

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO – CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y REPRESENTACIÓN DE
DATOS PARA ENSAYOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Francisco Alejandro Nahmías Aravena

**INFORME FINAL DEL PROYECTO
PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE
LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL
TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO**

JULIO DE 2017

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y REPRESENTACIÓN
DE DATOS PARA ENSAYOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

INFORME FINAL

Presentado en cumplimiento de los requisitos
para optar al título profesional de
INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO
otorgado por la
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
de la
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

Francisco Alejandro Nahmías Aravena

Profesor Guía: Sr. JUAN VIGNOLO BARCHIESI
Profesor Correferente Sr. RENÉ SANHUEZA ROBLES
Profesor Correferente Sr. SEBASTIÁN FINGERHUTH MASSMANN

JULIO DE 2017

ACTA DE APROBACIÓN

La Comisión Calificadora designada por la Escuela de Ingeniería Eléctrica ha aprobado el texto del Informe Final de Proyecto de Titulación, desarrollado entre el Segundo Semestre de 2014 y el Primer Semestre de 2015 y denominado

SISTEMA DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y REPRESENTACIÓN DE DATOS PARA ENSAYOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Presentado por el Señor
Francisco Alejandro Nahmías Aravena

Sr. Juan Vignolo Barchiesi
Profesor Guía

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann
Segundo Revisor

Sr. Jorge Mendoza Baeza
Secretario Académico

Valparaíso, JULIO DE 2017

SISTEMA DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y REPRESENTACIÓN DE DATOS PARA ENSAYOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

FRANCISCO ALEJANDRO NAHMÍAS ARAVENA

Profesor Guía Sr. Juan Vignolo Barchiesi

RESUMEN

El proyecto descrito consiste en el diseño y la fabricación de un nuevo Registrador de Variables Eléctricas para uso docente en el Laboratorio de Maquinas Eléctricas. El equipo dispone de tres canales de tensión (fases R, S y T) y cuatro de corriente (fases R, S, T y neutro). Los sensores del equipo proveen aislación galvánica entre todos los canales, tanto de voltaje como de corriente. Todos los canales de corriente cuentan con fusibles de protección.

El registrador permite visualizar formas de onda y contenido armónico de las tensiones y las corrientes, capturar y visualizar transientes, medir valores RMS, potencias activas, reactivas, aparentes, y el nivel de distorsión armónica de las variables.

Las señales originales y las pantallas del programa pueden ser grabadas en archivos para realizar análisis posteriores con programas tales como EXCEL y MATLAB. Los archivos son transferidos automáticamente a un servidor FTP de la Escuela de Ingeniería Eléctrica para facilitar a los estudiantes el acceso a los datos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO 1	1
DESCRIPCIÓN GENERAL	1
1.1 Antecedentes previos	1
1.2 Consideraciones teóricas	2
CAPÍTULO 2	4
UNIDAD ELECTRÓNICA DEL REGISTRADOR	4
2.1 Componentes	4
2.1.1 Módulo NI USB-6210	4
2.1.2 Sensor de tensión	5
2.1.3 Sensor de corriente	6
2.1.4 Fuente de Poder	6
2.1.5 Creación de tarjetas Breakout	7
2.1.6 Filtro pasabajos	8
2.1.7 Regleta de baja impedancia	9
2.2 Elección de bornes	10
CAPÍTULO 3	13
PROGRAMA DEL REGISTRADOR	13
3.1 Lenguaje Utilizado	13
3.2 Estructura y diseño de código LABVIEW	14
3.2.1 Patrón de diseño Productor/Consumidor	14
3.2.2 Colas	15
3.3 Programa o software del registrador	18
3.3.1 Botones de selección de fases	19
3.3.2 Pestañas	20
3.3.3 Calculadora	21
3.3.4 Grabar Dat Graf y Grabar Pantalla	23
CAPÍTULO 4	26
EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN	26
4.1 Offset	26
4.1.1 Ruido de fondo	28
4.2 Efecto Crosstalk	29
4.3 Calibración	30
CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1 SAMTE LAB	1
Fig. 1-2 SAMTE Terreno ECT8C	2
Fig. 1-3 Esquema un Sistema de Adquisición de Datos	3
Fig. 2-1 Módulo NI USB-6210	5
Fig. 2-2 Esquemático Sensor LEM LV 25-p	5
Fig. 2-3 Esquemático sensor LEM LA 25-np	6
Fig. 2-4 Fuente de Poder TXL 035-1515D	7
Fig. 2-5 Tarjeta Breakout para canales de Tensión	7
Fig. 2-6 Tarjeta Breakout para canales de corriente de 25[A] RMS	8
Fig. 2-7 Tarjeta Breakout para canales de corriente de 5[A] RMS	8
Fig. 2-8 Esquemático para entradas desbalanceadas	9
Fig. 2-9 Esquemático de regleta	10
Fig. 2-10 Colores bornes para canales de tensión	11
Fig. 2-11 Colores de bornes para canales de corriente	11
Fig. 2-12 Esquemático del circuito de la Unidad Electrónica del Registrador	12
Fig. 3-1 Ejemplo de código de plataforma LABVIEW	13
Fig. 3-2 Software preliminar para módulo NI USB-6210	14
Fig. 3-3 Esquema del patrón productor/consumidor	15
Fig. 3-4 Entradas y salidas del VI optain queue	16
Fig. 3-5 Entradas y salidas del VI Enqueue Element	16
Fig. 3-6 Entradas y salidas del VI Dequeue Element	17
Fig. 3-7 Entradas y salidas del VI Release Queue	17
Fig. 3-8 Mensaje Modo simulación	18
Fig. 3-9 Interfaz del software del Registrador	19
Fig. 3-10 Imagen de pestaña Forma de Onda	20
Fig. 3-11 Imagen de pestaña Espectro	20
Fig. 3-12 Imagen de pestaña Transientes	21
Fig. 3-13 Imagen de calculadora	22
Fig. 3-14 Registro de datos en archivo .xls	23
Fig. 3-15 Registro de datos en archivo .m	24
Fig. 4-1 Gráfica de todos los canales con offset	27
Fig. 4-2 Canales con Efecto Crosstalk	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Características del Registrador	2
Tabla 2-1 Componentes Unidad Electrónica	4
Tabla 2-2 Tabla de Conexiones entre Módulo, Regleta y Tarjetas breakout	10
Tabla 2-3 Colores de bornes	11
Tabla 3-1 Descripción de E/S para el VI Optain Queue utilizado	16
Tabla 3-2 Descripción de E/S para el VI Enqueue Element utilizado	16
Tabla 3-3 Descripción de E/S para VI Dequeue element utilizado	17
Tabla 3-4 Descripción de E/S del VI Release Queue utilizado	17
Tabla 3-5 Numero de decimales dependiendo del Cálculo	23
Tabla 4-1 Valores RMS de todos los canales	26
Tabla 4-2 Niveles de ruido por canal	28
Tabla 4-3 Umbrales de canales	28
Tabla 4-4 Umbrales definitivos para canales de voltaje y corriente	29
Tabla 4-5 Fact. Calibración de canales de voltaje del Registrador	30
Tabla 4-6 Fact. Calibración de canales de corriente 5[A] RMS del Registrador	30
Tabla 4-7 Fac. calibración de canales de corriente de 25 [A] RMS del Registrador	31

GLOSARIO DE TÉRMINOS

RMS:	Root Mean Square
NI:	National Instruments
USB:	Universal Serial Bus
PC:	Personal Computer
DOS:	Disk Operating System
DAQ:	Data Acquisition
LABSEI:	Laboratorio de Sistemas Electrónicos e Instrumentación
VI	Virtual Instrument

INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso cuenta con un Laboratorio de Máquinas Eléctricas, uno de los más antiguos de la Universidad. En este Laboratorio se imparten cuatro asignaturas para las cuatro carreras de la Escuela, dos de carácter obligatorio y dos optativas, las cuales ayudan a fortalecer las competencias de los estudiantes.

En el Laboratorio existen dos sistemas antiguos de adquisición de datos, denominados "SAMTE Lab" y "SAMTE Terreno ECT8C", los cuales registran y representan variables eléctricas en un monitor. Los equipos están basados en un proyecto de titulación realizado en 1995 [1] y funcionan correctamente, pero dependen de computadores personales que ejecutan el antiguo sistema operativo MS-DOS, y de tarjetas de adquisición de datos obsoletas. Además los datos registrados sólo se pueden retirar por medio de disquetes magnéticos, actualmente en desuso.

Si alguno de los computadores o tarjetas de adquisición fallara, sería muy difícil poner en marcha al equipo SAMTE afectado. Por lo tanto, se hace necesario y urgente disponer de equipos con tecnología actual y proyección de futuro.

Las grandes mejoras en velocidad de procesamiento, capacidad de memoria y resolución gráfica que han experimentado los computadores personales en los últimos 20 años permiten desarrollar sistemas más poderosos, mientras que los avances en el software provisto por los fabricantes del hardware de adquisición de datos simplifican la tarea del programador.

En lugar de tarjetas de adquisición de datos instaladas en el interior de un PC de escritorio, se pueden utilizar módulos de adquisición de datos conectados a un puerto USB, facilitando así el reemplazo del PC. Los módulos actuales ofrecen mayor tasa de muestreo y mayor número de bits que las antiguas tarjetas de los equipos SAMTE.

