



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

Al hablar de calidad de la Energía agrupamos muchos aspectos, entre ellos el más importante y destacado es la calidad o forma de la onda de tensión, en teoría una onda perfecta de tensión es aquella puramente senoidal con una frecuencia invariable de 60 Hz (en nuestro sistema eléctrico), pero en la vida profesional, sabemos que es imposible tener una onda totalmente perfecta debido a la naturaleza del sistema eléctrico.

Existen varios factores que afectan la naturaleza de la onda de tensión cuya intensidad y duración comprometen notablemente a su calidad y por consiguiente a la calidad de la energía.

Factores tales como, THD (Total Armonic Distorsion) factor total de distorsión armónica, DC Component (componente de corriente continua en la onda de tensión), flicker o parpadeo, ruido, variación de frecuencia, son de los más trascendentales al momento de hablar de afección a la onda de voltaje.

La finalidad del presente trabajo es la de realizar un software para medir dichos factores y establecer un estudio sobre la calidad de la energía suministrada en un punto de la red.

La parte fundamental, la cual caracteriza este trabajo, es la medición del flicker basándonos en sus factores fundamentales Pst y Plt (Power Short Time y Power Long Time) que es la severidad del flicker en corto y largo tiempo respectivamente, cuya evaluación se rige al algoritmo que establece la norma IEC 868.

PALABRAS CLAVE:

Flicker, Flickermeter, LabVIEW, Calidad de la Energía

AUTOR:

René Isaac Rodríguez Chogollo



Índice

Antecedentes	9
Alcance	9
Justificación:.....	10
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos.....	11
Capítulo 1: Calidad de la Energía	12
1.1 Introducción	12
1.2 Parámetros indicadores de la calidad de la Energía.....	13
1.2.1 Estabilidad de la tension	13
1.2.2 Continuidad en el servicio.....	13
1.2.3 Distorsión de la forma de onda.....	13
1.3 Afecciones a la onda de tensión	14
1.3.1 Fluctuaciones de tensión	14
1.3.2 Distorsión de la forma de onda.....	15
1.3.3 Distorsiones rápidas de la forma de onda	20
1.3.4 Desbalance (%)	21
1.3.5 Frecuencia	21
1.3.6 Magnitud de Tensión	21
1.3.7 Potencias reactivas, en términos de factor de potencia.....	21
Capítulo 2: Características de los equipos	22
2.1 Introducción	22
2.2 Características técnicas de los equipos.....	22
Módulo de Corriente NI 9219.....	22
Módulo de Voltaje NI 9225	23
2.2.1 Velocidades de muestreo	24
2.2.2 Resolución de las muestras.....	25



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.2.3 Valores nominales que los módulos soportan y valores de operación	25
2.3 Verificación del teorema de Nyquist.....	27
2.4 Normas y estándares que respaldan la calidad del producto.....	27
Capítulo 3: Desarrollo del Software.....	32
3.1 Introducción al lenguaje de Programación LabVIEW	32
3.2 Desarrollo de las aplicaciones	34
3.2.1 Algoritmo para la medición de flicker	34
Algoritmo para la medición de flicker según IEC 868, desarrollado en LabVIEW (parte fundamental en el desarrollo del presente trabajo).	42
Bloque 1, Adquisición de la señal:	42
Bloque 2, Demodulación de la señal:	43
Bloque 3, Simulación del Ojo:.....	44
Bloque 4, Simulación del Cerebro:	45
Bloque 5, Análisis estadístico en línea:	46
3.3 Desarrollo de las ventanas y funciones para la adquisición de datos	49
3.4 Configuración de la comunicación vía USB de los equipos con el ordenador	51
3.5 Prueba de las aplicaciones y toma de muestras	52
Capítulo 4: Interconexión vía Ethernet	53
4.1 Introducción	53
4.2 Configuración de la red de comunicación	54
4.3 Programación y diseño de la página para el control vía internet.....	54
4.4 Pruebas de la aplicación y toma de muestras.....	55
Capítulo 5: Puesta en funcionamiento del proyecto	56
5.1 Conexión de los equipos.....	56
5.1.1 Pruebas definitivas de los equipos	56
5.2 Diseño del almacenamiento de datos	61
5.3 Desarrollo de los programas ejecutables para uso de la CENTROSUR.....	64
5.4 Elaboración del Informe	65
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones	65
Conclusiones:	65
Recomendaciones:	66



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Referencias	67
ANEXOS	68
Anexo 1.....	68
(Ilustraciones en LabVIEW del Panel frontal y Diagrama de Bloques)	68
Anexo 2.....	70
Imágenes del Instante de las Pruebas definitivas en laboratorio de Transformadores de la CENTROSUR	70



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Yo René Isaac Rodríguez Chogllo, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

René Isaac Rodríguez Chogollo, certifica que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO,
UTILIZANDO EQUIPO DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS

TRABAJO DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

AUTOR:

RENÉ ISAAC RODRÍGUEZ CHOGLLO

DIRECTOR DE TESIS

Ing. CIRO LARCO B.

CUENCA

2012



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, la sabiduría y fortaleza durante mis años de estudiante.

Al Ingeniero Ciro Larco por el apoyo que me ha brindado, por su gran personalidad, carácter y amabilidad.

Al Ingeniero Patricio Quituisaca de la CENTROSUR por la disponibilidad y la ayuda que me brindó dentro de las instalaciones de dicha empresa.

Al Ingeniero Fabián Romero por la gran ayuda que me dio en la inclusión al lenguaje de programación que usé en esta tesis.



Análisis de la calidad de energía en el sistema eléctrico, utilizando equipo de medición de parámetros de sistemas fotovoltaicos

Antecedentes

Previo al desarrollo del proyecto de electrificación mediante sistemas fotovoltaicos en comunidades alejadas de la red convencional, ubicadas en la provincia de Morona Santiago, la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.-CENTROSUR, ha adquirido un equipo de adquisición de datos a la firma Datalights de National Instruments para la medición de los parámetros en dichos sistemas.

Con la finalidad de potencializar el uso de este equipo se propone el desarrollo de la tesis denominada “Análisis de la calidad de energía en el sistema eléctrico, utilizando equipo de medición de parámetros de sistemas fotovoltaicos”.

Alcance

En el presente proyecto de tesis se desarrollará un software dedicado, que aprovechando un equipo adquirido para medir los parámetros técnicos sistemas fotovoltaicos, permitirá al mismo analizar los parámetros de calidad de la energía en cualquier parte de la red de baja tensión del sistema eléctrico, permitiendo establecer el estado de la calidad de la energía que está siendo suministrada por la distribuidora a los usuarios en función de los estándares internacionales IEEE E IEC y las regulaciones nacionales emitidas al respecto.

El presente proyecto de tesis además de generar históricos para usos de la CENTROSUR, también permitirá el monitoreo en tiempo real desde cualquier parte en la que se tenga acceso a internet ya que se implementará monitoreo de este sistema vía internet mediante una página que será diseñada, a la cual se podrá acceder a través de cualquier computador.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Otra de las grandes ventajas es que este equipo por el tamaño que tiene conjuntamente con un computador portátil, será un equipo portable con una alta calidad en los registros por la gran precisión y eficiencia que este brinda.

Si no se cuenta con acceso a una conexión de internet, National Instruments ofrece el Módulo "**LabVIEW Mobile**" en el que se puede crear sistemas de medidas portátiles que analizan y muestran datos usando dispositivos DAQ USB. También aprovecha las tecnologías inalámbricas existentes como son WiMAX, GSM, CDMA. Son algunos accesorio adicionales que se pueden acoplar al equipo NI Compact DAQ.

Justificación:

Dependiendo del punto de vista, la calidad de la energía puede tener diferentes connotaciones, los entes reguladores la consideran como fiabilidad, o también se podría definir como las características que debería cumplir una fuente eléctrica para el correcto funcionamiento de determinados equipos según sus características propias.

Algunos autores la definen como "Cualquier problema de potencia manifestado en desviaciones de tensión, corriente o frecuencia que resulten en falla o mal funcionamiento de los equipos de algún cliente" [10].

En los últimos tiempos, los temas de calidad han tomado un rol muy importante dentro de la sociedad, ya que de estos depende muchas de las actividades económicas y laborales que se realizan cotidianamente, y el tema de calidad de la energía no está fuera de este contexto puesto que de esto depende el correcto desarrollo de las actividades industriales y domésticas dependientes de la energía eléctrica.

La CENTROSUR podrá hacer uso de los datos de medición que el sistema almacenará para llevar un registro de la calidad de la energía que haya sido suministrada además de verificar y comparar con los estándares establecidos.

También permitirá conocer el estado del suministro eléctrico prestado a los usuarios, en cualquier punto en que se encuentre el equipo y se disponga de un acceso a internet, o mediante la conexión por el puerto Ethernet que poseen los equipos Compact DAQ.



Objetivos

Objetivo General

- Medir y monitorear la calidad de la energía que está siendo servida por la CENTROSUR, en sus redes de distribución y generación de datos históricos para registro de la empresa para posteriores usos según conveniencia de la CENTROSUR.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un software mediante **LabVIEW** para la adquisición de datos, el cual mostrará ventanas específicas para cada tipo de medición.
- Desarrollar un software en **LabVIEW** para análisis de los parámetros asociados a la onda de tensión y por ende a la calidad de la energía como son:
 - *Envoltentes de modulación de amplitud expresada en términos de flicker*
 - *Forma de Onda (Expresada por medio de componentes armónicos)*
 - *Distorsiones rápidas de la forma de onda*
 - *Desbalance (%)*
 - *Frecuencia (Hz)*
 - *Magnitud de tensión (V)*
 - *Potencias Reactivas, en términos de factor de potencia*
- *Permitir el acceso a los parámetros de la calidad de la energía en tiempo real desde cualquier servidor vía internet.*
- *De las medidas tomadas verificar si estas cumplen con lo estipulado por las normas internacionales IEEE, IEC y las regulaciones nacionales emitidas al respecto.*
- *Almacenar los datos de las respectivas mediciones en un disco duro.*



Capítulo 1: Calidad de la Energía

1.1 Introducción

Dependiendo del punto de vista, la calidad de la energía puede tener diferentes connotaciones, los entes reguladores la consideran como fiabilidad, o también se podría definir como las características que debería cumplir una fuente eléctrica para el correcto funcionamiento de determinados equipos según sus características propias.

Algunos autores la definen como “Cualquier problema de potencia manifestado en desviaciones de tensión, corriente o frecuencia que resulten en falla o mal funcionamiento de los equipos de algún cliente” [1].

Varios parámetros pueden servir como referencia para clasificar los disturbios de acuerdo a su impacto en la calidad de la energía:

- Variaciones de frecuencia que raramente ocurren en grandes sistemas interconectados, siendo más común que se encuentren en sistemas aislados de motor-generator en los que las variaciones de carga provocan variaciones de frecuencia.
- Variaciones de amplitud pueden ocurrir en diferentes formas y rangos de duración que van desde transitorios de muy corta duración hasta condiciones de estado estable.
- Variaciones en la forma de onda de voltaje o corriente producidos por cargas no lineales, denominada distorsión armónica, siendo una condición de estado estable.
- Desbalanceo entre las fases de un sistema polifásico causado principalmente por la operación de cargas monofásicas desiguales que afectan principalmente a máquinas rotatorias y circuitos rectificadores trifásicos.
- La frecuencia sea de 60 Hz, con una tolerancia de 0.8 % en más o menos. [10]
- Que las tolerancias en el voltaje de alta, media o baja tensión, no excedan de 10% en más o en menos, según IEC 1159, y tiendan a reducirse progresivamente.

En la actualidad cada vez es más extendido el uso de equipo electrónico sensible y continuamente las velocidades de procesamiento se incrementan por lo que es indispensable que las instalaciones se realicen con apego a las normas, se cuente con equipos de protección adecuado y se reduzcan los disturbios en el sistema eléctrico, para lo cual es importante establecer una coordinación entre la compañía suministradora, los fabricantes de equipos y los usuarios.



1.2 Parámetros indicadores de la calidad de la Energía

La competitividad de un mundo globalizado exige cada vez mejores productos, ante esta realidad el sector eléctrico no es ajeno.

La energía eléctrica es el principal sustento para la industria, por esta razón una buena calidad de energía implica un buen desempeño de la maquinaria adyacente a esta.

Según [10], los parámetros más destacados para la evaluación de la calidad de la energía se detallan a continuación:

1.2.1 Estabilidad de la tensión

Esta área refiere a todos los eventos que ocasionan sobretensiones, bajatensiones, sag, swells, fluctuaciones de tensión, desviación de la frecuencia fundamental.

1.2.2 Continuidad en el servicio

Son todos aquellos eventos que provocan interrupciones momentáneas, interrupciones temporales e interrupciones sostenidas.

1.2.3 Distorsión de la forma de onda

Corresponde a los eventos que provocan distorsión en la forma de onda tales como: transitorios, distorsión armónica, , ruido.

La clasificación de las características resulta un buen método de búsqueda para ubicar los estándares y guías internacionales que pretenden precisar las técnicas recomendables para su medición, cuantificación y algunas otras para solucionar los efectos de los fenómenos electromagnéticos.



1.3 Afecciones a la onda de tensión

1.3.1 Fluctuaciones de tensión

1.3.1.1 Definiciones de flicker

Se define como la “impresión subjetiva de la fluctuación luminosa”. Decimos “subjetiva” porque principalmente indica que es un fenómeno fisiológico.

El origen del parpadeo está en el comportamiento de los sistemas de iluminación (lámparas de incandescencia y descarga, principalmente) ante fluctuaciones en la tensión de alimentación. Estas variaciones en la tensión se producen sobre todo por cambios bruscos en las cargas conectadas a la red de energía eléctrica, tal y como sucede durante el funcionamiento normal de un horno de arco, motores con cargas pulsantes, las máquinas de soldadura por arco, etc.

Ante la creciente presencia de este fenómeno de parpadeo en las redes eléctricas se hace necesaria la existencia de un método que permita cuantificar, y por lo tanto limitar, su presencia en los distintos puntos de la red. Es necesario diseñar un equipo cuya entrada sea el valor instantáneo de la tensión, y a partir de esta medida obtener un valor numérico para el parpadeo. Esto es lo que abordan las normas IEC 868 y IEC 868-0, en ellas se hace una descripción de los distintos bloques que componen un medidor analógico de parpadeo, así como una descripción de sus exigencias funcionales.

Por otra parte, en la norma IEC 555-3 se hace referencia al medidor de parpadeo como un sistema de medida genérico para las fluctuaciones de tensión. Es por esto que con el medidor propuesto se obtienen valores coherentes con los límites indicados la norma IEC 555-3.

1.3.1.2 Niveles admisibles y valores de flicker

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considera el índice de Severidad por Flicker de Corta Duración P_{st} , en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas pertinentes, en nuestro caso vamos a regirnos a la regulación 004/01, la cual a su vez se rige a la norma IEC 868, el índice se determina mediante la expresión de la ecuación 7 (ec. 7) en el capítulo 3, punto 3.2.1, descripción del bloque 5.



Además se considera el índice de severidad por Flicker de Larga Duración P_{lt} en intervalos de 2 horas, este índice se determina mediante la expresión de la ecuación 8 (ec. 8) en el capítulo 3, punto 3.2.1, descripción del bloque 5.

Para la Regulación CONELEC 004/01 “El índice de severidad del Flicker P_{st} en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $P_{st} = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestar al ojo humano en una muestra específica de población.”

1.3.1.3 Afecciones del flicker en el aspecto visual

En la medida que un determinado observador puede verse afectado por dichas variaciones luminosas cuando están presentes en el sistema de iluminación. La forma en que estos equipos de alumbrado afectan a los usuarios, depende del sistema de iluminación, de la naturaleza de la perturbación y del propio observador. Esto supone una dificultad añadida al estudio del fenómeno, ya que se han de realizar estudios poblacionales, para poder evaluar la molestia producida por el parpadeo a un observador medio en distintas condiciones de iluminación.

El efecto flicker genera cansancio visual y en función del grado de sensibilidad de la persona que lo percibe, puede generar cefaleas, migrañas y estrés.

El ojo humano es muy sensible a frecuencias de flicker que van desde los 5 a los 42 Hz. Los niveles de flicker de 0,3 % a 0,4 % son visibles en este rango de frecuencias. Por encima y por debajo de estas frecuencias el ojo humano es progresivamente menos sensible. Los valores de caída de tensión relativa producidas por el flicker están estrechamente relacionados con la potencia de corto circuito de la fuente y la potencia de la carga, de ahí que las curvas de percepción sean fundamentales para definir las características eléctricas de la red de alimentación.

1.3.2 Distorsión de la forma de onda

1.3.2.1 Distorsión Armónica

Si en un sistema no lineal introducimos un tono de frecuencia f_0 , en la salida tendremos ese mismo tono (con una amplitud y fase posiblemente diferentes) y,



sumado a él, otros tonos de frecuencia $2f_0, 3f_0$ llamados armónicos del tono fundamental f_0 . Pues bien, el THD se calcula así:

$$THD = \frac{\sum \text{Potencia de los armónicos}}{\text{Potencia de la frecuencia fundamental}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_0}$$

donde P_0 es la potencia del tono fundamental y P_i con $i > 0$ es la potencia del armónico i -ésimo que contiene la señal. Todas las medidas de potencia se realizan en la salida del sistema, mediante un filtro paso banda y un osciloscopio o bien mediante un analizador de espectro.

En realidad existen varios criterios para definir el THD, como considerar la relación entre voltajes o corrientes [2].

La ecuación (ec.1) muestra cómo toda señal periódica no senoidal $i(t)$ puede descomponerse en la suma de su componente fundamental $i_1(t)$ (componente a la frecuencia de red 60 Hz) y de sus h componentes armónicas $i_h(t)$ (componentes cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la fundamental).

$$i(t) = i_1(t) + \sum_{h \neq 1} i_h(t) \quad (\text{ec.1})$$

La distorsión armónica de una forma de onda representa el contenido en armónicos que tiene esa señal. THD (distorsión armónica total) cuantifica la distorsión que presenta una forma de onda de tensión o corriente, definido para tensiones y corrientes por la ecuación (ec.2), donde V_1 e I_1 son las componentes fundamentales de tensión y corriente respectivamente, y V_h e I_h los armónicos h . Todos en términos eficaces:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (\text{ec.2})$$



$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (\text{ec.2.1})$$

Límites de Distorsión Armónica en voltaje en % del voltaje nominal:

- **Según IEEE 519 [5]**

Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal		
Nivel de tensión en la acometida (Vn)	Distorsión Armónica Individual	Distorsión Armónica Total THD Vn
Vn < 69 k	3.0%	5.0%
69 kV < Vn < 161 kV	1.5%	2.5%
Vn > 161 kV	1.0%	1.5%

- **Según CFE L0000-45 [6]**

Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal		
Nivel de tensión en la acometida (Vn)	Distorsión Armónica Individual	Distorsión Armónica Total THD Vn
Vn < 1 kV	5.0%	8.0%
1 < Vn < 69 kV	3.0%	5.0%
69 kV < Vn < 138 kV	1.5%	2.5%
Vn > 138 kV	1.0%	1.5%

Para la Regulación CONELEC 004/01 “los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (Vi’) y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (Vi’ y THD’) señalados a continuación, para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive”



UNIVERSIDAD DE CUENCA

VALORES LÍMITES DE ARMÓNICAS DE VOLTAJE		
ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ THD' $ (%) respecto al voltaje nominal del punto de medición	
	V > 40 kV (otros puntos)	V < 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8



1.3.2.2 Componentes de DC (Offset)

Como su nombre lo dice es la presencia de tensión o corriente continua en un sistema de corriente alterna, puede darse por la presencia de rectificadores de media onda causando saturación parcial en los transformadores y dañar su aislamiento.

