las leyes de Ampere y de Faraday. La primera describe como es el campo magnético

que se crea alrededor de un conductor por que el circula una corriente. En concreto, dice que la circulación del campo magnético sobre un camino cerrado es igual a la corriente total que atraviesa cualquier superficie apoyada en la curva. Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$i = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_0^l H \cos \alpha \, dl \quad 6-2$$

Donde:

H intensidad de campo magnético.

dl elemento de longitud infinitesimal a lo largo del camino cerrado.

α ángulo formado entre la dirección del campo magnético y la dirección de dl , como se ve en la Figura 64.

La ley de Faraday-Lenz explica cómo este campo magnético crea una diferencia de potencial entre los extremos de la bobina debido a la variación del flujo de campo magnético. En concreto, dice que la f.e.m. inducida en un circuito estacionario cerrado es igual y de signo contrario a la variación del flujo magnético que atraviesa el circuito respecto del tiempo.

En la Figura 64 se muestra una bobina helicoidal, con n vueltas por metro y una sección transversal A , que rodea a un conductor por el que circula la corriente i que se pretende medir.

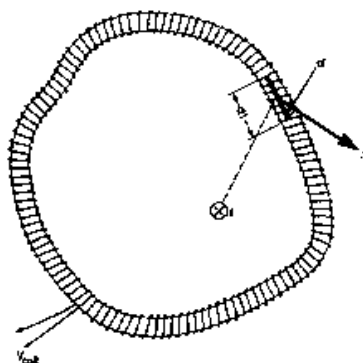


Figura 64 – Elemento infinitesimal de longitud dl de la bobina.

Las ventajas de una bobina de Rogowski para la medida de pulsos de corriente, respecto a los transformadores de corriente, son:

- **Linealidad.** La medida es lineal debido a que el núcleo es de un material no ferromagnético y, por tanto, no se producen fenómenos de

saturación o histéresis. Esto significa que la misma bobina se puede utilizar para medir un amplio rango de corrientes.

- **Aislamiento galvánico.** Por tanto, el circuito de medida está aislado del circuito de potencia. Esto constituye una gran ventaja cuando se quieren medir grandes intensidades.
- **Buen ancho de banda.** Este tipo bobinas pueden medir corrientes de frecuencias de algunos Hz hasta cientos de KHz.
- **Facilidad de uso**, ya que no requieren un montaje especial.

El dispositivo analizado fue el transductor TI-FLEX, cuyas características son las siguientes:

Rangos: 100A, 200A, 400A, 1000A, 3000A, 5000 A Fondo Escala.

Dimensiones:

Longitud de bobina: 430, 860 mm.

Diámetro de Ventana: 120, 240 mm.

Diámetro del núcleo 13mm - Peso: 175 g.



General:

- ✓ Tecnología: Núcleo Flexible (bobina Rogowski)
- ✓ Exactitud: $\pm 1\%$ entre 0.4% y 100% de FE. $\pm 2\%$ entre 0.1% y 0.4% de FE
- ✓ Sensibilidad: 5 mV/A (otros valores por requerimiento).
- ✓ Ángulo de Fase: $\theta < 0.1^\circ$
- ✓ Respuesta en frecuencia a 10Amp: 10Hz a 2500Hz. Opcional: hasta 5000 Hz.
- ✓ Estabilidad Térmica: $0.03\%/^\circ\text{C}$
- ✓ Tensión de Trabajo: 600 Vac. 50/60 Hz.
- ✓ Alimentación: $\pm 5\text{vdc}$. Consumo: 2 mA
- ✓ Conector de Salida: Circular Conector AMP-4vias. Opcional: otros conectores.
- ✓ Mecanismo de Cierre: 2 piezas rígidas, tipo bayoneta.
- ✓ Rigidez dieléctrica según IEC255-4: 2kV-50Hz y 5kV- 5/20uSeg

- ✓ Aislamiento según IEC61010-1: (tabla 9) onda de impulso 6,1kV / frecuencia industrial 3,3kV, 50Hz
- ✓ Caída: MIL STD 331 – caída libre 4 m.
- ✓ Temperatura Máxima y Mínima según IEC68.2.1: +65°C y -10°C, 4hs.
- ✓ Nivel de protección: IP65 según EN 60529/92

Por motivos de disponibilidad y fondos no fue posible contar con estos transductores.

Luego de analizar distintas alternativas esta es la mejor opción para un dispositivo portátil. Sería importante adquirirlos para proyectos futuros o si deseamos mejorar el equipo construido.

- La opción más convincente dentro de las estudiadas es recurrir a pinzas transductoras de corriente ya sea de efecto Hall o basadas en el principio del transformador.

En nuestro caso utilizaremos una pinza PROVA 15 que genera 1 mV/mA para el rango de 400 mA, 100 mV/A para el rango de 4 A y 10 mv/A para el rango de 30 A.

La tensión generada por la pinza es amplificada usando amplificadores operacionales TL084 y luego sumada a una continua de 2,5V para poder medir los semiciclos negativos. En la Figura 65 se muestra el sensor de corriente y su circuito de acondicionamiento para lograr una tensión en el rango de medición del microcontrolador empleado como DAQ.

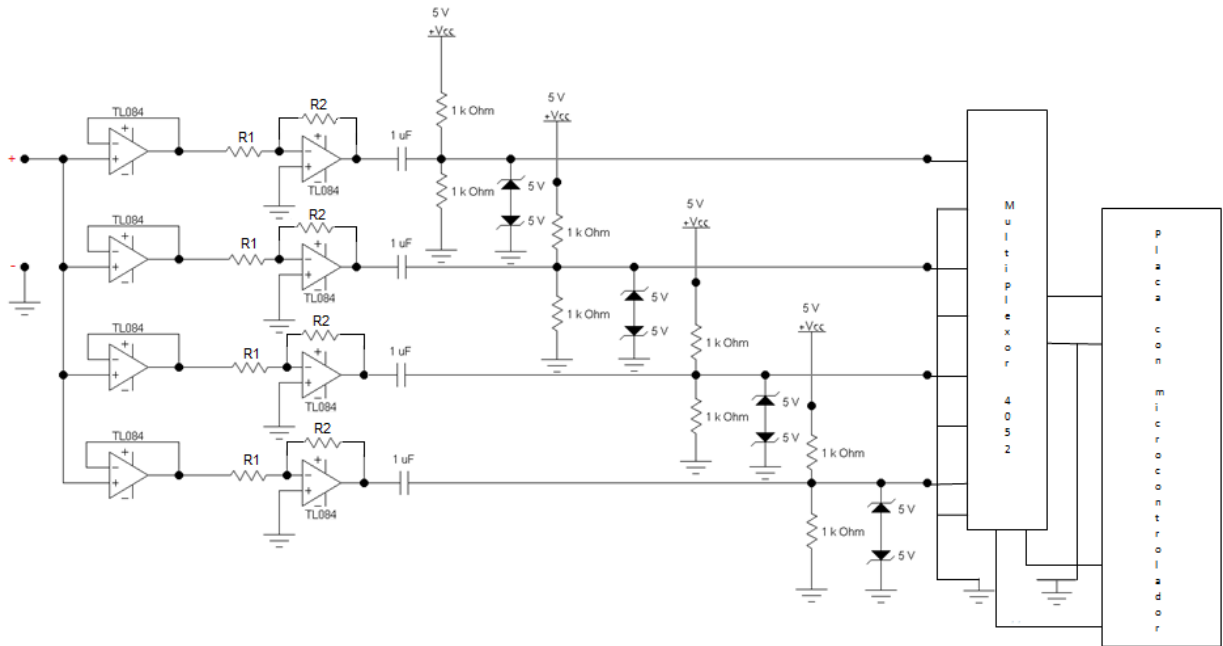


Figura 65 – Circuito de acondicionamiento utilizado para medir corriente.

6.5 PLACAS ACONDICIONADORAS CONSTRUIDAS

6.5.1 Placa acondicionadora de corriente

Lo que se realizó en esta placa es el acondicionamiento de las tres corrientes de fases a medir, ya que al utilizar una pinza transductora la tensión generada es de entre 10[mV/A] hasta 100[mV/A]. Esos niveles de tensión son muy pequeños para tener una buena resolución, debido a esto se construyó un circuito acondicionador similar al de la Figura 65. Es decir que se colocó un seguidor a la entrada de cada canal de corriente, luego se lo amplificó mediante un amplificador operacional TL084 y finalmente se lo sumó a una tensión continua de 2,5[V].

Como adicional, en cada canal se colocaron cuatro amplificadores operacionales TL084, con ganancias de 1, 4, 8 y se dejó uno sin ganancia para ampliaciones futuras. Lo anterior se realizó para ajustar la ganancia automáticamente en el programa cada vez que se cambie la pinza transductora. Estas cuatro salidas distintas de cada canal de corriente fueron llevadas a un multiplexor analógico 4052, y mediante la entrada de control manejada por el PIC se selecciona la amplificación deseada.

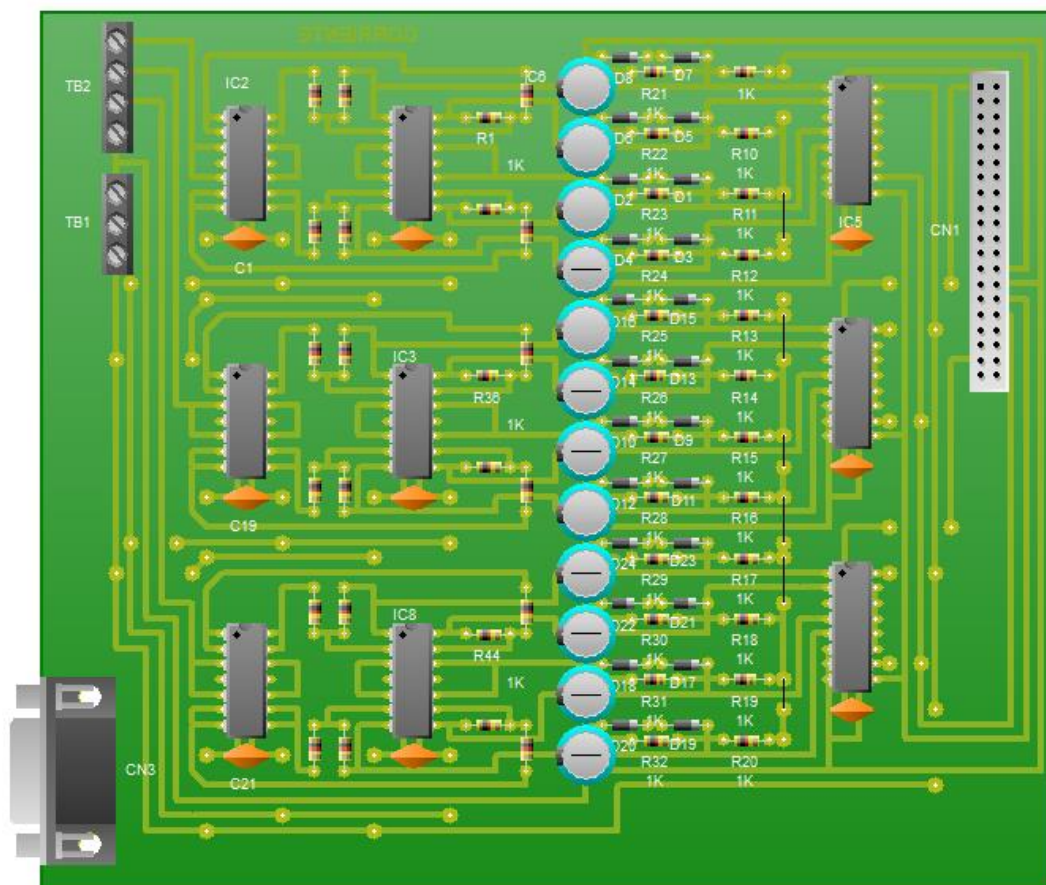


Figura 66 – Placa acondicionadora de corriente construida.

6.5.2 Placa acondicionadora de tensión

Lo que se realizó en esta placa es el acondicionamiento de las tres tensiones de fases a medir. La tensión del secundario de cada transformador de medida construido es sumada a una tensión continua de 2,5[V] para que la placa utilizada pueda “ver” los semi-ciclos negativos.

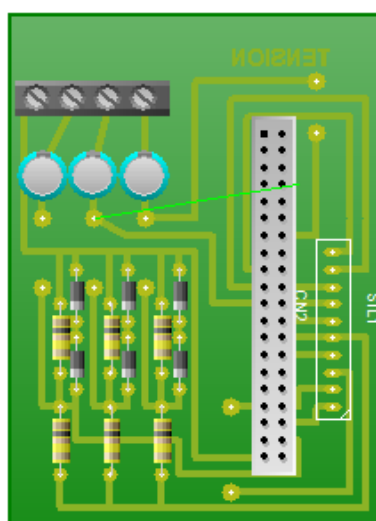


Figura 67 – Placa acondicionadora de tensión construida.

CAPÍTULO VII

APLICACIÓN EN LABVIEW

7 CAPÍTULO VII: APLICACIÓN EN LABVIEW

7.1 ADQUISICIÓN DE DATOS DESDE EL PIC

Los bytes enviados por el PIC se procesan en LabVIEW mediante el uso de las librerías *Virtual Instrument Software Architecture* (VISA) [21]-[22]. En las Figuras 68 y 69 se muestra el SubVI que realiza esta tarea. Se compone de un ciclo While encargado de leer 8015 bytes (que se generan en 1 segundo de adquisición como se mencionó anteriormente). Luego se extraen del array del byte 8001 al 8008 y se los compara con un array constante que contiene el código de verificación programado en el PIC.

Si estos 8 bytes recibidos coinciden con el código de verificación se ingresa en el cuadro “True” de una estructura “Case” (Figura 68). En este cuadro se procesan los 8000 primeros bytes recibidos y se generan seis array, cada uno de los cuales contiene 1000 valores instantáneos de cada canal analógico, tomados cada 1ms.

Si los 8 bytes recibidos no coinciden con el código de verificación se ingresa en el cuadro “False” de la estructura “Case” (Figura 69). Se asume que ha ocurrido un error en la comunicación y que los caracteres recibidos no pueden ser clasificados correctamente. Por lo tanto, se opta por desecharlos, enviar el carácter “S” para deshabilitar la interrupción CCP1 (ver el programa realizado dentro del microcontrolador), limpiar el Buffer de datos y enviar el carácter “B” para volver a habilitarla, reiniciando así el proceso de adquisición. Además, para contar con datos numéricos que puedan ser procesados y no se generen errores en los programas posteriores, se utilizaron seis variables locales que mantienen en los array de salida los últimos datos que fueron correctamente recibidos.

El programa cuenta también con una entrada de control llamada “rango” la cual, seteada en 0, 1, 2 o 3 le envía información al PIC para que, mediante una salida digital, seleccione la amplificación deseada.

Adicionalmente, se obtiene desde la placa los datos del sensor de temperatura para tenerlos disponible en caso de ser necesario.

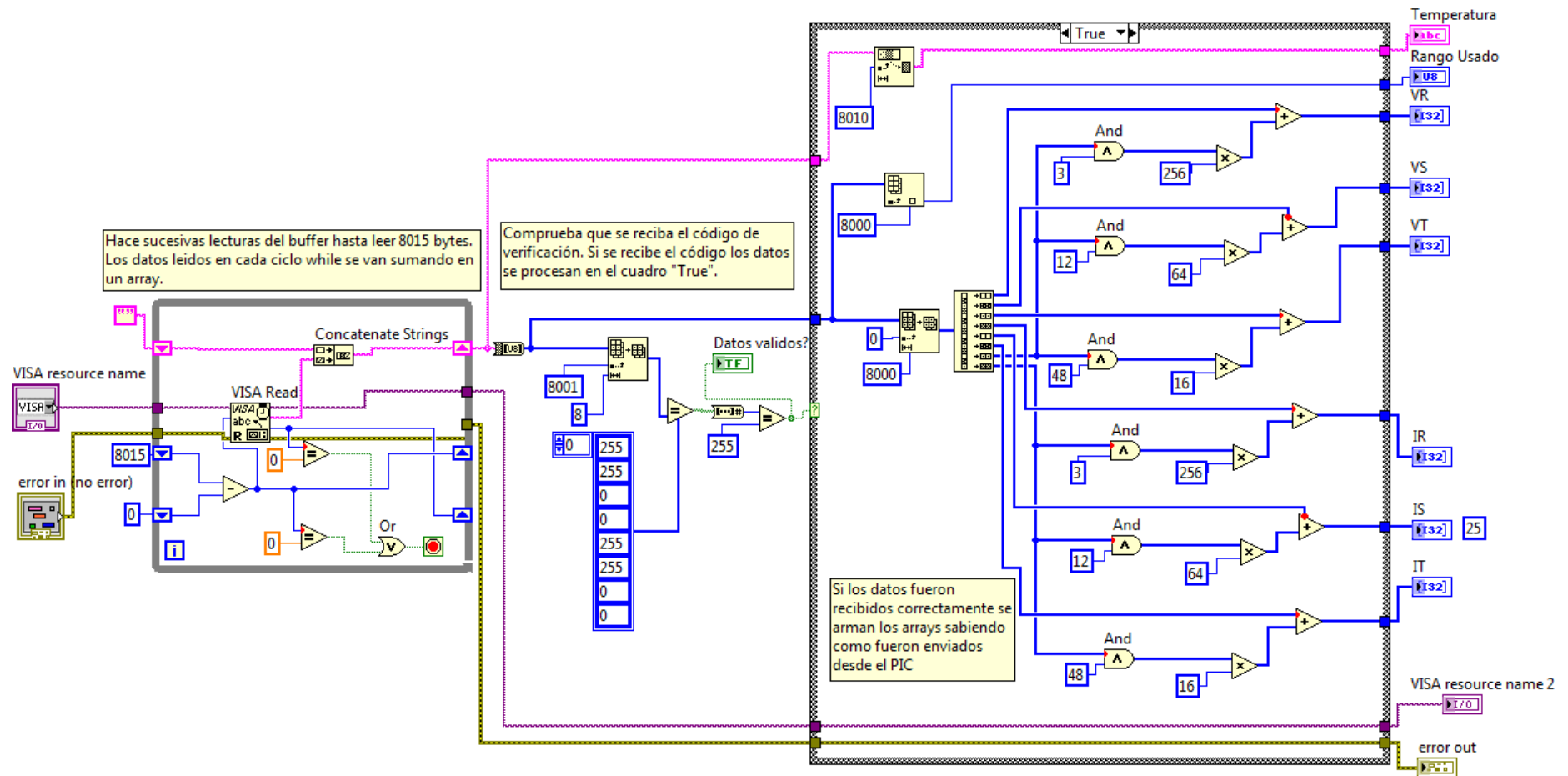


Figura 68 – SubVI que recibe la información enviada desde el PIC a la PC. Se muestra la estructura “Case” cuando el código de verificación se recibe en la ubicación esperada.