La experiencia ganada durante años utilizando los equipos SAMTE sirve de guía para construir un aparato mejor. Entre los objetivos del proyecto se consideran los siguientes:

- El hardware debe ser tan simple como sea posible para facilitar la duplicación del equipo.
- La interfaz gráfica se debe simplificar, optimizándola para el objetivo docente previsto.
- Se debe mejorar el registro de transientes, ya que el software actual no congela la adquisición una vez terminada la captura.
- Se debe simplificar el proceso de entrega de los datos medidos a los estudiantes.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes previos

En el Laboratorio de Máquinas Eléctricas se realizan con frecuencia actividades académicas en las que se hace necesario registrar variables eléctricas tanto en estado estacionario como transientes de corta duración, para ello se utilizan los equipos SAMTE Lab y SAMTE Terreno ECT8C, correspondientes a las figuras Fig. 1-1 y Fig. 1-2 respectivamente. Ambos equipos corresponden a Sistemas de Adquisición de Datos los cuales son capaces de registrar datos de voltajes y corrientes de sistemas trifásicos en condiciones estacionarias y transientes y al mismo tiempo representar de forma gráfica en un computador tipo PC por medio de un programa que corre bajo DOS pero con una interfaz gráfica similar a la de Windows para facilitar su utilización.

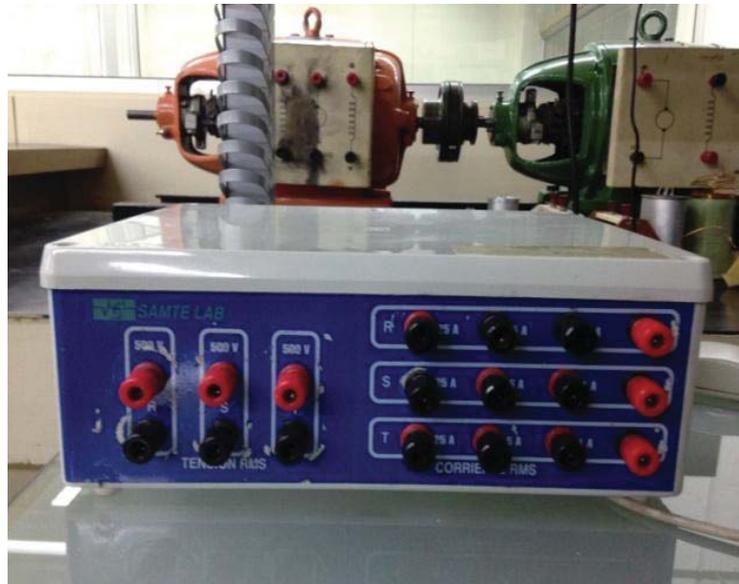


Fig. 1-1 SAMTE LAB



Fig. 1-2 SAMTE Terreno ECT8C

Ambos equipos adquieren señales de voltaje para escalas de 500 V RMS y escalas de 25, 5 y 1 A RMS para las corrientes, en cada una de sus fases.

En las siguientes secciones se explicará brevemente la teoría necesaria para la elección de componentes electrónicos y las características generales del nuevo registrador.

1.2 Consideraciones teóricas

El nuevo registrador debe poseer características similares a los equipos que se encuentran actualmente en el Laboratorio y ser de una construcción electrónica lo más simple posible para futuras reproducciones. En la Tabla 1-1 ilustra estas características.

Tabla 1-1 Características del Registrador

Característica	
Número de Canales	3 para tensión y 4 para corriente
Escalas	500 Volts RMS, 25 y 5 Amper RMS
Precisión	1 %
Número de armónicas	50

En un sistema de adquisición de datos típico son necesarias cuatro etapas fundamentales: una inicial es donde están los transductores o sensores, dispositivos encargados de convertir una manifestación física en otra distinta. Para este proyecto se necesita convertir señales eléctricas de una gran magnitud a otra de magnitud menor, proceso o efecto similar al de un transformador de corriente común. Luego una segunda etapa correspondiente a un acondicionamiento de la señal compuesta básicamente de filtros pasabajos, útiles para eliminar el fenómeno de aliasing y evitar acoplamiento de señales de altas frecuencias. En una tercera etapa está el proceso de adquisición de todas las señales ya transformadas y acondicionadas adecuadamente, es en este lugar donde la señal de tipo analógica se convierte en una de tipo discreta para ser enviadas a un computador para su inmediato procesamiento. Por último se encuentra la etapa de procesamiento, visualización y características de las señales, como por ejemplo, valor RMS de tensión y corrientes, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, distorsión armónica total (THD). En la Fig. 1-3 se muestra el proceso y flujo de las señales desde su estado inicial como un fenómeno físico hasta su representación y manipulación en un computador.



Fig. 1-3 Esquema un Sistema de Adquisición de Datos

CAPÍTULO 2

UNIDAD ELECTRÓNICA DEL REGISTRADOR

2.1 Componentes

La Unidad Electrónica del registrador funciona como una interfaz entre las señales de interés, que en este caso corresponden a señales eléctricas trifásicas, y el computador en donde se encuentra el software encargado de controlar el flujo de datos que continuamente se adquieren.

A continuación se enlistan en la Tabla 2-1 los componentes principales utilizados en la elaboración de la Unidad Electrónica para su posterior descripción.

Tabla 2-1 Componentes Unidad Electrónica

Componentes	Cantidad
Módulo NI USB-6210	1
Sensor Tensión LEM LV 25-p	3
Sensor Corriente LEM LA 25-np	7
Resistencia de Tolerancia 1% 120[Ω]	10
Resistencia de potencia 25[kΩ] y 25[W]	6
Fuente de Poder TXL 035-1515D	1
Condensadores 56[nF]	10
Condensadores 10[nF]	10
Resistencias de Tolerancia 5% 470[Ω]	10

2.1.1 Módulo NI USB-6210

El módulo utilizado corresponde al NI USB-6210 de National Instruments que se muestra en la Fig. 2-1, posee una resolución de 16 bit lo que permite representar hasta 65.536 valores distintos, una tasa de muestreo de hasta 250.000 muestras por segundo, 16 entradas análogas de rangos $\pm 5[V]$ y se comunica con el computador vía USB otorgándole portabilidad al equipo. Con estas características es posible representar efectivamente las señales de tensión y corriente de manera simultánea. Por último está la tasa de muestreo necesaria para este sistema la cual debe ser capaz de representar adecuadamente la señal basándose en el criterio de Nyquist y el ancho de banda del sistema que es de 2500[Hz] para lograr capturar hasta la armónica 50, para ello se considera una adquisición de 10 canales simultáneos a una tasa de 10.000 muestras por segundo por canal siendo equivalente a 100.000 muestras por segundo.



Fig. 2-1 Módulo NI USB-6210

2.1.2 Sensor de tensión

Los sensores utilizados son los LEM LV 25-p cuyo comportamiento es similar a transformadores de corriente, pero es necesario acoplarle en el primario una resistencia de $50 \text{ [k}\Omega\text{]}$ en serie para obligar a circular una corriente en el primario y obtener una corriente proporcional en el secundario de acuerdo a la relación de vueltas del bobinado del primario con respecto al secundario tal como se muestra en la Fig. 2-2.

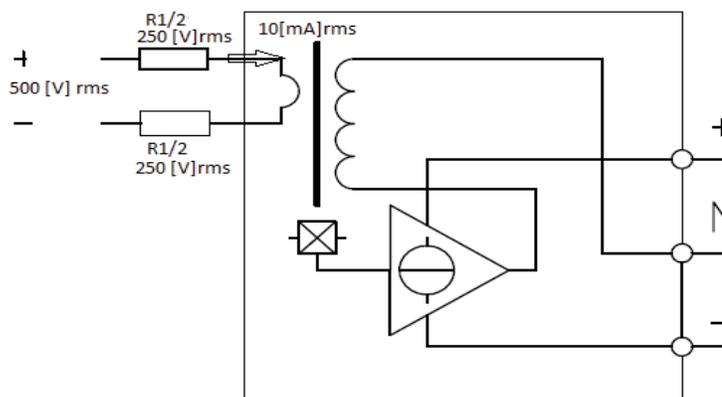


Fig. 2-2 Esquemático Sensor LEM LV 25-p

Por motivos de seguridad es que se opta por utilizar dos resistencias de $25[\text{k}\Omega]$ en lugar de una como se muestra en la Fig. 2-2, estas resistencias poseen una disipación de potencia de $25[\text{W}]$ ya que sobre estas caerá toda la tensión de la fase.

2.1.3 Sensor de corriente

Los sensores utilizados son los LEM LA 25-np cuyo comportamiento es similar a transformadores de corriente, por lo que al circular una corriente en el primario se obtiene una corriente proporcional en el secundario de acuerdo a la relación de vueltas del bobinado del primario con respecto al secundario tal como se muestra en la Fig. 2-3. Este sensor posee la particularidad de poder conectar de forma externa a él las entradas del primario para aumentar o disminuir la relación de vueltas y de esta forma utilizarlo para el rango de corriente que se quiere medir.

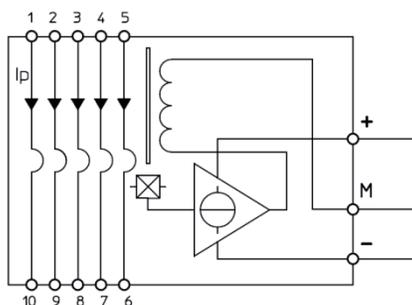


Fig. 2-3 Esquemático sensor LEM LA 25-np

Ambos sensores LEM, tanto los utilizados para medir tensión y la corriente, poseen dos características adicionales, una de estas es que tienen aislamiento galvánico que proporcionan al registrador mayor seguridad ya que separan de manera física los altos niveles de tensión y corriente de las entradas al módulo que acepta señales entre $\pm 5[\text{V}]$. Además ambos sensores al realizar mediciones poseen una compensación de campo magnético por medio del efecto Hall lo que le brinda una altísima precisión.

2.1.4 Fuente de Poder

La fuente de poder del registrador es una fuente de switching la cual convierte la corriente alterna de la línea en voltajes $+15[\text{V}]$ y $-15[\text{V}]$ continuos necesarios para alimentar a los sensores LEM, pudiendo entregar un máximo de $35[\text{W}]$. La Fig. 2-4 corresponde a la utilizada en el registrador.