1.3.2.3 Ruido

Es toda fluctuación aleatoria de una magnitud que tiende a enmascarar la señal de interés para nosotros.

Estas fluctuaciones tienen como causa última la naturaleza discreta de la carga eléctrica y el movimiento errático de las partículas cargadas en el seno de la materia.

Se admite como ruido también cualquier señal indeseada que perturbe la señal de interés.

En cualquier sistema eléctrico o electrónico la presencia del ruido es inevitable y puede emitir respuestas erróneas por parte de estos, degradando su comportamiento o volviéndolo ineficaz.

La característica típica del ruido es su naturaleza de no ser determinista, imposible de predecir su forma de onda de un modo exacto, se puede medir, el valor pico, el valor eficaz, valor medio, etc., pero no determinar con exactitud su valor instantáneo.

El ruido se puede caracterizar en el dominio de la frecuencia gracias a su correspondiente densidad espectral, sea de potencia $W_p (W/Hz)$, de tensión, $W_v (V^2/Hz)$, o de corriente $W_i (A^2/Hz)$.

El ruido blanco o gaussiano es el más influyente de todos ya que este tiene un nivel constante en la banda de frecuencias considerada.

1.3.2.4 Muestras

Es un disturbio de tensión periódico y de corta duración y puede presentarse con altas frecuencias y con tendencia a polaridades opuestas a la onda de tensión, es causado por la operación normal de los elementos de electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra, donde en un período muy corto se presenta conmutación entre fases [3].



1.3.2.5 Variaciones de frecuencia

La frecuencia puede variar cuando existe desequilibrio entre generación y carga lo cual causa que se pierda el sincronismo entre generadores que estén interconectados, si la generación es superior a la carga, la frecuencia aumenta, de lo contrario (la carga superior) la frecuencia disminuye.

1.3.3 Distorsiones rápidas de la forma de onda

1.3.3.1 Interrupciones

Se da cuando el valor de tensión de suministro o corriente de la carga decrece hasta un valor menor que 0.1 p.u. durante un tiempo menor a 1 minuto.

Las causas pueden ser por fallas en los equipos o en el sistema de potencia, dependen en gran medida de los tiempos de recierre de las protecciones y del tiempo de despeje de la falla. [3]

1.3.3.2 Caídas de tensión (Sag o Dip)

Una caída de voltaje (voltage dip), denominada también a veces "valle o hueco de tensión", es una reducción o una pérdida total del voltaje eficaz (RMS) de alimentación de un sistema eléctrico durante un breve periodo de tiempo. Se describe de acuerdo con su duración y el voltaje remanente que, por lo general, se expresa como un porcentaje del voltaje RMS nominal en el momento en que dicha tensión remanente alcanza su valor más bajo. Una caída de voltaje 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.

Las dos principales causas de las caídas de voltaje son:

- a) La puesta en servicio de grandes cargas (sistemas de aire acondicionado, elevadores, máquinas de soldar, etc.), bien sea en la instalación del propio usuario afectado o en la de otro usuario conectado al mismo circuito.
- b) Los fallos en otras partes de la red de distribución. [4]



1.3.3.3 Elevaciones de tensión (Swell)

Es el incremento del valor eficaz de la tensión entre el 1,1 y el 1,8 p.u. de la tensión normal de funcionamiento.

La duración de estos incrementos de tensión va desde medio ciclo (8 ms o 10 ms) hasta algunos segundos.

1.3.4 Desbalance (%)

Se da cuando las 3 tensiones de un sistema trifásico difieren en magnitud y/o no están defasadas $2\pi/3$ radianes.

La magnitud del desbalance es la máxima desviación de la magnitud de tensión de cada una de las tres fases con respecto a la magnitud promedio del sistema trifásico.

1.3.5 Frecuencia

Una frecuencia estable en un sistema eléctrico es fundamental al momento de hablar de calidad de energía, está estrechamente relacionada la sincronización y buen funcionamiento de generadores síncronos, si en un sistema interconectado se produce una variación considerable de frecuencia las consecuencias podrían ser graves, perdiendo gran parte de la generación incluso llegar a un blackout.

Los rangos permisibles en la variación de la frecuencia son hasta $\pm 0.1\%$ de la frecuencia nominal del sistema en nuestro caso $\pm 0.06 \text{ Hz}$.

1.3.6 Magnitud de Tensión

La magnitud de la tensión es el resumen de todos los aspectos anteriormente mencionados que influyen en la calidad de la energía (flicker, dip, swells, etc), de una forma directa estos hacen que el nivel de tensión varíe su magnitud durante tiempos cortos o largos según el fenómeno producido.

1.3.7 Potencias reactivas, en términos de factor de potencia

Como se sabe, el factor de potencia indica el ángulo que forman entre si los fasores de corriente y voltaje, si las corrientes y tensiones son ondas perfectamente senoidales, el factor de potencia será igual a $\cos \phi$ o como el coseno del ángulo que forman dichos fasores.



$$f.d.p. = \cos(\phi) = \frac{P}{S} \quad (\text{ec.3})$$

De esta manera la potencia reactiva (perjudicial para el sistema eléctrico) es inversamente proporcional al valor del factor de potencia, es decir, mientras más bajo (menor que 1 “ideal”) sea el factor de potencia mayor será el valor de la potencia reactiva (Q).

Capítulo 2: Características de los equipos

2.1 Introducción

National Instruments es una prestigiosa firma dentro de la gama de procesos de automatización, control, y muchas actividades relacionadas a la ingeniería eléctrica y electrónica, participe de los más ambiciosos proyectos investigativos en ciencia e ingeniería por la alta calidad de sus productos.

La serie compactDAQ que son los equipos que se van a usar para el presente proyecto cuentan con muy buenas características técnicas que proporcionarán una excelente precisión en la adquisición y procesamiento de datos.

2.2 Características técnicas de los equipos

Módulo de Corriente NI 9219

24-Bit Universal Analog Input





UNIVERSIDAD DE CUENCA

- 250 Vrms de aislamiento de canal a canal
- Construido en un cuarto, medio, y el apoyo de puente completo
- Construido en la excitación de voltaje y corriente
- Termopar, RTD, resistencia, voltaje y medidas de corriente
- CJC por canal para la medición exacta del termopar
- 100 S / s / ch entradas simultáneas (50S/s/ch para Termopar)

Módulo de Voltaje NI 9225

3-Channel, 300 Vrms Analog Input Module



- 600 Vrms de aislamiento de canal a canal
- 50 kS / s / ch entradas simultáneas
- Incorporado en los filtros antialias
- 300 Vrms rango de medición
- Conectores y carcasas de alta tensión incluidos





UNIVERSIDAD DE CUENCA

Case para los módulos

La alimentación de estos equipos es mediante un adaptador 120Va.c/19v d.c., cuando no se cuente con una toma de corriente de 120V a.c, los equipos pueden funcionar con baterías (la CENTROSUR no cuenta con la baterías ya que estas no están incluidas con los módulos).

Análisis Económico Sobre el costo que tendría la implementación de este proyecto

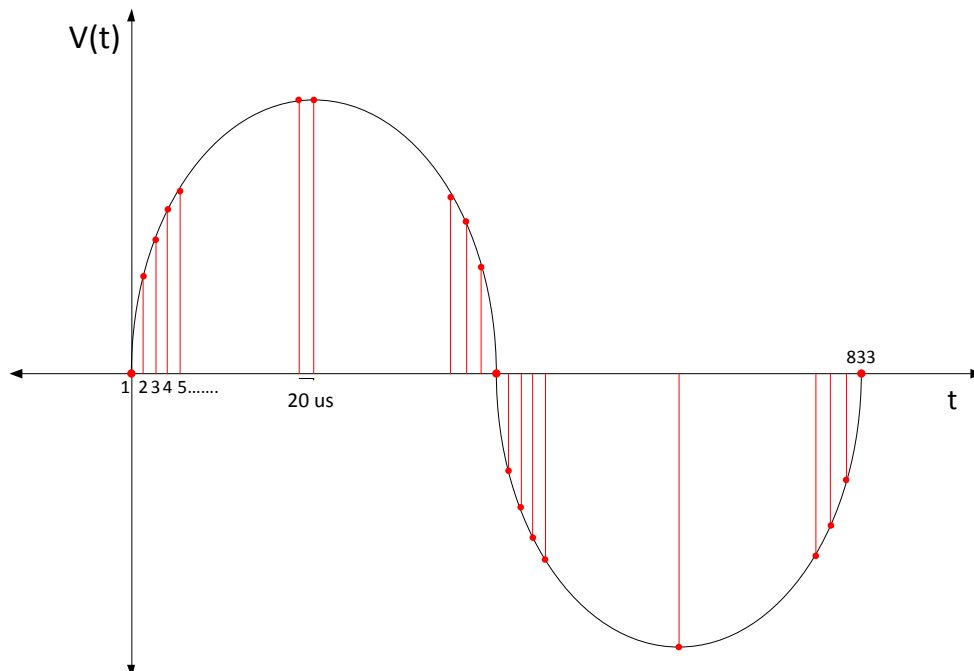
Descripción	Costo (US\$)
NI Chasis Para módulos CDAQ	1430
Módulo de Voltaje NI 9225	1700
Módulo de corriente NI 9219	1130
Computador portátil	600
Desarrollo de Software LabVIEW	400
Desarrollo de los ejecutables	300
TP para medición Circutor	372
TC para medición Circutor	338
Pinzas para conexión a fuente	24
COSTO	6294

Existen equipos medidores de calidad de energía como es el fluke 1735 que tienen un precio aproximado de \$3000, existen equipos de la misma gamma que tienen costos muchos mayores, claro que los equipos de National Instruments puede tener muchas otras finalidades mas que se describen en capítulos posteriores.

2.2.1 Velocidades de muestreo

50 ks/s/ch

Frecuencia de muestreo de 50000 muestras por segundo, por cada canal simultáneamente, al decir esto se puede explicar que en un segundo (60 Ciclos) el equipo tomará 50000 muestras, por tanto en 1 ciclo tomará $50000/60$ muestras es decir 833 muestras en $1/60$ s, o 16.66 ms., es decir tomará una muestra cada 20 micro segundos.



2.2.2 Resolución de las muestras

Resolución de 24 bits

Si tenemos un voltaje RMS de 300V entonces la resolución será

$$\Delta V = \frac{300}{2^{24}} \approx 0.00001V \approx 10\mu V$$

Es decir el dispositivo percibirá una variación de 10 microvoltios en el valor de la onda de tensión, (¡Muy adecuado para los fines propuestos!).

2.2.3 Valores nominales que los módulos soportan y valores de operación

Módulo de corriente NI 9219:

- Soporta hasta 5 Amperios por canal (muy factible para operar con TCs que tienen relación 200/5).
- El aislamiento que posee hasta para 250 Vrms de canal a canal



Módulo de Voltaje NI 9225:

- El rango de medición es de hasta 300Vrms por cada canal, (se puede medir perfectamente en un sistema bifásico de 240V).
- El aislamiento entre canales es de 600Vrms.

myDAQ :

- Soporta máximo 10V en sus entradas analógicas y hasta 1 Amperio (es por esta razón que se trabajó con un transformador de voltaje 120Vac/12ac-6Vac)

En cuanto a transformadores de medición National Instruments no ofrece gamma alguna, lo más conveniente es tener en cuenta las características que el transformador de medición brinda.

Nivel de saturación: El coeficiente n de saturación indica hasta donde la curva de saturación es lineal, en los transformadores de protección es mayor, para que, aunque tenga 10 ó 20 veces la corriente nominal en el primario, como ocurre en el caso de un corto circuito se refleje en el secundario en forma proporcional, es decir un transformador de protección no debe saturarse en el corto. Para algunos casos puede ser necesario que el transformador se sature bajo efectos de la sobrecorriente y de esta manera proteger a los elementos que se encuentran alimentados por él, pero en este caso se falsea la medición, esta característica es indeseada cuando se alimentan protecciones.

Entonces, los transformadores de protección no deben saturarse y deben reflejar correctamente la corriente, es decir no saturarse con valores de varias veces la corriente nominal, los de medición deben saturarse cuando se presen tan sobrecorrientes.

Lo más importante es analizar el para qué sirve la medición, si son necesarias las mediciones en estado permanente, puede ser conveniente la saturación, al ocurrir una falla, la elevada corriente de falla será transferida al secundario limitada por los efectos de la saturación, y esto será conveniente, se reducirán las solicitaciones transitorias de los circuitos secundarios. Es recomendable un transformador con un coeficiente de saturación $n=5$.

Por el contrario para la protección, la necesidad de hacer una buena medición en transitorio hace que sea en cambio útil la buena proporcionalidad de la magnitud, al



menos durante el tiempo que la protección lo requiere para garantizar su buena actuación.

2.3 Verificación del teorema de Nyquist

El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.

Dicho de otro modo, la información completa de la señal analógica original que cumple el criterio anterior está descrita por la serie total de muestras que resultaron del proceso de muestreo. No hay nada, por tanto, de la evolución de la señal entre muestras que no esté perfectamente definido por la serie total de muestras. [3]

Si la frecuencia más alta contenida en una señal analógica $\chi_a(t)$ es $F_{\max} = B$ y la señal se muestrea en una tasa $F_s \geq 2F_{\max} \equiv 2B$ entonces $\chi_a(t)$ se puede recuperar totalmente a partir de sus muestras mediante la función de interpolación $g(t) = \frac{\sin 2\pi Bt}{2\pi Bt}$.

Así $\chi_a(t)$ se puede expresar como

$$\chi_a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \chi_a\left(\frac{n}{F_s}\right) g\left(t - \frac{n}{F_s}\right)$$

En términos de control, si tenemos una frecuencia de muestreo de 50Khz, y la frecuencia del flicker está por el orden de los 40 Hz, superamos ampliamente la barrera del teorema de Nyquist que dice que la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor a dos veces la del fenómeno que se va a analizar.

2.4 Normas y estándares que respaldan la calidad del producto

La plataforma de NI CompactDAQ para ayudarle a tomar una diferente variedad de mediciones usando un sistema además de automatizar el proceso de prueba. Esta plataforma provee la simplicidad de “plug and play” de USB a los sensores y mediciones eléctricas en la mesa de trabajo y en la línea de producción. NI



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CompactDAQ entrega una medición rápida y exacta en un sistema pequeño, simple y económico, además avalado por las normas ISO 9001, ISO/IEC 17025.

Una muy buena referencia tanto para los equipos de National Instruments y el software LabVIEW es que son usados por la CERN en uno de los proyectos más ambiciosos y revolucionarios como es el “Acelerador de Partículas más grande del Mundo” para el despliegue de la plataforma y sus controladores de lógica programable. La razón de su uso frente a la existencia de algunas firmas prestigiosas dentro de la misma gama es evidente, la excelente calidad de sus productos.

Protección IP

Los equipos Compac DAQ cuentan con un nivel de protección IP 65, que según el estándar ANSI/IEC 60529-2004 establece para el primer dígito que el equipo a ser certificado debe cumplir con alguna de las siguientes condiciones.

Primer dígito (IP_X)

Niv el	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	>50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	>12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	>2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	>1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia



Segundo dígito (IP X_)

Nive I	Protección frente a	Método de prueba	Resultados esperados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento o en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento o en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento o en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento o en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento o en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento o en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100kN/m ² durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	El equipamiento o eléctrico / electrónico debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.	No debe entrar agua

Si el equipo mencionado tiene una protección IP 65, quiere decir que puede trabajar en interperie, pero, cuando se lo toma en cuenta conjuntamente con un computador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

portátil, ya no posee ese grado de protección y se convertiría netamente en un equipo de laboratorio.

National Instruments cuenta con módulos adicionales de almacenamiento como es el **NI cRIO-9012** (Controlador en Tiempo Real con 64 MB DRAM, 128 MB de Almacenamiento), que posee las siguientes características:

- Controlador embebido que ejecuta LabVIEW Real-Time para control, análisis y registro de datos determinísticos.
- Procesador de 400 MHz, almacenamiento no volátil de 128 MB mínimo, memoria de 64 MB DRAM.
- Puerto de Ethernet 10/100BASE-T con servidores embebidos de Web y archivos con interfaz de usuario de panel remoto.
- Puerto USB de alta velocidad para conexión a USB flash y dispositivos de memoria.
- Puerto serial RS232 para conexión a periféricos; entradas dobles de suministro de 9 a 35 VDC.
- Rango de temperatura de operación de -40 a 70 °C.

El tamaño de cada archivo generado para el reporte durante un día es de aproximadamente 4440 kb, entonces la capacidad de 128 Mb del equipo permitirá guardar datos durante 29.52 días (1 mes).