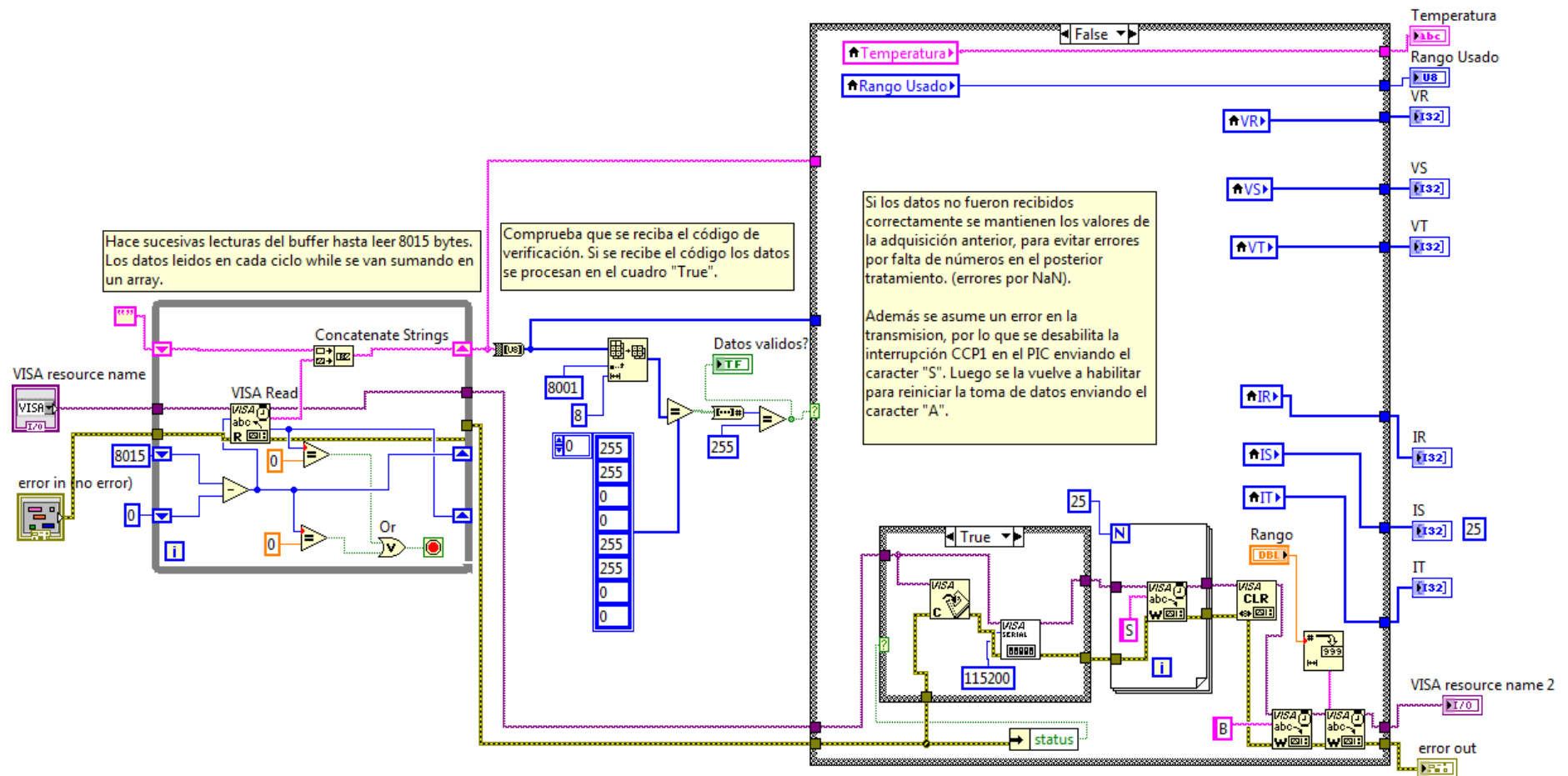


Figura 69 – SubVI que recibe la información enviada desde el PIC a la PC. Se muestra la estructura “Case” cuando el código de verificación no se recibe en la ubicación esperada.

7.2 DISEÑO DE LA APLICACIÓN EN LABVIEW

Para el diseño de la aplicación en LabVIEW se analizaron los diferentes modos de funcionamiento que debe tener el equipo. En base a dichos modos de funcionamiento se creó en LabVIEW un menú de opciones donde seleccionándolo accedemos a la pantalla principal del programa. Este tipo de funcionamiento es similar a la del analizador de redes marca Hioki.

Los modos de funcionamiento que se realizaron son:

- Analizador de variaciones lentas de tensión.
- Osciloscopio.
- Datalogger.

El menú principal de selección es el siguiente:

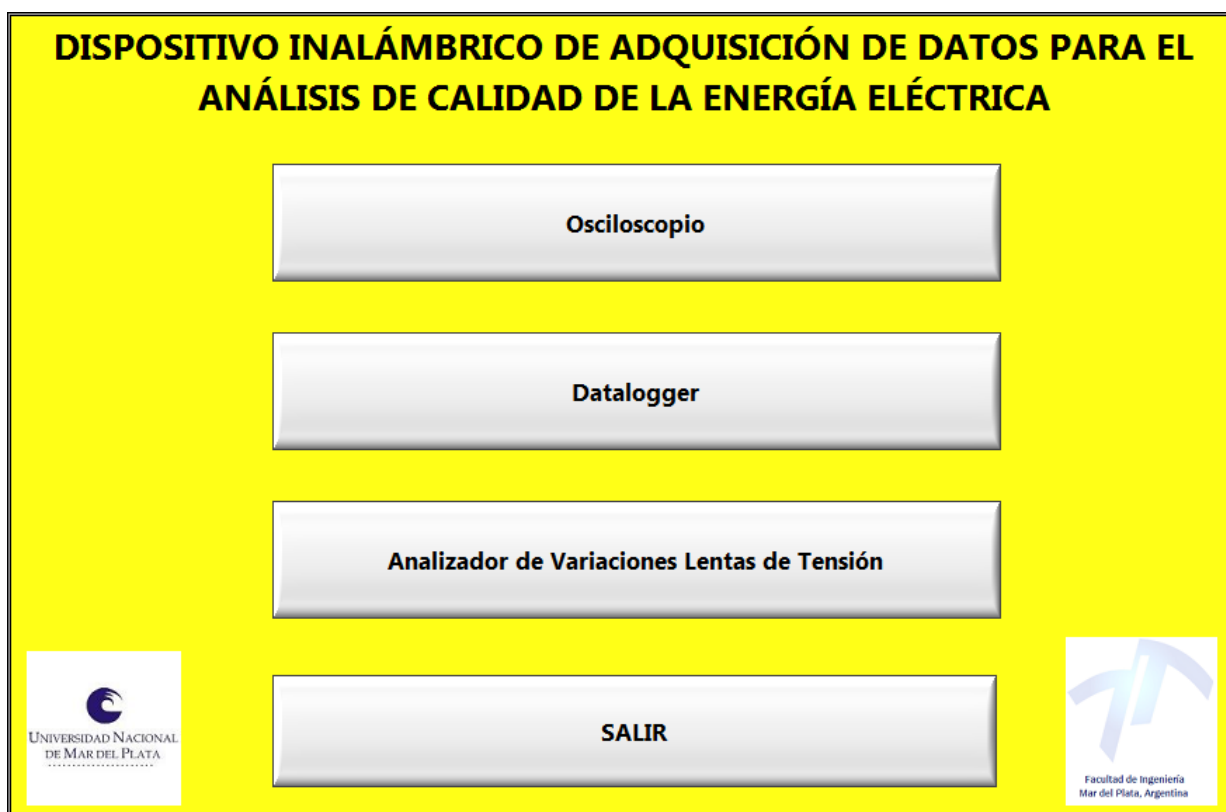


Figura 70 – Menú principal de selección de modo de funcionamiento.

7.2.1 Analizador de Variaciones Lentas de Tensión

7.2.1.1 Análisis del Subanexo D

Analizando las distintas normativas y tomando como base el Subanexo de D del pliego de concesión para empresas Distribuidoras del Servicio Eléctrico [23], se

extrajeron los requerimientos de diseño del programa, que se resumen a continuación:

- a) El equipo debe ser capaz de funcionar por un período no inferior a siete (7) días corridos.
- b) La variable a medir es el valor eficaz verdadero (con armónicos incluidas) o valor eficaz de la onda de frecuencia industrial indistintamente, de la tensión de las tres fases. Solo si la instalación a medir es monofásica se medirá esa sola fase.
- c) El rango de medición de los valores de tensión es $(110/1.73) \text{ V} +20/-30\%$ en los casos de utilizar transformadores de tensión, y $220\text{V} +20/-30\%$ para mediciones directas.
- d) Para realizar el registro de estas mediciones durante el lapso que corresponda se promediarán mediciones obtenidas cada segundo en intervalos de 15 minutos.**
- e) Las variaciones porcentuales de la tensión que se asumirán como valores normales, medidas en los puntos de suministro, con respecto al valor nominal, son las siguientes:
 - Alta tensión $\pm 7,0 \%$
 - Media tensión $\pm 8,0 \%$
 - Baja tensión $\pm 8,0 \%$
 - Para las zonas Rurales se admitirá, en el punto de suministro, hasta: $12,0 \%$.

Para nuestro cálculo tomando como lugar de medición un tablero de baja tensión, las variaciones permitidas de la tensión nominal son de $220 \text{ Volts} \pm 8,0 \%$.

7.2.1.2 Desarrollo del Programa

En base a lo anterior, el programa realizado en LabVIEW se enfocó a desarrollar el código de programación necesario para llevar a cabo el algoritmo de cálculo requerido para que cumpla con lo solicitado en el “Subanexo D” para analizar variaciones lentas de tensión [42]. Además de lo anteriormente dicho cuenta con las siguientes capacidades:

- 6 canales disponibles (velocidad de 1ksampe/segundo)
- Comunicación inalámbrica mediante los módulos XBEE Pro®.
- Análisis de la calidad de señal medida.
- Modo osciloscopio. (Se puede observar la forma de onda de la tensión trifásica)
- Gráfico de historial de tensiones.
- Diagrama fasorial de tensiones.
- Opción de grabación de datos cada 1, 5, 10 o 15 minutos. Genera un archivo “txt” de salida, con el promedio de los valores eficaces de tensión del intervalo de grabación, desviación de los valores, máximos y mínimos y hora a la que se produjeron junto con la fecha y hora del intervalo.

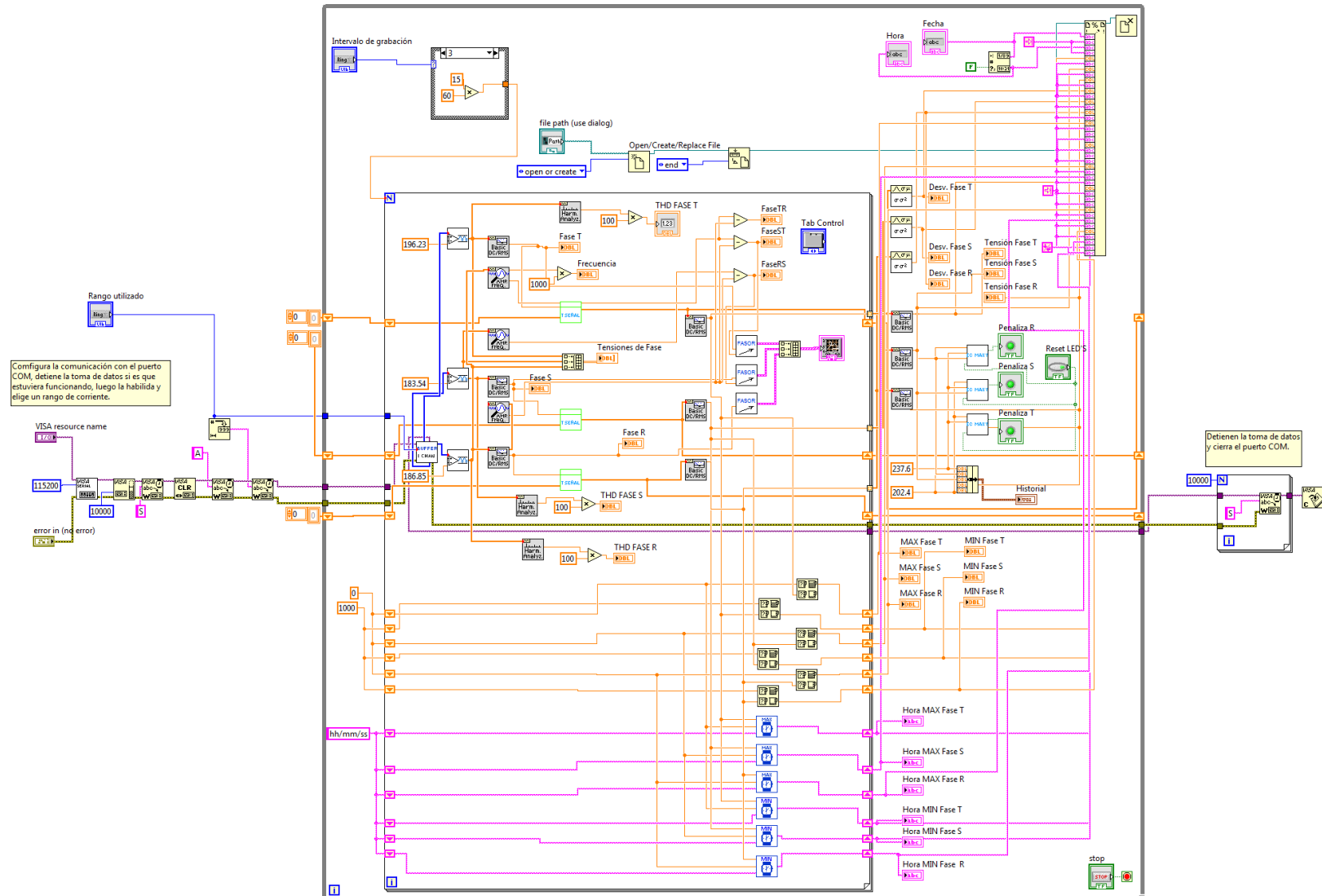


Figura 71 – Programa principal desarrollado en LabVIEW de la aplicación de análisis de variaciones lentas de tensión.

7.2.1.2.1 Algoritmo de cálculo propuesto por el subanexo D



En este SubVI se desarrolló el algoritmo de la ventana móvil de 60 segundos que elimina de un vector de 60 datos el último e inserta al inicio el nuevo valor. Los datos corresponden al valor eficaz de la tensión. Con esos 60 datos se calcula el promedio y se obtiene el valor de la tensión con una ventana móvil de 1 minuto como especifica la reglamentación.

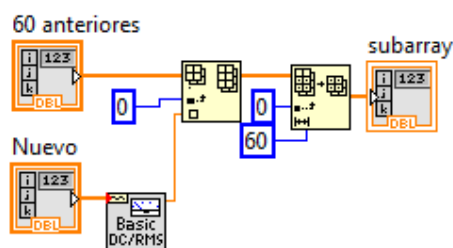


Figura 72 – Diagrama en bloques del algoritmo de cálculo.

7.2.1.2.2 Selección de las opciones de grabación

Como se explicó anteriormente las opciones de grabación son 1, 5, 10 y 15 minutos por lo tanto se utilizó un “ring” junto con un “case” para poder obtener así el valor “n” del “for” necesario para que se obtengan los datos en los intervalos anteriormente dichos. Si se desea grabar cada 1 minutos, el “n” del “for” será de 60, si es de 5 será 300, si es de 10 será de 600 y si es de 15 el “n” será de 900. Aunque el Subanexo D establece el intervalo de grabación en 15 minutos, se decidió flexibilizarlo a fin de mejorar el programa.

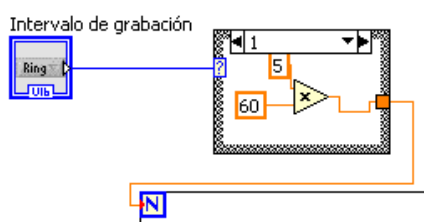


Figura 73 – Diagrama en bloques para la selección de las opciones de grabación.

7.2.1.2.3 Calibración de los sensores de tensión



Con el fin de calibrar los sensores y realizar el tratamiento de las señales de entrada se diseñó un SubVI el cual le quita a la señal de entrada los 2,5[V] de continua necesarios para poder adquirir los semi-ciclos negativos, ya que las entradas analógicas de la placa utilizada tienen un rango de 0-5[V]. Luego se divide a la señal de entrada por 1023 y se la multiplica por 4,9 (tensión de alimentación de la fuente) para de esa forma obtener el valor de tensión proporcional a la tensión de entrada. El control “Ajuste” calibra al sensor utilizado, ya que con el mismo se ajusta la ganancia. En el caso de cambiar el sensor utilizado se reajusta el valor “Ajuste”.

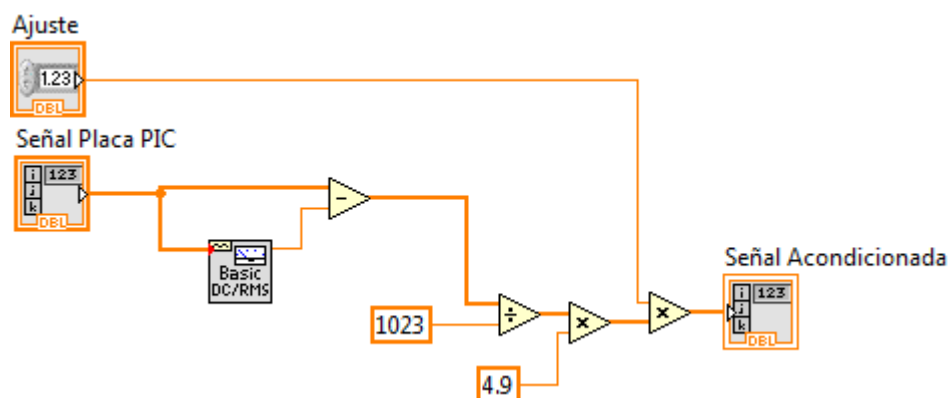


Figura 74 – Diagrama en bloques realizado para calibrar las señales.

7.2.1.2.4 Diagrama fasorial de tensiones

Para realizar el gráfico fasorial se utilizó la estructura “Formula Node” donde, ingresando las coordenadas del punto de origen del fasor (X_0, Y_0), su módulo y su ángulo (en grados), se genera un “Cluster” que contiene las coordenadas necesarias para representar un vector en un “XY Graph”. Junto con la función “Build Array” permite la representación de distintos fasores en el mismo gráfico.

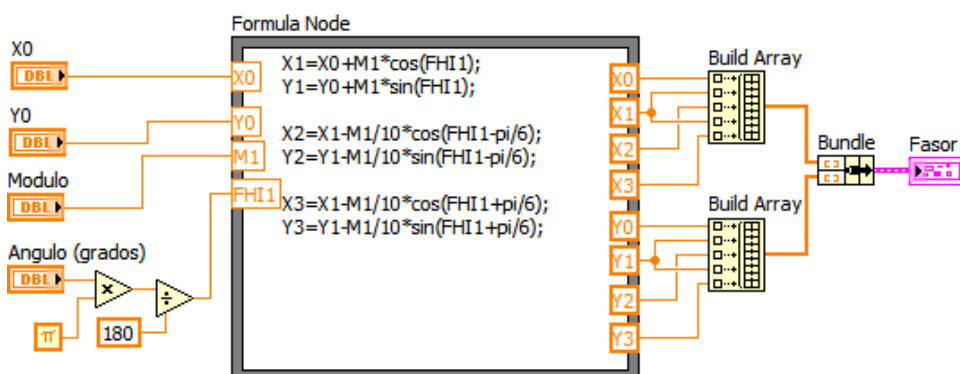


Figura 75 – Diagrama en bloques construido para realizar el diagrama fasorial de tensiones.

7.2.1.2.5 Registro de la fecha de máximos y mínimos de las tensiones

El programa realizado registra y guarda los máximos y los mínimos de las tensiones de cada intervalo de grabación, junto con la hora en la que se produjo.

Para poder guardar el valor de las tensiones se utilizó el bloque “Max & Mín” y se lo guardó en un registro, el cual pisa el valor anterior si este es un máximo o un mínimo según corresponda. Para poder guardar las fechas se construyó un SubVI el cual compara el valor actual con el anterior y si éste es un máximo o mínimo según corresponda lo guarda un registro, de lo contrario mantiene la fecha anterior. Esto se realizó como una estructura “Case como se puede observar en las figuras de abajo.