Fig. 2-4 Fuente de Poder TXL 035-1515D

2.1.5 Creación de tarjetas Breakout

Estas tarjetas corresponden a pequeños módulos electrónicos compuestos únicamente de un sensor LEM, una resistencia de filamento metálico de alta precisión para generar el voltaje adecuado para las entradas del módulo de adquisición y un filtro pasabajos. Todas estas placas son idénticas con la excepción de su sensor LEM el cual varía dependiendo a que canal está destinada. La elaboración de estas tarjetas tuvo como finalidad proporcionar seguridad extra ya que en el caso de fallar el sensor LEM con el paso del tiempo estas tarjetas simplemente se desatornillan del chasis en la cual se encuentran y se fabrica una nueva, lo que no sería posible si todo se encontrase en una sola placa que implicaría desoldar y volver a soldar el nuevo sensor, situación que no sería posible ya que pudiese estar este discontinuado.

Las Fig. 2-5, Fig. 2-6 y Fig. 2-7 corresponden a las tarjetas para medir tensión de rango 600[V] RMS, corriente en el rango de 25[A] RMS y 5[A] RMS respectivamente.

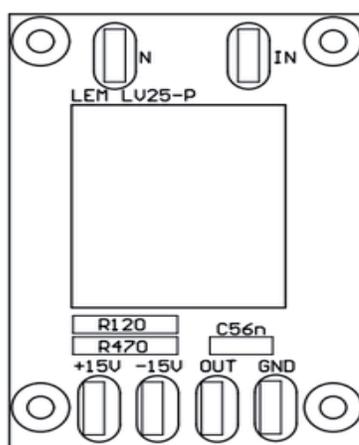


Fig. 2-5 Tarjeta Breakout para canales de Tensión

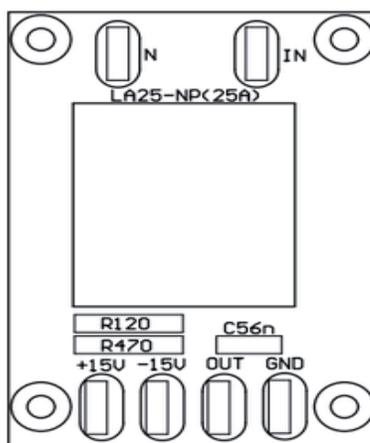


Fig. 2-6 Tarjeta Breakout para canales de corriente de 25[A] RMS

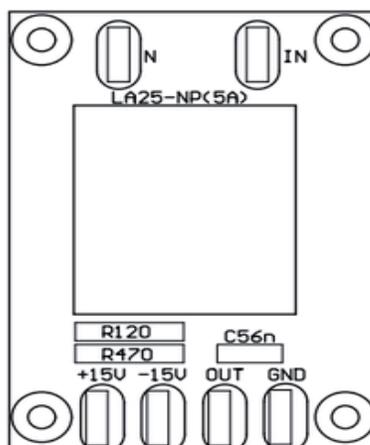


Fig. 2-7 Tarjeta Breakout para canales de corriente de 5[A] RMS

2.1.6 Filtro pasabajos

Los filtros utilizados en las tarjetas breakout, corresponden a filtros pasabajos de primer orden compuestos únicamente de una resistencia de 470[Ω] y un capacitor de 56[kpF], de modo que satisfagan la siguiente Ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R} \quad (2-1)$$

En donde la frecuencia de corte debe ser igual o superior a 5000 [Hz], debido a que el ancho de banda del sistema es de 2500[Hz] y el teorema de Nyquist indica que la frecuencia de corte para evitar aliasing debe ser mayor o igual al ancho de banda del sistema, por lo que la frecuencia de corte resultante es:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 56 \times 10^{-9} \cdot 470}$$

$$F_c = 6000 [Hz]$$

2.1.7 Regleta de baja impedancia

Debido a que se utilizaron las entradas análogas en modo desbalanceado, el módulo usa como valor la diferencia entre la entrada análoga (*AI*) correspondiente y su tierra análoga (*AI GND*) como se indica en la Fig. 2-8. Esto generaría un pequeño aumento en el valor de voltaje medido en cada canal del módulo, ya que, se sumarían las caídas de tensión que caen sobre el resto de los alambres que provienen de los otros sensores hacia *AI GND*.

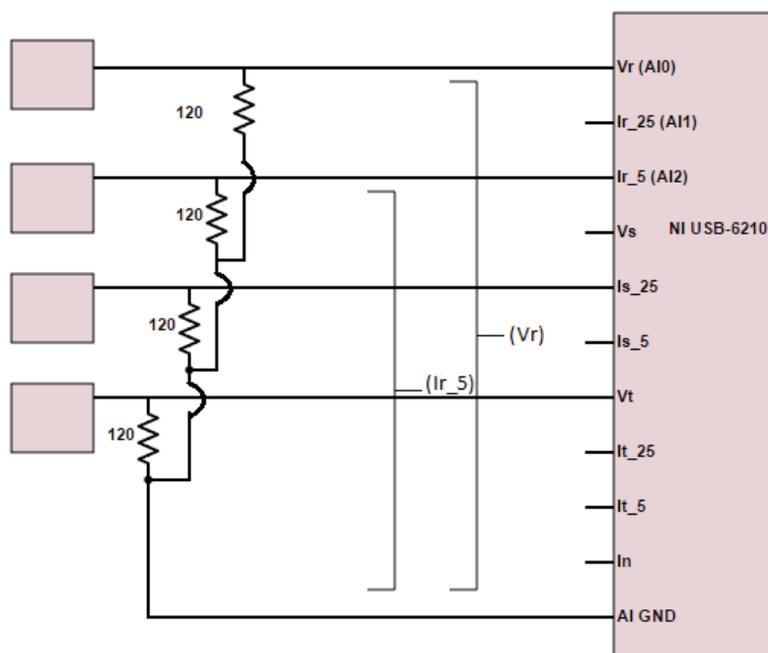


Fig. 2-8 Esquemático para entradas desbalanceadas

Para evitar esta situación se diseñó una regleta que contuviese una placa de cobre de muy baja impedancia en donde caería un voltaje muy pequeño y no acumulativo para el resto de los canales. En esta placa se conectan todas las salidas comunes de las tarjetas breakout y condensadores en paralelo con cada una de las entradas del módulo para asegurar que no se acoplen señales de altas frecuencias. La Fig. 2-9 corresponde al esquemático del circuito empleado para este propósito, en donde los terminales *m* se conectan a los terminales de las tarjetas breakout correspondiente y al módulo de adquisición de datos. Además las conexiones entre una tarjeta breakout y esta regleta correspondiente a los terminales *m* y *c* van con alambre trenzado para impedir acoplamiento inductivos en ese punto.

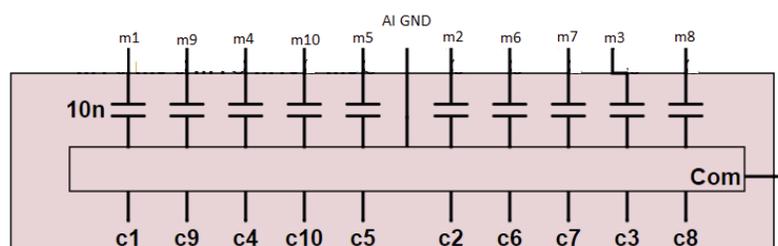


Fig. 2-9 Esquemático de regleta

El motivo por el cual la numeración de la regleta no posee un orden ascendente o descendente, se debe a que el módulo NI USB-6210 adquiere datos en orden ascendente tal como lo indican sus entradas análogas, es decir, primero lo hará por la entrada análoga AI 0, después AI1 y así sucesivamente. Entonces para que exista una concordancia en cada una de las fases entre sus valores de tensión y corriente, y de esta forma obtener mayor precisión en el cálculo de posterior de potencias se utilizó la correlación entre el número de la tarjeta, la función de la tarjeta y la entrada del módulo como lo indica la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 Tabla de Conexiones entre Módulo, Regleta y Tarjetas breakout

Tarjeta	Función	Entrada Módulo
1	Vr	AI 0
2	Vs	AI 3
3	Vt	AI 6
4	Ir 25(A)	AI 1
5	Ir 5(A)	AI 2
6	Is 25(A)	AI 4
7	Is 5(A)	AI 5
8	It 25(A)	AI 7
9	It 5(A)	AI 8
10	In	AI 9

De esta forma el esquemático del circuito que representa a la Unidad Electrónica del Registrador esta dado por la Fig. 2-12.

2.2 Elección de bornes

Las características de los bornes utilizados se basaron en la norma chilena Nch 4/84 y que tuviese la posibilidad de conectarse por cables con terminales tipo caimán y banana. La Tabla 2-3 y las Fig. 2-10, Fig. 2-11 indican los colores que se utilizaron.