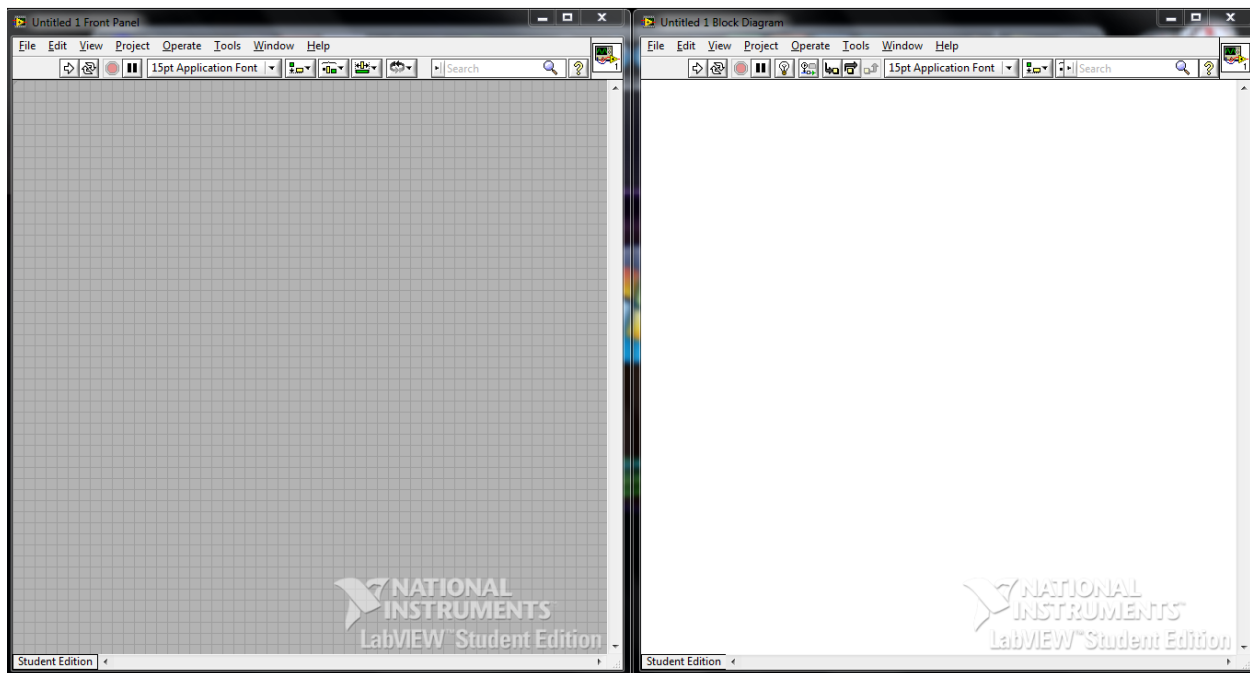


Capítulo 3: Desarrollo del Software

3.1 Introducción al lenguaje de Programación LabVIEW

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica que posee gran variedad de aplicaciones para muchas áreas dentro de la ingeniería, a pesar de ser una herramienta muy eficiente y compleja, su entendimiento y manejo son relativamente sencillos frente a los grandes beneficios que esta herramienta brinda.

Este software consta de dos ventanas principales, la primera es la ventana de programación gráfica (izquierda), y la segunda, la ventana de diagrama de bloques y conexiones (derecha):



En la ventana de programación gráfica se hacen los diseños de los paneles, controles y ventanas de monitoreo que el usuario verá posteriormente, en nuestro caso están las ventanas donde se ve la onda de voltaje de entrada, la sensación instantánea de flicker, la función de probabilidad acumulativa, el fasor de voltaje y los valores de todos los parámetros indicadores de calidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Al insertar un objeto en la ventana de programación grafica automáticamente se crea su homólogo en la ventana de diagrama de bloques, en esta última lo que se hace es enlazar los objetos uno con otro para cumplir las funciones propuestas.

Existen herramientas de gran utilidad y que han sido usadas en el desarrollo de este trabajo de tesis que se describen en forma breve a continuación.

Case Structure.- Realiza una operación o acción que hayamos establecido dentro de un lazo bajo una condición de verdadero o falso.

While Loop.- Realizada una operación dentro de un lazo en forma repetida hasta esperar alguna condición que el programa requiera.

Time Delay.- Crea retardos de tiempo para realizar trabajo en forma secuenciada.

Input.- Dentro de este campo se pueden escoger varias forma para crear una interfaz de entrada y adquisición de datos entre el ordenador y un medio físico (dispositivos DAQ) o dentro del mismo ordenador (simulación de señales).

Output.- Dentro de este campo se pueden escoger varias forma para crear una interfaz de salida entre el ordenador y un medio físico (dispositivos DAQ) o dentro del mismo ordenador (creación de hojas de cálculo, documentos, email, etc.).

Luego de finalizar un programa, al momento de guardarlos, estos tendrán la extensión **.vil**, conocidos como VI o Virtual Instruments (Instrumentos Virtuales), son las aplicaciones que nos serán de gran utilidad para el desarrollo del software, y luego de la programación conjunta de estos VI (ahora llamados subVI) conformarán un Instrumento Virtual que será el trabajo final de este proyecto.

Conjuntamente con las tarjetas de adquisición CompaqDAQ (propiedad de CENTROSUR), NI myDAQ (propiedad del desarrollador del proyecto, empleada para el desarrollo de las aplicaciones y pruebas iniciales) el lenguaje de programación gráfica LabVIEW es una herramienta altamente eficiente y funcional.



3.2 Desarrollo de las aplicaciones

3.2.1 Algoritmo para la medición de flicker

Siendo esta la parte más importante y predominante de este trabajo de tesis se desarrollará el algoritmo paso a paso según establecen las normas indicadas a continuación ya que no existen aplicaciones desarrolladas con este propósito.

Las normas IEC 868 e IEC 868-0 rigen a las especificaciones funcionales y de diseño de un aparato destinado a la medida del nivel de parpadeo a partir de la tensión en un punto de la red, cualquiera que sea su forma de onda. Es el medidor de parpadeo, en inglés 'flickermeter'.

El procedimiento o composición del algoritmo se ha dividido en 5 bloques que se detallan a continuación [8].

Bloque 1: Adaptación de la tensión y adquisición de la señal. Este bloque tiene un generador de señal para calibración del equipo "in situ": Contiene, además, otro circuito en el que se adapta el nivel de tensión del secundario del transformador de entrada, a un nivel de referencia. De esta forma se consigue que las medidas no dependan de los valores de tensión existentes en el punto en el que se realiza la medida. *En este bloque no se hará mayor énfasis ni estudios adicionales ya que los niveles de voltaje de entrada para los equipos se describieron con detalle en el capítulo anterior.*

Bloque 2: Demodulación. El objetivo de este bloque es obtener una señal que represente las fluctuaciones lumínicas del sistema de alimentación. Se simula el comportamiento de una lámpara de incandescencia sometida a fluctuaciones en la tensión de alimentación.

Bloque 3: Filtros de simulación del ojo. En este bloque se disponen de dos filtros en cascada que simulan el comportamiento del ojo ante fluctuaciones en la iluminación.

Bloque 4: Simulación del cerebro. Este bloque se compone de una fase en la que se eleva al cuadrado la señal de entrada, seguido de un filtro paso bajo de 1^{er} orden. La salida de este bloque representa la sensación de parpadeo instantánea a la que está sometido un observador medio.

Bloque 5: Análisis estadístico en línea. Este bloque tiene como salida un valor o una serie de ellos que son una medida cuantitativa de la severidad de parpadeo. Estos resultados se obtienen a partir de un histórico de la evolución de la sensación de parpadeo instantáneo. Este análisis puede hacerse fuera de línea, y es por lo tanto necesario almacenar los valores instantáneos del parpadeo (salida del bloque 4, fig 5). Según el período de tiempo empleado en la confección del histórico tenemos el P_{st}



(power short time, período corto) o el P_{lt} (power long time, período largo) como resultado del análisis del parpadeo.

Mediante los bloques descritos se pretende que a partir de las fluctuaciones de la tensión de la red en un determinado punto, se detecten sus variaciones de amplitud. A partir de estos valores se simula su efecto en una lámpara eléctrica tomada como referencia y se da un valor de salida que represente la sensación visual que podría experimentar un observador medio. Este comportamiento permite su empleo para la medida de las fluctuaciones de tensión, cualquiera que sea la forma de onda de las mismas, y así, poder comprobar si se está dentro de los límites establecidos por la norma IEC 555-3.

A continuación se describen más en detalle cada uno de los bloques de los que está compuesto el medidor de parpadeo. [9]

Bloque 1: Adaptación de la tensión de entrada y adquisición de la señal.

Como se mencionó en la explicación breve de los bloques, las tarjetas MyDAQ y CompactDAQ serán usadas para la adquisición y procesamiento de la señal y no es necesario hacer la adaptación, mucho menos la calibración de la señal de entrada, (en MyDAQ solamente reduciremos el voltaje hasta 10V a.c.).

Bloque 2: Demodulación.

Esta etapa corresponde a desacoplar la señal de modulación de la portadora que sería principalmente la componente fundamental de red. Pero no solo ésta ocasiona flicker o puede contener modulación sino que también existe la modulación de armónicos, de manera que esta etapa debe contemplar un ancho de banda mayor al de 60Hz más el ancho de banda de la modulación. En la IEC 61000-4-15 se indica que el transformador de adaptación debe tener al menos un ancho de banda de 700Hz, lo que permitiría visualizar sin distorsión hasta el armónico 13º más la banda de flicker (35 Hz para sistemas de 50Hz) y aproximadamente hasta el 14º más 42Hz para sistemas de 60Hz. El desacople es similar a la demodulación de señales AM, la IEC propone un método CUADRÁTICO, consistente en la elevación a cuadrado de la señal, y un posterior filtrado de baja frecuencia.

Bloque 3: Simulación del Ojo.

Como salida de este bloque se obtiene la sensación instantánea de parpadeo, y éste está compuesto por tres filtros en cascada.



El primero de los filtros en un paso-alto de Butterworth de 1^{er} orden, cuya frecuencia de corte es de 0.05Hz. Este filtro tiene como propósito eliminar la componente continua de la señal de entrada. La salida de este filtro va a un filtro paso-bajo de Butterworth de 6^o orden, cuya misión es la de eliminar las frecuencias cercanas a las del doble de la frecuencia de red (2·60Hz). Con estos dos primeros filtros se realiza un prefiltrado de aquellas fluctuaciones no perceptibles por el ojo humano. Además de los dos filtros anteriores se puede añadir un filtro rechazo-banda, sintonizado al doble de la frecuencia de red, para suplir las deficiencias de la demodulación.

En cascada con los filtros anteriores se tiene un filtro que pondera, en el dominio de la frecuencia, las fluctuaciones de tensión. Esta función se ha obtenido a partir de análisis estadísticos realizados sobre poblaciones. Y representa la sensibilidad de un individuo medio al parpadeo producido por una lámpara de incandescencia (60W-230V) cuya tensión de alimentación está modulada sinusoidalmente. La función de transferencia de este filtro es:

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + s/\omega_2}{1 + s/\omega_3} \cdot \frac{1 + s/\omega_4}{1 + s/\omega_4} \quad (\text{ec. 4})$$

Donde :

$$k = 1.74802$$

$$\lambda = 2\pi \cdot 4.05981$$

$$\omega_1 = 2\pi \cdot 9.15494$$

$$\omega_2 = 2\pi \cdot 2.27979$$

$$\omega_3 = 2\pi \cdot 1.22535$$

$$\omega_4 = 2\pi \cdot 21.9$$

La respuesta de los filtros descritos es la representada en la fig.1.

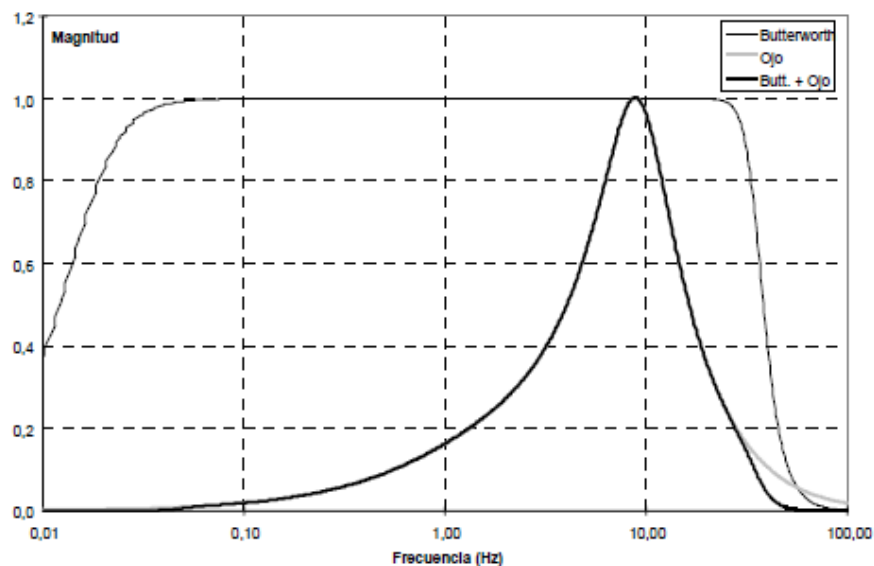


Fig1. Respuesta en frecuencia del Bloque 3.

Bloque 4: Simulación del Cerebro.

En este bloque se simula la sensación de parpadeo procesada por el cerebro. Para ello se dispone un parte en la que se eleva al cuadrado la señal de entrada para simular el comportamiento no lineal de la percepción del ojo y del cerebro conjuntamente. Seguidamente se tiene un filtro de 1er orden que simula el efecto de almacenamiento o memoria de las sensaciones visuales. Este filtro es equivalente a un filtro paso bajo compuesto por una resistencia y un condensador (de 1er orden) con una constante de tiempo de 300 ms (fig. 2).

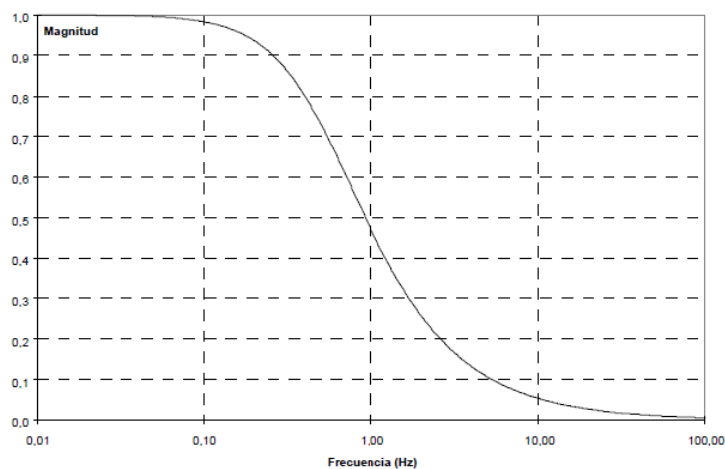


Figura 2. Respuesta del Filtro de 1er. Orden Asociado al Bloque 4



Bloque 5: Análisis estadístico en línea.

Debido a la carga procesada de las operaciones realizadas en este bloque estas se pueden realizar fuera de línea.

La salida de este bloque será el nivel de severidad del parpadeo obtenido a partir de las medidas realizadas en la red eléctrica, severidad que se puede dar como: severidad en período corto o P_{st} y severidad en período largo o P_{lt} . El cálculo de estos parámetros se aclarará en los párrafos siguientes.

El primer paso para realizar este análisis es discretizar la señal que llega a este bloque para poder ser tratada en una computadora. Para ello se emplea un convertidor A/D con al menos 6 bits (64 niveles) de resolución, y una frecuencia de muestreo mayor o igual que 50 muestras/sg.

La medida de parpadeo ha de abarcar los dos aspectos fundamentales de una fluctuación, que son la severidad de la fluctuación (obtenida a partir de la fluctuación de tensión) y su persistencia en el tiempo. Por lo tanto, en la salida del medidor de parpadeo no sólo queda reflejado el nivel del parpadeo instantáneo, si no que representa los porcentajes de tiempo durante los cuales se exceden determinados niveles de parpadeo instantáneo. Un parámetro importante para el funcionamiento de este bloque es la elección del período de observación, ya que ha de abarcar un período significativo para las fluctuaciones de tensión. Según la extensión del período elegido tenemos dos tipos de análisis:

- De período corto: El intervalo de tiempo escogido para el análisis es de 1, 5, 10 ó 15 minutos. En todo caso, el intervalo escogido ha de abarcar los sucesos significativos detectados en el punto de medida (conexión y desconexión de una máquina,...). Generalmente se escoge el de 10 min. Como una solución de compromiso aceptable. Ya que, por una parte, es suficientemente largo como para que las variaciones aisladas de tensión tengan poca importancia, y permitir a un observador percibir el parpadeo. Mientras que, por otra parte, es suficientemente corto como para caracterizar máquinas con un ciclo de trabajo largo. Además la elección de este período tiene como ventaja que es el mismo que se emplea en la norma CEI 555-3.
- De período largo: En este caso los resultados del medidor de parpadeo se refieren a un período de observación que abarca un número entero de períodos cortos (por debajo de 10080). De esta forma, los resultados obtenidos para el período largo se basan en los obtenidos para los períodos cortos abarcados. En el peor caso se tendría un período de 7 días con un período corto de 10 minutos. Aunque el valor recomendado es de 2 horas, ya



que con él se cubren la mayor parte de las aplicaciones industriales susceptibles de ser analizadas.

Una vez escogidos el período de muestreo y la longitud del período corto, el siguiente paso es llevar a cabo una clasificación de los valores instantáneos de parpadeo según su severidad, para así obtener su distribución de frecuencias. Cada vez que una muestra del parpadeo instantáneo se encuentre entre los dos niveles que delimitan una clase, se incrementa en un uno el valor de dicha clase. De esta forma, dada una clase dada k , el número de muestras N_k se puede obtener (fig. 3) mediante la expresión:

$$N_k = \frac{1}{T} \sum_n t_n^k \quad (\text{ec.5})$$

Donde T es el período de muestreo, y t_n^k es un intervalo de tiempo durante el cual el parpadeo instantáneo está entre los niveles que delimitan la clase k .

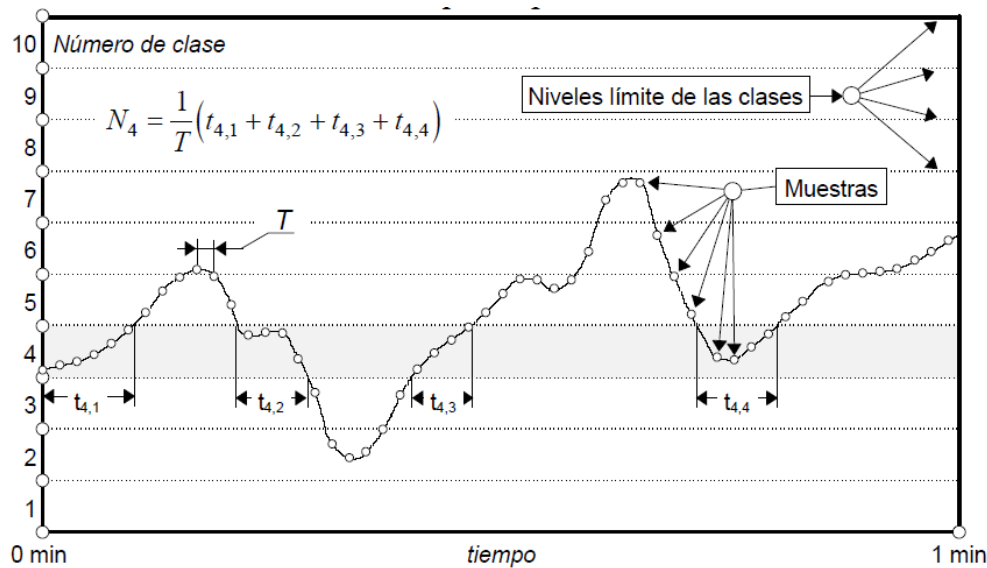


Figura 3. Método de clasificación del parpadeo instantáneo

La clasificación se realiza durante el período de observación escogido (típicamente 10 min.). Una vez finalice este período de observación se obtiene, a partir de la distribución de frecuencias resultado del proceso de clasificación, la distribución de



frecuencias acumulada. En la que, el valor de una determinada clase se obtiene acumulando los valores sin acumular de las clases anteriores, o sea:

$$N_{ac,k} = \sum_{n=k}^{N_c} N_n = N_k + N_{ac,k-1} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde :

$N_{ac,k}$ es el valor acumulado de la clase k

N_k es el valor de la clase k

N_c es el número de clases

La expresión recién obtenida permite la obtención de la distribución de frecuencias acumulada en valores absolutos de muestras, aunque puede ser más cómodo el empleo distribuciones que den el valor de la clase relativo al número total de muestras. En la fig. 4 se puede ver la distribución de frecuencias resultante del proceso de clasificación con $N_c=10$ y su correspondiente distribución acumulada relativa de frecuencias.

