AUTOMATIZACIÓN DE UN LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Favio Estévez

favio1287@hotmail.com

Luis González

luisfer0407@hotmail.com

Egresados de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control de la Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Sangolquí- Ecuador

RESUMEN: El ahorro energético es un aspecto que viene tomando relevancia en los últimos años, y varios los caminos tomados para mejorar la eficiencia y reducir la contaminación ambiental.

Las Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) o más conocidos como "focos ahorradores" son uno de los productos que ha tomado fuerza en los hogares ecuatorianos.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN está a cargo de reglamentar las características de técnicas de desempeño de estas lámparas, por eso se crean los Laboratorios de Eficiencia Energética, específicamente el dedicado a LFC, donde por medio de ensayos normalizados se determinarán las características de desempeño de las LFC.

El objetivo de este proyecto es la automatización del Laboratorio de LFC que está provisto de los equipos necesarios para los ensayos. Se desea conseguir un monitoreo de las variables de interés, el control de los equipos remotamente, la generación automática de reportes y el almacenamiento adecuado de la información.

PALABRAS CLAVE: Lámparas fluorescentes compactas, ensayos normalizados, INEN, automatización, laboratorio.

1. INTRODUCCIÓN: El ahorro energético ha tomado un papel protagónico en la última década, muchos son los esfuerzos para reducir el consumo energético y la contaminación que inevitablemente tienen consecuencias nefastas para el medio ambiente.

Según datos del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable un hogar ecuatoriano promedio gasta hasta el 20% del total de consumo eléctrico en iluminación, lo que representa una gran cifra que indudablemente puede ser disminuida, se estima que con la sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (focos ahorradores) se dejaría de emitir hasta 439000 toneladas de dióxido de carbono al año, y tomando en cuenta que estos focos ahorradores consumen hasta un 75% menos de energía, se puede apreciar que las ventajas son innegables.
El Estado Ecuatoriano, a través del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), se ha puesto manos a la obra en este proyecto de ahorro energético para lo cual es deber de esta misma entidad reglamentar las características técnicas mínimas de desempeño de las lámparas, tanto de las producidas en el país como de las provenientes de importaciones. Es así que se emite el reglamento RTE INEN 036:2010 EFICIENCIA ENERGÉTICA. LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS. RANGOS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y ETIQUETADO que efectivamente ofrece lineamientos de desempeño de lámparas producidas y comercializadas en el país.

El Estado Ecuatoriano garantiza el derecho a disponer de bienes y servicios públicos y privados, de óptima calidad, a elegirlos con libertad, así como recibir información veraz sobre su contenido y características. Entonces sería lógico pensar que el Estado, a través de una entidad competente, en este caso el INEN, está en la obligación de realizar el proceso de la evaluación de la conformidad en Lámparas Fluorescentes Compactas.

El Laboratorio de Eficiencia Energética en lámparas fluorescentes compactas dispone de equipos para la realización de distintos ensayos, pero no dispone de los procedimientos de manejo de los mismos, ni de la automatización para el control, obtención automática de datos y elaboración de informes.

El presente tiene como objetivo la implementación de un sistema de monitoreo y control amigable, por medio de un HMI (Interfaz Humano-Máquina) para llevar a cabo el proceso de verificación de las lámparas fluorescentes compactas asegurando la toma de datos fiables por medio de un controlador, y la elaboración de reportes automáticos para los siguientes ensayos:

- Tiempo de vida
- Flujo Luminoso
- Mantenimiento de flujo luminoso
- Potencia consumida
- Eficiencia Energética mínima
- Factor de potencia
- Nivel de Armónicos

Adicional a estos ensayos existen los ensayos de Etiquetado, cantidad de mercurio e índice de rendimiento de color que no forman parte del laboratorio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS: Para la solución de la problemática expuesta se requiere de un método de ensayo estandarizado y una automatización para que el procedimiento tenga la menor intervención humana.

2.1. Métodos de ensayo: Con un método de ensayo aprobado y estandarizado se puede conseguir medidas que puedan ser reproducibles en cualquier laboratorio de ensayos. Las normas utilizadas son IES LM-65-10 (Approved Method Life Testing of Compact Fluorescent Lamps), IES LM-66-11 (Approved Method Electrical and Photometric Measurements of Single-Ended Compact Fluorescent Lamps) que describen detalladamente los métodos de ensayo en lámparas fluorescentes compactas. Estas normas se las toma íntegramente en su mayoría con las siguientes variantes:

- En el ensayo de flujo luminoso en lugar de tomar 6 medidas se toma 10 con el mismo criterio de error expuesto en la norma.
- En los ensayos de potencia, factor de potencia y nivel de armónicos se toma 10 valores a un intervalo de 30 segundos cada uno ya que la norma no especifica una toma de datos en concreto.

Esos son los cambios más relevantes que se realiza a las normas de referencia.