Tabla 2-3 Colores de bornes

Canales	Color
Fase R	Azul
Fase S	Negro
Fase T	Rojo
Neutro	Blanco



Fig. 2-10 Colores bornes para canales de tensión



Fig. 2-11 Colores de bornes para canales de corriente

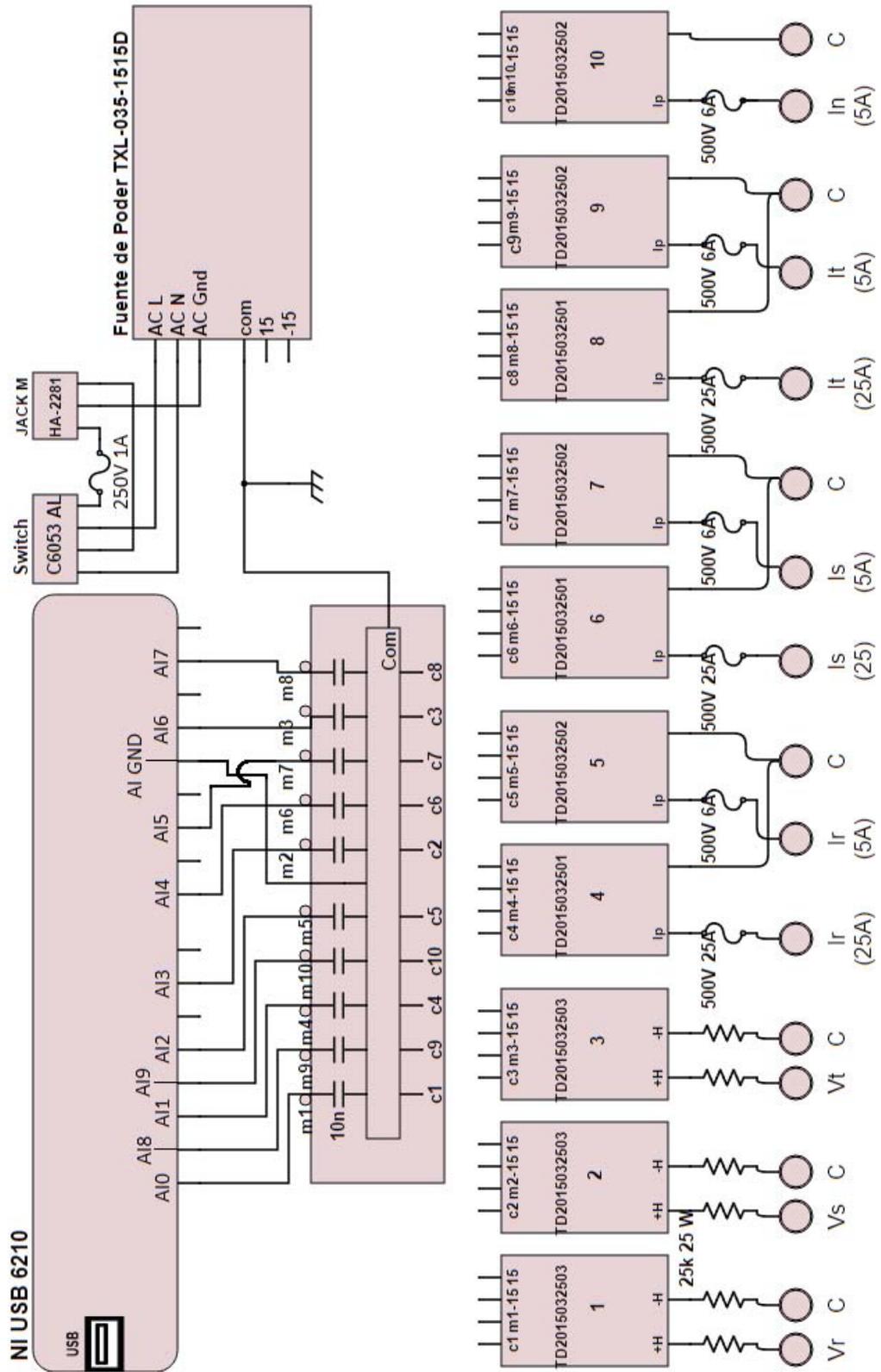


Fig. 2-12 Esquemático del circuito de la Unidad Electrónica del Registrador

CAPÍTULO 3

PROGRAMA DEL REGISTRADOR

3.1 Lenguaje Utilizado

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico que fue creado por National Instruments en 1976. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. La versión de LABVIEW utilizada para el control de la adquisición del registrador corresponde a LABVIEW 2013 Student Edition. A diferencia de lenguajes de programación basados en texto como C++ o Visual Basic, LabVIEW usa iconos o bloques en vez de líneas de texto para crear las aplicaciones. En programación basada en texto, las instrucciones determinan el orden de ejecución. LabVIEW utiliza flujo de datos gráfico. En programación mediante flujo de datos gráfico (Izquierda a derecha), los datos fluyen a través de nodos en el diagrama de bloques y eso determina el orden de ejecución como se muestra en la Fig. 3-1. La programación gráfica y la ejecución mediante flujo de datos son las dos principales formas en que LabVIEW es diferente de otros lenguajes de programación de propósito general.

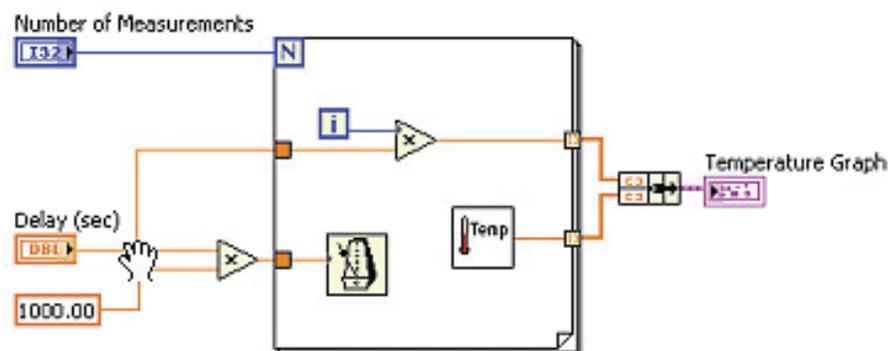


Fig. 3-1 Ejemplo de código de plataforma LABVIEW

Por ejemplo, en la figura anterior se muestra un pequeño programa que registra en el gráfico “Temperatura Graph” valores de temperatura aleatorios cada cierto tiempo. La cantidad de valores registrados dependerán de “Number of Measurements”, en otras palabras si N es igual a 5, entonces, registrará en el gráfico 5 valores de temperatura. El bloque “Delay (sec)” indicara al programa cuanto debe esperar (en segundos) entre cada valor de temperatura.

Suponga que quiere realizar una aplicación que acepte datos mientras los procesa en el orden en que fueron recibidos. Puesto que encolar (producir) esta información es mucho más fácil que el procesamiento (consumo) en sí, el patrón de diseño Productor/Consumidor es mejor para esta aplicación.

Es posible poner ambos tanto productor y consumidor en el mismo bucle para esta aplicación, pero la cola de procesamiento no sería capaz de agregar datos adicionales hasta que la primera parte de los datos haya terminado de ser procesada. La propuesta del patrón Productor/Consumidor para esta aplicación sería encolar los datos en el bucle productor y realizar el procesamiento en el bucle consumidor. En efecto, esto le permite al bucle consumidor procesar los datos a su propio ritmo, mientras que permite al bucle productor encolar datos adicionales al mismo tiempo.

En la Fig. 3-3 se ilustra la utilización del patrón de diseño Productor/Consumidor en conjunto con las colas para manejar datos, el tipo de dato en este caso corresponde a caracteres.

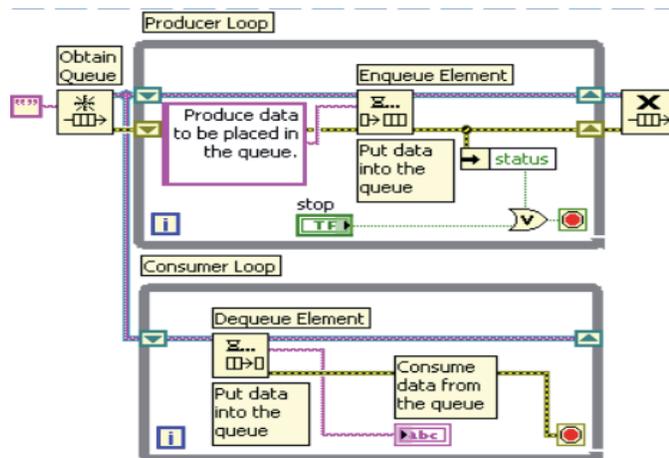


Fig. 3-3 Esquema del patrón productor/consumidor

3.2.2 Colas

Las colas son el mecanismo que permite manejar datos entre bucles paralelos a velocidades distintas. Una cola puede contener solo un tipo de dato, es decir, de tipo numérico, caracteres o booleano. Las colas además mantienen el orden, es decir, el primero que entra será el primero que salga de ella, comúnmente conocido como FIFO. Para que una cola en Labview funcione correctamente deben utilizarse 4 bloques o VI's fundamentales: Obtain Queue, Enqueue Element, Dequeue Element y Release Queue.

El VI obtain queue retorna la referencia a una cola, en otras palabras, define y/o inicializa una cola. En la Fig. 3-4 y Tabla 3-1 se entrega una breve descripción.

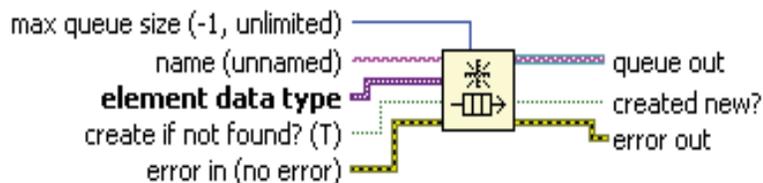


Fig. 3-4 Entradas y salidas del VI obtain queue

Tabla 3-1 Descripción de E/S para el VI Obtain Queue utilizado

Entradas y salidas	Descripción
Max queue size	Es el número máximo de elementos que desea que se mantenga la cola. El valor predeterminado es -1, especificando que la cola puede contener un número ilimitado de elementos.
Element data type	Es el tipo de datos que desea que la cola contenga. Puede conectar cualquier tipo de datos a esta entrada.
Queue out	Es una referencia a la cola existente o la nueva cola creada por esta función.
Name (unnamed)	Contiene el nombre de la cola que desea obtener o crear. El valor predeterminado es una cadena vacía para crear una cola sin nombre.

El VI Enqueue Element añade un elemento a la parte posterior de la cola. En la Fig. 3-5 y Tabla 3-2 se entrega una breve descripción.