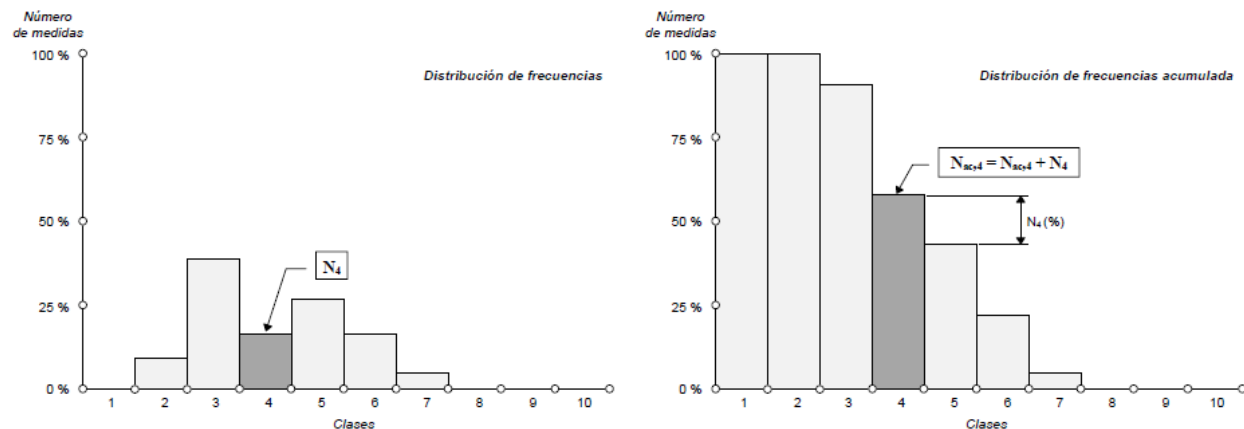


Figura 4. Resultado de la clasificación y obtención de la distribución de frecuencias acumulada.

La salida del bloque 5, y por lo tanto la del medidor de parpadeo es un número que cuantifica la severidad del parpadeo. El valor de dicha severidad está relacionado con la distribución acumulada recién obtenida mediante un algoritmo que opera con los



percentiles. El algoritmo propuesto por la IEC para el cálculo del nivel de severidad de período corto o P_{st} es:

$$P_{st} = \sqrt{K_{0.1}P_{0.1} + K_1P_1 + K_3P_3 + K_{10}P_{10} + K_{50}P_{50}} \quad (\text{ec. 7})$$

Donde :

P_{st} es el nivel de severidad de parpadeo del flicker

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}$ y P_{50} son los percentiles del 0.1%, 1%, 3%, 10% y 50% respectivamente

$K_{0.1}, K_1, K_3, K_{10}$ y K_{50} son constantes definidas por la IEC, y su valores es : 0.0314, 0.0525, 0.0657, 0.28 y 0.08 respectivamente

Con este algoritmo se ha pretendido obtener unos valores de P_{st} cercanos a la unidad sobre la curva definida en la norma IEC 553-3 para variaciones de tensión rectangulares. El valor límite que puede alcanzar del P_{st} en instalaciones eléctricas no ha de ser necesariamente la unidad, pero se ha de tener en cuenta que en los experimentos realizados por la IEC una importante cantidad de observadores se ven afectados por el parpadeo en los sistemas de iluminación cuando se alcanza este valor.

El valor del P_{st} con un período de observación de 10 minutos es adecuado para el estudio de perturbaciones producidas por fuentes individuales como motores, bombas de calor o equipos domésticos. Sin embargo a veces es necesario el estudio de la influencia de varios equipos perturbadores de la red eléctrica, que además pueden operar de forma aleatoria (por ejemplo los hornos de arco) y con ciclos de trabajo largos. Para el estudio de este tipo de fenómenos se emplea el parámetro recomendado por la IEC definido como severidad de período largo o P_{lt} , con un período de observación recomendado de 2 horas, es el que viene dado por la expresión:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i^{N_{Pst}} P_{st_i}^3}{N_{Pst}}} \quad (\text{ec. 8})$$

Donde :

N_{Pst} es el número de períodos cortos tenidos en cuenta

P_{st_i} es el valor de la severidad de período corto para cada uno de los N_{Pst} intervalos tomados en cuenta para el cálculo del P_{lt}

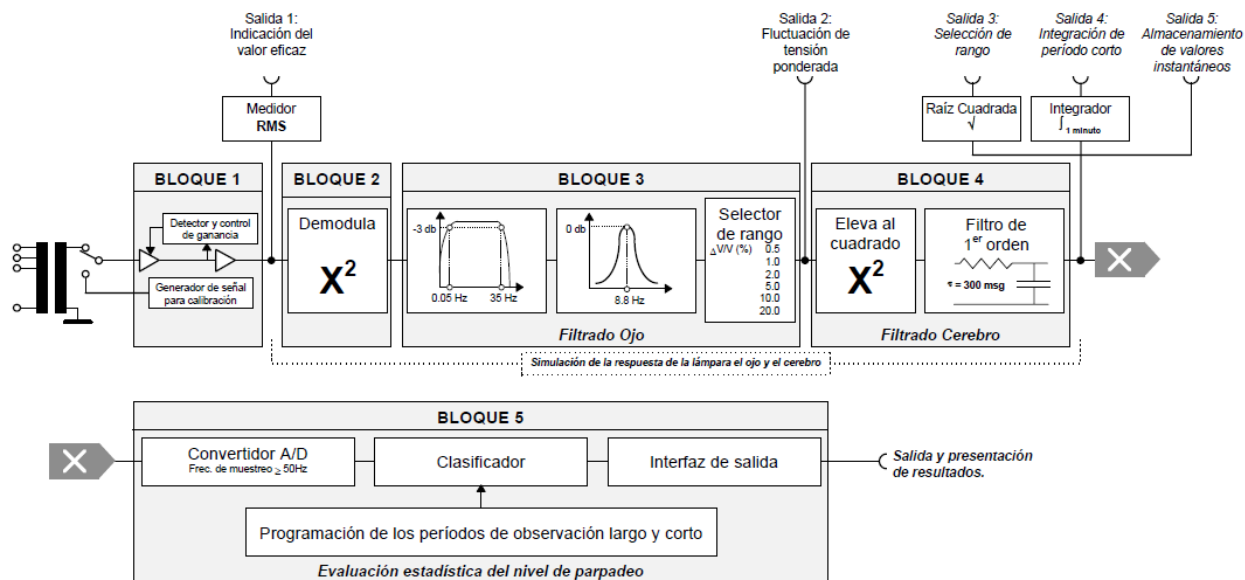


Figura 5. Diagrama de bloques de un medidor de parpadeo según IEC.

Algoritmo para la medición de flicker según IEC 868, desarrollado en LabVIEW (parte fundamental en el desarrollo del presente trabajo).

Bloque 1, Adquisición de la señal:

Para la señal de entrada hacia la tarjeta MyDAQ (para las pruebas), se usa un transformador 220-127/24-12 (fig. 6), para las tarjetas CompactDAQ se tomara la señal directamente debido a sus características.

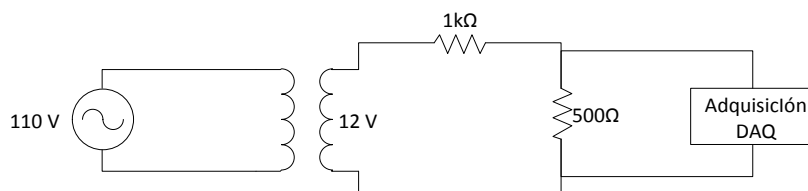


Figura 6. Reducción de voltaje para MyDAQ

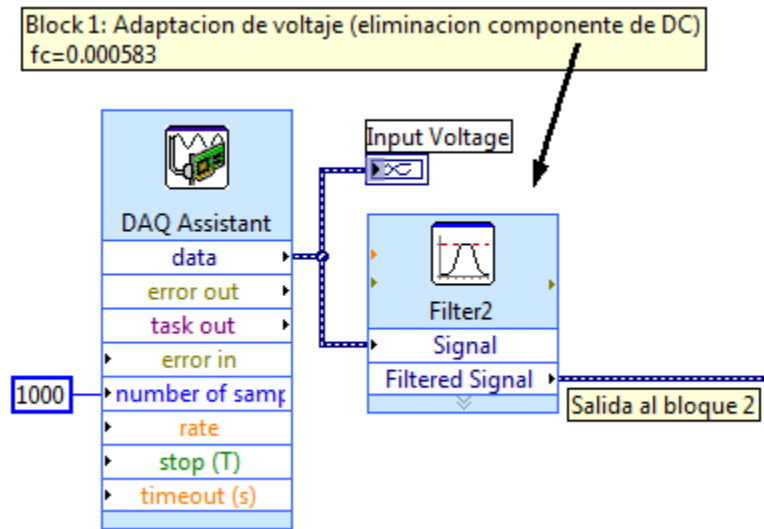


Ilustración 1: Bloque 1 programado en LabVIEW

Filter 2 (eliminación de componente d.c.):

Tipo de Filtrado: Lowpass

Topología: Butterworth

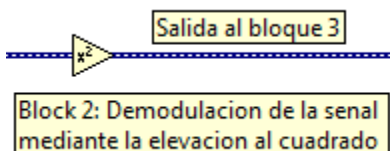
Orden: 1er.

Frecuencia de corte: 0.00583 Hz

Data: Es la señal que entregan las DAQ.

Input Voltaje: Muestra la señal que MyDAQ o Compact DAQ está tomando

Bloque 2, Demodulación de la señal:





UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ilustración 2: Bloque 2 programado en LabVIEW

Bloque 3, Simulación del Ojo:

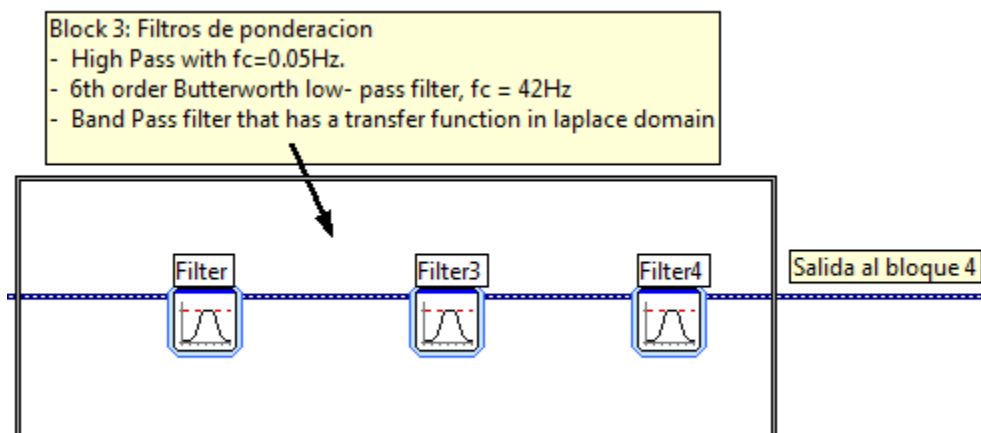


Ilustración 3: Bloque 3 programado en LabVIEW

Filter:

Tipo de Filtrado: Highpass

Topología: Butterworth

Orden: 1er.

Frecuencia de corte: 0.05 Hz

Filter 3:

Tipo de Filtrado: Lowpass

Topología: Butterworth

Orden: 6to.

Frecuencia de corte: 42 Hz



Filter 4:

Tipo de Filtrado: Bandstop (Discriminador para frecuencias dobles)

Topología: Butterworth

Orden: 6to.

Frecuencia de corte High: 120 Hz

Frecuencia de corte Low: 120 Hz

Bloque 4, Simulación del Cerebro:

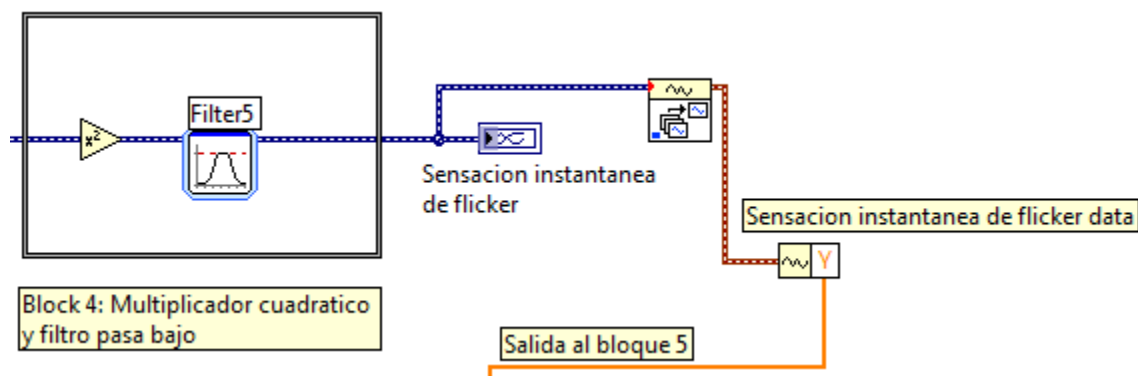


Ilustración 4: Bloque 4 programado en LabVIEW

Filter 5:

Tipo de Filtrado: Lowpass

Topología: Butterworth

Orden: 1er.

Frecuencia de corte: 8.9 Hz (Frecuencia a la que el ojo humano tiene mayor predisposición a fatigarse).

Sensación instantánea de flicker: Muestra la señal de la sensación que recepta el ojo humano y posteriormente procesado en el cerebro.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Sensación instantánea de flicker data: Almacena la señal de la sensación instantánea de flicker como datos en forma de arreglo.

Bloque 5, Análisis estadístico en línea:

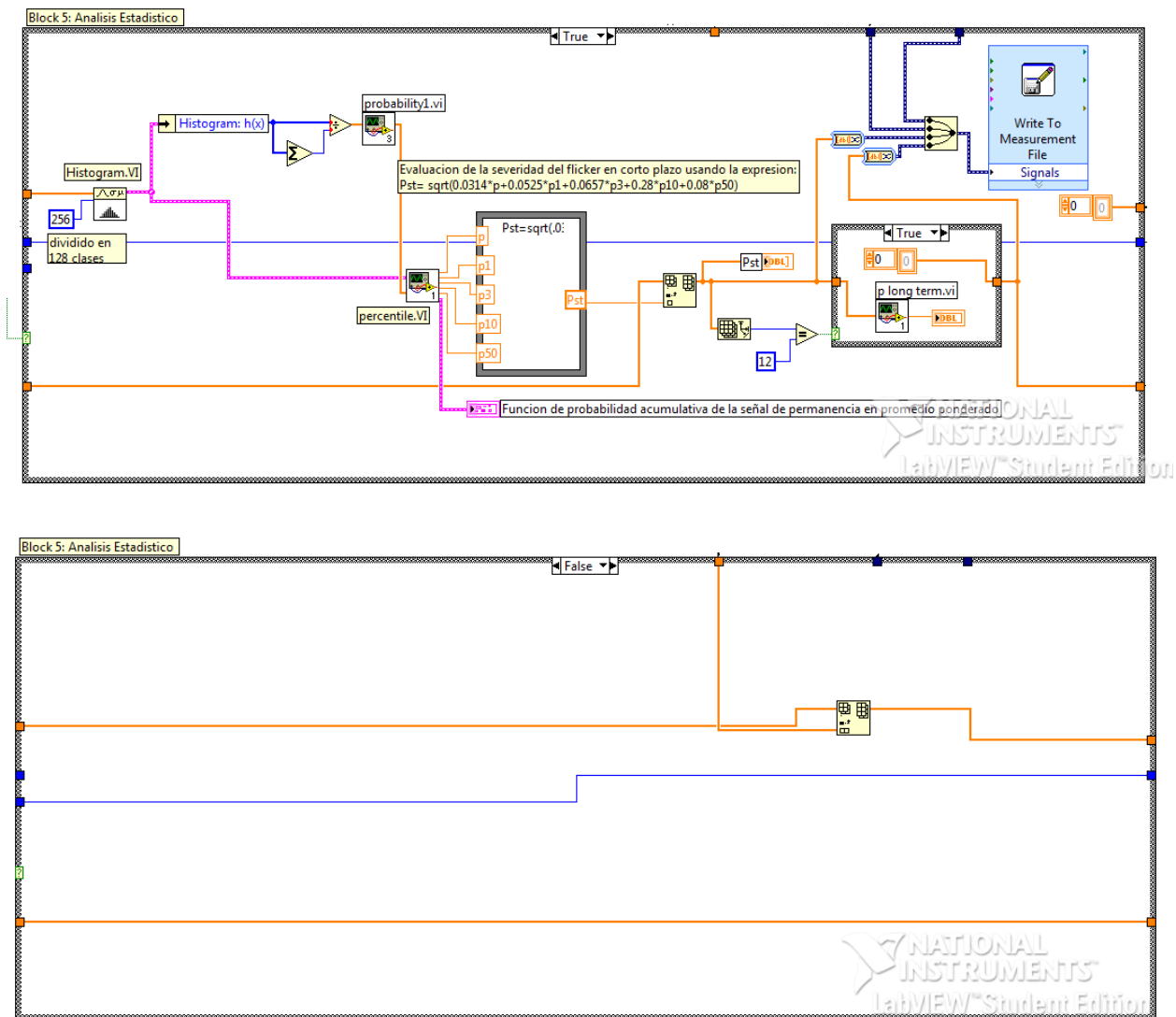


Ilustración 5: Bloque 5 programado en LabVIEW (casos True y False respectivamente)



Histogram.VI: Encuentra el histograma discreto para una entrada secuencia X, (en este caso la entrada es “sensación instantánea de flicker data”).)