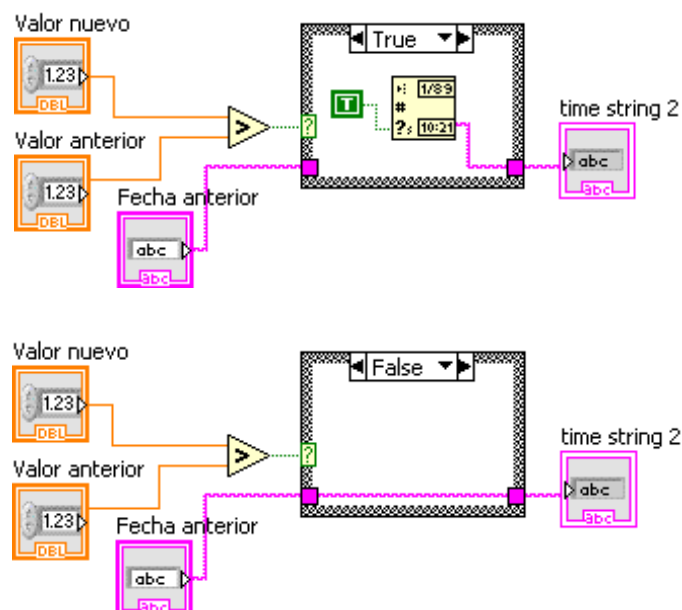


Figura 76 – Diagrama en bloques para registrar las fechas de los máximos o mínimos.

7.2.1.2.6 Indicación de penalización

El SubVI que se muestra, básicamente consiste en un circuito secuencial del tipo Flip-Flop, que enciende el indicador luminoso “Penaliza” cuando la variable se encuentra fuera de los valores “Máximo” y “Mínimo”. Este indicador luminoso permanece encendido aunque la variable vuelva estar en el rango, y solo se apaga con el control “Reset”.

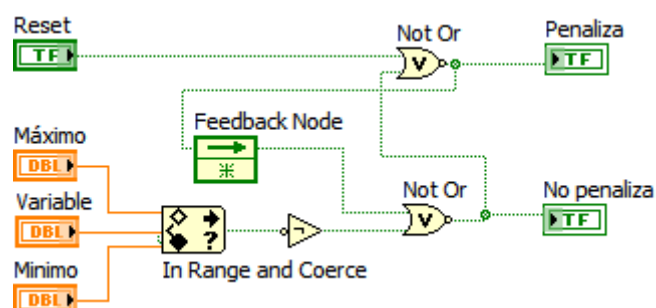


Figura 77 – Diagrama en bloques tipo Flip-Flop para indicar penalización.

7.2.1.2.7 Archivos de texto de salida

Para realizar la grabación en un archivo de texto se utilizó el bloque “file path” para seleccionar el directorio donde guardarlo. Luego se utilizó el bloque “Open/Create/Replace File” para abrir el archivo donde se desee guardar, de lo contrario se crea o reemplaza. Mediante el bloque “file set position” el programa se ubica en el final del archivo, de esta forma nunca se sobrescribe un valor. Las variables que se deben guardar fueron conectadas al bloque “Forma tinto File” y finalmente mediante el bloque “Close file” se cerró el archivo. Esta secuencia se realiza en cada intervalo de grabación. A continuación se puede observar la forma del archivo de texto que se obtiene.

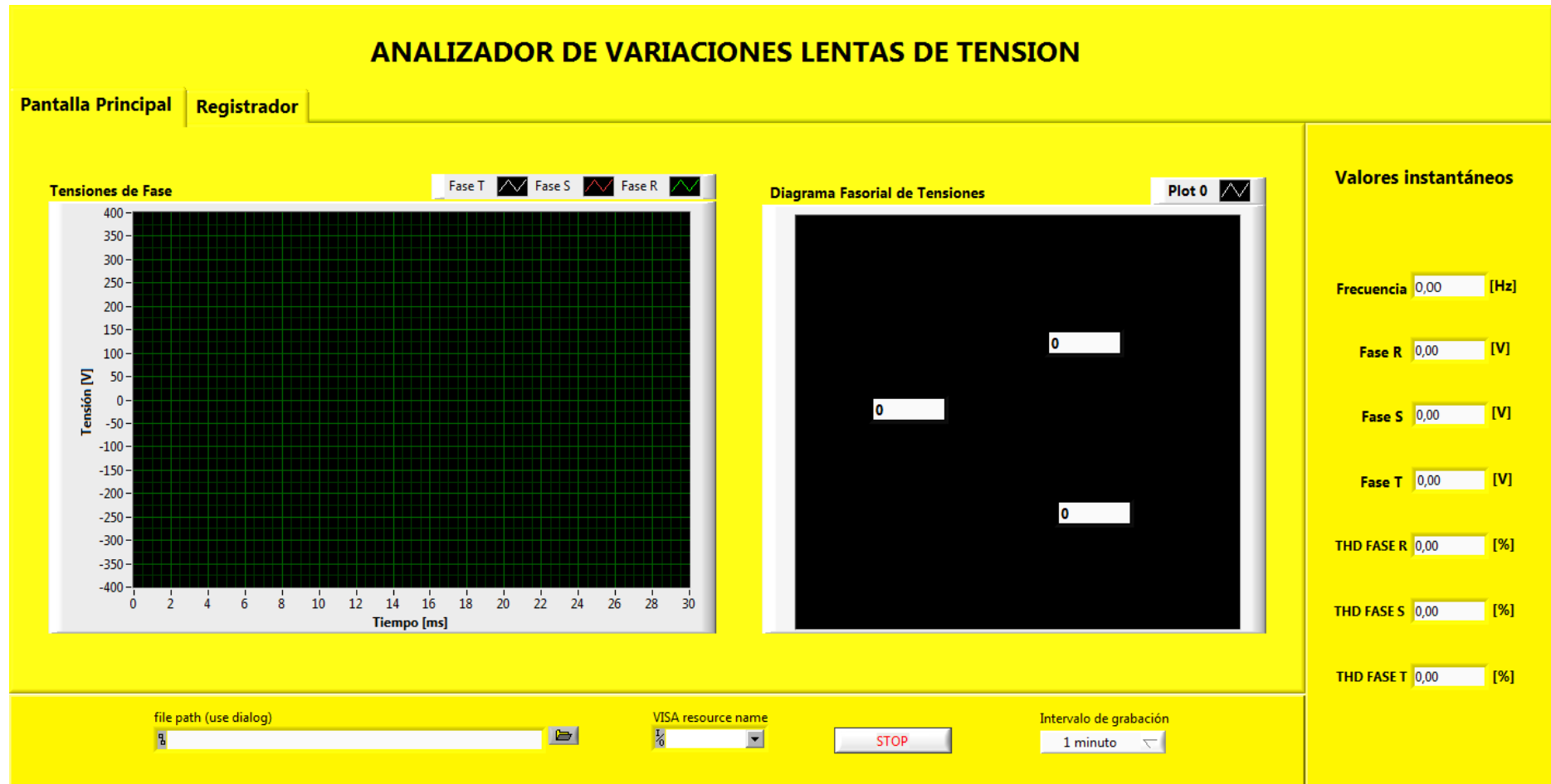


Figura 80 – Panel frontal del Analizador de Variaciones Lentas de Tensión en la pestaña “Pantalla Principal”



Figura 81 – Panel frontal del Analizador de Variaciones Lentas de Tensión en la pestaña “Registrador”

7.2.2 Osciloscopio

7.2.2.1 Desarrollo del Programa

El programa realizado en LabVIEW se enfocó en desarrollar el código de programación necesario para simular un osciloscopio digital comercial, dotándolo además de características distintas con el fin de flexibilizar el equipo. Las siguientes capacidades con las que cuenta este modo de funcionamiento son:

- 3 canales para adquisición de corriente (velocidad de 1ksampe/segundo).
- 3 canales para adquisición de tensión (velocidad de 1ksampe/segundo).
- Rango de amplificación de corriente.
- Comunicación inalámbrica mediante los módulos XBEE Pro®.
- Modo osciloscopio. (Se puede observar las tres tensiones de fase y las tres corrientes de fase).
- Espectro de amplitud de tensiones y corrientes.
- THD de tensión.
- THD de corriente.
- Potencia activa total y por fases.
- Potencia reactiva total y por fases.
- Potencia aparente total y por fases.
- Factor de potencia.
- Frecuencia de la señal.

A continuación, en la Figura 82 se puede observar el diagrama en bloques de la aplicación construida.

7.2.2.1.1 Bloque Trigger



Para simular el funcionamiento de un osciloscopio digital fue necesario construir un SubVI llamado Trigger, el cual utilizando el bloque “Trigger” con el que cuenta LabVIEW, recorta las señales de tensión y corriente de modo de que las mismas se vean más nítidas y estáticas en pantalla. La forma de recortarlas es a partir de una de ellas, es decir, se recorta la fase R en “n” valores, y esos mismos “n” valores se recortan el resto para mantener el desfase correcto.

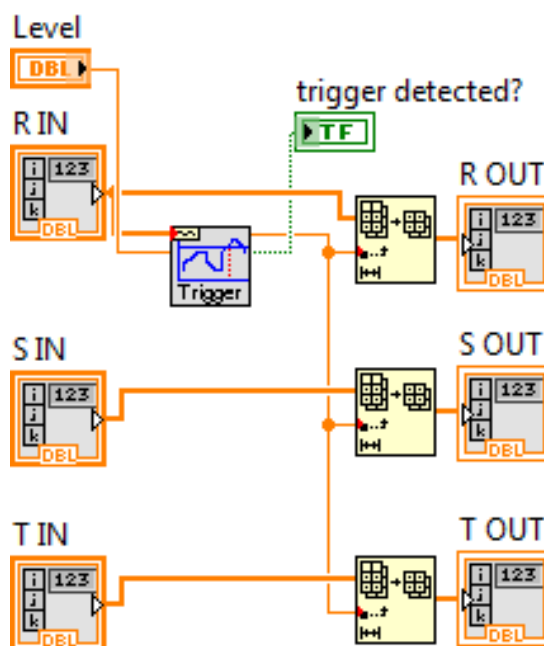


Figura 83 – Diagrama en bloques realizado para recortar la señal.

7.2.2.1.2 Bloque Espectro

En este SubVI se obtiene el espectro de amplitud de cualquier señal a partir de dicha señal. Mediante el bloque “Distortion Measurements” se obtienen los armónicos impares múltiplos de 50 Hz. Una vez obtenidos se construye un vector mediante la el bloque “build array” para ser luego graficado.

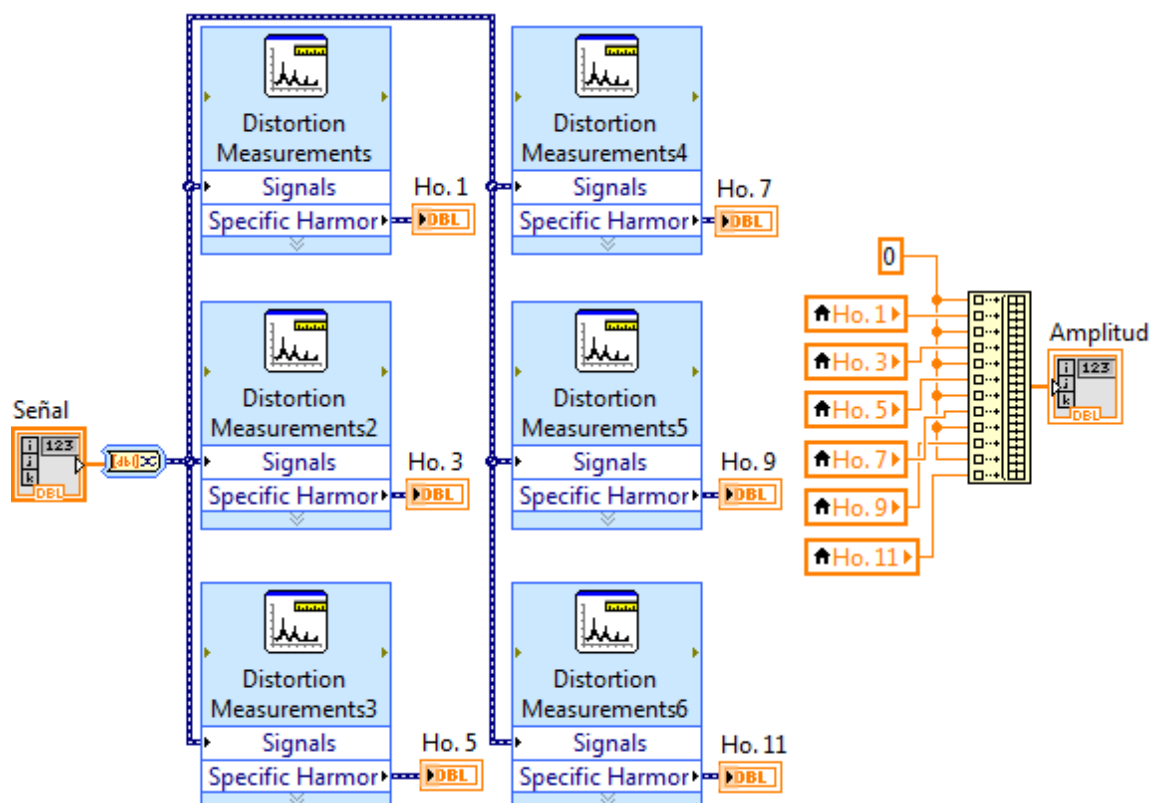


Figura 84 – Diagrama en bloques realizado para obtener el espectro de amplitud de una señal.

7.2.2.1.3 Calibración de los sensores de tensión



El subVI utilizado para calibrar los sensores de tensión y corriente es el mismo utilizado en el programa de análisis de variaciones lentas de tensión.

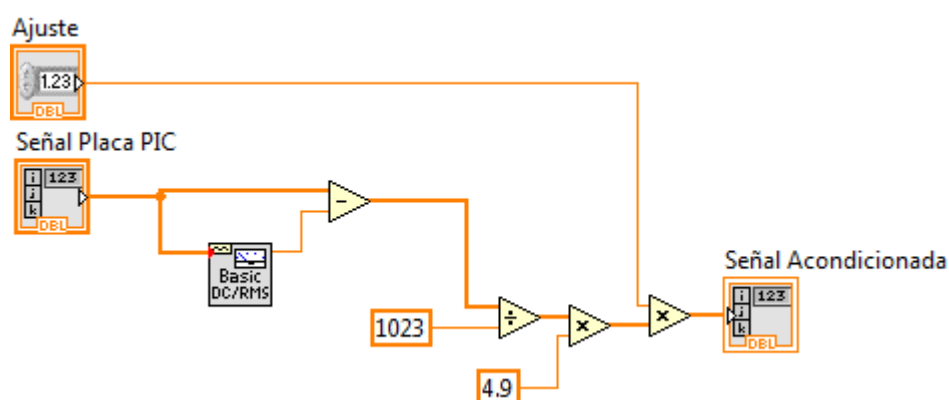


Figura 85 – Diagrama en bloques realizado para calibrar las señales de tensión.

7.2.2.1.4 Calibración de los sensores de corriente



Para la calibración de los sensores de corriente se partió del mismo subVI utilizado para calibrar los sensores de tensión, la diferencia es que el valor de ajuste se obtiene del valor del rango que se obtiene de la placa. Ese valor se lo interpreta mediante un case el cual tiene los diferentes ajustes para cada amplificación.

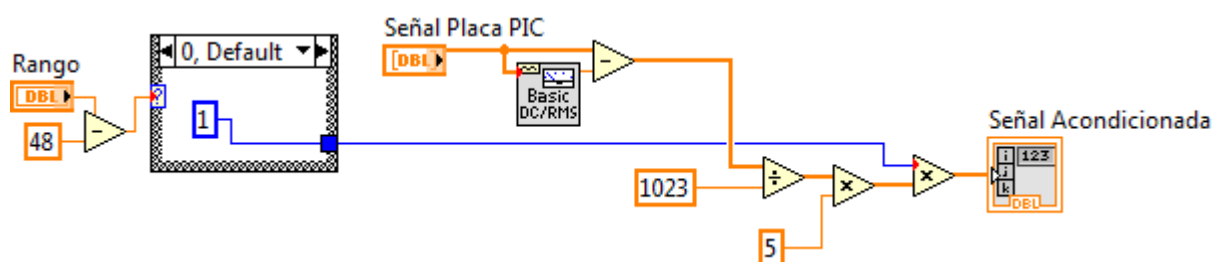


Figura 86 – Diagrama en bloques realizado para calibrar las señales de corriente.

7.2.2.1.5 Cálculo de potencia activa

Para el cálculo de potencia activa se realizó un subVI el cual realiza la multiplicación instante a instante de tensión y corriente. Luego, mediante el bloque “Basic DC/RMS” se obtiene el valor medio del resultado, es decir, la potencia activa.

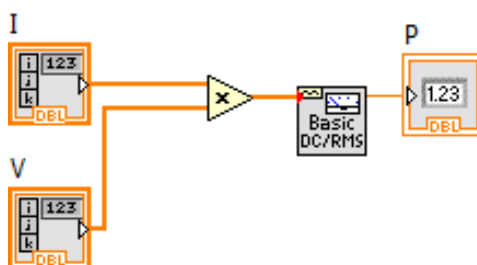


Figura 87 – Diagrama en bloques realizado para calibrar las señales de corriente.

7.2.2.1.6 Panel Frontal del programa

El panel frontal del programa cuenta con cuatro pestañas, una llamada “Pantalla Principal” donde se muestra la forma de onda de las tensiones y las corrientes y las pestañas llamadas “Espectro de Amplitud”, donde se grafica el espectro de amplitud de la tensión y corriente de cada fase.

Además el panel frontal cuenta con una interface en la cual se selecciona el puerto COM, se pueden observar los valores eficaces en tiempo real de las tensiones y las corrientes. Se puede visualizar también la frecuencia, el THD de tensión y corriente y las potencias activa, reactiva y aparente total y por fase.

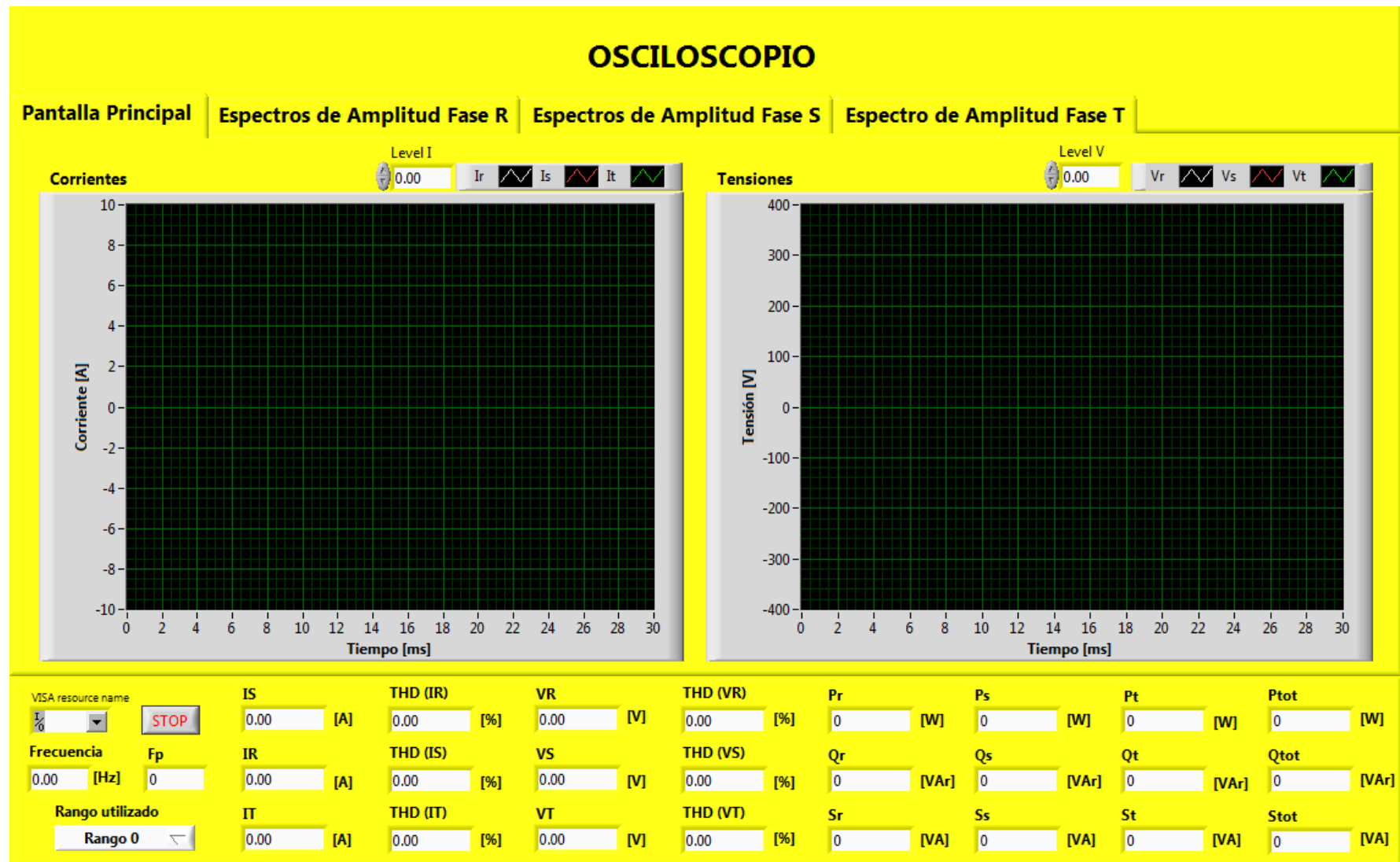


Figura 88. Panel frontal de la aplicación osciloscopio colocado en la pestaña “Pantalla Principal”.