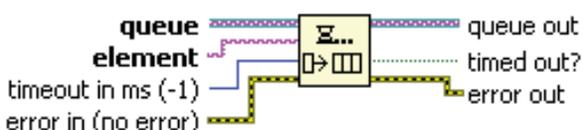


Fig. 3-5 Entradas y salidas del VI Enqueue Element

Tabla 3-2 Descripción de E/S para el VI Enqueue Element utilizado

Entradas y salidas	Descripción
Queue	Es una referencia de una cola creada con anterioridad.
Element	Es el elemento que desea agregar a la parte posterior de la cola. Este tipo de datos cambia para coincidir con el subtipo de cola.
Queue out	Devuelve la referencia a la cola sin cambios.

El VI Dequeue Element elimina un elemento del frente de una cola y devuelve el elemento. En la Fig. 3-6 y la Tabla 3-3 se entrega una breve descripción.

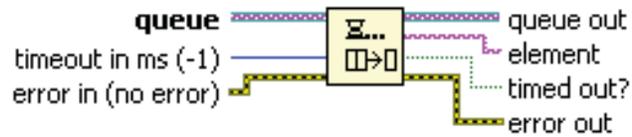


Fig. 3-6 Entradas y salidas del VI Dequeue Element

Tabla 3-3 Descripción de E/S para VI Dequeue element utilizado

Entradas y salidas	Descripción
Queue	Es una referencia a una cola. Utilice el VI Optain queue para obtener una referencia de cola.
Element	Es el elemento en la parte delantera de la cola. Este tipo de datos cambia para coincidir con el subtipo de cola.
Queue out	Devuelve la referencia a la cola sin cambios.

El VI Release Queue libera una referencia a una cola, en otras palabras, permite liberar espacio de memoria utilizado para almacenar datos en una cola existente. En la Fig. 3-7 y Tabla 3-4 se muestra una breve descripción.

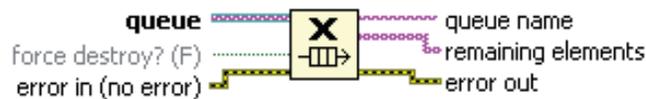


Fig. 3-7 Entradas y salidas del VI Release Queue

Tabla 3-4 Descripción de E/S del VI Release Queue utilizado

Entradas y salidas	Descripción
Queue	Es una referencia a una cola. Utilice el VI Optain queue para obtener una referencia de cola.
Remaining elements	Es la matriz de elementos que estaban en la cola antes de que la función liberara la cola. El primer elemento de la matriz es el elemento del frente de la cola y el último elemento de la matriz es el elemento de la parte posterior de la cola.

3.3 Programa o software del registrador

El software del registrador cumple dos funciones principales, una de ellas es la de controlar el flujo de datos adquiridos por todas las entradas análogas del Módulo NI USB-6210 hacia el computador a través de un puerto USB, y otra corresponde a la visualización de estos y su posterior procesamiento, por ejemplo, funciones que calculan valores RMS, potencias, factor de potencia, distorsión armónica, análisis espectral, obtención, visualización de transitorios de 0,5 segundos y guardar estos datos en formatos .xls, .m y .png.

Al ejecutar el programa este realiza dos tareas antes de comenzar a adquirir datos. Primero detecta inmediatamente comprueba si se encuentra o no conectada la Unidad Electrónica al computador, si no se encuentra conectado el computador a la unidad Electrónica el software comienza a correr con señales simuladas e informando con un mensaje como se muestra en la Fig. 3-8

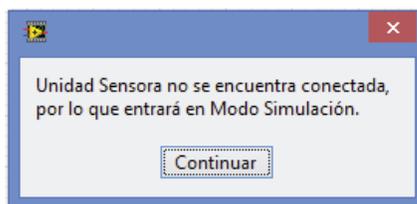


Fig. 3-8 Mensaje Modo simulación

Segundo realiza una lectura de un archivo de texto de nombre Settings.xml; este archivo contiene valores constantes tales como: factores de calibración, frecuencia de muestreo del Módulo de adquisición, ruta de directorios entre otros. El VI que realiza esta función tiene por nombre Load Settings from XML.vi y a continuación se muestra un extracto de su contenido.

```
<?xml version='1.0' standalone='yes' ?>
<LVData xmlns="http://www.ni.com/LVData">
<Version>13.0f2</Version>
<Cluster>
<Name>Settings in</Name>
<NumElts>2</NumElts>
<Cluster>
<Name>Hardware Configuration</Name>
<NumElts>19</NumElts>
<DAQChannel>
<Name>DAQmx Channel</Name>
<Val>Dev1/ai0:9</Val>
</DAQChannel>
<DBL>
<Name>Max Input</Name>
<Val>5.00000000000000</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Min Input</Name>
<Val>-5.00000000000000</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Sample Rate</Name>
<Val>10000.00000000000000</Val>
```

Luego de esto el usuario podrá hacer uso de todas las funciones anteriormente mencionadas tal como muestra la Fig. 3-9.



Fig. 3-9 Interfaz del software del Registrador

El programa posee varias funciones entre las que se destacan Botones de selección de canales a la izquierda, pestañas de gráficos en el centro y a la derecha una calculadora la cual permite mostrar valores de todas las fases en un indicador que se encuentra en la esquina superior derecha exactamente sobre la calculadora y por último los botones ubicados en la parte inferior de programa Limpiar, Grabar Pantalla y Grabar Dat Graf.

3.3.1 Botones de selección de fases

Estos se utilizan para seleccionar que fases tanto de tensión o corriente se desean mostrar. Estos botones son independientes entre sí, en otras palabras pueden estar algunos presionados, todos presionados o ninguno de ellos. Cuando se presiona alguno de estos botones, estos cambian su color de fondo a amarillo para indicar se ha seleccionado. Además poseen la característica de estar correlacionados los colores de las letras de los botones con el color de las fases de los gráficos y de los bornes de la Unidad Electrónica.

3.3.2 Pestañas

Esta función sirve para cambiar el tipo de gráfica se quiere utilizar, la primera llamada “Forma de Onda” muestra todas las formas de onda de las fases seleccionadas como indica la Fig. 3-10.

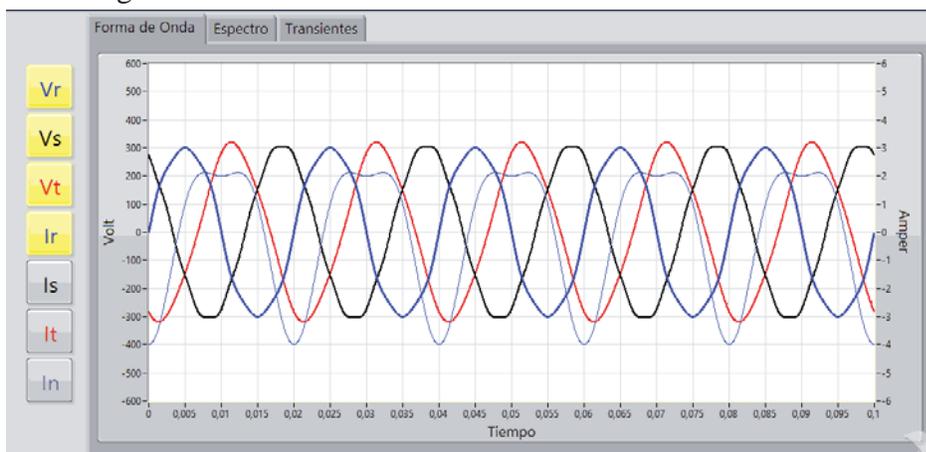


Fig. 3-10 Imagen de pestaña Forma de Onda

Los gráficos poseen dos escalas una a la izquierda para las señales de tensión que es fija en ± 600 [V] y otra a la derecha correspondiente a las señales de corriente. La escala de corriente posee ajuste automático dependiendo en que borne se encuentre señal, por ejemplo, si se conecta el borne de 5 [A] RMS la escala se ajustará entre ± 6 [A], en cambio, si se conecta en el borne de 25 [A] RMS el gráfico utilizará una escala entre ± 30 [A]. Para diferenciar las corrientes de las tensiones de una misma fase (poseen el mismo color) dentro del gráfico se optó por dibujar las corrientes con una línea más delgada que la de los voltajes.

La segunda pestaña corresponde a “Espectro”, en esta grafica se realiza una presentación espectral de cada señal seleccionada como muestra la Fig. 3-11.

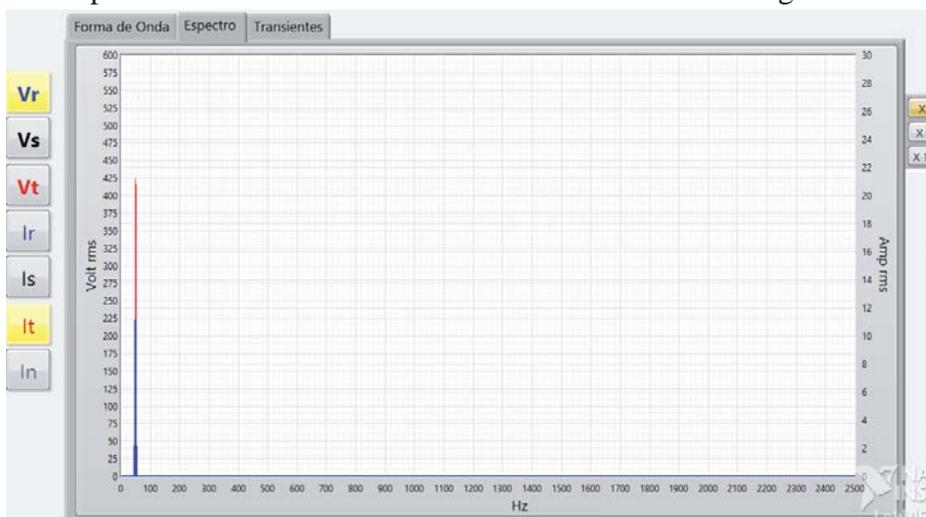


Fig. 3-11 Imagen de pestaña Espectro

En este caso se muestra el espectro tensión de la fase *R* de color azul y corriente de la fase *T* de color rojo, tomando en cuenta que la escala de tensiones se encuentra a la izquierda y la escala de corrientes a la derecha de la misma forma que para el gráfico para Formas de onda.