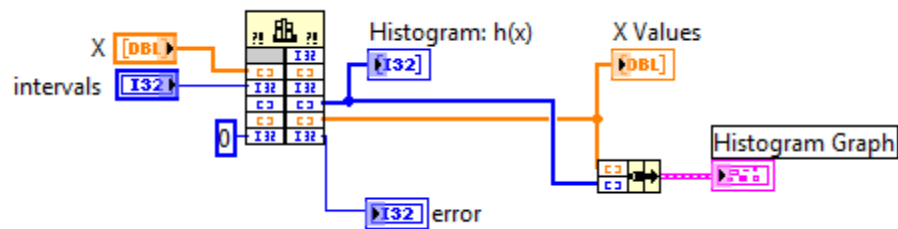


Ilustración 6: Algoritmo de la función Histogram programado en LabVIEW

Probability1.VI: Mide la función de probabilidad acumulativa para el nivel de flicker.

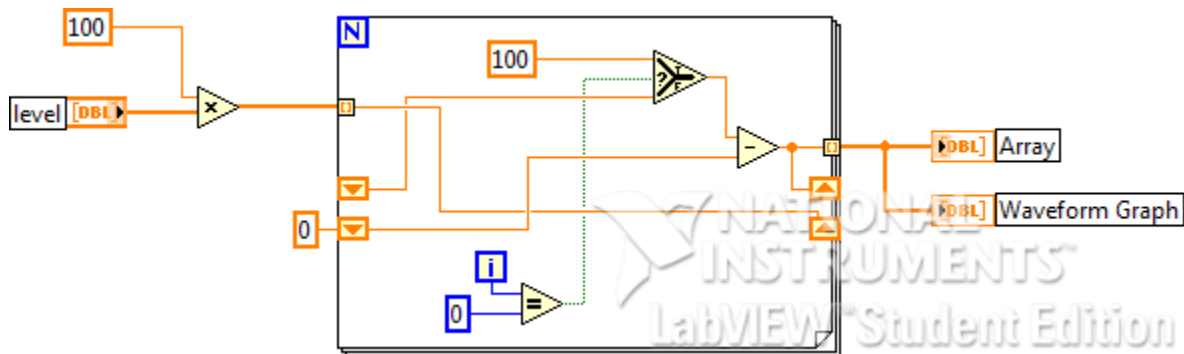


Ilustración 7: Algoritmo de la función Probability1 programado en LabVIEW

Percentile.VI: Calcula los percentiles de la señal que serán usados para calcular la severidad del flicker en tiempo corto P_{st}

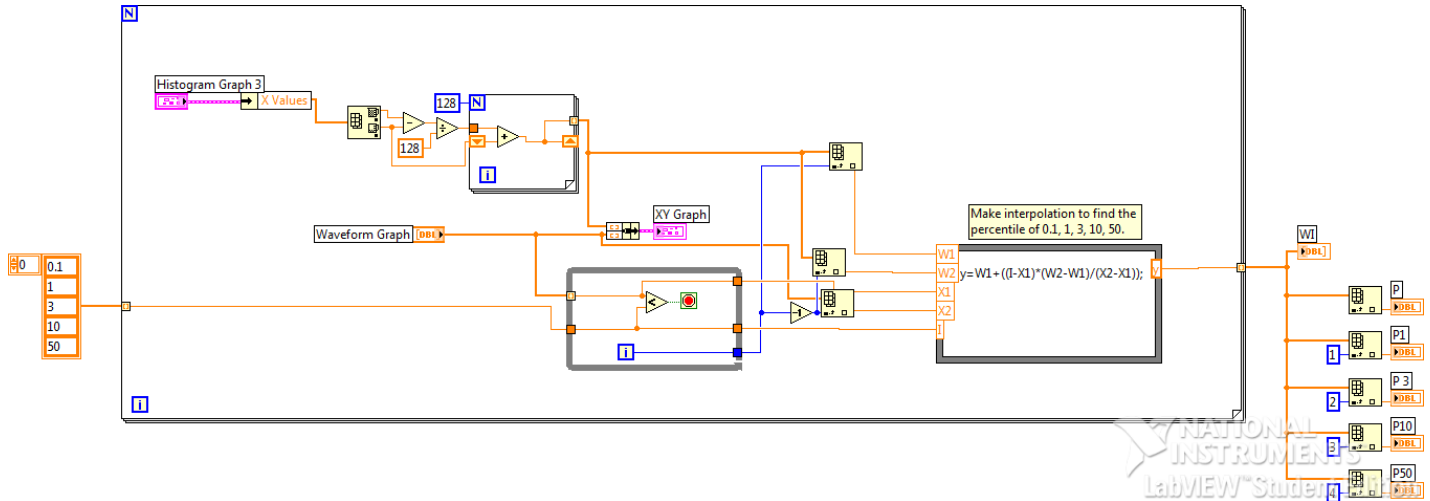


Ilustración 8: Algoritmo de la función Percentile programado en LabVIEW

Pst : Para su cálculo se usa un “Nodo de Fórmula” o Formula Node (Ilustración 8), y calculamos el valor de Pst usando los percentiles obtenidos por Percentile.VI usando la expresión:

$$Pst = \sqrt{0.0314 \cdot p + 0.0525 \cdot p_1 + 0.0657 \cdot p_3 + 0.28 \cdot p_{10} + 0.08 \cdot p_{50}}$$

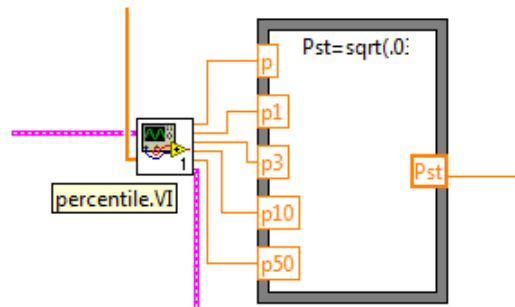


Ilustración 9: Herramienta Formula Node



P long term.VI: Se usa para calcular Plt

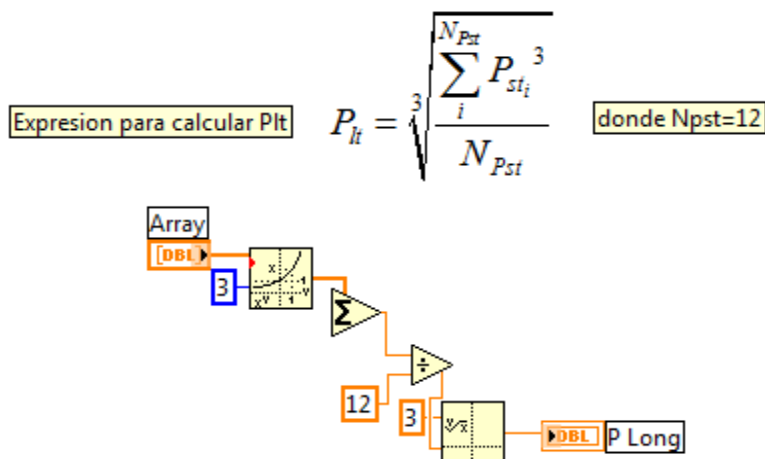


Ilustración 10: Algoritmo de la función p long term programado en LabVIEW

3.3 Desarrollo de las ventanas y funciones para la adquisición de datos

Como se indicó en el punto 3.2 acerca de la importancia para este trabajo del desarrollo del algoritmo para la medición de flicker; describiré en una forma global (layout) los puntos 3.3.1 hasta 3.3.12 ya que son instrumentos virtuales prediseñados y disponibles en el software usado y no requieren de ningún algoritmo o elaboración de una secuencia, es simplemente unirlos al proyecto ya desarrollado (Ilustración 11).

La sección de Anexos muestra todas estas aplicaciones descritas, adjuntas al resto del proyecto, conformando este proyecto en su totalidad, se puede ver en una forma muy clara la ventana de programación gráfica y la de diagrama de bloques totalmente concluidas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

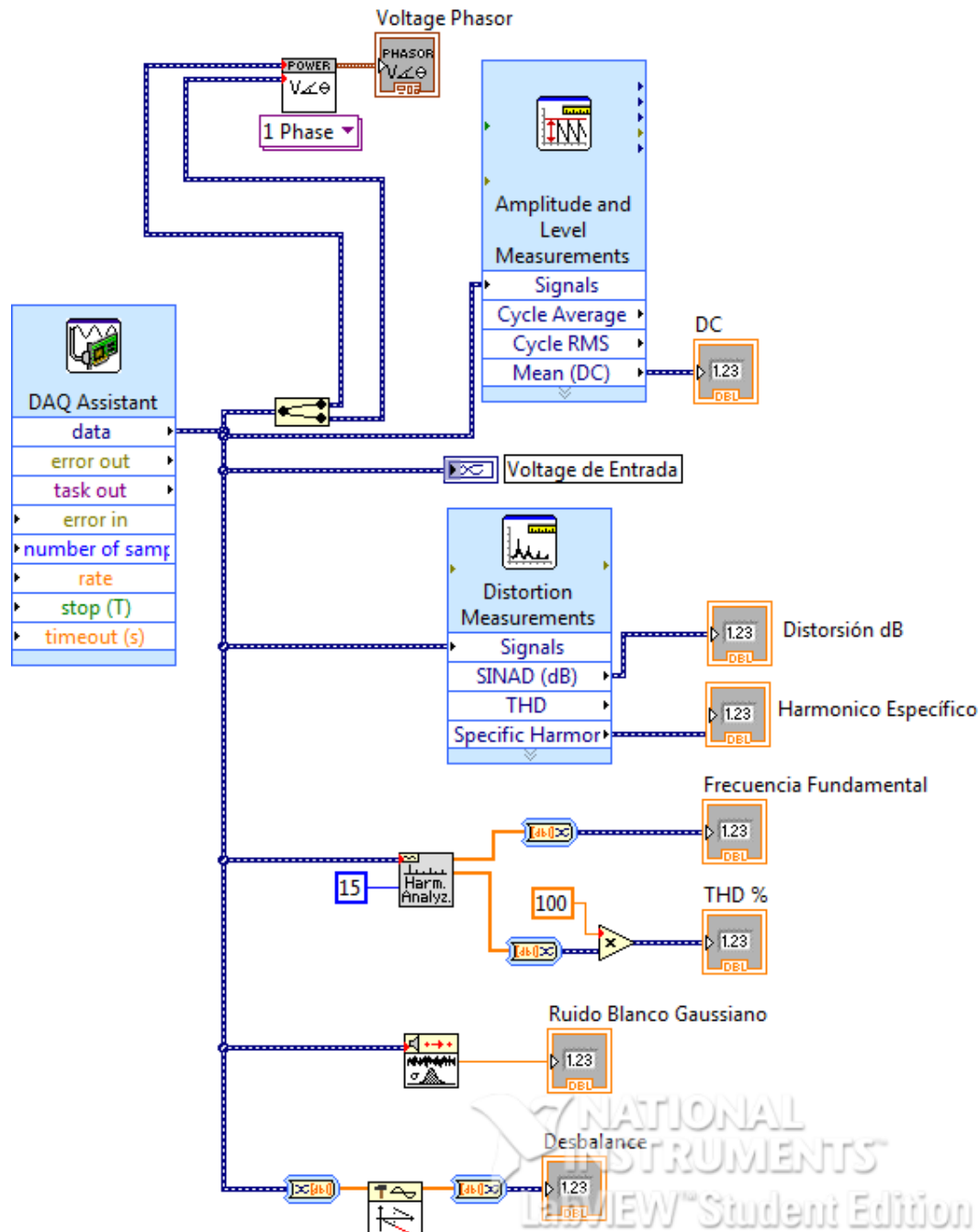


Ilustración 11. Programación de todas las aplicaciones en LabVIEW



UNIVERSIDAD DE CUENCA

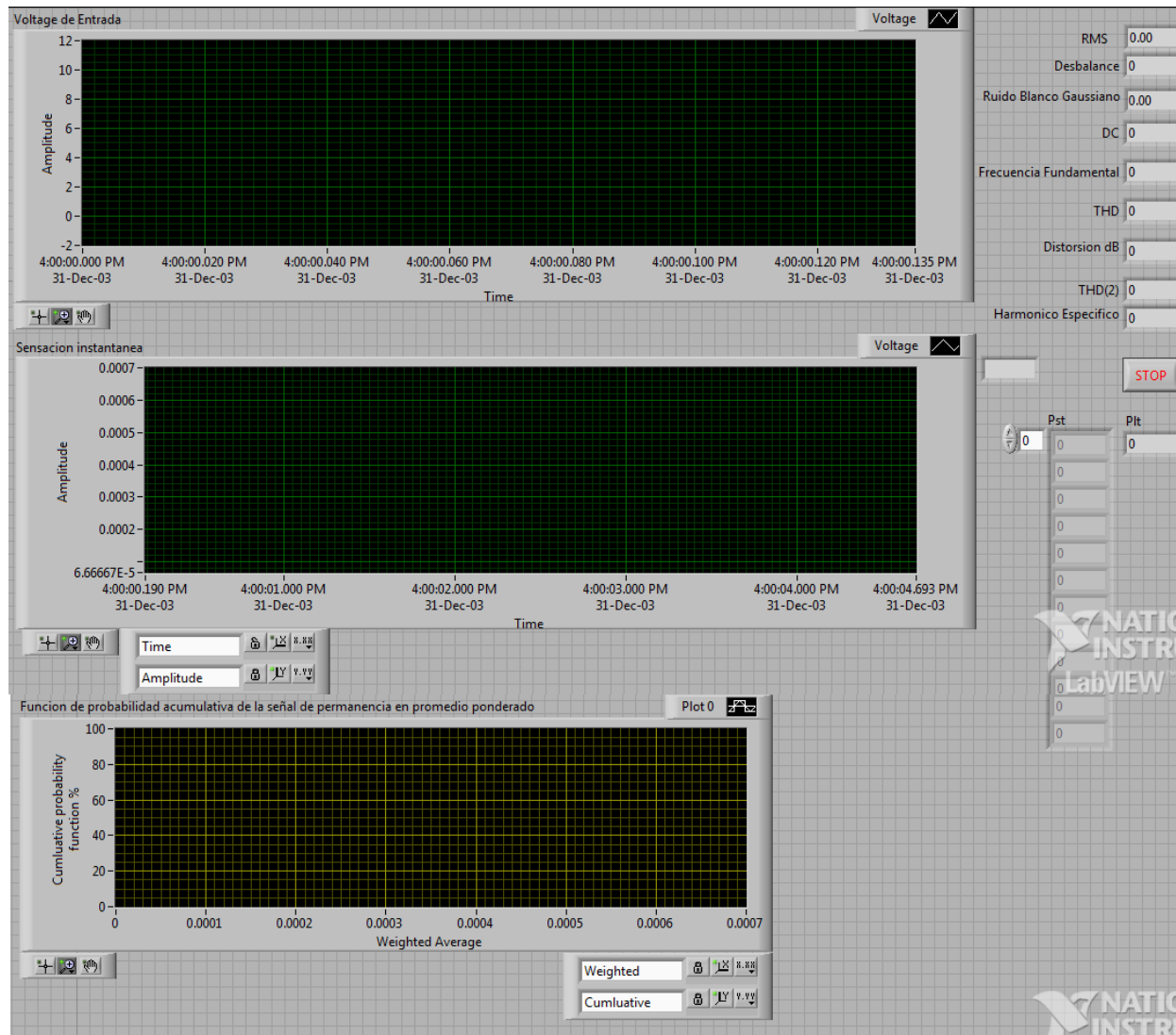


Ilustración 1. Panel de Control del Software desarrollado en LabVIEW

3.4 Configuración de la comunicación vía USB de los equipos con el ordenador

Al conectar los dispositivos ya sea MyDAQ o CompactDAQ y luego de haber instalado el software en el ordenador se realizan las siguientes configuraciones:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la opción de dispositivos, esta seleccionada NI myDAQ como “Dev1”, esto quiere decir que myDAQ es el dispositivo 1, cuando vayamos a tomar las pruebas con compactDAQ deberemos nombrarla a esta como dispositivo 1, ya que las aplicaciones están diseñadas y programadas con el dispositivo de nombre “Dev1”.

Luego se realizan los procesos de auto prueba de los equipos, eligiendo la opción “selftest” , si el equipo pasa la prueba y está listo para usarse se exhibirá un mensaje que el dispositivo ha pasado la prueba, y estará listo para usarse.