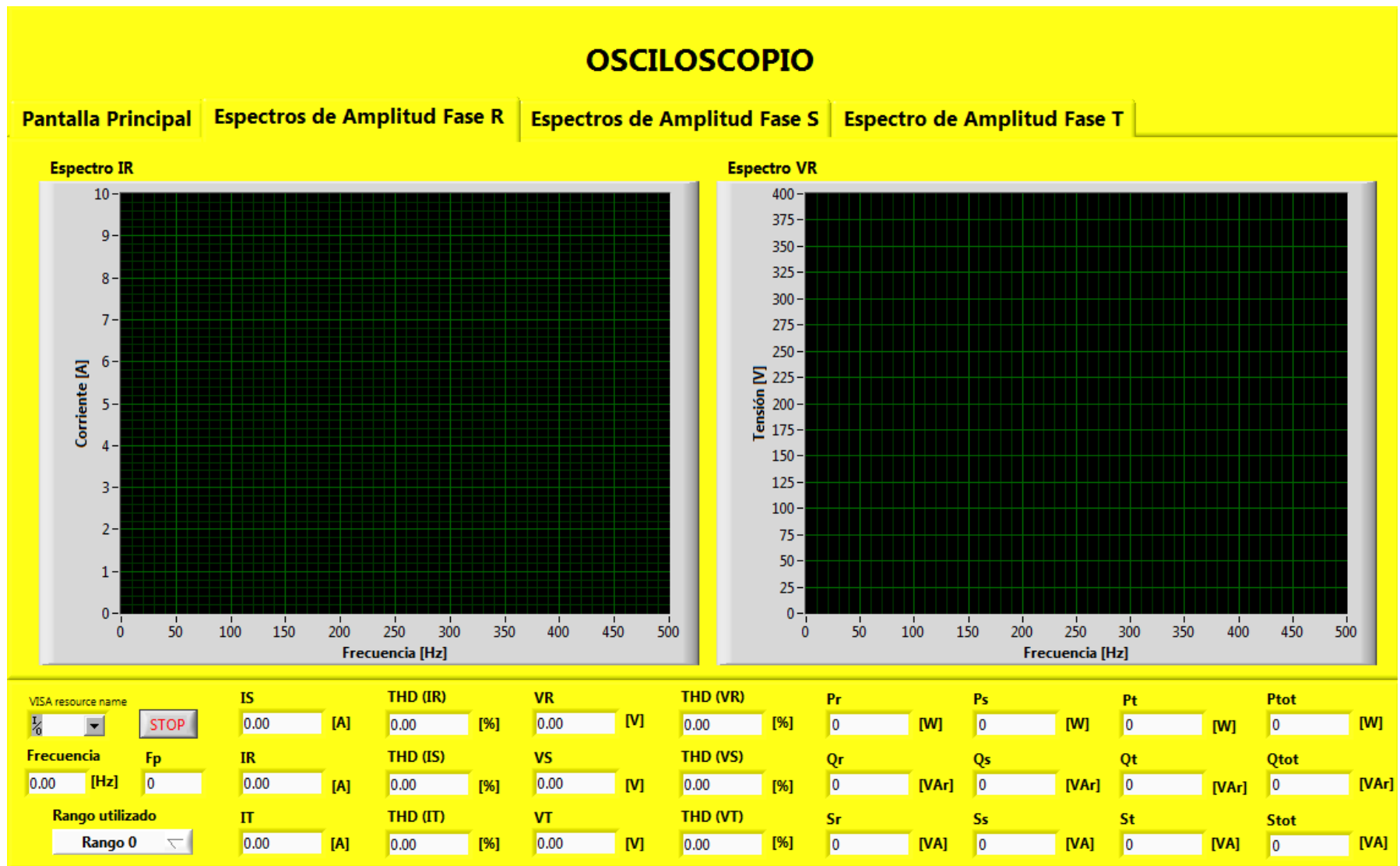


Figura 89. Panel frontal de la aplicación osciloscopio colocado en la pestaña “Espectros de Amplitud”.

7.2.3 Datalogger

7.2.3.1 Desarrollo del Programa

El programa realizado en LabVIEW se enfocó en desarrollar el código de programación necesario para simular un equipo registrador, dotándolo además de las mismas funciones que el programa anteriormente explicado (osciloscopio). Las siguientes capacidades con las que cuenta este modo de funcionamiento son:

- 3 canales para adquisición de corriente (velocidad de 1ksampe/segundo).
- 3 canales para adquisición de tensión (velocidad de 1ksampe/segundo).
- Rango de amplificación de corriente.
- Comunicación inalámbrica mediante los módulos XBEE Pro®.
- Modo osciloscopio. (Se puede observar las tres tensiones de fase y las tres corrientes de fase).
- THD de tensión.
- THD de corriente.
- Potencia activa total y por fases.
- Potencia reactiva total y por fases.
- Potencia aparente total y por fases.
- Factor de potencia.
- Frecuencia de la señal.
- Selección de directorio donde guardar el archivo de datos.
- Historial de tensiones y corrientes.
- Selección de intervalo de grabación.
- Registro de tensiones, corrientes, potencias, THD.
- Registro de máximos y mínimos en tensiones y corrientes.
- Registro de las fechas de los máximos y mínimos.
- Cálculo y registro de energías.

A continuación, en la Figura 90 se puede observar el diagrama en bloques de la aplicación construida.

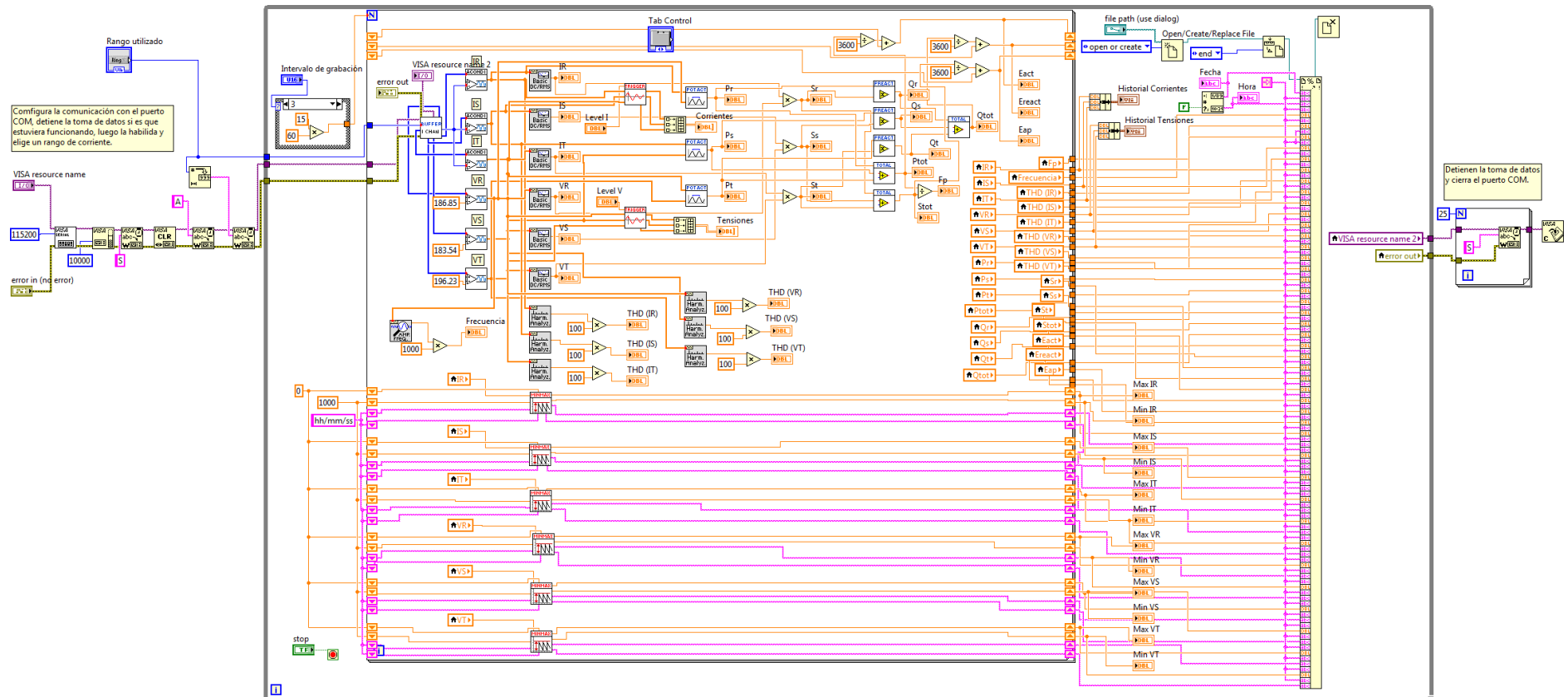


Figura 90. Diagrama en bloques de la aplicación "Datalogger".

7.2.3.1.1 Archivo de salida de datos

Para realizar la grabación en un archivo de texto se utilizó el mismo formato que para la aplicación “Analizador de Variaciones Lentas de Tensión”.

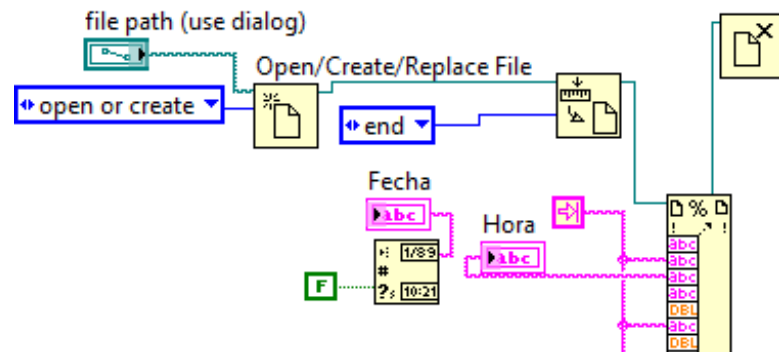


Figura 91. Diagrama en bloques construido para guardar datos en un archivo de texto.

7.2.3.1.2 Cálculo de máximos y mínimos

Para realizar el cálculo de los máximos y mínimos en las tensiones y corrientes se realizó un SubVI el cual utilizando el bloque “Min&Max” discrimina el máximo y/o el mínimo de cualquier “array” de datos. Además mediante los SubVi “Max” y “Min” construidos para la aplicación “Analizador de Variaciones Lentas de Tensión” se registran las fechas en las que se produjeron los mínimos y/o máximos.

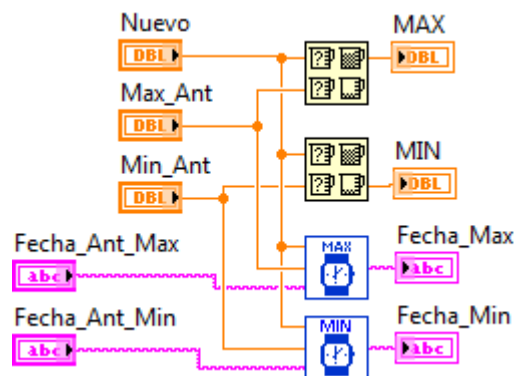


Figura 92. Diagrama en bloques del SubVI Min_Max.

7.2.3.1.3 Panel Frontal del programa

El panel frontal del programa cuenta con dos pestañas, una llamada “Pantalla Principal” donde se muestra la forma de onda de las tensiones y las corrientes y se pueden observar los valores instantáneos de potencias y THD. La otra pestaña es llamada “Registro”, y allí se grafican los historiales de tensión y corriente, los máximos y mínimos de tensión y corriente y las energías activa, reactiva y aparente.

En el programa también se puede seleccionar el puerto COM, el directorio donde guardar el archivo de texto y el intervalo de grabación.

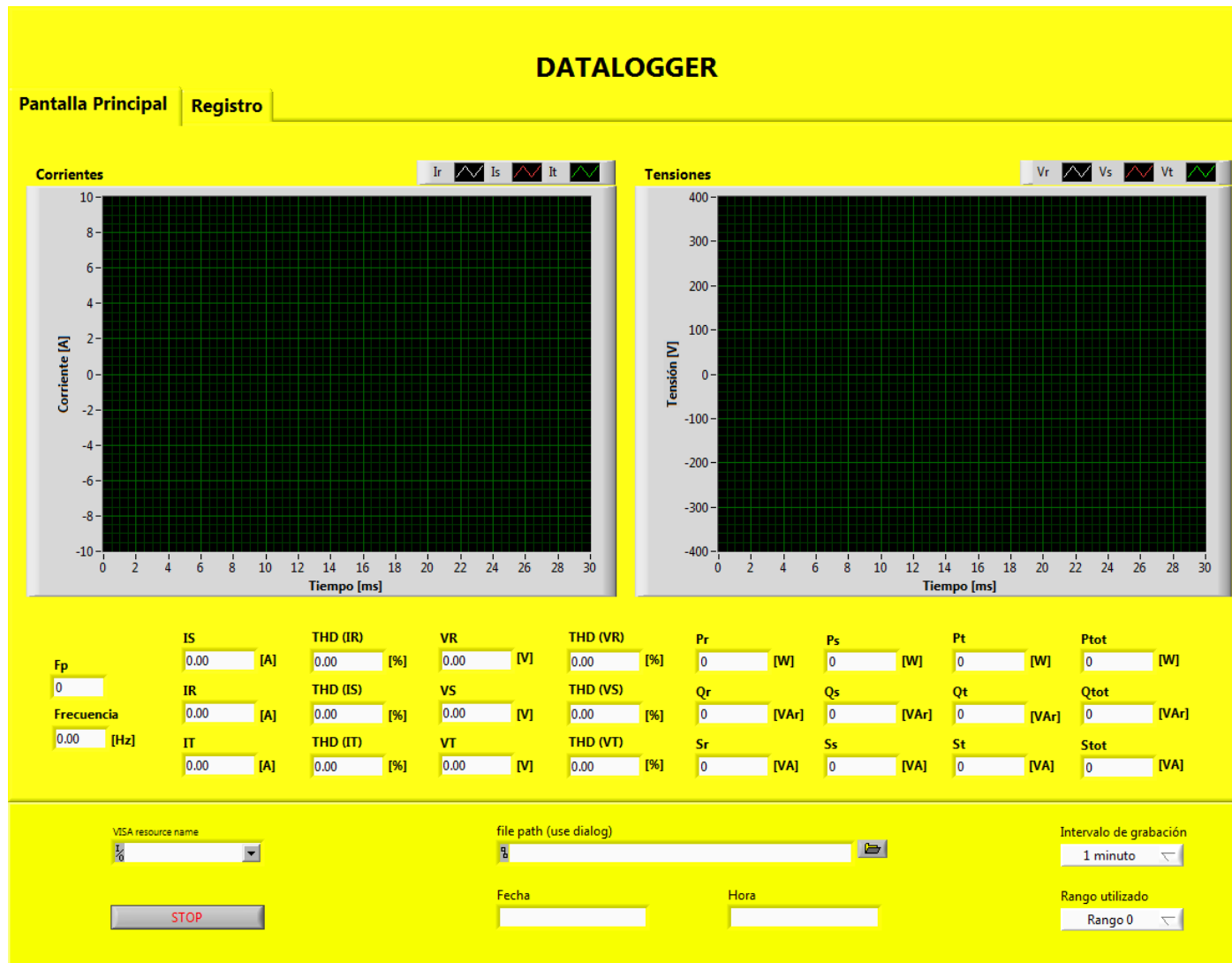


Figura 93. Panel frontal de la aplicación Datalogger en la pestaña “Pantalla Principal”.

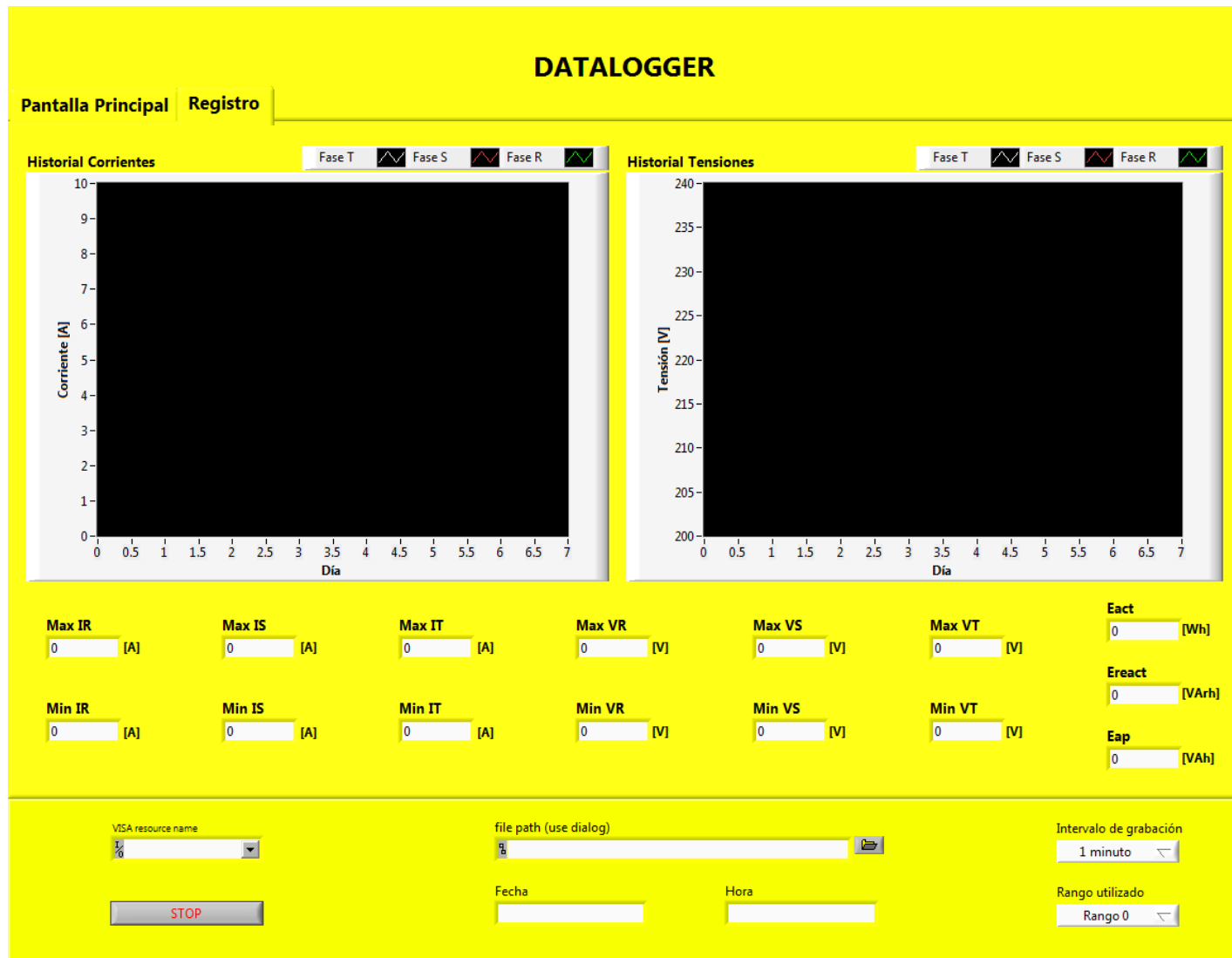


Figura 94. Panel frontal de la aplicación Datalogger en la pestaña “Registro”.