En esta pestaña se activan tres botones al lado superior derecho del gráfico, estos permiten realizar un Zoom en este gráfico para poder visualizar con mayor precisión los valores de las componentes armónicas, que suelen tener magnitudes muy pequeñas comparadas con la fundamental.

La tercera pestaña llamada “Transientes” se utiliza para cuando se desea detectar una transiente como se muestra en la Fig. 3-12.

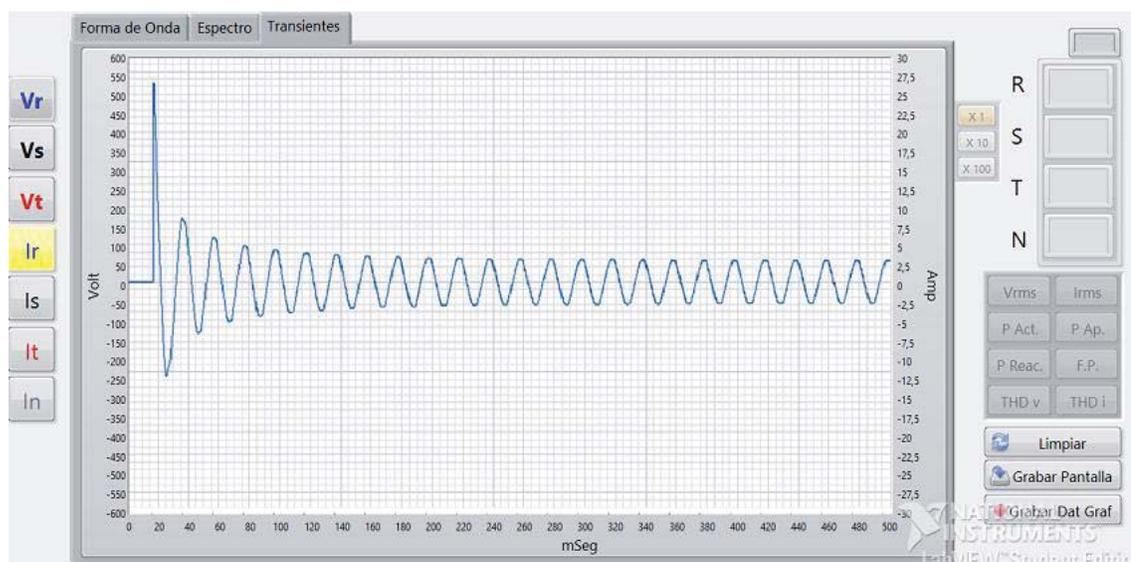


Fig. 3-12 Imagen de pestaña Transientes

En esta pestaña al igual que en las otras dos es posible escoger que canal se desea visualizar por medio de los botones ubicados a la izquierda. Además en la parte inferior derecha de este gráfico existe un botón llamado “Limpiar” el cual sirve para eliminar la gráfica y poder detectar otra transiente. Considerar que en este proceso solo se muestra medio segundo de transiente.

3.3.3 Calculadora

Esta matriz de botones ubicados al lado derecho del programa en conjunto con la función Value Calculate.vi (Véase Fig. 3-14) permiten realizar y desplegar cálculos matemáticos de: valores RMS tanto de tensión como de corriente, cálculo de potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia y porcentaje de distorsión armónico para tensiones y corrientes. Todos estos cálculos son realizados para cada fase como se muestra en la Fig. 3-13, actualizando estos datos cada 1 segundo.

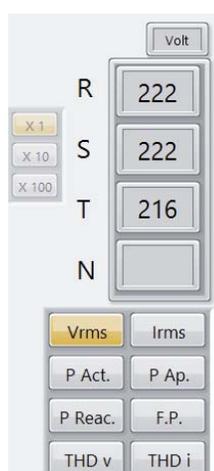


Fig. 3-13 Imagen de calculadora

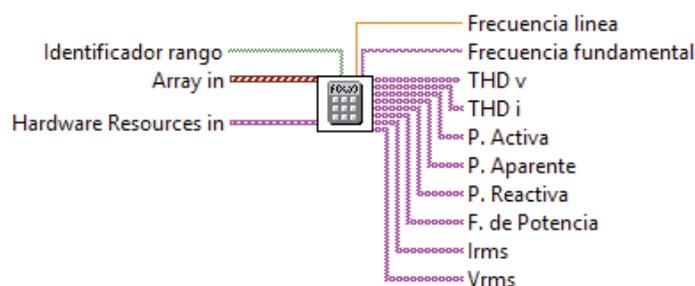


Fig. 3-14 Entradas y salidas del VI Value Calculate

Tabla 3-5 Descripción E/S del VI Value Calculate utilizado

Entradas y salidas	Descripción
Array in	Arreglo de 7 waveform correspondiente a Vr, Vs, Vt, Ir, Is, It, In.
Hardware Resources in	Cluster con valores de umbrales para canales de Tension y corriente leídos de archivo Settings.xml.
Identificador rango	Arreglo booleano correspondiente a las 3 fases de corriente para detectar rango de corrientes.
Frecuencia fundamental	Entrega el valor de la frecuencia de la linea como string.
THD v	Arreglo con valores Distorsión Armónica Total de tensión para cada fase.
THD i	Arreglo con valores Distorsión Armónica Total de corriente para cada fase.
P. Activa	Arreglo con valores de Potencia Activa para cada fase.
P. Aparente	Arreglo con valores de Potencia Aparente para cada fase.
P. Reactiva	Arreglo con valores de Potencia Reactiva para cada fase.
F. de Potencia	Arreglo con valores de Factor de Potencia para cada fase.
Irms	Arreglo con valores eficases de corriente para cada fase.
Vrms	Arreglo con valores eficases de tensión para cada fase.

Sin embargo, existen algunas consideraciones al momento de desplegar cifras considerando la relevancia de decimales y en que escala se está midiendo. La Tabla 3-6 indica cuantos decimales se mostraran dependiendo de qué cálculo se realice.

Tabla 3-6 Numero de decimales dependiendo del Cálculo

Tipo de cálculo	Numero de decimales	Unidad
V rms	0	Volt
I rms (Escala 25[A]rms)	1	Amper
I rms (Escala 5[A]rms)	2	Amper
Potencia Activa	0	Watt
Potencia Aparente	0	V.A.
Potencia Reactiva	0	V.A.R.
Factor de Potencia	2	[-]
THD v	1	%
THD i	1	%

3.3.4 Grabar Dat Graf y Grabar Pantalla

El botón “Grabar Dat Graf” permite al usuario al presionarlo crear 2 archivos, uno .xls para poder leerlo en Excel o similar y otro con formato .m para poder leerlo desde Matlab. Ambos archivos almacenan datos o muestras en 7 columnas correspondiente a los canales V_r , V_s , V_t , I_r , I_s , I_t , I_n de 10.000 muestras cada una, lo que equivale a un segundo de muestras como se muestra en Fig. 3-15 y Fig. 3-16.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Vr	Ir	Vs	Is	Vt	It	In
2	0	-4	274,53	2,627	-281,46	-5,216	0
3	6,6	-3,999	271,64	2,369	-284,2	-5,19	0,054
4	13,18	-3,997	268,62	2,426	-286,84	-5,162	0,108
5	19,76	-3,992	265,47	2,24	-289,39	-5,131	0,162
6	26,3	-3,986	262,2	2,104	-291,84	-5,099	0,216
7	32,82	-3,978	258,82	2,177	-294,18	-5,065	0,27
8	39,29	-3,969	255,33	1,935	-296,43	-5,029	0,324
9	45,72	-3,958	251,76	1,879	-298,57	-4,99	0,378
10	52,09	-3,945	248,09	1,817	-300,62	-4,95	0,431
11	58,4	-3,93	244,35	1,546	-302,56	-4,909	0,484
12	64,65	-3,914	240,55	1,431	-304,39	-4,865	0,537
13	70,81	-3,896	236,69	1,489	-306,12	-4,82	0,59
14	76,89	-3,877	232,79	1,189	-307,74	-4,772	0,643
15	82,89	-3,855	228,85	1,347	-309,26	-4,723	0,695
16	88,79	-3,833	224,88	1,135	-310,68	-4,673	0,746
17	94,6	-3,808	220,9	1,03	-311,98	-4,621	0,798
18	100,3	-3,782	216,91	0,851	-313,18	-4,567	0,849
19	105,89	-3,754	212,92	0,659	-314,28	-4,512	0,899
20	111,37	-3,725	208,94	0,831	-315,27	-4,455	0,949
21	116,73	-3,694	204,98	0,621	-316,15	-4,396	0,999
22	121,98	-3,662	201,04	0,37	-316,93	-4,337	1,048
23	127,1	-3,628	197,12	0,351	-317,6	-4,276	1,097

Fig. 3-15 Registro de datos en archivo .xls

```

1 %Vr Ir Vs Is Vt It In
2 % Registro de Señales Eléctricas
3
4
5 datos=[
6 0.00 -4.000 274.53 2.627 -281.46 -5.216 0.000
7 6.60 -3.999 271.64 2.369 -284.20 -5.190 0.054
8 13.18 -3.997 268.62 2.426 -286.84 -5.162 0.108
9 19.76 -3.992 265.47 2.240 -289.39 -5.131 0.162
10 26.30 -3.986 262.20 2.104 -291.84 -5.099 0.216
11 32.82 -3.978 258.82 2.177 -294.18 -5.065 0.270
12 39.29 -3.969 255.33 1.935 -296.43 -5.029 0.324
13 45.72 -3.958 251.76 1.879 -298.57 -4.990 0.378
14 52.09 -3.945 248.09 1.817 -300.62 -4.950 0.431
15 58.40 -3.930 244.35 1.546 -302.56 -4.909 0.484
16 64.65 -3.914 240.55 1.431 -304.39 -4.865 0.537
17 70.81 -3.896 236.69 1.489 -306.12 -4.820 0.590
18 76.89 -3.877 232.79 1.189 -307.74 -4.772 0.643
19 82.89 -3.855 228.85 1.347 -309.26 -4.723 0.695
20 88.79 -3.833 224.88 1.135 -310.68 -4.673 0.746
21 94.60 -3.808 220.90 1.030 -311.98 -4.621 0.798
22 100.30 -3.782 216.91 0.851 -313.18 -4.567 0.849
23 105.89 -3.754 212.92 0.659 -314.28 -4.512 0.899
24 111.37 -3.725 208.94 0.831 -315.27 -4.455 0.949
25 116.73 -3.694 204.98 0.621 -316.15 -4.396 0.999
26 121.98 -3.662 201.04 0.370 -316.93 -4.337 1.048

```

Fig. 3-16 Registro de datos en archivo .m

Por otro lado, el botón “Grabar Pantalla” que por medio del VI SAMTE Screenshot como se muestra en la Fig. 3-17, permite crear un archivo de imagen de todo lo que se está mostrando en pantalla en ese momento en formato .PNG.