Luego procedemos a configurar los canales y puertos para nuestros requerimientos

3.5 Prueba de las aplicaciones y toma de muestras

En la ilustración 11 se muestra un el panel de control cuando el programa está en proceso, el funcionamiento es satisfactoriamente exitoso.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

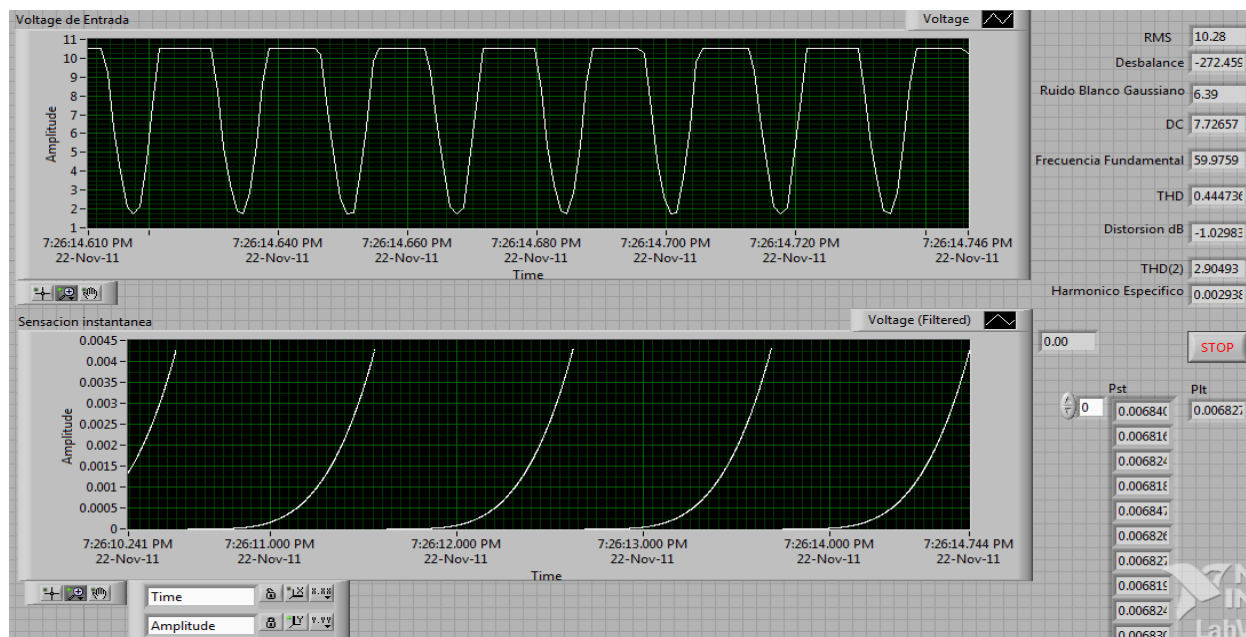
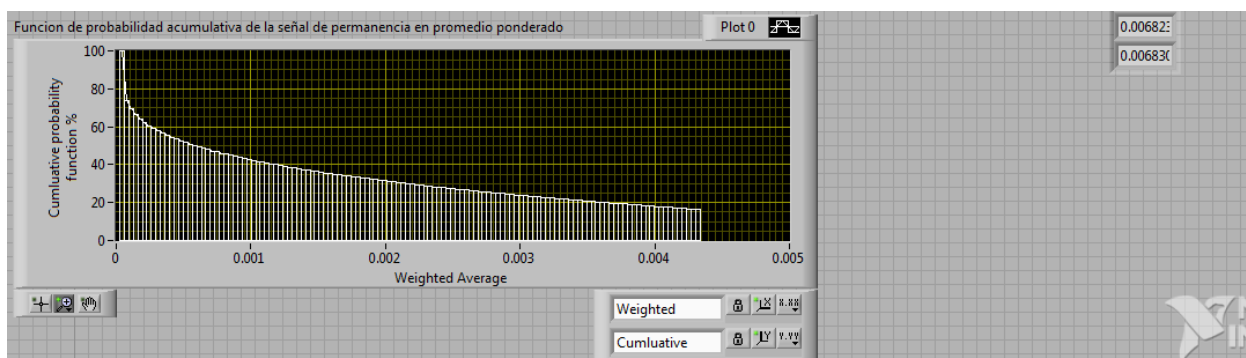


Ilustración 11. Panel de control en funcionamiento



Capítulo 4: Interconexión vía Ethernet

4.1 Introducción

Existe la posibilidad de observar a través de la red lo que este software está ejecutando y monitorear la calidad de la energía que se suministra en cualquier punto del sistema.

El monitoreo desde una parte externa a la red de la CENTROSUR puede ser implementado en una forma fácil y rápida, pero por políticas de seguridad de la empresa no se permitió abrir los puertos de los routers (módems) que comunican a la red de la empresa con la web (internet), ya que esto implica la intromisión de cualquier usuario a la red de la CENTROSUR.



4.2 Configuración de la red de comunicación

En esta etapa más bien no la llamaremos “configuración”, sino “verificación” de la dirección IP que tendrá nuestro ordenador, para esto seguimos los siguientes pasos:

1. Entramos a la ventana de comandos de nuestro ordenador en este caso “cmd.exe”.
2. Luego digitamos “ipconfig” presionamos enter y obtendremos nuestra dirección IP que posteriormente nos será de utilidad.

4.3 Programación y diseño de la página para el control vía internet

1. En la barra de menú de LabVIEW seleccionamos la opción: Tools/Web Publishing Tool....
2. Luego seleccionamos el nombre de nuestro VI (virtual Instrument) que vamos a publicar, en nuestro caso se llama flicker measurement.
3. Ahora seleccionamos la opción Monitor y ponemos intervalos de 1 segundo

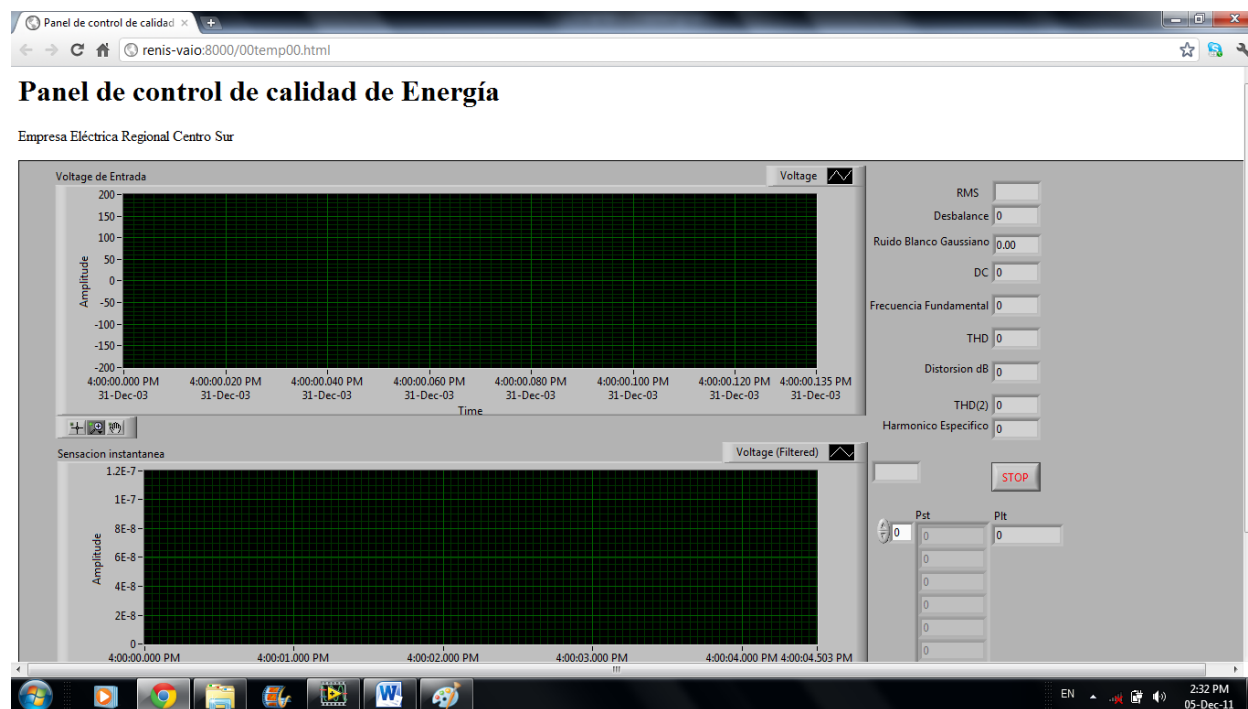
¿Por qué esta opción?, la explicación es simple, la opción “Embedded” permite la manipulación desde un ordenador que esté conectado a la red; y ese no es el propósito de este trabajo. La opción “Snapshot” nos muestra la pantalla en forma de fotografía en un momento dado en que se ingrese a la dirección IP del programa (ordenador que está monitoreando), en cambio la opción monitor nos mostrará varios snapshot en este caso cada 1 segundo en forma de refrescamiento de pantalla obteniendo una vista casi en tiempo real a través de la red.

4. Luego damos click en la opción “Start Web Server” y posteriormente en la opción “Next”.
5. Luego escogeremos la ubicación del archivo html y además obtendremos nuestra dirección URL en este caso **`http://Renis-VAIO:8000/FLICKER%20MEASUREMENT%20-%20Copy.html`**.



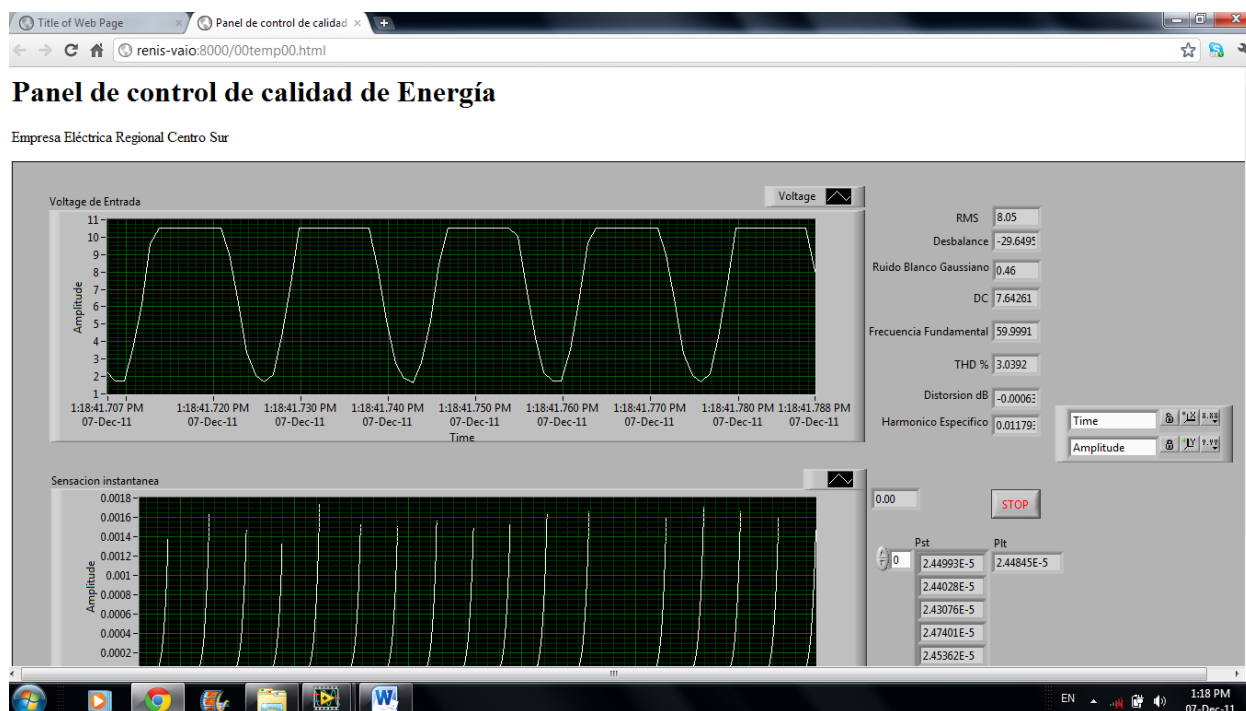
6. Ahora escogemos la opción “Save to Disk
7. Finalmente escogemos la opción “OK” para finalizar, ó “Connect” para finalizar y ejecutar inmediatamente.

Dependiendo del navegador predeterminado de internet que se tenga, podemos digitar la dirección que nos muestra el cuadro de dialogo anterior, o la dirección IP de nuestro ordenador, la pantalla será de la siguiente manera:



4.4 Pruebas de la aplicación y toma de muestras

A continuación se muestra el monitoreo del programa a través de la red:



Capítulo 5: Puesta en funcionamiento del proyecto

5.1 Conexión de los equipos

Como se explicó en el capítulo 3, punto 3.4, ahora indicamos como nuestro dispositivo 1 (dispositivo predeterminado) “Dev 1” a las tarjetas de adquisición NI Compaq DAQ, y con la conexión adecuada de los dispositivos externos y la conexión de alimentación de DC que este dispositivo requiere.

La conexión se realiza en forma satisfactoria y se procede a ejecutar el programa.

5.1.1 Pruebas definitivas de los equipos

Para la prueba de los equipos tomamos la muestra de un toma corriente 120V del edificio de la CENTROSUR, además se conectan varias cargas en paralelo a este mismo tomacorriente (cargas como focos incandescentes y focos fluorescentes, computadores portátiles) para observar el comportamiento de la forma de onda de tensión ya que una de las causas de que se presente parpadeo o flicker es la puesta en funcionamiento de importantes cargas inductivas.

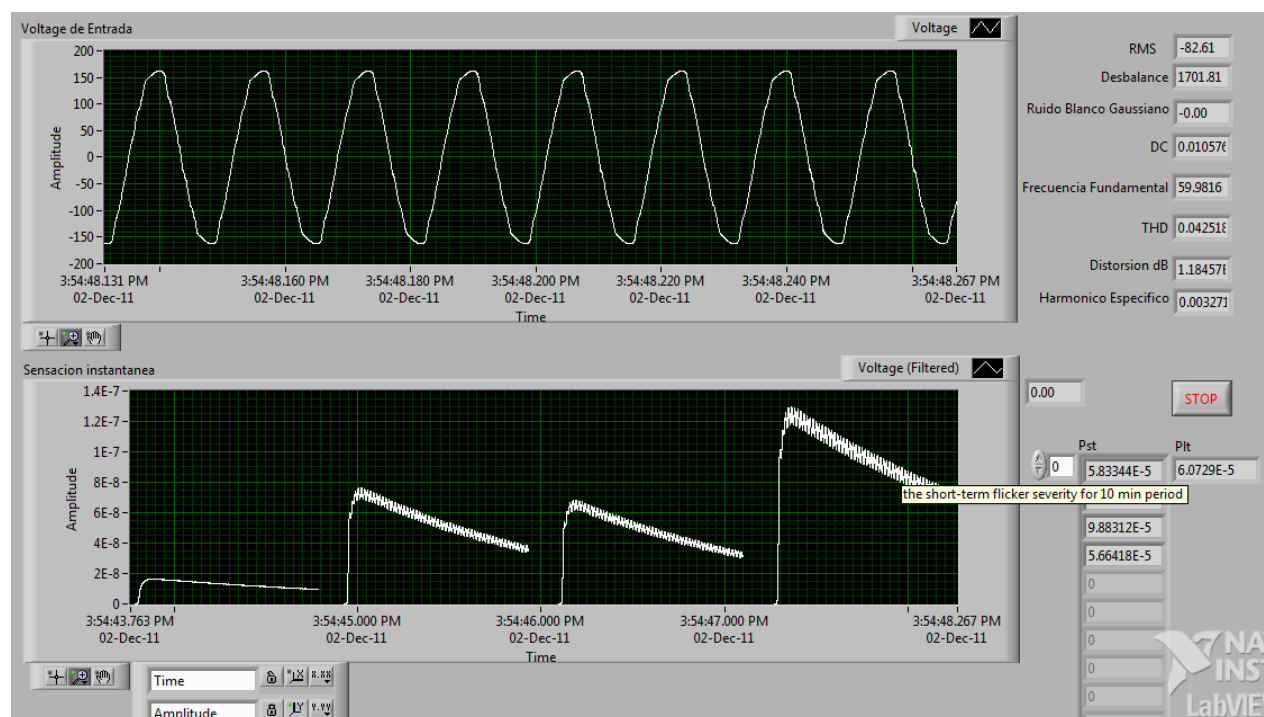


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Las pruebas se realizaron conjuntamente con el Ing. Patricio Quituisaca (Tutor en la Tesis).

Al observar los resultados obtenidos durante las mediciones, se pudo observar que la calidad de la energía analizada es excelente (algo que debía esperarse estando muy cerca de la subestación 03 Monay).

A continuación se muestra algunas pruebas realizadas dentro de las instalaciones de la CENTROSUR:



Se obtiene un valor de THD=4.25%, el cual es un valor que está dentro de los límites según especifica la norma.

Una onda de tensión de 150 VRMS con 59.98Hz de frecuencia.

Una componente de DC=0.0105V.

Con 1.184 dB de ruido y sin ruido blanco gaussiano.

Los valores de Pst y Plt son muy bajos, casi insignificantes, concluyendo de esta manera que la calidad de energía cumple con la normativa técnica.

La duración de las pruebas fue aproximadamente de 2 horas, ya que Pst y Plt deben ser evaluados en tiempos de 10 minutos y 2 horas (120 minutos) respectivamente.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Las pruebas definitivas de este proyecto se realizaron en el Laboratorio de Transformadores de la CENTROSUR donde fue factible simular el fenómeno del flicker al conectar un calentador eléctrico y provocando constantemente flameo de sus contactos mediante la manipulación de estos (logrando simular lo que en las redes se llama “mal contacto”).

Las pruebas se realizaron en paralelo con un equipo registrador de calidad de energía de la CENTROSUR el TOPAS 1000 y el software Fluke PQ Analyze.