2.2. Automatización del procedimiento:

Tomando en cuenta los procedimientos que se deben cumplir en el laboratorio de eficiencia energética en lámparas fluorescentes compactas, se realiza el diseño del sistema de adquisición y control. Este diseño debe incorporar todos los equipos, las estructuras, y los instrumentos necesarios para que los resultados estén al nivel de un laboratorio de ensayos certificado.

Para dicho efecto como punto de partida se conoce que el laboratorio ya incorpora lo siguiente:

1. Analizador de Energía Fluke 435.

2. Sistema de Integración fotométrica.

3. Fuente de Poder AC y DC.

4. PC de escritorio.

5. Estructura metálica para montaje de tableros con capacidad de rotación de 180º.

6. Software Labview 2010.

Pero todos los equipos funcionan de manera aislada y la migración de los datos a la PC resulta muy larga y se requiere de un vasto conocimiento de operación de los equipos. Además el control de conmutaciones para los ensayos requiere de un controlador. El objetivo entonces será el de generar una herramienta capaz de lo siguiente:

1. Servir de vínculo entre la PC y los instrumentos de medida para que la toma de datos pueda ser realizada en línea.

2. Tener acceso a los registros del controlador para poder controlar las conmutaciones de las lámparas y para extraer el dato del tiempo de operación de las mismas.

3. Tener la programación adecuada para que la toma de datos y los cálculos sean automáticos.

4. Incorporar un almacenamiento de datos que contenga toda la información detallada de cada ensayo.

5. Permitir el acceso a usuarios autorizados y restringirlo a los que no, para proteger la información de los ensayos.

6. Visualizar los resultados y generar los reportes de acuerdo a los formatos de Excel aprobados por el laboratorio.

Estos puntos son únicamente basados en la programación y el procesamiento de información. Adicional a estos puntos se debe construir tableros con las condiciones adecuadas para la toma de medidas de las lámparas y también un gabinete correctamente diseñado para incorporar todo el control necesario para las conmutaciones.

Es así que se diseña una arquitectura de control capaz de satisfacer todas las demandas que exige el proyecto en cuestión.