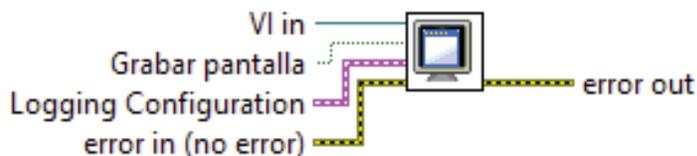


Fig. 3-17 Entradas y salidas del VI SAMTE Screenshot.vi

En la Tabla 3-7 se entrega la descripción de las variables de entradas más importantes usadas del VI SAMTE Screenshot.

Tabla 3-7 Descripción de E/S del VI SAMTE Screenshot.vi

Entradas y salidas	Descripción
VI in	Entrega una referencia asociada al VI principal.
Grabar pantalla	Entrega un dato Booleano del boton Grabar Pantalla para realizar acción de crear imagen.
Logging Configuration	Cluster con datos de tipo string correspondientes al directorio en donde será creado el archivo PNG. Esta información es leída inmediatamente después de ejecutar el software proveniente del archivo Settings.xml.

Los tres archivos quedarán guardados en el directorio de descargas con el Nombre LABSEI-113(fecha actual), por ejemplo, LABSEI-113_FO_2015_08_03_10_02_33.m, en donde la fecha está en formato año/mes/día/hora/minuto/segundo.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN

Una evaluación es el proceso de valoración del equipo una vez terminado. Este proceso permite encontrar errores y/o defectos que no estaban previstos desde un principio, y por consecuencia, se debe proceder a calibrar de manera de entregar un equipo que entregue mediciones confiables comparables con equipos profesionales. Dado que el equipo ya se encuentra construido, la única manera de modificar y arreglar los errores encontrados, es interviniendo el software del registrador y el archivo de inicialización Settings.XML, en el que se encuentran constantes de calibración, umbrales, directorios de destino de archivos .png, .xls y .m.

4.1 Offset

Una vez terminada la unidad electrónica del registrador y el programa se prosiguió a realizar las primeras pruebas. La primera fue comprobar aislación galvánica entre el primario y secundario de todos los sensores LEM para asegurar que exista aislación entre ambos para no dañar el resto de las componentes de la Unidad Electrónica. La prueba resultó exitosa ya que en todas las placas breakout la impedancia medida por medio de un tester entre el primario y el secundario marcó infinito. Luego se encendió el equipo y se ejecutó el software y aparecieron valores anómalos tanto en las formas de onda como en los valores RMS, lo que indicaba que existía un leve offset en los diez canales producto de un efecto de carga de la Unidad Electrónica como se muestra en la Tabla 4-1 y la Fig. 4-1. Si bien los canales son de tensión y de corriente, estos valores RMS corresponden a voltajes ya que estos se producen después de los sensores LEM sobre la resistencia de filamento metálico.

Tabla 4-1 Valores RMS de todos los canales

Canal	Offset (Vrms)
Vr	0,628
Ir 25[A]	0,082
Ir 5[A]	0,028
Vs	1,414
Is 25[A]	0,080
Is 5[A]	0,024
Vt	3,105
It 25[A]	0,139
It 5[A]	0,027
In	0,017

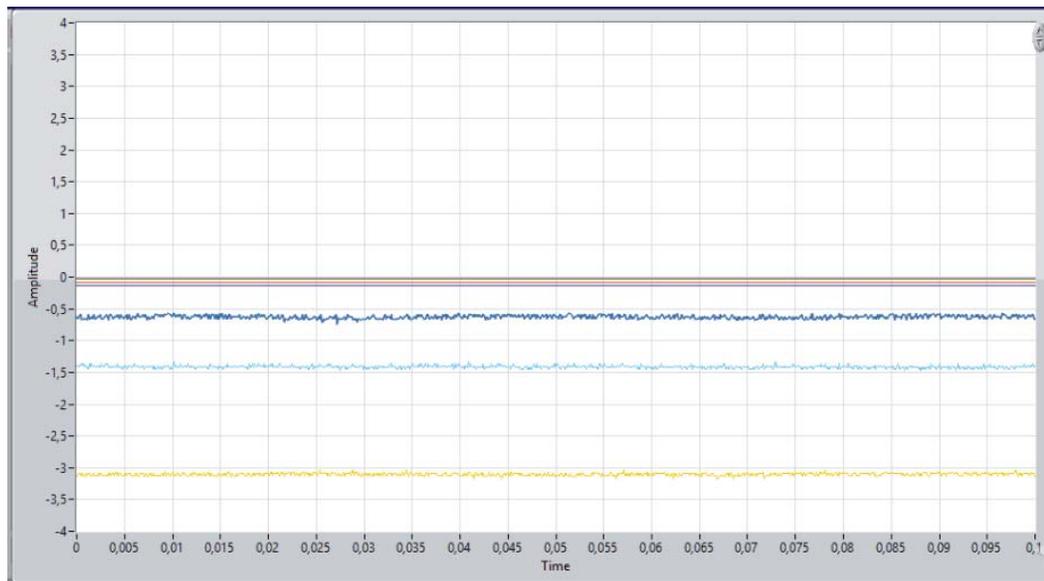


Fig. 4-1 Gráfica de todos los canales con offset

Para solucionar este inconveniente se creó una función que eliminase en su mayor parte estos voltajes. Esta función se basó en implementar un filtro IIR digital de primer orden definido por la siguiente ecuación:

$$y(n) = (1 - a) \cdot x(n) + a \cdot y(n - 1) \quad (4-1)$$

$$a = e^{-\frac{1}{T \cdot F_s}} \quad (4-2)$$

En donde $x(n)$ corresponde al valor medio actual, $y(n-1)$ el valor medio anterior, a es la constante que define la respuesta transiente y de frecuencia del filtro, T es la constante de tiempo deseada en segundos y F_s la frecuencia de muestreo utilizada en Hertz.

$$\tau = 15 \text{ segundos}$$

$$F_s = 1 \text{ m/s}$$

$$a = e^{-\frac{1}{(15 \cdot 1)}}$$

$$a = 0,936 \text{ y } (1 - a) = 0,064$$

Entonces $y(n)$ se resta constantemente cada segundo a todos los valores del arreglo de los 10 canales del registrador lo que provoca la eliminación del offset después de transcurridos dos segundos iniciada la adquisición.

4.1.1 Ruido de fondo

Una vez eliminado el problema del offset la siguiente evaluación consistió en determinar cuánto era el ruido de fondo que existía y que captaba el módulo NI USB-6210. Los resultados se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Niveles de ruido por canal

Canal	Nivel de ruido
Vr	0,0245
Ir 25[A]	0,0009
Ir 5[A]	0,0002
Vs	0,0202
Is 25[A]	0,0010
Is 5[A]	0,0002
Vt	0,0218
It 25[A]	0,0010
It 5[A]	0,0002
In	0,0002

Como se observa en la Tabla 4-2 el ruido existente en los canales resulta ser muy similares. Los canales de tensión poseen dos centésimas de Volt, los canales de corriente de 25[A] RMS poseen una milésima de volt y para los canales de corriente de 5[A] RMS poseen dos diezmilésimas de volt. Ahora si se comparan los rangos de los canales con el nivel de ruido que poseen, los niveles de ruido resultan ser 25.000 veces menor, por lo que es prácticamente inofensivo para el registrador. Es por este motivo que se definen umbrales en el software de tal manera que el programa no muestre valores inferiores a este umbral en pantalla, convirtiendo estos valores en cero.

Estos umbrales se definen como la milésima parte de los rangos de los canales, como se muestran en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Umbrales de canales

Canales	Valor Umbral
V	0,5
I 25[A] rms	0,025
I 5[A] rms	0,005

4.2 Efecto Crosstalk

Si bien los umbrales anteriormente fijados resultan ser suficientes para no visualizar el ruido de fondo, aun es necesario determinar cuan afectados se ven los canales unos de otros al introducir señales en ellos, este efecto se denomina “Crosstalk”. Al determinar este efecto se podrá fijar un Umbral Final para cada canal.