En el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Magnitud	RESULTADOS		Error por medición (%)
	TOPAS	Proyecto (Equipo NI)	
Voltaje RMS (V)	119.21	120.16	0.796913011
THD (%)	1.7704	1.7389	1.779258925
Frecuencia (Hz) max	60.004	60.093	0.148323445
Frecuencia (Hz) min	60.001	59.885	0.193330111
Pst max	13.819	14.01	1.382155004
Pst min	11.853	12.473	5.230743272
DC Component	27.51	28.05	1.962922574

Los resultados de esta medición muestran que se tiene un error de 1.2836 % respecto de la medición que se está tomando como patrón, los errores pueden darse por diferentes causas que pudieran ser propias o ajenas al sistema de medición, entre las cuales se puede citar:

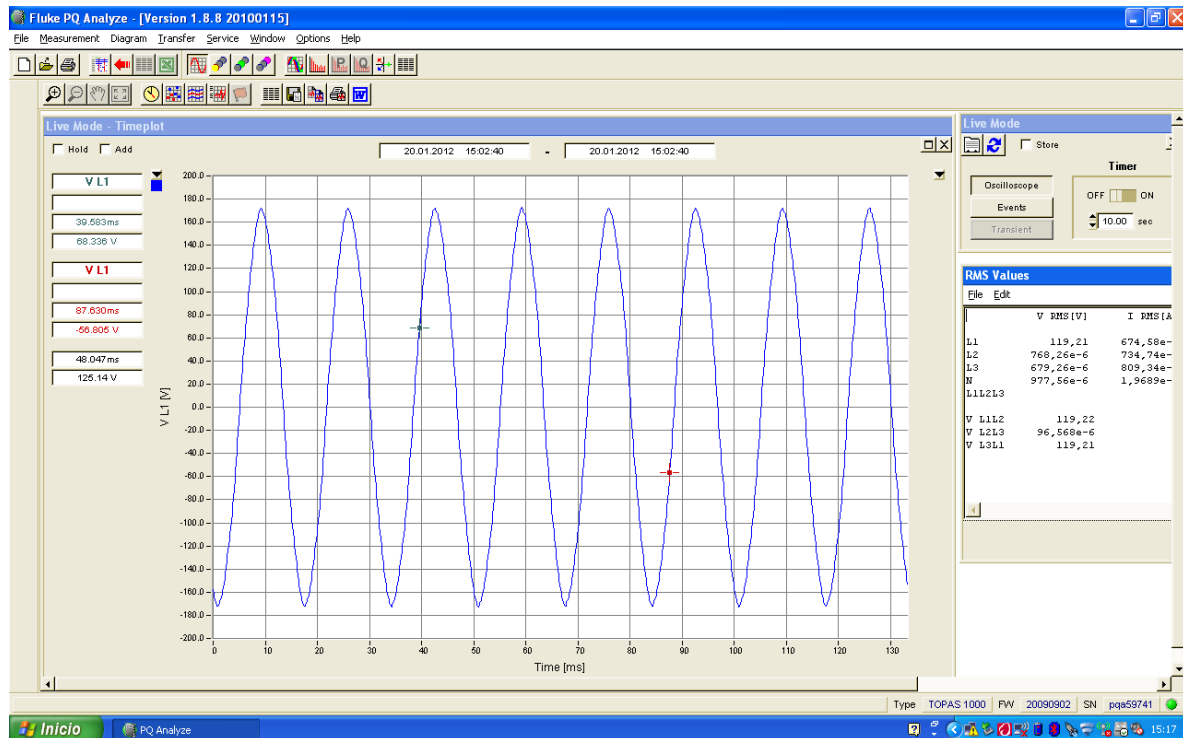
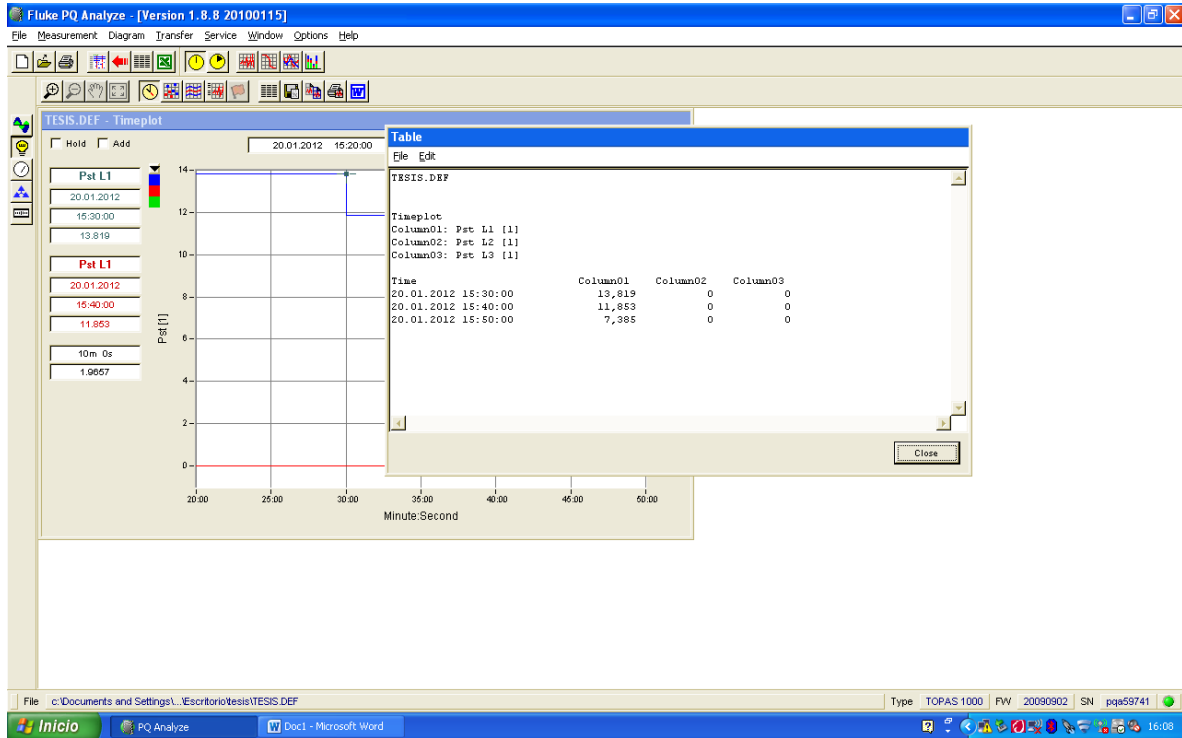
- El TP que se utilizó no es específico para medición, no cumple con los niveles de saturación, tolerancia y precisión.
- Los equipos no estuvieron sincronizados al momento de las pruebas.

Pero se puede concluir que los resultados fueron congruentes y consistentes.

A continuación se muestran algunas ventanas capturadas por el equipo de calidad de la CENTROSUR durante las pruebas.



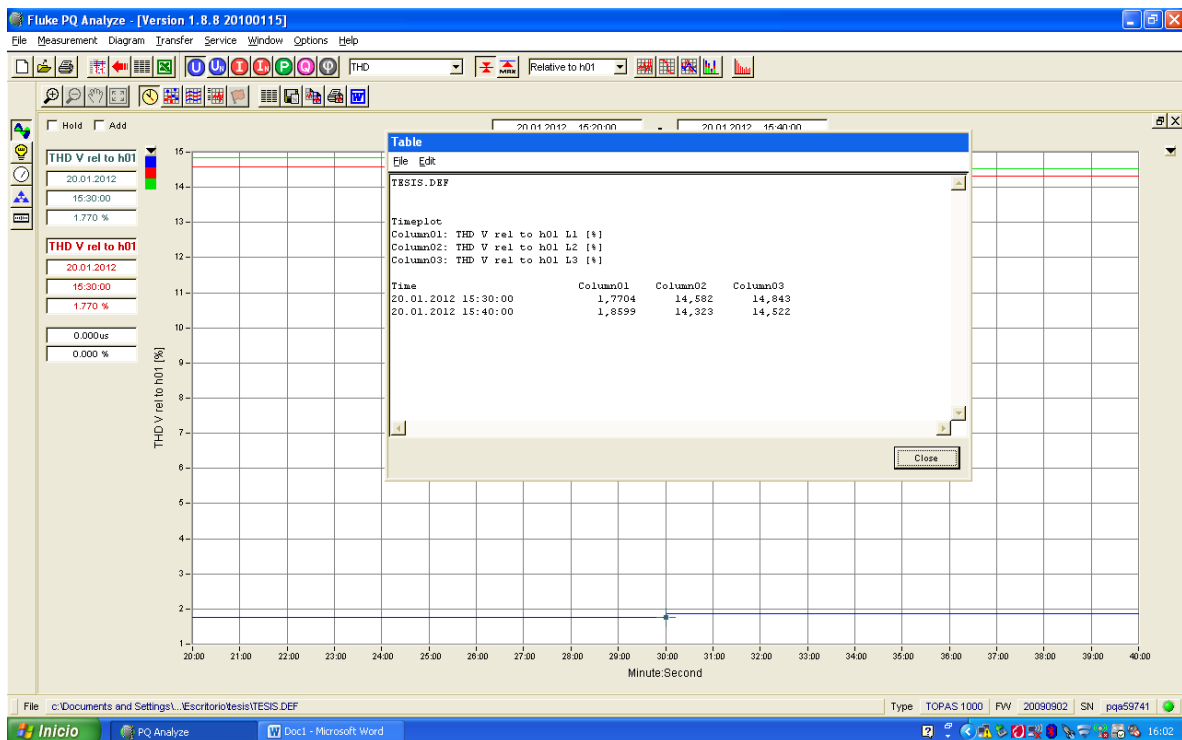
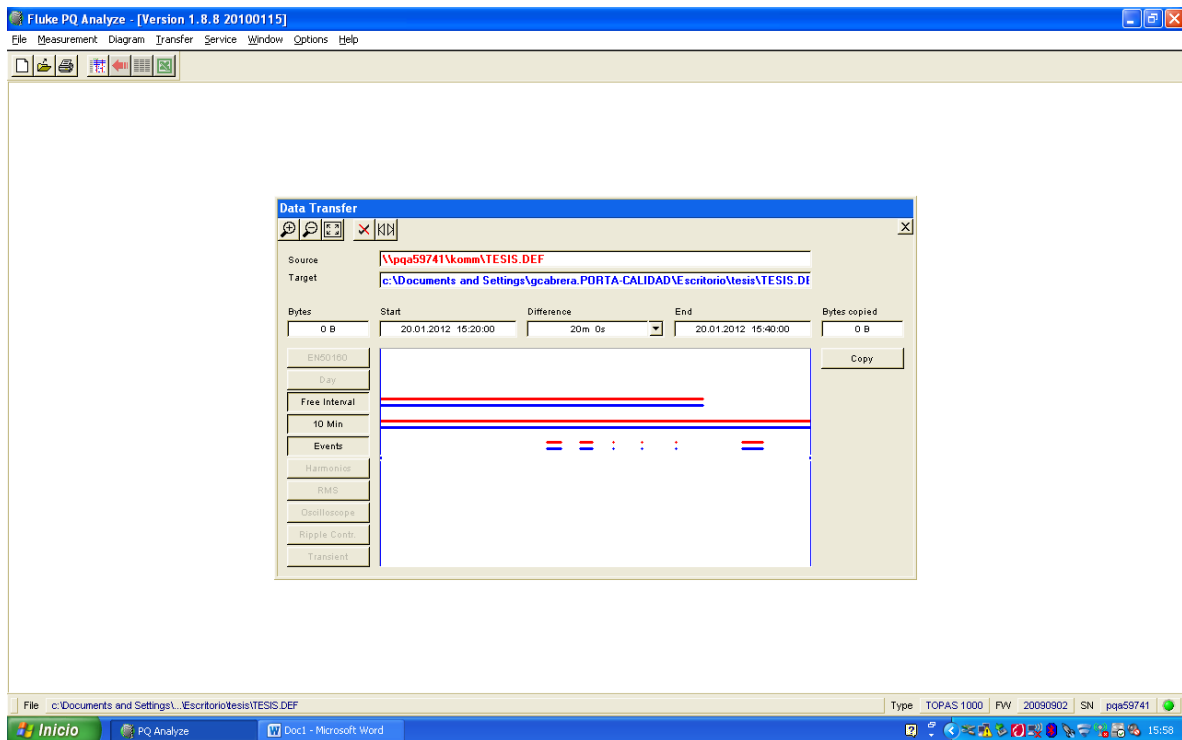
UNIVERSIDAD DE CUENCA



AUTOR:
René Isaac Rodríguez Chogollo

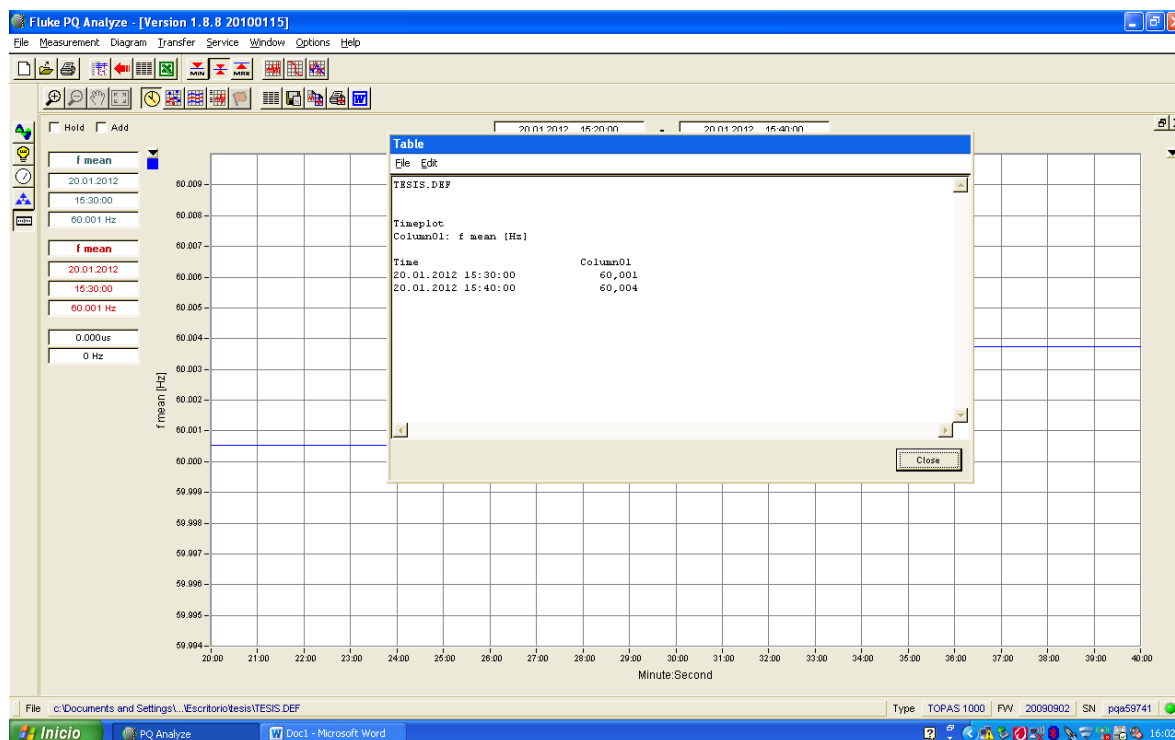


UNIVERSIDAD DE CUENCA





UNIVERSIDAD DE CUENCA



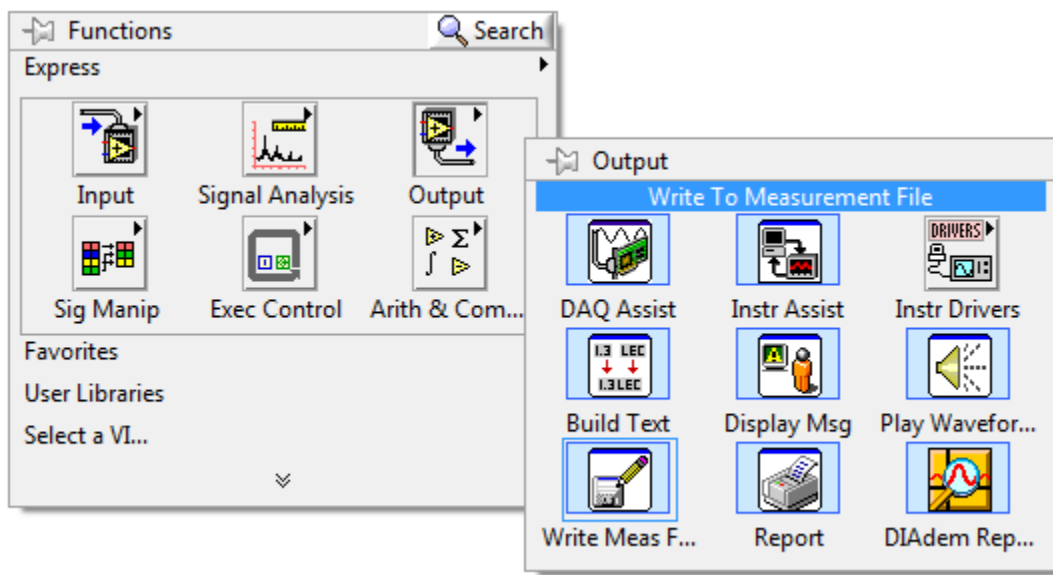
5.2 Diseño del almacenamiento de datos

El almacenamiento de datos permitirá tener un respaldo de los eventos ocurridos en cuanto a la señal de voltaje que haya sido medida en cierto tiempo.

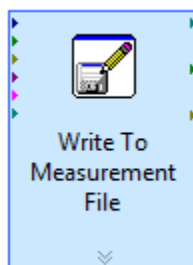
El almacenamiento se realizará en una hoja electrónica de Excel en el disco duro del ordenador.

El procedimiento es el siguiente:

1. En la ventana del diagrama de bloque damos click con el botón derecho y seleccionamos la opción Output, y luego Write Meas F...



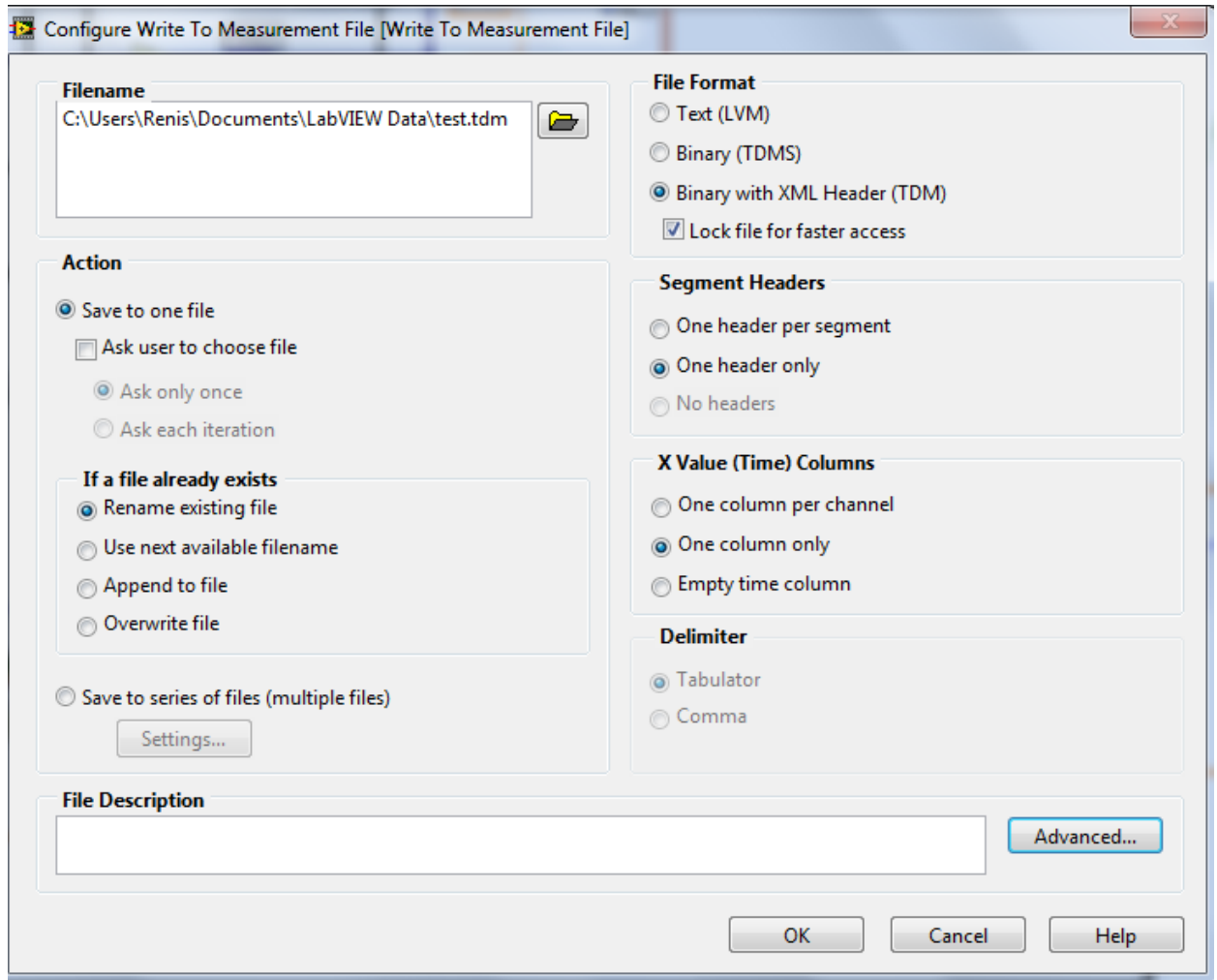
2. Luego de seleccionar no aparecerá



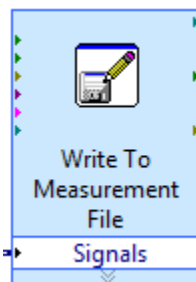
3. Y lo ubicamos dando click en la parte deseada, inmediatamente nos aparecerá la ventana de configuración y seleccionamos las opciones como se muestran a continuación (en la opción Fileneme puede variar dependiendo de la localización en donde se quiera guardar)



UNIVERSIDAD DE CUENCA



4. Finalmente damos click en OK y obtendremos



5. En la entrada "Signals" insertamos las señales que deseemos almacenar (Pst, Plt, THD, Frecuencia fundamental)

Este es el formato con el que guarda los datos de las variables descritas:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description	wf_create_time			
test.tdm		Renis	31-12-1903 04:00:00.000 PM	1		31-12-1903 04:00:00.000 PM			
Group	Channels	Description	wf_xcolumns						
Untitled	5	One							
Untitled									
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	wf_start_time	wf_increment	Start Index
Time	DT_DOUBLE	s	24	0	0		31-12-1903 04:00:00.000 PM		
Frecuencia	DT_DOUBLE		24	59.93558046	60.06075724				1
THD	DT_DOUBLE		24	43.0399882	43.47012733				1
Pst	DT_DOUBLE		156	2.42051E-05	2.47401E-05				1
Plt	DT_DOUBLE		132	2.42051E-05	2.47401E-05				1

Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description	wf_create_time			
test.tdm		Renis	31-12-1903 04:00:00.000 PM	1		31-12-1903 04:00:00.000 PM			
Group	Channels	Description	wf_xcolumns						
Untitled	5	One							
Untitled									
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	wf_start_time	wf_increment	Start Index
Time	DT_DOUBLE	s	24	0	0		31-12-1903 04:00:00.000 PM		
Frecuencia	DT_DOUBLE		24	59.93558046	60.06075724				1
THD	DT_DOUBLE		24	43.0399882	43.47012733				1
Pst	DT_DOUBLE		156	2.42051E-05	2.47401E-05				1
Plt	DT_DOUBLE		132	2.42051E-05	2.47401E-05				1

5.3 Desarrollo de los programas ejecutables para uso de la CENTROSUR

Debido a que la CENTROSUR no cuenta con una licencia de LabView, y la que se utilizó en el desarrollo de esta tesis es una versión estudiantil, los ejecutables del programa no se pueden realizar sino con una versión profesional con su respectiva licencia.