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS

8 CAPÍTULO VIII: RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS DEL EQUIPO

Una vez finalizada la etapa de construcción, las pruebas de campo mostraron los siguientes resultados, que para una mayor comprensión se dividirán en diferentes ítems.

- Desempeño del módulo inalámbrico.
- Desempeño de los transductores de tensión y corriente.
- Desempeño de las placas acondicionadoras de tensión y corriente.
- Desempeño del software de adquisición de datos.
- Desempeño del conjunto.

8.1.1 Desempeño del módulo inalámbrico

Luego de las pruebas realizadas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata se observó que a 115200 baudios (velocidad necesaria para tener una buena resolución de datos) la comunicación fue exitosa en un rango de hasta 30 metros, tanto horizontalmente como verticalmente, es decir que es posible establecer conexión entre pisos distintos de cualquier dependencia.

8.1.2 Desempeño de los transductores de tensión y corriente

8.1.2.1 Análisis de funcionamiento de los transformadores de medida contruidos

Para realizar el análisis de funcionamiento de los transformadores de medida se hicieron pruebas de la linealidad de los mismos, verificando la relación de transformación desde 10[V] hasta 320[V] aproximadamente.

8.1.3 Transformador Fase R

Los resultados de los ensayos fueron los siguientes:

Tabla X. Verificación de relación de transformación del Transformador de la Fase R

TRAFO 1 (Fase R)		
PRIMARIO [V]	SECUNDARIO [V]	N
10.1	0.0535	188.785047
20.15	0.1068	188.670412
30.28	0.1607	188.425638
40.1	0.2131	188.174566
50.46	0.2684	188.002981
60.8	0.324	187.654321
71.2	0.3791	187.813242

80.2	0.427	187.822014
91.8	0.489	187.730061
101.1	0.539	187.569573
110.1	0.588	187.244898
131.2	0.699	187.69671
141.6	0.756	187.301587
152.2	0.812	187.438424
161.4	0.86	187.674419
171.1	0.912	187.609649
181.1	0.966	187.47412
191.3	1.023	186.999022
201.1	1.074	187.243948
212.1	1.135	186.872247
220.4	1.178	187.096774
231.9	1.24	187.016129
243.1	1.3	187
252.2	1.347	187.230883
262.5	1.403	187.099073
272.8	1.458	187.105624
282.1	1.509	186.944997
300.1	1.605	186.978193
312	1.668	187.05036
321.2	1.718	186.961583
332.8	1.779	187.071388

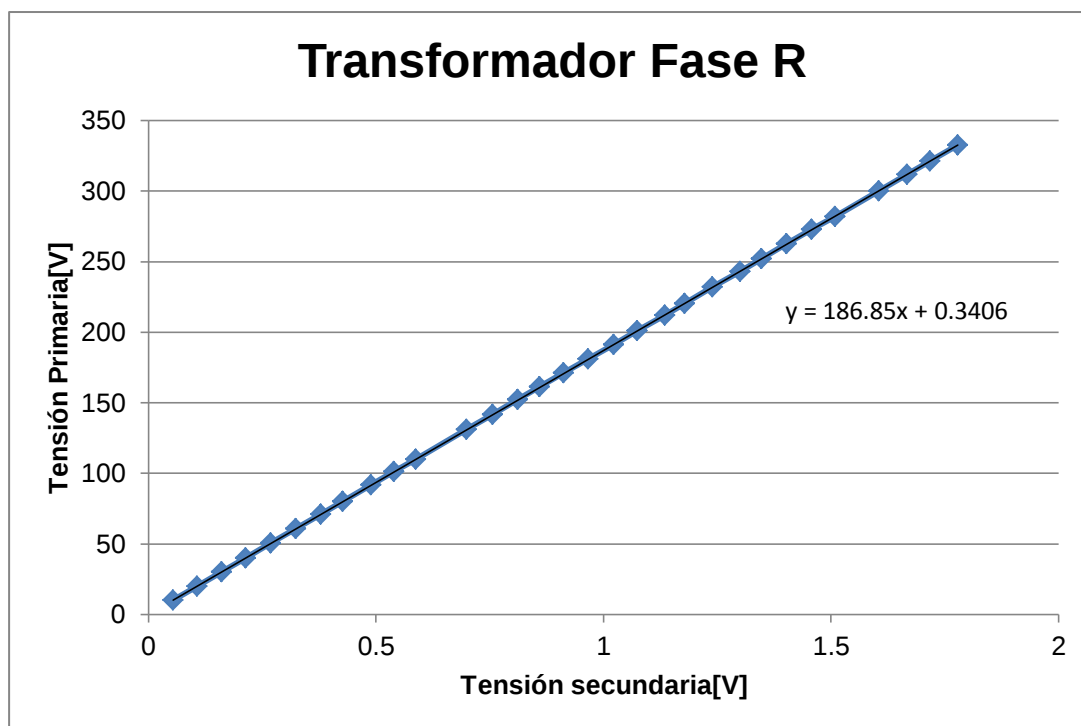


Gráfico 1 – Relación de transformación Transformador Fase R.

Del gráfico se puede observar que el transformador se mantiene lineal para todo el rango de medición para el cual se utilizará el mismo.

También se obtuvo del gráfico la recta de tendencia, la cual dio $y = 186,85x + 0,3406$. Es decir que la pendiente, es la relación de transformación V1/V2. Ese valor es el que se colocó en el control llamado ganancia del Sub VI construido para acondicionar la señal de tensión proveniente de la fase R.

8.1.4 Transformador Fase S

Los resultados de los ensayos fueron los siguientes:

Tabla XI. Verificación de relación de transformación del Transformador de la Fase S

TRAFO 2 (Fase S)		
PRIMARIO [V]	SECUNDARIO [V]	N
10.86	0.0587	185.0085179
20.45	0.1104	185.2355072
30.04	0.1623	185.0893407
40.96	0.2216	184.8375451
50.23	0.2717	184.8730217
60.4	0.3275	184.4274809
72.1	0.391	184.398977
80.9	0.438	184.7031963
92.6	0.502	184.4621514
101.9	0.553	184.2676311
111.1	0.602	184.551495
121.1	0.657	184.3226788
132.2	0.717	184.3793584
141.7	0.769	184.2652796
150.7	0.817	184.4553244
161.7	0.876	184.5890411
171.9	0.932	184.4420601
181.2	0.984	184.1463415
190.1	1.033	184.0271055
201.5	1.097	183.6827712
210.6	1.146	183.7696335
222.5	1.211	183.7324525
231.5	1.259	183.8760921
241.1	1.312	183.7652439
250.5	1.361	184.0558413
261.1	1.419	184.0028189
270.5	1.472	183.763587
281.4	1.532	183.6814621
291	1.584	183.7121212
302.6	1.647	183.7279903

312.2	1.7	183.6470588
321.3	1.749	183.7049743

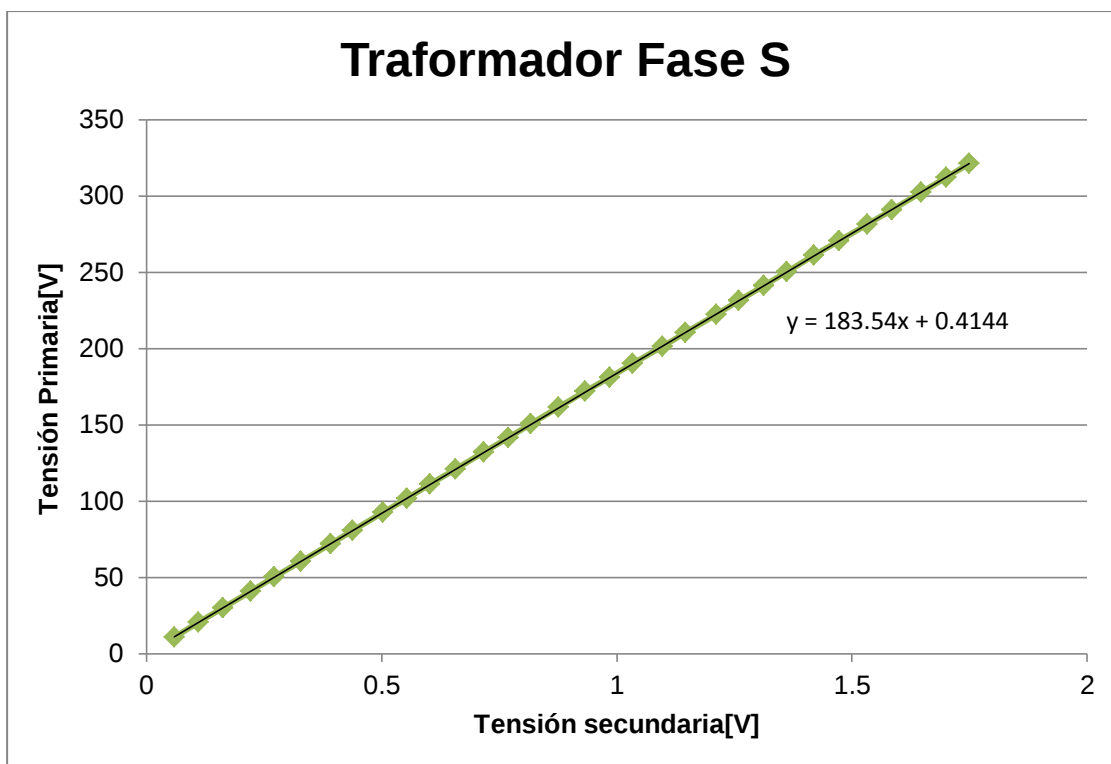


Gráfico 2. Relación de transformación Transformador Fase S.

Del gráfico se puede observar que el transformador se mantiene lineal para todo el rango de medición para el cual se utilizará el mismo.

También se obtuvo del gráfico la recta de tendencia, la cual dio $y = 183,54x + 0,4144$. Es decir que la pendiente, es la relación de transformación $V1/V2$. Ese valor es el que se colocó en el control llamado ganancia del SubVI construido para acondicionar la señal de tensión proveniente de la fase S.

8.1.5 Transformador Fase T

Los resultados de los ensayos fueron los siguientes:

Tabla XII. Verificación de relación de transformación del Transformador de la Fase S

TRAFO 3 (Fase T)		
PRIMARIO [V]	SECUNDARIO [V]	N
11.5	0.0577	199.306759
20.73	0.1048	197.805344
30.1	0.1521	197.896121
40.09	0.2027	197.77997
50.78	0.257	197.587549
60.3	0.3055	197.381342

74	0.375	197.333333
81.2	0.412	197.087379
90.6	0.457	198.249453
102.4	0.519	197.302505
112.8	0.572	197.202797
120.4	0.61	197.377049
132.2	0.669	197.608371
142.2	0.72	197.5
151.5	0.768	197.265625
162.1	0.821	197.442144
170.8	0.865	197.456647
182.4	0.924	197.402597
190.5	0.965	197.409326
203.4	1.032	197.093023
212.6	1.08	196.851852
221.5	1.125	196.888889
230.3	1.171	196.669513
242.6	1.233	196.75588
251.2	1.276	196.865204
262.7	1.336	196.631737
272.1	1.385	196.462094
281.1	1.431	196.436059
291.6	1.485	196.363636
301.1	1.535	196.156352
311.6	1.586	196.469105
320.8	1.634	196.328029

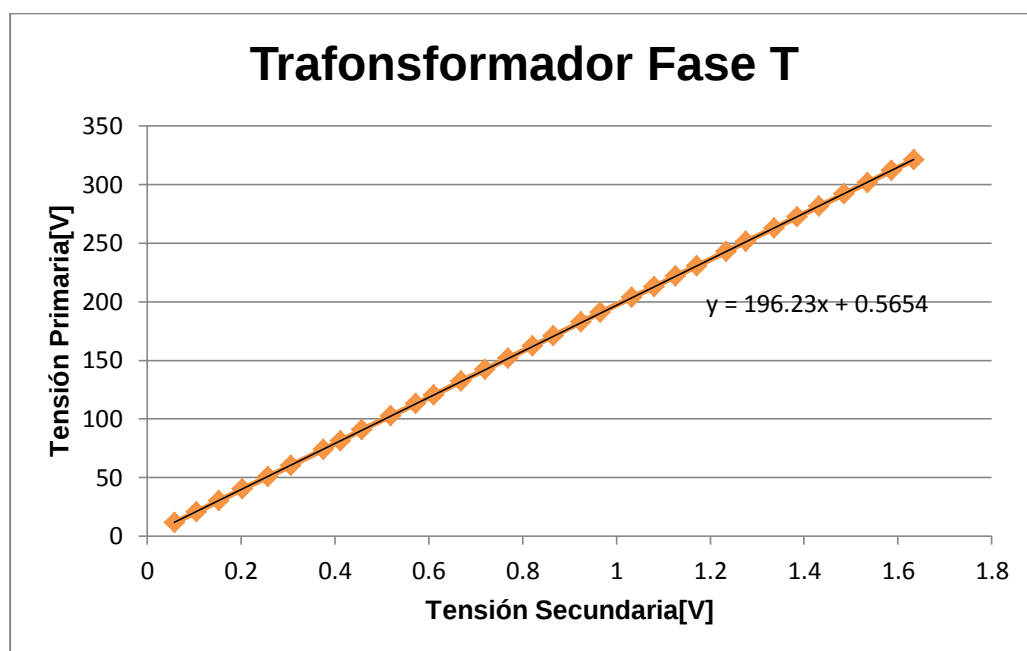


Gráfico 3. Relación de transformación Transformador Fase T.

Del gráfico se puede observar que el transformador se mantiene lineal para todo el rango de medición para el cual se utilizará el mismo.

También se obtuvo del gráfico la recta de tendencia, la cual dio $y = 196,23x + 0,5654$. Es decir que la pendiente, es la relación de transformación $V1/V2$. Ese valor es el que se colocó en el control llamado ganancia del Sub VI construido para acondicionar la señal de tensión proveniente de la fase T.

8.1.6 Transductores de corriente

8.1.6.1 Desempeño de las placas acondicionadoras corriente

El desempeño de la placa acondicionadora de corriente fue documentado en la publicación “Desarrollo de un Dispositivo de Adquisición de Datos para Estudios de Calidad de Energía Eléctrica - Primera Etapa” presentada y aprobada en el I Congreso Argentino de Ingeniería - CADI 2012. La única diferencia con aquél trabajo es que en éste se utilizó un microcontrolador PIC18F4550 en vez del 2550 utilizado en la publicación mencionada. Es decir que los pasos de acondicionamiento de corriente no fueron modificados, ya que cumplen con los requerimientos impuestos.

8.1.7 Desempeño del software de adquisición de datos

Luego del desarrollo del software de adquisición de datos se demostró que con el mismo fue posible adquirir simultáneamente 6 canales analógicos a una velocidad de 1000 muestras por segundo (1 kHz), se comandaron dos salidas digitales para seleccionar el rango de amplificación de la corriente, observando en pantalla la temperatura mediante el sensor con que cuenta la placa. Además se pudo configurar la comunicación inalámbrica a diferentes velocidades, 9600 baudios en un principio hasta 115200 baudios, velocidad actual de comunicación.

8.1.8 Desempeño del conjunto

Luego de analizar por separado cada componente del dispositivo, se procedió con la construcción del equipo portátil para finalmente realizar pruebas de campo.

Para la construcción del mismo se utilizó un gabinete plástico de los que se usan en instalaciones eléctricas, dividiéndolo en tres niveles para poder aprovechar mejor el lugar disponible. En el nivel inferior se colocaron los transformadores de medida, las baterías y la fuente para obtener $\pm 5V$ inclusive aún con falta de tensión de línea. En el piso intermedio se colocó la placa acondicionadora de corriente y en el piso superior se ubicó la placa acondicionadora de tensión, la placa de adquisición de datos y el módulo inalámbrico XBEE. Para la transferencia de datos entre placas se utilizó el cable “ID” de PC. Finalmente se colocó una entrada para la fuente que carga las baterías y una tecla para encender y apagar el equipo.

A continuación se muestran imágenes de diferentes etapas en el desarrollo del mismo.

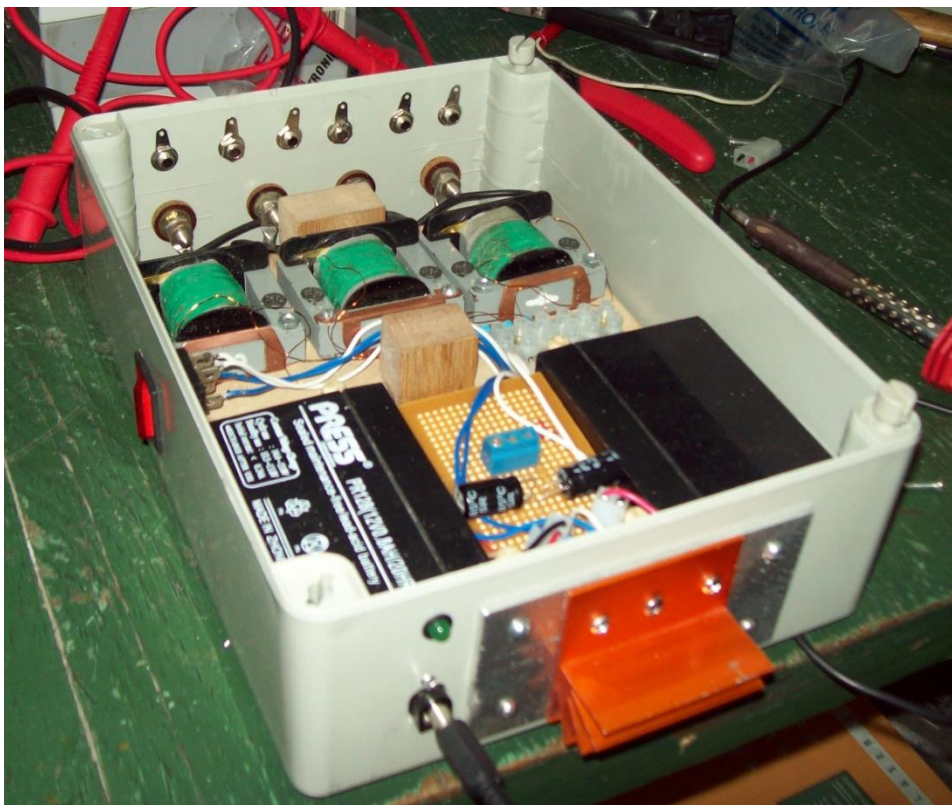


Figura 95. Nivel inferior del equipo. Arriba se encuentran los transformadores de medida y debajo se pueden observar las baterías y el circuito de la fuente construida.