Vr	0,0265182	229,967	Vr	230,313	228,454
Ir_25	0,00105242	0,00917934	Ir_25	0,00918994	1,03317
Ir_5	0,000215325	0,000213686	Ir_5	0,000211609	0,000215076
Vs	0,0263443	0,0416	Vs	230,912	229,293
Is_25	0,00100687	0,00103198	Is_25	0,00914295	0,00905696
Is_5	0,00021267	0,000205334	Is_5	0,000205618	0,000209951
Vt	0,0239731	0,0228786	Vt	0,0351843	0,0342206
It_25	0,001036	0,00114029	It_25	0,00112694	0,0011261
It_5	0,000225054	0,0002444	It_5	0,000275308	0,00027849
In	0,000213859	0,000197281	In	0,000207699	0,000210878

Vr	226,866	227,053	Vr	226,92	226,466
Ir_25	1,02894	1,0295	Ir_25	1,02962	1,02746
Ir_5	0,000211266	0,000205308	Ir_5	0,000253524	0,00023266
Vs	226,738	226,695	Vs	226,535	0,0385021
Is_25	4,40193	0,0028007	Is_25	0,00366637	0,00114395
Is_5	0,000303542	4,42473	Is_5	0,000236462	0,000220743
Vt	0,0335422	0,0992235	Vt	0,0329821	232,571
It_25	0,00116377	0,00341679	It_25	0,00125106	0,00296313
It_5	0,000283047	0,000271943	It_5	0,000448227	0,000413292
In	0,000216206	0,000217554	In	4,41164	4,40778

Fig. 4-2 Canales con Efecto Crosstalk

Al observar la Fig. 4-2, es posible ver que el canal que se ve más afectado por el Crosstalk presente en el equipo, es el canal Vr llegando a una decima de Volt cuando se introduce corriente en el canal adyacente a el correspondiente a Is_5 . Dado lo anterior, se implementan umbrales para detección de señales, los cuales son mostrados en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Umbrales definitivos para canales de voltaje y corriente

Canales	Valor de umbral
V	0,5
I 25[A] rms	0,05
I 5[A] rms	0,015

4.3 Calibración

Los instrumentos utilizados para la calibración fueron:

- Fluke 87 TRMS
- Tektronix DMM 916 TRMS
- Chauvin Armoux FOS TRMS

Para calibrar los canales de voltaje se conectaron en paralelo los tres canales del Registrador (V_r , V_s , V_t), los tres Tester True RMS a un enchufe del laboratorio, de manera de poder comparar los valores entregados por el registrador y los Tester, y de esta forma calcular el factor que multiplicara cada canal de voltaje. La Tabla 4-5 ilustra los valores obtenidos y actualmente utilizados.

Tabla 4-5 Fact. Calibración de canales de voltaje del Registrador

Canal	Factor de Calibración
V_r	1,015
V_s	1,011
V_t	0,984

Para calibrar los canales de corriente se conectaron en serie los cuatro canales de 5[A] RMS del Registrador (I_r_5 , I_s_5 , I_t_5 , I_n), los tres Tester True RMS a una estufa del laboratorio (utilizada como carga), de manera de poder comparar los valores entregados por el registrador y los Tester, y de esta forma calcular el factor que multiplicara cada canal de corriente de 5[A] RMS. La Tabla 4-6 ilustra los valores obtenidos y actualmente utilizados por el registrador.

Tabla 4-6 Fact. Calibración de canales de corriente 5[A] RMS del Registrador

Canal	Factor de Calibración
I_r_5	1,002
I_s_5	1,004
I_t_5	1,004
I_n	1,004

Por último para calibrar los canales de corriente se conectaron en serie los tres canales de 25[A] RMS del Registrador (*Ir_25*, *Is_25*, *It_25*), los tres Tester True RMS a dos estufas del laboratorio (utilizadas como carga), de manera de poder comparar los valores entregados por el registrador y los Tester, y de esta forma calcular el factor que multiplicara cada canal de corriente de 25[A] RMS. La Tabla 4-7 Ilustra los valores obtenidos y actualmente utilizados por el registrador.

Tabla 4-7 Fac. Calibración de canales de corriente de 25 [A] RMS del Registrador

Canal	Factor de Calibración
<i>Ir_25</i>	1,007
<i>Is_25</i>	1,007
<i>It_25</i>	1,007

Estos factores se encuentran en el archivo de inicialización Settings.XML

CONCLUSIONES

Habiendo terminado el trabajo de proyecto se han cumplido los objetivos iniciales. Se ha fabricado un Registrador de Variables Eléctricas que satisface las necesidades docentes del Laboratorio de Maquinas Eléctricas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

El equipo se basa en hardware actual con proyección de futuro. El software LABVIEW está tan difundido a escala mundial, que necesariamente seguirá siendo actualizado por National Instruments para correr en los computadores y sistemas operativos futuros.

El módulo de adquisición de datos usado es fabricado por la misma empresa y puede ser reemplazado fácilmente por modelos futuros, ya que su compatibilidad con el software LABVIEW está garantizada por la política de la fábrica.

La calidad de los datos registrados es superior a la de los equipos anteriores, gracias al uso de sensores profesionales de tensión y de corriente, a la mayor tasa de muestreo y al mayor número de bits del convertor A/D.

La construcción cuidadosa de la unidad electrónica permitió obtener cifras de ruido propio mayores que las necesarias para un equipo de uso docente.

El offset de los sensores es cancelado automáticamente por el programa desarrollado.

La interfaz gráfica se simplificó en relación a los equipos anteriores, y se estandarizó el uso de colores para designar las fases de acuerdo a la nueva norma chilena, manteniendo coherencia entre el hardware y el software.

La captura de transientes se mejoró significativamente. Ahora no es necesario repetir los experimentos para visualizarlas correctamente.

Las pantallas del programa (que contienen gráficos y valores numéricos) pueden ser grabadas fácilmente en archivos PNG.

Las muestras se exportan en formato XLS para ser leídas directamente por EXCEL, y en formato M para ser procesadas por MATLAB. El archivo M generado contiene las muestras y un programa de MATLAB que permite visualizar las formas de onda haciendo doble clic en el archivo.

Los archivos se copian automáticamente a un servidor FTP para facilitar el acceso de los estudiantes a los resultados de los experimentos y proteger al computador del sistema de posibles daños causados por pendrives defectuosos o contaminados con programas maliciosos.

Las evaluaciones realizadas confirmaron el correcto funcionamiento del equipo.

REFERENCIAS

- [1] http://labs.eie.ucv.cl/labsei/ProyTitulo/1995-2004/proytitulo2.htm#C_Sagredo
- [2] Juan Vignolo Barchiesi, «Introducción al Procesamiento digital de Señales» Libro, Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2008.
- [3] Labview Core 1 Manual de Curso.
- [4] Labview Core 2 Manual de Curso.
- [5] Hoja de datos de Current Transducer LA 25-NP. Available: <http://cl.rsdelivers.com>.
- [6] «RS Chile- Productos industriales,» Noviembre 2014. [En Línea]. Available: <http://cl.rsdelivers.com/infozone/allproducts.aspx>.
- [7] Hoja de datos de Coltage Transducer LV 25-P. Available: <http://cl.rsdelivers.com>.
- [8] National Instruments, «NI Signal Streaming,» 15 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/4636/en/>.
- [9] «Procesamiento digital de señales (Versión teórica-práctica), Profesor Juan Vignolo Barchiesi » 2013

CAPÍTULO 1

ESTRUCTURA DE LOS APÉNDICES

APÉNDICE A

ESTRUCTURA DE LOS APÉNDICES

1.1.1 Código archivo Settings.xml

```

<?xml version='1.0' standalone='yes' ?>
<LVData xmlns="http://www.ni.com/LVData">
<Version>13.0f2</Version>
<Cluster>
<Name>Settings in</Name>
<NumElts>2</NumElts>
<Cluster>
<Name>Hardware Configuration</Name>
<NumElts>19</NumElts>
<DAQChannel>
<Name>DAQmx Channel</Name>
<Val>Dev1/ai0:9</Val>
</DAQChannel>
<DBL>
<Name>Max Input</Name>
<Val>5.000000000000000</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Min Input</Name>
<Val>-5.000000000000000</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Sample Rate</Name>
<Val>10000.000000000000000</Val>
</DBL>
<Refnum>
<Name>DAQmx Task</Name>
<RefKind>Generic Tag</RefKind>
<RefType>NIDAQ</RefType>
<Val>1</Val>
</Refnum>
<DBL>
<Name>F. Calibración Vr</Name>
<Val>1.015</Val>

```

```
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración Ir_25</Name>
<Val>1.007</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración Ir_5</Name>
<Val>1.002</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración Vs</Name>
<Val>1.011</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración Is_25</Name>
<Val>1.007</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración Is_5</Name>
<Val>1.004</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración Vt</Name>
<Val>0.984</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración It_25</Name>
<Val>1.007</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración It_5</Name>
<Val>1.004</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>F. Calibración In</Name>
<Val>1.004</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Usec: Umbral seleccion escala corriente</Name>
<Val>0.08</Val>
```

```
</DBL>
<DBL>
<Name>Uml25a: Umbral de minima lectura canal 25A rms</Name>
<Val>0.05</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Uml5a: Umbral de minima lectura canal 5A rms</Name>
<Val>0.015</Val>
</DBL>
<DBL>
<Name>Uml500v: Umbral de minima lectura canal 500V rms</Name>
<Val>0.5</Val>
</DBL>
</Cluster>
<Cluster>
<Name>Logging Configuration</Name>
<NumElts>6</NumElts>
<Path>
<Name>Log File Base Path</Name>
<Val>C:\Users\Francisco\Downloads</Val>
</Path>
<String>
<Name>Host</Name>
<Val>158.251.52.253</Val>
</String>
<String>
<Name>Usuario</Name>
<Val>ftpadmin01</Val>
</String>
<String>
<Name>Contraseña</Name>
<Val>lab012147</Val>
</String>
<Refnum>
<Name>Byte Stream File Refnum txt</Name>
<RefKind>Byte Stream File</RefKind>
<Val>0x00000000</Val>
</Refnum>
<Refnum>
<Name>Byte Stream File Refnum .m</Name>
```

```
<RefKind>Byte Stream File</RefKind>  
<Val>0x00000000</Val>  
</Refnum>  
</Cluster>  
</Cluster>  
</LVData>
```