Es por esta razón que los archivos ejecutables se los mandará a realizar con los representantes de la firma de National Instruments, Data Lights.



5.4 Elaboración del Informe

El presente informe ha sido desarrollado en conformidad con el avance de cada uno de los capítulos, (no necesariamente fueron realizados en orden).

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones:

Una vez culminado el presente trabajo de tesis y por la experiencia adquirida durante su desarrollo, se puede concluir que:

- En la actualidad el tema de análisis de calidad de energía ha tomado gran inclusión en el campo de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, tomando mayor impacto en esta última, ya que está ligada directamente con el correcto funcionamiento de los equipos conectados a la red.
- Al realizar las mediciones se pudo concluir que la calidad de la energía que se muestreó es muy buena cumpliendo estrictamente con los parámetros de calidad que se han mencionado durante este trabajo.
- La gran fidelidad y precisión de los equipos utilizados (descritos en el capítulo 2) para este trabajo facilitaron el desarrollo de los algoritmos y la toma de muestras.
- Trabajar en un software o lenguaje de programación gráfica como el que se usó (LabVIEW), permite una interacción muy amigable entre ordenador y usuario, ya que su uso a más de ser relativamente sencillo permite tener una perspectiva muy amplia del trabajo que se esté realizando.
- El trabajo se facilitó en gran parte al poder contar con mi propio equipo (NI my DAQ) ya que pude ir realizando las pruebas a cada instante según como se iba desarrollando los algoritmos. También me permitió una rápida familiarización con los equipos que posee la CENTROSUR (Compact DAQ).
- En varias ocasiones se necesitó la ayuda de expertos en el lenguaje de programación utilizado (LabVIEW), para esto tuve apoyo de los Ingenieros de la firma National Instruments lo cual hizo que vaya adquiriendo más conocimientos.



Recomendaciones:

Para trabajos posteriores y para quienes deseen una inclusión mayor en el campo de la adquisición de datos u otras áreas afines a esta, se recomienda que:

- Para el uso de los equipos tanto para NI myDAQ y Compac DAQ se recomienda tener mucho cuidado y precaución con los niveles de voltajes que se van a trabajar, debido a que son equipos con un alto valor utilitario y económico. Verificar las polaridades hacia la carcasa de los equipos.
- Para trabajos con fines como estos (calidad de energía), se debe contar con el respaldo de equipos que cumplan con altos estándares de calidad.
- Utilizar fuentes confiables de información, preferentemente normas y libros especializados en el tema.
- Usar cargas adyacentes a la toma de la muestra y la simulación de un mal contacto, como se usó durante las pruebas en la CENTROSUR ayuda a tener una perspectiva más clara para estudios de este tipo.
- EL equipo que se usó para este proyecto consta del case y los dos módulos (de corriente y de voltaje), adicionalmente el case posee slots los cuales no están siendo utilizados y en los cuales se pueden insertar módulos para fines diferentes, como sensores para captar diversos fenómenos físicos (presión, temperatura, etc), entradas y salidas digitales, etc. La utilidad de este equipo se vería potencializada en un mayor grado si dichos slots fueran utilizados de la manera sugerida.
- La CENTROSUR podría realizar trabajos investigativos acerca de las bondades de estos equipos y realizar proyectos a futuro que incluyan su uso u otros similares en trabajos de varias índoles como se ha dicho anteriormente mediante proyectos de tesis o proyectos dentro de la empresa.
- National Instruments ofrece equipos con funciones dedicadas para trabajos específicos en el área de optimización, control remoto, actividades como las descritas anteriormente, y sistemas de adquisición de datos (SCADA), uno de estos son los de la serie Compact RIO, las cuales pueden ser orientadas a una de las áreas descritas dependiendo de la necesidad y orientación del proyecto.
- El trabajo realizado se pudo hacer con gran fluidez en lo que respecta a lenguaje de programación y uso de los equipos, esto fue gracias a la preparación obtenida en los talleres de programación de LabVIEW realizados antes de comenzar a desarrollar el proyecto.



Referencias

- [1] DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN , Mark F.; SANTOSO, Surya; BEATY, H. Wayne. Electrical Power system quality. Segunda Edición, McGraw Hill, 2004
- [2] Wikipedia la enciclopedia Libre,
http://es.wikipedia.org/wiki/Distorsi%C3%B3n_arm%C3%B3nica
- [3] “Implementación de un flickermeter en *PSCADTM* para detectar las posibles causas de perturbación”, Andrés Mauricio Obando Acevedo.
- [4] Power Quality, Staff Marketing e Ingeniería
- [5] Norma IEEE 519
- [6] Norma CFE L0000-45
- [7] Norma IEC 61000-4-15
- [8] Norma IEC 868 e IEC 868-0
- [9] Dpto. Ingeniería Eléctrica, Universidad de Vigo, J. Cidrás y C. Carrillo
- [10] REYES CUARTAS, Guillermo Antonio Importancia de la calidad del servicio en ambientes competitivos una ambientación del tema en el sector de la distribución. Tesis de grado de Especialización en Sistema Eléctricos de Energía. Universidad Politécnica de Valencia, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia, 2001.
- Harmonics and Power Systems . De La Rosa.- 208 p.- 2006
- IEEE.- Voltage Quality in Electrical Power Systems.- J. Schlabbach.-VDE-Verlag/IEE.- 2001.- 249 p
- Norma IEEE 1159
- Norma IEEE C62.41-1991
- IEC 555-2
- <http://www.ni.com/dataacquisition/>

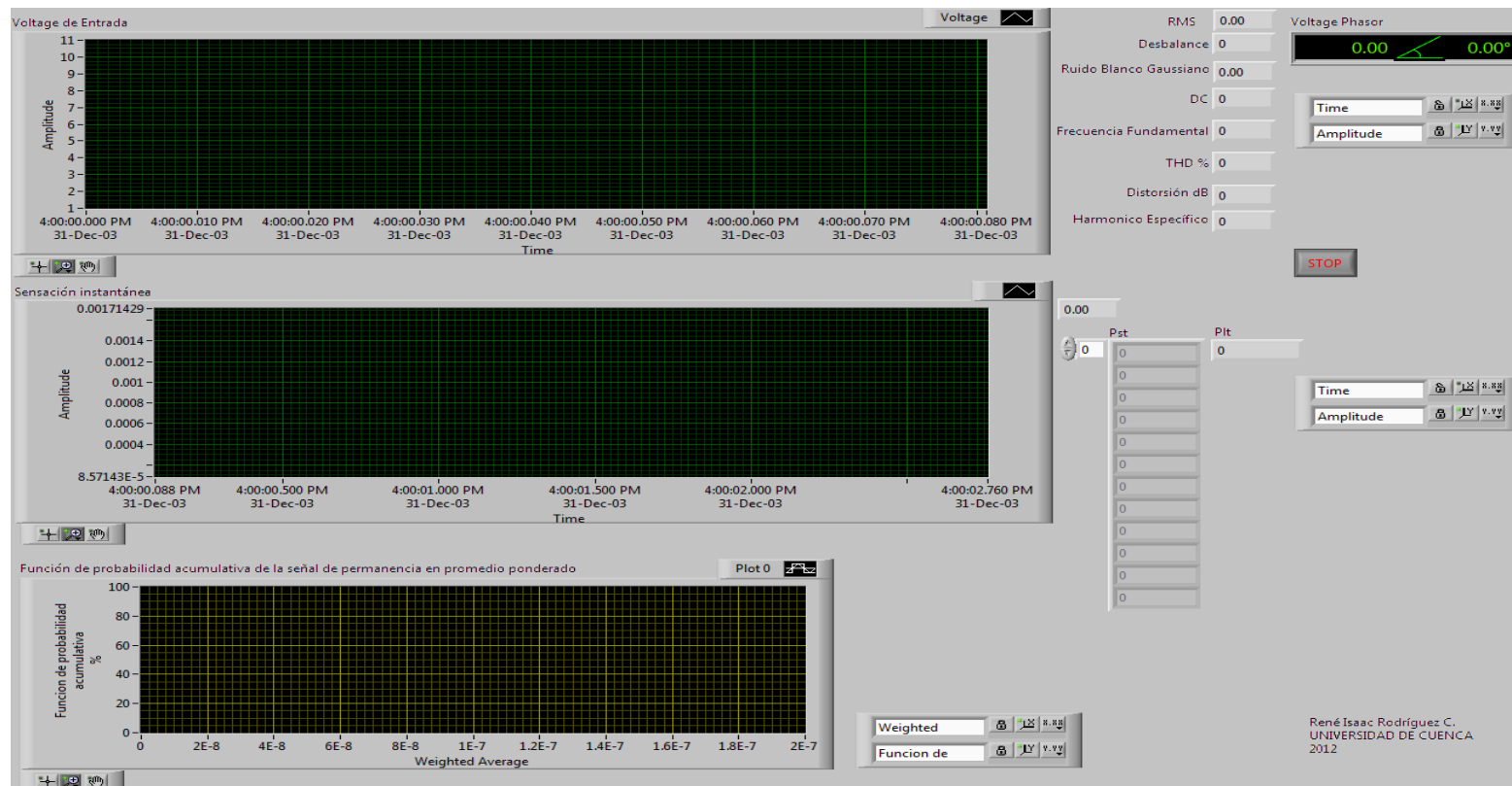


UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXOS

Anexo 1

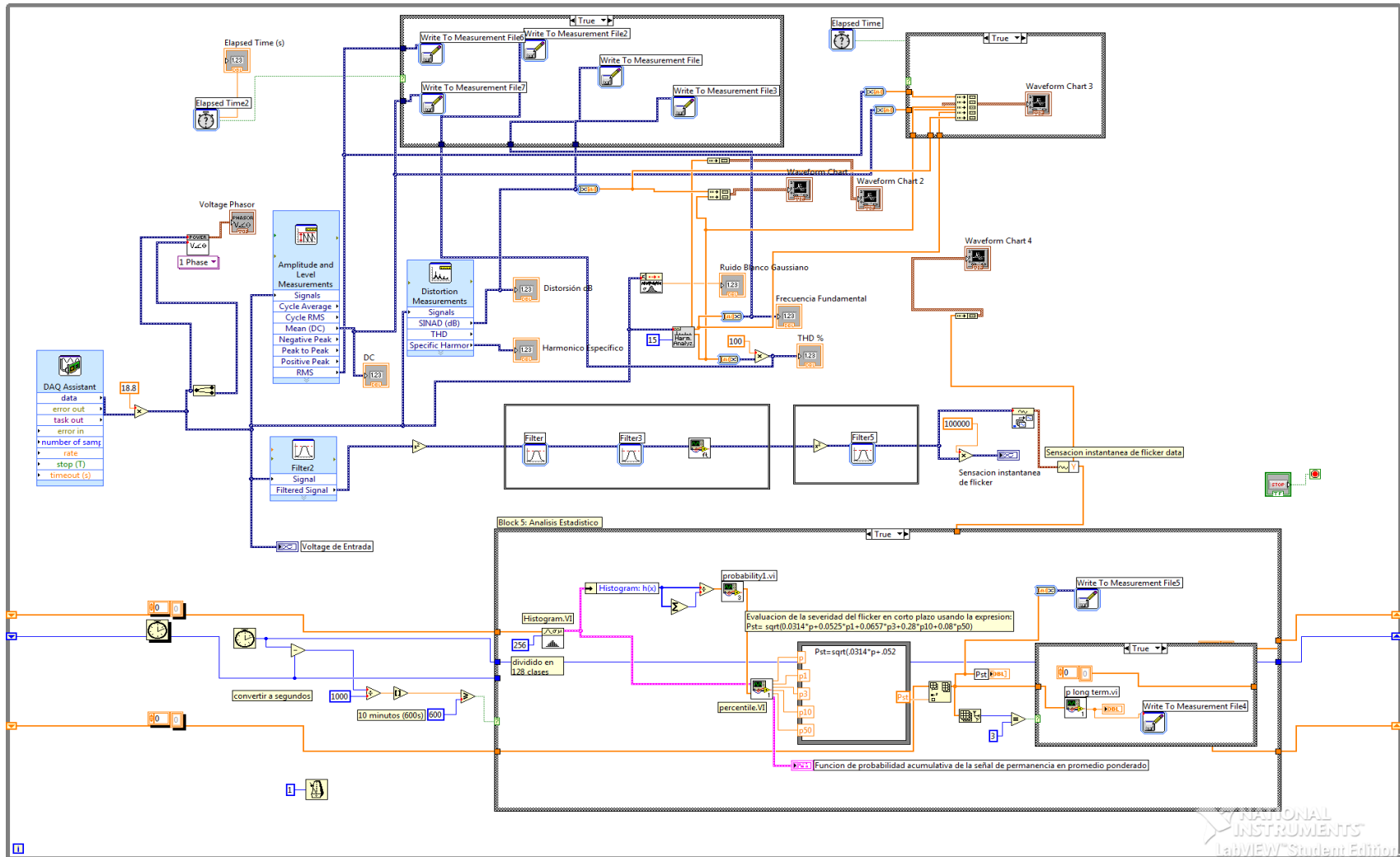
(Ilustraciones en LabVIEW del Panel frontal y Diagrama de Bloques)



AUTOR:
René Isaac Rodríguez Chogollo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

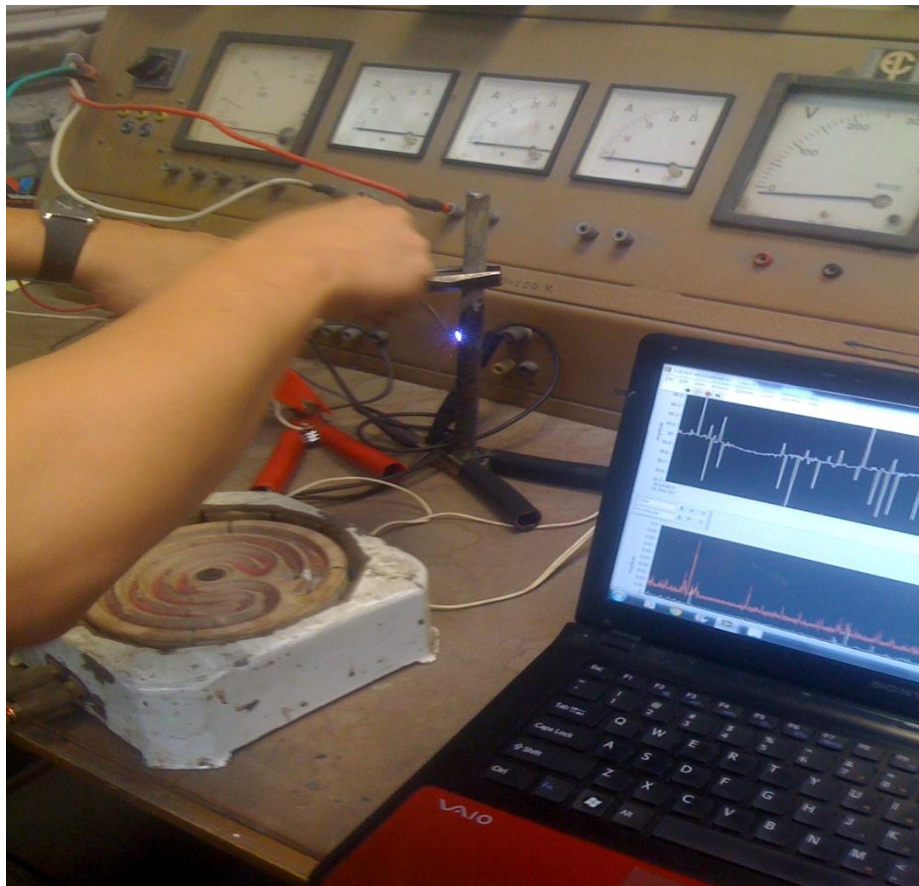




UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 2

Imágenes del Instante de las Pruebas definitivas en laboratorio de Transformadores de la CENTROSUR



AUTOR:

René Isaac Rodríguez Chogollo