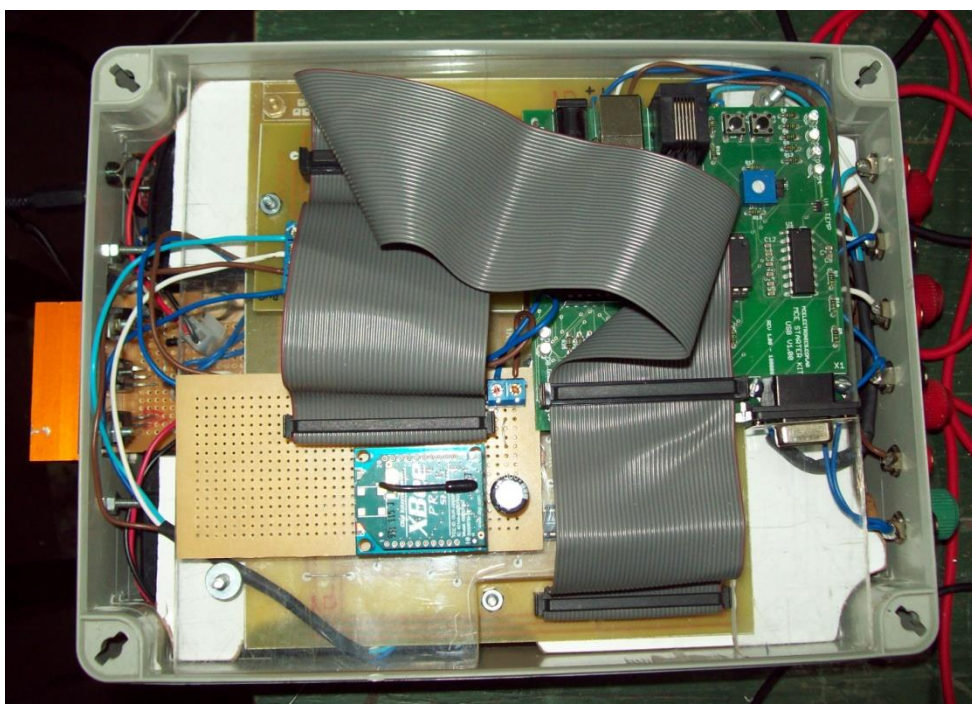


Figura 96. Nivel superior del equipo. Se pueden observar la placa acondicionadora de corriente, el módulo XBEE de transmisión inalámbrica y la placa de adquisición de datos.



Figura 97. Versión final del equipo.

8.1.9 Pruebas de Campo

Una vez construido el equipo se comenzaron con las pruebas de campo para analizar el desempeño del mismo y de los programas realizados en LabVIEW.

8.1.10 Modo Osciloscopio

Para realizar la prueba del equipo y del programa se colocó una carga resistiva pura y una carga distorsionada monofásica ya que por el momento contamos con solo una pinza transductora.

Se compararon las mediciones con las de un analizador de redes Circutor y se obtuvieron los parámetros de ganancia por software necesarios para calibración del instrumento.

Una vez realizado esto se conectaron diferentes tipos de cargas en el Laboratorio y se obtuvieron resultados acordes a los esperados.

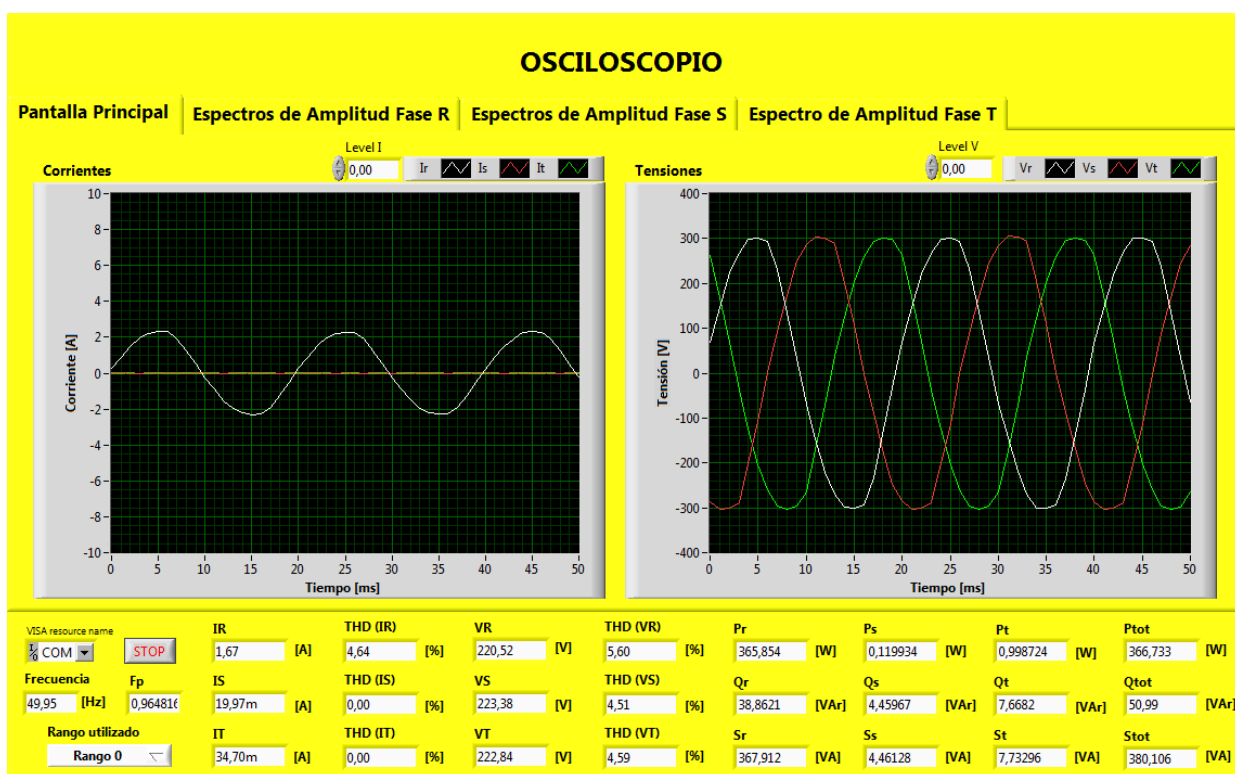


Figura 98. Tensión trifásica y carga resistiva monofásica.

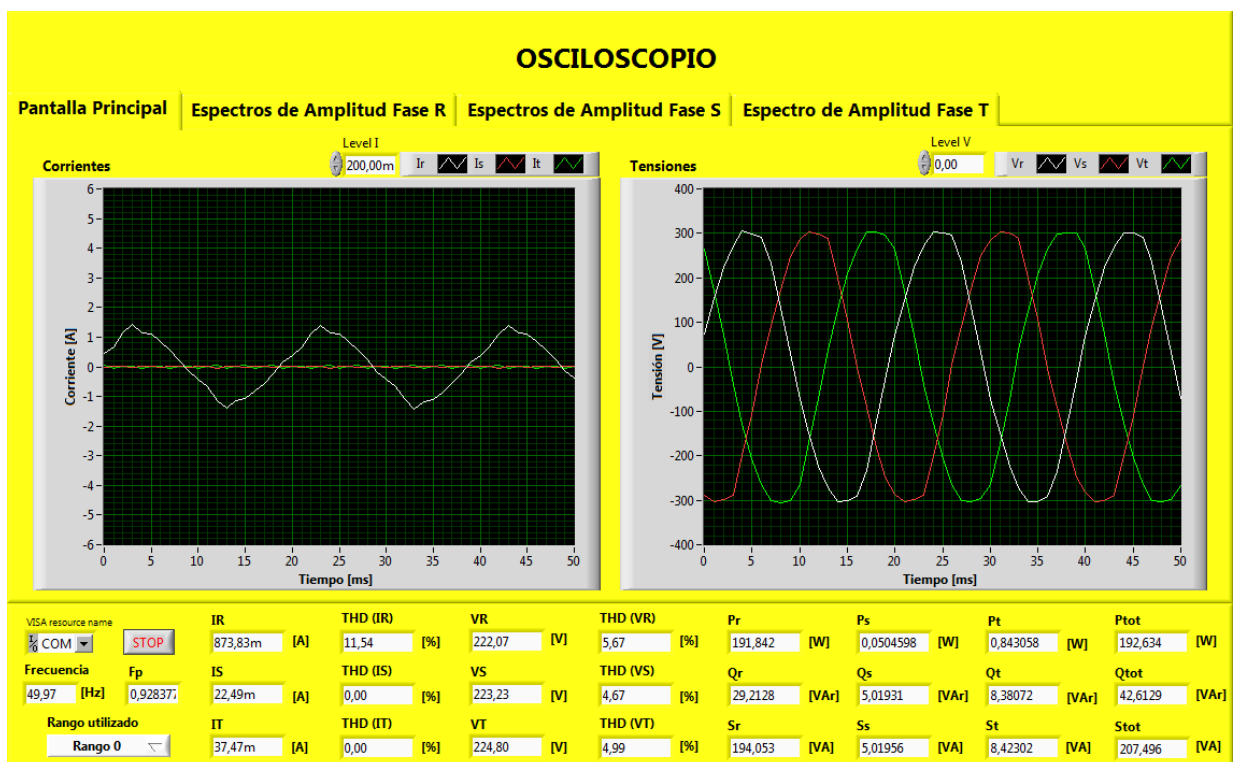


Figura 99. Tensión trifásica y carga distorsionada monofásica.

8.1.11 Analizador de Variaciones Lentas de Tensión

Una vez calibrado el instrumento, para el análisis del equipo y del software se realizó la medición de un día completo en el laboratorio de Medidas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería de la UNMDP.

Se configuraron intervalos de grabación de 1 minuto, comparando periódicamente las mediciones con el mismo analizador de redes Circutor, obteniéndose resultados satisfactorios en todos los casos.

A continuación se pueden observar las capturas de pantallas de la aplicación y el archivo de texto de salida de datos.

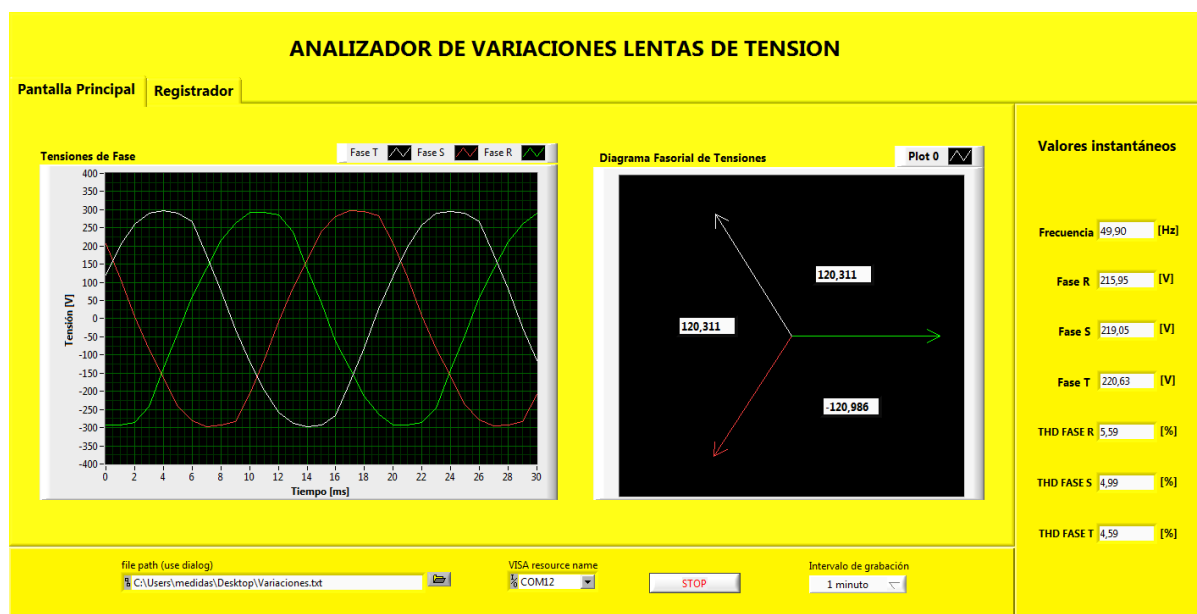


Figura 100. Pantalla Principal. Forma de onda de las tensiones y diagrama fasorial de las mismas.

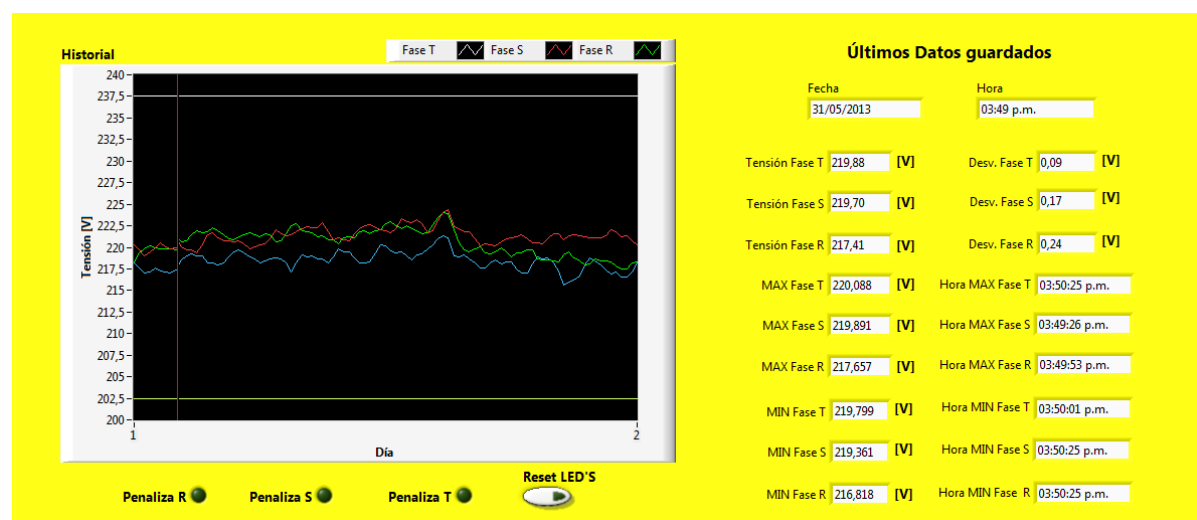


Figura 101. Pestaña Registrador. Historial de tensiones y valores máximos y mínimos de las mismas.

Fecha	Hora	Fase T[V]	Fase S[V]	Fase R[V]	Desv T[V]	Desv S[V]	Desv R[V]	Max T[V]	Hora
31/05/2013	02:05 p.m.	220,49	221,38	219,28	0,09	0,05	0,03	220,65	02:06:05 p.m.
31/05/2013	02:06 p.m.	220,53	221,33	219,59	0,11	0,03	0,14	220,65	02:06:06 p.m.
31/05/2013	02:07 p.m.	220,72	221,19	219,39	0,24	0,03	0,25	221,04	02:07:57 p.m.
31/05/2013	02:08 p.m.	220,80	221,22	218,91	0,14	0,08	0,06	220,99	02:08:07 p.m.
31/05/2013	02:09 p.m.	221,36	221,42	219,05	0,29	0,26	0,10	221,79	02:10:03 p.m.
31/05/2013	02:10 p.m.	222,04	220,15	218,61	0,21	0,21	0,13	222,33	02:11:06 p.m.
31/05/2013	02:11 p.m.	222,22	220,48	219,06	0,16	0,13	0,11	222,40	02:11:27 p.m.
31/05/2013	02:12 p.m.	221,88	221,29	218,17	0,06	0,33	0,37	221,97	02:12:41 p.m.
31/05/2013	02:13 p.m.	221,28	221,07	217,50	0,26	0,31	0,09	221,71	02:13:08 p.m.
31/05/2013	02:14 p.m.	220,05	220,59	218,53	0,41	0,08	0,40	220,78	02:14:08 p.m.
31/05/2013	02:15 p.m.	219,69	220,78	219,04	0,12	0,20	0,07	219,90	02:16:07 p.m.
31/05/2013	02:16 p.m.	219,76	221,49	219,28	0,15	0,21	0,08	219,94	02:16:13 p.m.
31/05/2013	02:17 p.m.	219,33	221,87	218,96	0,06	0,03	0,06	219,46	02:18:08 p.m.

Min T[V]	Hora	Max S[V]	Hora	Min S[V]	Hora	Max R[V]	Hora	Min R[V]	Hora
220,21	02:05:48 p.m.	221,45	02:05:15 p.m.	221,24	02:06:05 p.m.	219,33	02:05:51 p.m.	219,18	02:06:05 p.m.
220,36	02:07:05 p.m.	221,38	02:06:23 p.m.	221,28	02:07:05 p.m.	219,76	02:07:05 p.m.	219,33	02:07:05 p.m.
220,37	02:08:06 p.m.	221,27	02:07:06 p.m.	221,15	02:08:06 p.m.	219,75	02:07:06 p.m.	219,03	02:08:06 p.m.
220,61	02:09:06 p.m.	221,43	02:09:06 p.m.	221,14	02:08:50 p.m.	219,03	02:08:07 p.m.	218,81	02:09:06 p.m.
220,84	02:10:06 p.m.	221,67	02:09:25 p.m.	220,75	02:10:06 p.m.	219,18	02:09:32 p.m.	218,84	02:10:06 p.m.
221,78	02:11:04 p.m.	220,71	02:10:07 p.m.	219,97	02:11:06 p.m.	218,84	02:11:06 p.m.	218,44	02:11:04 p.m.
221,93	02:12:06 p.m.	220,74	02:12:06 p.m.	220,17	02:11:47 p.m.	219,21	02:11:31 p.m.	218,84	02:12:06 p.m.
221,73	02:13:07 p.m.	221,65	02:12:56 p.m.	220,75	02:13:07 p.m.	218,82	02:12:07 p.m.	217,63	02:13:07 p.m.
220,80	02:14:07 p.m.	221,57	02:13:08 p.m.	220,71	02:14:07 p.m.	217,76	02:14:07 p.m.	217,40	02:13:59 p.m.
219,53	02:15:07 p.m.	220,76	02:14:08 p.m.	220,42	02:15:07 p.m.	219,03	02:15:07 p.m.	217,78	02:15:12 p.m.
219,53	02:16:00 p.m.	221,12	02:16:07 p.m.	220,43	02:15:47 p.m.	219,21	02:16:07 p.m.	218,98	02:15:49 p.m.
219,44	02:17:07 p.m.	221,79	02:17:07 p.m.	221,12	02:17:05 p.m.	219,37	02:16:39 p.m.	219,07	02:17:07 p.m.
219,23	02:18:05 p.m.	221,92	02:17:42 p.m.	221,79	02:18:08 p.m.	219,05	02:17:08 p.m.	218,88	02:18:08 p.m.

Figura 102. Extracto del archivo de texto generado en la grabación.

CAPÍTULO IX

ANÁLISIS ECONÓMICO

9 CAPÍTULO IX: ANÁLISIS ECONÓMICO

Lo que se pretende en este Capítulo es realizar el relevamiento de todos los gastos inherentes al Proyecto, para luego comparar el costo del equipo construido con el costo de diferentes equipos comerciales.

9.1 DESCRIPCIÓN DE COSTOS INVOLUCRADOS

A continuación se listan los componentes utilizados en la construcción del equipo, junto con su valor con el fin de obtener el costo total, sin tener en cuenta la mano de obra.

Tabla XIII. Componentes utilizados.

Cantidad	Descripción	Pu U\$/u	Importe U\$
50	Resistencia 1/4W 2.5x6.5mm Carbón	0.017	0.859
15	Capacitor Electrolítico 100uf 50V	0.090	1.345
9	Capacitor Cerámico 0.1uf 50V	0.046	0.412
30	Diodo Zenner 5V 1W (1N4733A)	0.141	4.237
3	Hembra P/CI 2 Contactos 2x40	3.481	10.443
3	Macho P/CI 2 Contactos 2x40	3.481	10.443
6	Amplificador Operacional TL084	0.960	5.760
6	Zócalo Doble Contacto	0.170	1.019
3	Multiplexor Analógico 4052	1.050	3.149
3	Zócalo Doble Contacto 2x8	0.118	0.355
1	Bornera 3A 1.5 mm 12 contactos	1.336	1.336
10	Bornera Banana y Terminal p/chasis	1.261	12.615
4	Bornera 2 Polos 8A 300V	0.323	1.290
3	Bornera 3 Polos 8A 300V	0.574	1.723
4	Punta de Prueba con Cocodrilo	5.805	23.221
3	Transuctor AC/DC Prova CM15	302.000	906.000
1	Interruptor On-Off	1.113	1.113
2	Batería Gel 12V 0.8 Ah	14.874	29.748
1	Transformador 30V 1A	33.630	33.630
1	Regulador Positivo 12V 1A (7812)	0.845	0.845
1	Regulador Negativo 12V 1A (7912)	0.845	0.845
1	Regulador Positivo 24V 1A (7824)	0.845	0.845
1	Plaqueta Universal 100x50mm	2.099	2.099
1	Disipador 15x15x15 1.5 mm espesor	1.403	1.403
1	Kit Mika con Niple TO-3	0.531	0.531
1	1m Cable Plano Gris 40 Conductores 28AWG	3.128	3.128
1	cable USB macho a mini USB	5.170	5.170
1	XBee Explorer Regulated	38.931	38.931
1	MO Placa ADQ Corriente	22.901	22.901
1	MO Placa ADQ Tensión	11.450	11.450
1	Película 34x40	7.634	7.634
2	Módulo XBee-Pro 802.15.4 60mW -100dBm	47.750	95.500
1	Gabinete Plástico Steck	19.084	19.084
Total U\$			1259

Para cuantificar la mano de obra involucrada en la construcción del equipo se realizó un cálculo estimativo de las horas hombre utilizadas.

A fin de estimar las horas se tuvo en cuenta el cronograma de construcción planteado en la Beca de Investigación, y en base a la remuneración recibida se sacó el costo de la mano de obra por hora. Como se mencionó anteriormente el cálculo es estimativo, ya que es un Proyecto de Investigación de construcción de un equipo experimental en el que participaron varias personas.

El tiempo utilizado para el desarrollo del equipo fue de aproximadamente 8 meses, vale aclarar que durante esos meses no se estuvo abocado totalmente a la construcción del mismo, ya que, se realizaron publicaciones y se participó de Congresos. La cantidad de horas dedicadas a la Beca son por reglamento 10 semanales, y el sueldo es de U\$S 392 por mes. En base a lo anterior, el costo de la hora de trabajo en el equipo es de:

$$\frac{382 \text{ U\$S/mes}}{40 \text{ h/mes}} = 9.55 \text{ U\$S/h}$$

Considerando un total de 8 meses, 4 semanas al mes, 10 horas por semana, el total de horas necesarias para la construcción del equipo fue de 320[h]. En base a lo anterior, los costos fueron de:

Costo de componentes :U\$S1259

Horas de desarrollo :U\$S3056

Lo que suma un costo total de:

<i>Costo total : U\$S 4315</i>

Como se explicó anteriormente, el valor calculado fue en base a considerar 320 horas de desarrollo. Como el cálculo es aproximado, se elaboró un gráfico que contempla el precio del equipo en función a las horas de desarrollo, con el fin de poderlo comparar con equipos comerciales de diferentes prestaciones.

9.2 COMPARATIVA CON EQUIPOS DEL MERCADO

Para realizar una comparación de precios se buscaron tres equipos diferentes que hay actualmente en el mercado. Los mismos fueron:

9.2.1 AEMC 3955-BW/SR193 Power Quality Analyzer

Prestaciones:

- 4 canales de tensión.
- 4 canales de corriente 1200[A] máx.
- Display color.

- Detección de armónicos hasta el orden 50.
- Comunicación RS 232.
- Data Viewer Software.
- Batería de NiMH.
- Cálculo de parámetros de Calidad de la Energía.

Precio: U\$S 6059

9.2.2 Analizador de calidad de energía Circutor

Prestaciones:

- 4 canales de tensión.
- 4 canales de corriente 1000[A] máx.
- Auto-detect clamps.
- Datalogging 1MB Memory.
- Detección de armónicos hasta el orden 30.
- Comunicación RS232.
- Software Power Vision.
- Cálculo de parámetros de Calidad de la Energía.

Precio: U\$S 6470.

9.2.3 HIOKI 3197

Prestaciones:

Measurement line type	Single-phase 2-wire, single-phase 3-wire, three-phase 3-wire, three-phase 4-wire
Voltage range	600.0 V AC
Current ranges	500.0 mA to 5.000 kA AC (depends on current sensor in use)
Power ranges	300.0 W to 9.00 MW (depends on combination of current range and line type)
Measurement items	1. RMS Voltage and Current (200 ms calculation) 2. Voltage (1/2) RMS: one cycle calculation refreshed every half cycle. 3. Current (1/2) RMS: half-cycle calculation. 4. Frequency 5. Active Power/ Reactive Power/ Apparent Power/ Power Factor/ Displacement Power Factor/ Active or Reactive Energy Consumption 6. Demand (Active or Reactive power) 7. Up to 50th Harmonic Analysis (Time series measurement or recording is not capable) 8. Peak Voltage and Current 9. Total harmonic voltage distortion ratio 10. Voltage Unbalance Factor 11. K Factor (Time series recording is not capable)

Event Detection	12. Total harmonic current distortion ratio (Time series recording is not capable) 1. Voltage Swells (Rise), Voltage Dips (Drop), Interruptions: RMS value detected using voltage (1/2) measured every half cycle 2. Inrush Current: RMS value detected using current (1/2) every half cycle 3. Transient Overvoltage: 50 Vrms or more detection, 10 to 100 kHz 4. Timer: Detect events at preset intervals 5. Manual: Detect events when keys are pressed
Number of Recordable Events	50 event waveforms, 20 event voltage fluctuation graphs, 1 inrush current graph, 1000 event counts
Interface	USB 2.0 (Communication to the PC)
Display	4.7-inch color STN LCD
Power supply	AC ADAPTER 9418-15 (100 - 240V, 50/60Hz), BATTERY PACK 9459, Continuous use 6 hours (LCD Back-light auto-OFF 5min.), 23VA max.

Precio: U\$S 4195

9.2.4 Gráfico comparativo

A continuación se muestra el gráfico comparativo de precios con equipos del mercado.

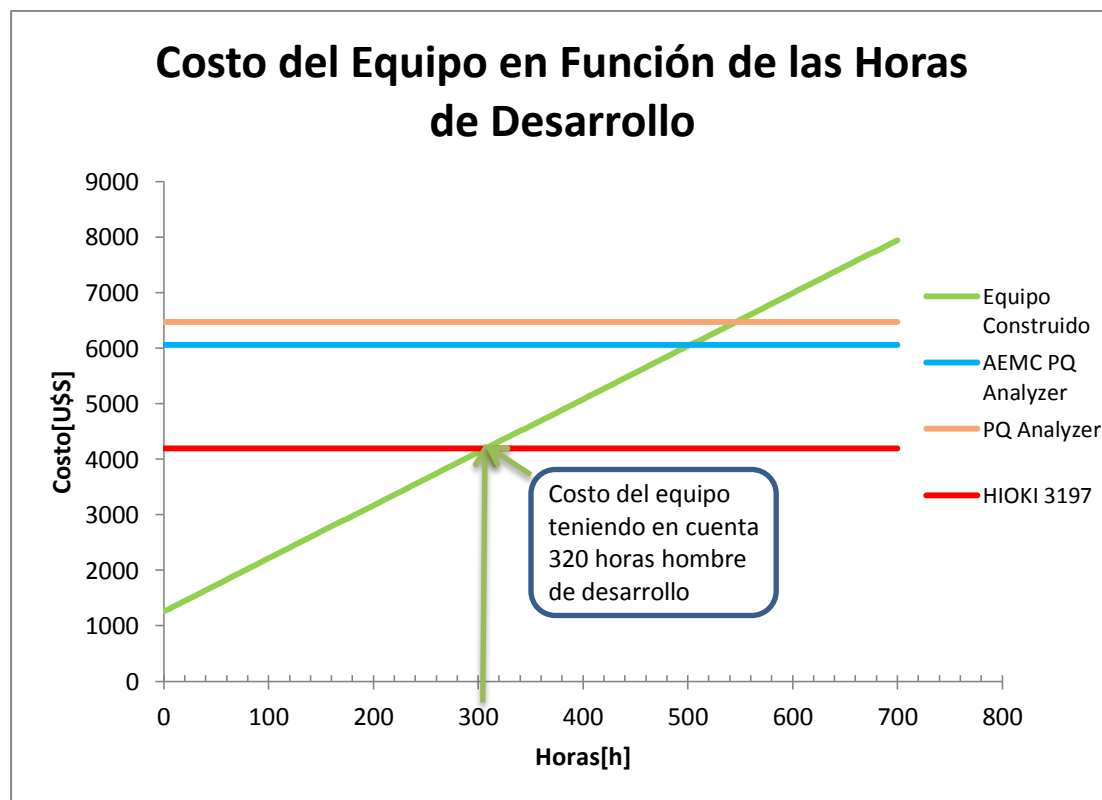


Gráfico 4. Costo del equipo en función de las horas de desarrollo.

9.3 RESULTADOS

Como se observa, teniendo en cuenta el cálculo estimativo de las horas hombre de desarrollo, el equipo tiene un costo menor a dos de los analizados, y mayor al del Hioki. Si bien los dispositivos tienen, en algunos casos, prestaciones superiores, el equipo construido fue desarrollado íntegramente en la Facultad, y cuenta con la ventaja de poseer transmisión de datos inalámbricas.

Este Proyecto cuenta también con la ventaja de servir como base de desarrollo de futuros equipos, dado que hubo pedidos por parte de la Secretaría de Obras de la Universidad de efectuar mediciones en zonas públicas, lo que ocasiona la imposibilidad de dejar a la vista un equipo comercial, por ejemplo, mediciones en el tablero de entrada del anexo de la facultad.

Además, continuando con el desarrollo del mismo será posible aumentar sus prestaciones. Como por ejemplo, dotarlo de una memoria flash para que funcione independiente de una PC, instalarle una pantalla de cristal líquido, aumentar la velocidad de procesamiento de datos, mejorar las placas de adquisición, etc.

Sin tener en cuenta las horas de desarrollo, el costo de los componentes fue de U\$S 1259, un valor largamente menor a lo de los equipos que existen actualmente en el mercado, y con prestaciones similares.

CAPÍTULO X

IMPACTO AMBIENTAL

10 CAPÍTULO X: IMPACTO AMBIENTAL

10.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la preocupación por la presencia de químicos y materiales peligrosos en los equipos electrónicos y eléctricos. El interés se ha centrado particularmente en las computadoras y su equipo periférico, dado el rápido incremento en la producción mundial de dichos bienes. Los ejemplos incluyen al plomo, un metal altamente tóxico que tradicionalmente se ha usado en soldaduras eléctricas y otros materiales en la fabricación de dichos productos, y ciertos compuestos tóxicos bromados, tales como los difenil éter polibromados (PBDEs), cuyo uso como retardante, ha resultado el que se libere al ambiente.

Los estudios que investigan el uso de químicos peligrosos en la industria electrónica se han enfocado en los impactos que éstos tienen sobre la salud humana y el medio ambiente por actividades de reciclaje y desecho de equipo electrónico/eléctrico obsoleto.

Un tema que ha recibido menor atención pública en la actualidad es el potencial impacto ambiental que tiene la manufactura de equipo electrónico/eléctrico, tanto por los químicos que quedan incorporados al producto, así como por otros químicos que se utilizan en el proceso de manufactura y que no forman parte del producto final, como son los solventes y surfactantes [24].

Una computadora típica es una construcción increíblemente compleja que consiste en una gran variedad de distintos componentes, desde aquellos que se ven a simple vista como el teclado, la carcasa y la pantalla, hasta aquellos que son parte de los circuitos y el cableado interior e incluyen circuitos impresos (PWBs), semiconductores, discos duros, interfaces, cables, etc. (muchos de los cuales están constituidos a su vez por numerosas partes individuales). La fabricación de este tipo de equipo es verdaderamente una industria mundial. Una típica computadora puede haber sido ensamblada usando miles de componentes manufacturados en plantas especializadas que pueden estar localizadas en un gran número de países. Al interior de esta industria hay muchos sectores diferentes.

Los tres sectores principales de esta industria, anteriormente mencionados son:

- Fabricación de circuitos impresos (PWBs).
- Fabricación de chips semiconductores.
- Ensamblaje de componentes.

El ensamblaje de componentes individuales en dispositivos pequeños y el producto final puede requerir el uso de surfactantes y solventes químicos como los flux y metales en soldaduras eléctricas. Históricamente las soldaduras eran aleaciones de base plomo y, aunque actualmente se están usando alternativas libres

de plomo [25] se han acordado numerosos supuestos de aplicabilidad a fin de permitir el uso continuo de soldaduras de plomo de acuerdo con la Directiva europea RoHS. La fabricación de PWBs y chips semiconductores requiere una serie de procesos altamente complejos y químicamente intensivos ya que utiliza un amplio rango de químicos, muchos de los cuales no forman parte del producto final.

10.1.1 La fabricación de las tarjetas de circuito impreso (PWB)

Aunque a los circuitos impresos (PWB) también se les conoce como tarjetas de circuitos (PCB), en este estudio utilizaremos el término PWB para evitar confusiones con otro uso común de las siglas PCB que se refiere a los químicos bifenilos poli clorados.

Los PWBs son esencialmente circuitos complejos de cobre empotrados en una base de capas delgadas de material aislante. Usualmente las bases están hechas de compuestos de fibra de vidrio y/o resina epóxica a los que se les agregan químicos retardadores de flama. El tetrabromobisfenol-A (TBBPA), un retardante de flama bromado (BFR), es ampliamente empleado en las bases de resina epóxica. Este compuesto se adhiere químicamente al polímero, aunque en la tarjeta final quedan trazas de TBBPA que no se adhirió [26] por lo que puede haber una lixiviación de los monómeros sin reaccionar.

La fabricación de PWBs involucra la producción de circuitos complejos de cobre sobre capas delgadas de material aislante (tarjetas). Se laminan todas las capas y se les hacen perforaciones que permitirán la comunicación eléctrica entre ellas. Posteriormente se colocan circuitos adicionales en la superficie exterior y se aplican para su terminado químico, para limpiar, fortalecer y proteger la tarjeta. Para cada capa, el trazado de circuito de cobre es producido en primer lugar bañando la materia prima con cobre.

El diseño del circuito se protege temporalmente durante la siguiente etapa, que es el “grabado”, con una plantilla o “máscara” que se coloca encima del cobre y que tiene la forma del circuito deseado (utilizando técnicas fotoquímicas que se describen más abajo) y posteriormente eliminar cobre no deseado de forma selectiva de aquellos lugares donde no requiere el circuito. En la fabricación de PWB se utilizan varios procesos que requieren utilización de sustancias químicas que pueden generar una mezcla de residuos peligrosos; sin embargo, las técnicas aplicadas varían de un fabricante a otro. El proceso de creación de circuitos utiliza una fotoquímica compleja, por ejemplo, se aprovechan los cambios químicos que se generan durante la exposición a luz ultravioleta (UV). La superficie -ya limpia- de cobre primeramente es recubierta con una mezcla foto-resistente (de monómeros, foto-catalizadores) que cambia su solubilidad al ser expuesta a la luz UV. Una diversa gama de químicos orgánicos son usados como foto-resistentes.

Se aplica una máscara (mapa) en el circuito trazado y al aplicársele luz UV brilla sobre la tarjeta. Se utilizan muchos procesos, pero en el más utilizado, la mezcla foto-

resistente se polimeriza en contacto con la luz UV, y llegan a ser insolubles mientras que las áreas no expuestas, continúan siendo solubles. Las tarjetas se lavan utilizando un solvente apropiado, el cuál puede incluir solventes clorados, aunque ya existen sistemas a base de agua [27]-[28]. La solución ya usada contiene mezclas foto-resistentes disueltas y es uno de los líquidos más comunes que van a parar a las aguas residuales en la manufactura de PWB [29]. El cobre expuesto es grabado en la superficie y el protector foto-resistente es removido utilizando otros químicos (removedores de películas) hasta llegar a un circuito de cobre terminado.

Estos procesos generan una compleja composición de aguas residuales que crean desechos complejos que incluyen cobre soluble, químicos foto-reactivos y solventes.

Las capas individuales se unen con resinas epóxicas gracias a calor y presión. En el PWB se perforan hoyos o “vías” para permitir anexar componentes o, proveer conexión eléctrica entre las capas a través de la cubierta de cobre. El recubrimiento de las perforaciones se realiza tradicionalmente mediante un proceso para cobre sin aplicación de corriente eléctrica por electro chapado. Este proceso utiliza compuestos de cobre disueltos, formaldehídos y químicos quemantes (que pueden impedir la recuperación de metales en aguas residuales), así como otros químicos peligrosos. Por tanto, este proceso está asociado a preocupaciones ambientales muy fuertes, aunque algunos fabricantes ahora usan procesos alternativos que son menos intensos químicamente y con un menor impacto al medioambiente [30]-[31].

La capa final de circuito se agrega de manera similar a la empleada en las capas internas y entonces se aplican acabados de superficies a fin de evitar la oxidación de cobre y proporcionar una protección física. Estos acabados generalmente tienen base de soldaduras metálicas (ya sean de plomo-estaño o aleaciones sin plomo) y/u otros metales, incluyendo níquel y oro, que pueden involucrar el uso de compuestos de níquel soluble en agua.

El proceso utilizado, incluyendo los numerosos ciclos de enjuague, resulta en una importante pérdida de metales y químicos de proceso que se incorporan en las aguas residuales. Aunque algunas plantas sí puedan recuperar algunos metales, las aguas residuales representan una fuente significativa de contaminación ambiental [29].

10.1.2 Fabricación de chips semiconductores

Los chips semiconductores, o microchips, consisten en una serie compleja de componentes microscópicos basados en material semiconductor, en un área extremadamente pequeña. Estos circuitos responden mucho más rápido y utilizan menos electricidad que los circuitos tradicionales. La fabricación de los chips semiconductores involucra muchos procesos químicos que requieren grandes cantidades de sustancias químicas de proceso y agua [24]; la fabricación de un chip de memoria de 2 gramos conlleva un gasto de más de 30kg de materiales, incluyendo

agua [32]. Debido a la naturaleza dinámica de esta industria, tanto las tecnologías usadas, los químicos y procesos empleados cambian rápidamente [33].

Los chips semiconductores se construyen a partir de materiales sumamente puros mediante un proceso multi escalonado que, esencialmente, involucra tres elementos básicos: las distintas capas de material aislante, el material semiconductor o conductor, y el recubrimiento de capas semiconductoras que tienen un conjunto de químicos para afinar sus propiedades eléctricas y, el dibujo de la superficie que se va elaborando a través de varios procesos de recubrimiento y grabado parecidos a los de fabricación de PWB. De esta manera se van acumulando capas de múltiples trazados de circuitos.

Estos procesos no admiten siquiera trazas de impurezas, por lo que requiere el uso de químicos (gases y solventes) muy puros y en grandes volúmenes. A pesar de que sí hay reciclaje-recuperación de productos químicos gastados, los solventes y gases recuperados pueden contener impurezas que hacen que sea prácticamente imposible lograr su limpieza total, por lo que muchas veces los residuos de solventes son incinerados [34]. El tratamiento de los residuos de solventes generalmente lo hacen compañías contratadas para ello. En esta industria, el uso de solventes tratados con cloro genera la contaminación de aguas subterráneas en un gran número de localidades [32].

Grandes volúmenes de aguas residuales con una gran variedad de químicos, incluyendo solventes, ácidos y metales (particularmente cobre disuelto), se generan principalmente, durante los procesos de enjuague de las superficies del semiconductor o chip y en las etapas de grabado y limpieza.

Los procesos utilizados en la fabricación de semiconductores también generan corriente de desechos gaseosos con una gran variedad de contaminantes peligrosos al aire. Estos pueden incluir metales pesados, compuestos perfluorinados, ácidos inorgánicos y químicos orgánicos volátiles (VOCs), algunos de los cuales son gases de efecto invernadero. A pesar de que se disminuyen los químicos en los efluentes de desechos gaseosos, se han reportado emisiones de estos al aire [35].

El uso de químicos peligrosos en esta industria ha causado preocupación por la salud de los trabajadores, especialmente acerca de los posibles impactos a largo plazo por exposición de bajo nivel a un amplio y siempre cambiante rango de sustancias químicas. Estudios epidemiológicos han subrayado el incremento en la incidencia de los efectos sobre la reproducción y ciertos cánceres [36]-[39], aunque el establecer relaciones de causa-efecto para la exposición química es extremadamente difícil bajo estas circunstancias [40].

10.2 ANÁLISIS AMBIENTAL

Se define el área de influencia del proyecto como aquella que engloba todas las zonas afectadas por las actividades proyectadas.

10.2.1 Determinación de componentes y acciones del Proyecto

Se han identificado los aspectos ambientales de todas las actividades del proyecto y se las dividieron en dos fases:

1. Fase de Construcción: diseño de los elementos y armado del equipo.
2. Fase de operación: uso del equipo y mantenimiento del mismo.

10.2.2 Identificación y evaluación de los diferentes impactos

Se ha cuantificado el impacto ambiental de cada uno de los aspectos utilizando las recomendaciones de la resolución 477/2001, con la salvedad de que esa resolución se utiliza para un proyecto de infraestructura. De todas formas los atributos sugeridos por dicha resolución se pueden aplicar perfectamente a este proyecto.

En la tabla siguiente se pueden observar los atributos que contempla la resolución, que son: Carácter, Intensidad, Riesgo de Ocurrencia, Extensión, Duración, Desarrollo, Reversibilidad y Calificación Ambiental. A estos atributos se le sugiere un rango y una calificación.

Tabla XIV. Atributos sugeridos por la Resolución 477/2001 para ser evaluados en un Estudio de Impacto Ambiental.

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO	CALIFICACION
CARÁCTER (Ca)	Define las acciones o actividades de un proyecto, como perjudicial o negativa, positiva, neutra o previsible (difícilmente calificable sin estudios específicos)	Negativo Positivo Neutro Previsible	-1 +1 0 X
INTENSIDAD (I)	Expresa la importancia relativa de las consecuencias que incidirán en la alteración del factor considerado. Se define por interacción del Grado de Perturbación que imponen las actividades del proyecto y el Valor Ambiental asignado al recurso.	Muy alta Alta Mediana Baja	1,0 0,7 0,4 0,1
EXTENSION (E)	Define la magnitud del área afectada por el impacto, entendiéndose como la superficie relativa donde afecta el mismo.	Regional Local Puntual	0,8-1,0 0,4-0,7 0,1-0,3

DURACION (Du)	Se refiere a la valoración temporal que permite estimar el período durante el cual las repercusiones serán detectadas en el factor afectado	Permanente (más de 10 años) Larga (5 a 10 años) Media (3 a 4 años) Corta (hasta 2 años)	0,8-1,0 0,5-0,7 0,3-0,4 0,1-0,2
DESARROLLO (De)	Califica el tiempo que el impacto tarda en desarrollarse completamente, o sea la forma en que evoluciona el impacto, desde que se inicia y manifiesta hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias	Muy rápido (<1 mes) Rápido (1 a 6 meses) Medio (6 a 12 meses) Lento (12 a 24 meses) Muy lento(>24 meses)	0,9-1,0 0,7-0,8 0,5-0,6 0,3-0,4 0,1-0,2
REVERSIBILIDAD (Re)	Evalúa la capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto	Irreversible Parcialmente reversible Reversible	0,8-1,0 0,4-0,7 0,1-0,3
RIESGO DE OCURRENCIA (Ro)	Califica la probabilidad de que el impacto ocurra debido a la ejecución de las actividades del proyecto	Cierto Muy probable Probable Poco probable	9-10 7-8 4-6 1-3

Una vez valorado cada atributo, se determina una Calificación Ambiental (CA) mediante la siguiente ecuación:

$$CA = Ca \times \frac{(I + E + Du + De + Re)}{5} \times Ro \quad 10-1$$

Donde

CA: Calificación Ambiental.

Ca: Carácter.

I: Intensidad.

E: Extensión.

Du: Duración.

De: Desarrollo.

Re: Reversibilidad.

Ro: Riesgo de Ocurrencia.

El dividir por cinco permite ponderar los parámetros en forma uniforme y analizar luego las calificaciones por rango nulo, bajo, medio o alto según la Tabla XIV.

Tabla XV. Valorización de Impactos Ambientales.

VALORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES			
CALIFICACION AMBIENTAL (CA)	Es la expresión numérica de la interacción de los parámetros o criterios. El valor de se corresponde con un valor global de la importancia del impacto. Se aplica según la fórmula expuesta (1)	0	Nulo
		1-3	Bajo
		4-7	Medio
		8-10	Alto

En la Tabla XV se puede observar la Matriz de Impacto Ambiental construida.

10.2.3 Resultados

Analizando los resultados de la Matriz de Impacto Ambiental se puede observar:

- Como era de esperar para un Proyecto de esta magnitud, la mayoría de las actividades presentan una Calificación Ambiental Nula.
- El consumo de energía eléctrica tiene un impacto negativo bajo para el aire y el suelo.
- En cuanto a la mano de obra empleada para la construcción del equipo y la fabricación de las plaquetas electrónicas, el impacto socioeconómico es levemente positivo debido a que se generan puestos de trabajo.
- En lo que respecta a detección de problemas de calidad de la energía eléctrica este proyecto genera un impacto positivo medio sobre el aire, el suelo, el agua, además de generar un impacto socioeconómico positivo.

Tabla XVI. Matriz de Impacto Ambiental

	ACTIVIDAD	CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	AFECTACIÓN AL AIRE								AFECTACIÓN AL SUELO							
			Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Desarrollo	Reversibilidad	Riesgo Ocurrencia	CALIF. AMBIENTAL	Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Desarrollo	Reversibilidad	Riesgo Ocurrencia	CALIF. AMBIENTAL
FASE DE CONSTRUCCIÓN	Diseño de los Elementos	Consumo de Energía Eléctrica	-1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	2	-0.4	-1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	3	-0.4
		Utilización de Equipo Informático	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
		Consumo de Papel	-1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	2	-0.2	-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	4	-0.5
	Armado	Consumo de Energía Eléctrica	-1	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	2	-0.4	-1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	4	-0.5
		Fabricación de Componentes Electrónicos y/o Armado de Equipo	-1	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	3	-0.6	-1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	5	-0.8
		Uso de Productos Químicos para la Construcción de Plaquetas	-1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	3	-0.5	-1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	5	-0.7
		Fabricación de Baterías	-1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	4	-0.7	-1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	4	-0.6
FASE DE OPERACIÓN	Uso del Equipo	Consumo de Energía Eléctrica	-1	0.4	0.1	0.8	0.2	0.1	4	-1.3	-1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	5	-1.0
		Detección de Problemas de Calidad de Energía	1	1	0.5	0.9	0.8	0.2	9	6.1	1	1	0.6	1	1	0.1	6	4.4
	Mantenimiento	Reemplazo de Baterías	-1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	2	-0.4	-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	-0.1
		Mantenimiento de Componentes	-1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	1	-0.2	-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	-0.1

AFECTACIÓN AL AGUA								AFECTACIÓN A LA BIOTA								AFECTACIÓN SOCIOECONOMICO							
Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Desarrollo	Reversibilidad	Riesgo Ocurrencia	CALIF. AMBIENTAL	Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Desarrollo	Reversibilidad	Riesgo Ocurrencia	CALIF. AMBIENTAL	Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Desarrollo	Reversibilidad	Riesgo Ocurrencia	CALIF. AMBIENTAL
-1	0.1	0.1	0	0	0.5	1	-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	5	0.6
0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	1	-0.1	-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	-0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.0
-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	2	-0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	5	0.6
-1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	2	-0.4	-1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6	-0.4	1	0.2	0.1	0.1	0.9	0.2	9	2.7
-1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	2	-0.4	-1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6	-0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.0
-1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	2	-0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1	0.2	0.1	0.1	0.9	0.2	9	2.7
-1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.5	2	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	5	0.6
1	0.4	0.7	0.7	0.5	1	8	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1	0.8	0.3	0.7	0.9	0.2	8	4.6
0	0	0	0	0	0	0	0.0	-1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.6	1	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0.0

	Negativo	Positivo
Nulo		
Bajo		
Medio		
Alto		

CAPÍTULO XI

CONCLUSIONES

11 CAPÍTULO XI: CONCLUSIONES

Este trabajo mostró el desarrollo y construcción de un equipo de análisis de calidad de la energía eléctrica utilizando el entorno de la instrumentación virtual.

El equipo de bajo costo construido permite evaluar los parámetros básicos de calidad en una red eléctrica, vinculados al análisis armónico de cargas no lineales, obteniendo espectros de tensión, corriente e índices de distorsión. Además, permite realizar análisis de variaciones lentas de tensión, potencias, energías, etc.

Las pruebas realizadas en laboratorio resultaron satisfactorias. Luego de efectuar comparaciones del sistema de adquisición de bajo costo propuesto con equipos comerciales, y analizando los datos obtenidos, se observa que el dispositivo presenta una exactitud acorde a un instrumento de campo, teniendo en cuenta los errores propios de la pinza transductora de corriente utilizada, los transformadores de medición y las placas acondicionadoras construidas.

El uso de la instrumentación virtual para el procesamiento de los datos, junto con la posibilidad de modificar el programa cargado en el PIC18F4550, dota al conjunto de gran versatilidad para el análisis de distintos campos en el estudio de la calidad de la energía eléctrica.

La posibilidad de transmitir datos de forma inalámbrica mediante los módulos XBEE Pro[®] además del tamaño logrado en el equipo portátil, permite colocar dicho equipo en cualquier tablero eléctrico y monitorear los datos en forma remota y desde alguna dependencia cercana.

Otro punto importante a hacer notar es la capacidad del equipo de continuar funcionando ante un corte en el suministro eléctrico gracias a la construcción de un sistema de alimentación mediante baterías. Dichas baterías permiten el funcionamiento por aproximadamente 4 horas sin necesidad de recarga.

No obstante del análisis de funcionamiento de este equipo surgen aspectos susceptibles aun de ser mejorados. Entre ellos se puede mencionar la necesidad de incorporar una memoria SD, un reloj propio como el DS1307 y un display para visualizar variables como tensiones y corrientes, de esta forma se podría lograr un modo de funcionamiento autónomo y no habría necesidad de dejar una PC encendida en todo momento.

Con respecto a la placa acondicionadora de corriente, es necesario realizar una mejora de la misma con el fin de perfeccionar la selección de rango, y la calidad de señal medida. Aun así los resultados de las pruebas fueron correctos y se puede utilizar sin ningún tipo de problema.

La interface gráfica puede contener más información de lo que habitualmente ofrece un equipo comercial, además presenta la posibilidad de analizar los datos parcialmente, sin necesidad de aguardar hasta que el período de medición concluya.

Éstas y otras características transforman al conjunto en una herramienta útil para el monitoreo de distintas variables eléctricas, como así también para la enseñanza de la ingeniería.

El uso de la computadora en el entorno de programación LabVIEW para el registro de las variables permite el almacenamiento y procesamiento de datos en tiempo real. La existencia de amplias posibilidades de comunicación admite monitorear el funcionamiento del sistema de adquisición en todo momento.

El equipo construido permitió capitalizar experiencia resultando útil para el desarrollo de esta temática en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, además de poder utilizarlo para realizar cualquier tipo de medición en algún futuro trabajo de extensión. Como adicional también es útil para futuros becarios, ya que existen puntos a ser mejorados y otros agregados como continuación del desarrollo.

Este Proyecto formó parte de una Beca de Investigación de Estudiante Avanzado otorgada por la Universidad Nacional de Mar del Plata. Para los aspectos teóricos del mismo se aplicaron principalmente conocimientos adquiridos en materias específicas de la Carrera, ya que como se explicó anteriormente, se analizaron diferentes facetas de la Calidad de la Energía Eléctrica.

Teniendo como base dichos conocimientos fue necesario cursar la materia optativa Calidad de la Energía Eléctrica con el fin de profundizar temas específicos, como por ejemplo, la Normativa Vigente. Además, para la programación del microcontrolador se cursó la materia optativa Instrumentación Virtual dictada por docentes del Departamento de Ingeniería Electrónica, mientras que para la programación del entorno virtual desarrollado en LabVIEW se cursó la materia optativa Instrumentación Avanzada dictada por docentes del Departamento de Ingeniería Eléctrica. Es decir que para lograr los objetivos propuestos en el Trabajo fue necesario adquirir nuevos conocimientos además de aplicar los adquiridos durante la Carrera.

12 REFERENCIAS

- [1] <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/75/7/Capitulo1.pdf>
- [2] IEC 61000-2-2/4, "Compatibility Levels for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Low-Voltage Power Supply Systems".
- [3] IEEE 1159, "Guide For Recorder and Data Acquisition Requirements For Characterization of Power Quality Events".
- [4] Philippe Ferracc, "La calidad de la energía eléctrica". Octubre 2004.
- [5] Alfonso, J. L., Batista J., Sepúlveda M. J. y J. Martins, "Sistema Digital de Bajo Coste para la Monitorización de la Calidad de Energía Eléctrica" Información Tecnológica, 2007, Vol.18, n.4, pp. 15-23. ISSN 0718-0764.
- [6] IEEE Task Force, "Effects of harmonics on equipment", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, Abril 1993.
- [7] Suárez J.A., di Mauro G., Anaut D. y C. Agüero. "Parámetros que Afectan la Corriente de Neutro en Presencia de Armónicos". Información Tecnológica. 2010, vol.21, n.1, pp. 77-89. ISSN 0718-0764.
- [8] Cadavid D. y L. Galileo, "Armónicos y problemas de Power Quality en el conductor de neutro de sistemas trifásicos". Scientia et Técnica, Vol. 22, pp 19-24. Octubre 2003.
- [9] Paraiso, D., É. Ngandui, M. de Montigny y P. Siccard; "Characterization of neutral and line current harmonics in three-phase computer power Systems", Industrial Electronics Society, Actas del 31º Conferencia Anual de la IEEE- IECON, Raleigh, USA 6 al 10 de noviembre (2005).
- [10] Chicco G., P. Postolache y C. Toader; "Analysis of three-phase systems with neutral under distorted and unbalanced conditions in the symmetrical component-based framework", IEEE Transactions On Power Delivery; 22(1), 674-683, (2007).
- [11] <http://www.tracnova.com/tracnovapub/La%20Instrumentaci%F3n%20Virtual.pdf>
- [12] Universidad Politécnica Salesiana. "Armónicos en las Redes Eléctricas".
- [13] Math H. J. Bollen, Irene Yu-Hua Gu. "Signal Processing of Power Quality Disturbances".
- [14] Rubén Ferreyra. "Análisis de la Normativa Vigente de Calidad de la Energía"
- [15] ENRE. "Calidad del Servicio en la Distribución de Energía Eléctrica".

- [16] Biel Solé, D.; Olivé Duran, J.; Prat Tacias, J.; Sánchez Robert, F. J. Instrumentación virtual. Adquisición, procesado y análisis de señales. UPC, Barcelona, 2001.
- [17] Carstens, J "Electrical sensors and transducers" Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [18] Juan Albornoz Carrasco, Pablo Lagos Norambuena. "Guía de Iniciación LabVIEW" 2008.
- [19] Microchip Technology Inc. (2007). PIC18F2454/2550/4455/4550 Data Sheet.
- [20] Lopez A. C., Manual de Usuario del Compilador PCW de CCS®. C Compiler for Microchip PICmicro® MCUs. Reeditado para formato PDF por Victor Dorado, 2006.
- [21] National Instruments (2005). LabVIEW Fundamentals. 374029A-01.
- [22] G.W. Johnson. LabVIEW Graphical Programming. McGRAW Hill, 1997.
- [23] Subanexo D "Normas de Calidad del Servicio Público y Sanciones". Disponible en http://www.oceba.gba.gov.ar/Paginas/concesiones/SUBPROVINCIAL/SUBANEXO_D.pdf al 7/10/2012.
- [24] Walters, A., Santillo, D., Labunska, I. & Brigden, K. (2006) Background documents on three key elements of the electronics manufacturing sector: semiconductors, printed wiring (circuit) boards and TFT-LCD screens. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 08/2006; www.greenpeace.to/publications.
- [25] Hui, I.K., Li, C.P. & Lau, H.C.W. (2003) Hierarchical environmental impact evaluation of a process in printed circuit board manufacturing. International journal of production research. 41:1149-1165.
- [26] Sellstrom, U. & Jansson, B. (1995) Analysis of tetrabromobisphenol A in a product and environmental samples. Chemosphere 31: 3085-3092.
- [27] Hui, I.K., Li, C.P. & Lau, H.C.W. (2003) Hierarchical environmental impact evaluation of a process in printed circuit board manufacturing. International journal of production research. 41:1149-1165.
- [28] Shaw, J.M., Gelorme, J.D., LaBianca, N.C., Conley, W.E. & Holmes, S.J. (1997) Negative photoresists for optical lithography. IBM Journal of Research and Development. 41:81-94.
- [29] USEPA (1995) Printed Wiring Board Industry and Use Cluster Profile EPA-744-R-95-005.
- [30] Chang, L-Y. (1995) A waste minimization study of a chelated copper complex in wastewater – treatability and process analysis. Waste Management 15:209-220.

- [31] Hui, I.K., Li, C.P. & Lau, H.C.W. (2003) Hierarchical environmental impact evaluation of a process in printed circuit board manufacturing. *International journal of production research*. 41:1149-1165.
- [32] Williams, E. (2003) Environmental impacts in the production of personal computers. In. Kuehr R & Williams E (Eds) *Computers and the Environment: Understanding and Managing their Impacts*. Kluwer Academic Publishers - Dordrecht ISBN: 1-4020-1680-8.
- [33] Dietrich, J.M. (2004) Life cycle process management for environmentally sound and cost effective semiconductor manufacturing. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment 2004 Conference Record*. ISSN: 1095-2020
- [34] Timms, P.L. (1999) The chemistry of volatile waste from silicon wafer processing. *Dalton Transactions* 815-912
- [35] Chein, H.M. & Chen, T.M. (2003) Emission characteristics of volatile organic compounds from semiconductor manufacturing. *Journal of the Air and Waste Management Association* 53:1029-1036.
- [36] Chen, P-C., Hsieh, G-Y., Wang, J-D. & Cheng, T-J. (2002) Prolonged time to pregnancy in female workers exposed to ethylene glycol ethers in semiconductor manufacturing. *Epidemiology* 13(2):191-196.
- [37] Clapp, R.W. (2006) Mortality among US employees of a large computer manufacturing company: 1969–2001. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 5: 30-40.
- [38] Hsieh, G-Y., Wang, J-D., Cheng, T-J. & Chen P-C. (2005) Prolonged menstrual cycles in female workers exposed to ethylene glycol ethers in the semiconductor manufacturing industry. *Occupational and Environmental Medicine* 62:510-516.
- [39] Schenker, M. B., Gold, E.B, Beaumont, J.J., Eskenazi, B., Hammond, S.K., Lasley, B.L., McCurdy, S.A., Samuels, S.J., Saiki, C.L. and Swan, S.H. (1995) Association of spontaneous abortion and other reproductive effects with work in the semiconductor industry. *American Journal of Industrial Medicine* 28(6): 639-659.
- [40] Fowler, B., LaDou, J., Osorio, A.M., Paul, M., Swan, S.H., & Teitelbaum, D.T. (1999) Spontaneous abortion in the British semiconductor industry (letter). *American Journal of Industrial Medicine*. 36: 584-5.
- [41] Murcia G., Suárez J., Branda J., Simonetta J., Strack J. "Desarrollo de un Dispositivo de Adquisición de Datos para Estudios de Calidad de Energía Eléctrica - Primera Etapa -", I Congreso Argentino de Ingeniería CADI 2012, Mar del Plata, agosto 2012 (ISBN: 978-987-1312-46-7).

[42] Simonetta J., Murcia G., Suárez J., Branda J. “Instrumento Virtual de Análisis del Producto Eléctrico”, III Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos, Mar del Plata Noviembre 2012.