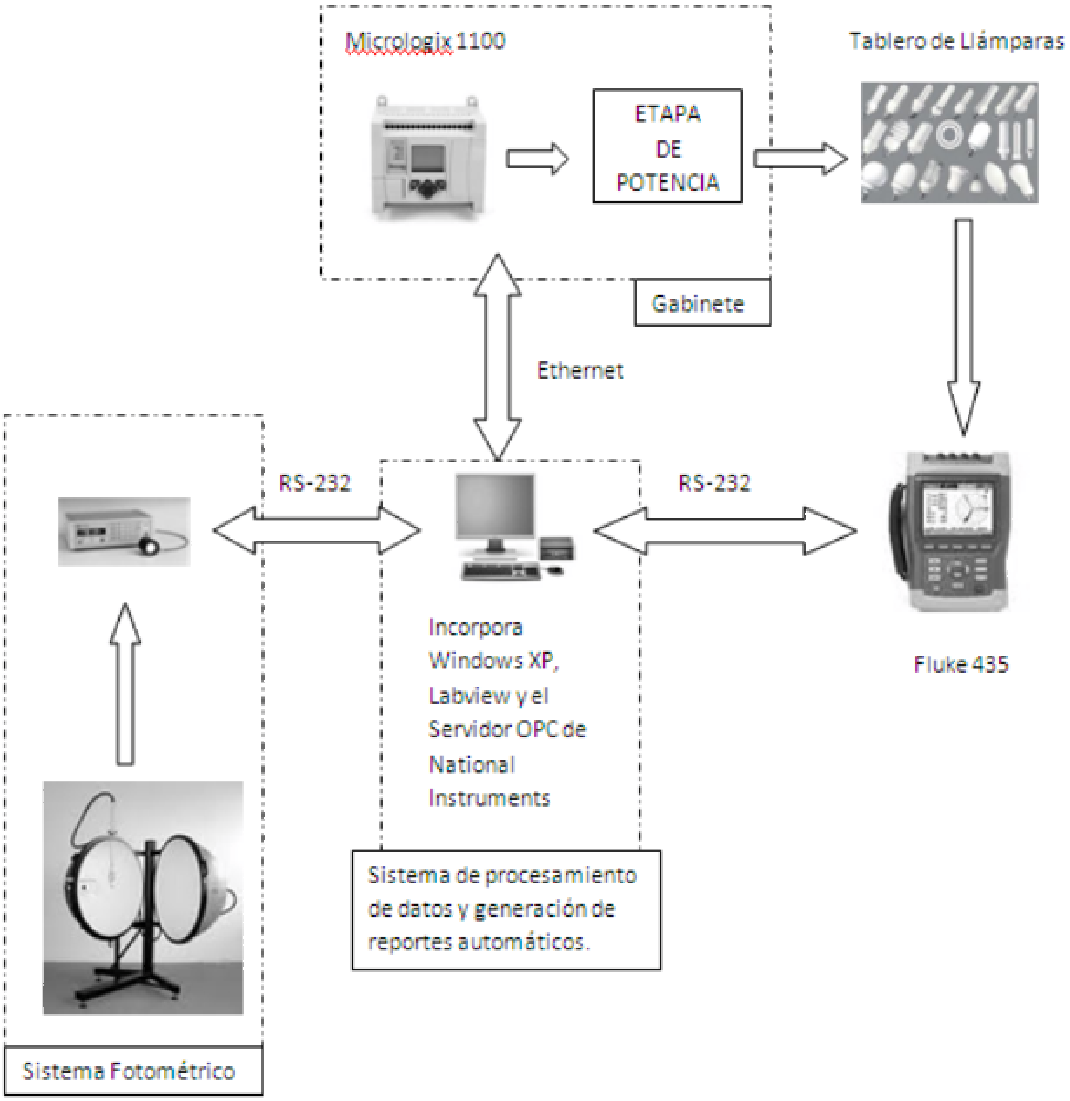

Figura 1: Arquitectura del Sistema de Control

Como se puede apreciar el sistema consta de dos comunicaciones seriales RS232 y una Ethernet, todas centralizadas hacia un único computador. También existe una conexión entre el gabinete y el tablero de pruebas lo que quiere decir que el gabinete es el que realiza el control de conmutaciones. La flecha entre el tablero de pruebas y el Fluke 435 expresa la conexión del instrumento al tablero de pruebas para la posterior adquisición de datos. La esfera no tiene una conexión directa con el tablero debido a que las lámparas deben ser transportadas hacia el mismo independientemente para el ensayo.

El computador de escritorio Incorpora Labview 2010 capaz de soportar una comunicación serial entre los instrumentos de medida, a demás incorpora un Servidor OPC de National Instruments con una herramienta dedicada para la comunicación con el Micrologix 1100 de Rockwell Automation.

La esfera fotométrica tiene una conexión con el equipo Digilux 9500, mismo que sirve acondicionando la señal proveniente del sensor incorporado en la esfera, lo muestra mediante un display incorporado, y tiene la capacidad de transmitir la señal hacia el computador.

No existe ningún bus estándar en común para los instrumentos y cada interfaz debe ser configurada independientemente para la adquisición de datos en línea.

2.2.1. Sistema Mecánico:

El laboratorio consta de 3 tableros para los ensayos en Lámparas Fluorescentes Compactas, cada tablero tiene la capacidad de conexión de 20 Lámparas.

• El tablero N°1 está dispuesto para la realización de ensayos de Potencia, Factor de potencia, y Armónicos, además para la medición de los parámetros eléctricos

de corriente, y voltaje por medio del instrumento Fluke 435 en todos los casos. Cada boquilla para ensayo dispone de un cable de alimentación expuesto en forma de arco para la conexión de la pinza amperimétrica. Todas las boquillas están conectadas en paralelo en 4 grupos de 5 boquillas y por cada grupo se dispone de un par de borneras: fase y neutro, para la conexión de los terminales del dispositivo de medida. Adicional una bornera de tierra.

• El tablero N°2 y N°3 están diseñados específicamente para el ensayo de Tiempo de vida en LFC y para el envejecimiento de lámparas, por esto están montados en una estructura metálica que permite su rotación en un ángulo de 180°. Todas las boquillas están conectadas en paralelo sin agrupación.

Consta también de un gabinete que contiene los elementos que permiten el control de las conmutaciones en los tableros de ensayos N°1, N°2 y N°3: relés, borneras, controlador, etc. Además en su parte exterior dispone de elementos para un fácil monitoreo y control del sistema con luces piloto, selector y pulsadores.

2.2.2. Sistema Eléctrico:

Las conexiones de las boquillas E27 son distintas según los tableros.

• En el Tablero de ensayos N°1 las lámparas están conectadas en paralelo, en 4 grupos de 5. Con esto se puede manipular la conmutación de dichas lámparas de manera más específica para el desarrollo de los ensayos.
• Los tableros N°2 y N°3 tienen conexiones eléctricas iguales, las 20 lámparas de cada uno se encuentran conectadas en paralelo.

El resto del sistema de eléctrico se encuentra concentrado en el gabinete de control y consta de los siguientes elementos:

• PLC Allen Bradley MICROLOGIX 1100.- permite el control de los tableros de pruebas de LFC
• Módulo de salidas a Relé 1762-OW8.- por medio de este módulo se realizará las conmutaciones de las luces piloto
• Pulsador para encendido/apagado.- activa o desactiva todos los relés de control de los tableros de pruebas de LFC
• Selector de alimentación de lámpara en la Esfera Integradora AC/DC.- permite seleccionar la señal de alimentación para la lámpara en la Esfera Integradora
• 4 Relés Electromagnéticos 10 Amperios (KM3, KM4,KM5,KM6).- controlan la conmutación de las secciones del tablero de pruebas N°1
• 2 Relés Electromagnéticos 15 Amperios. (KM1,KM2).- controlan las conmutaciones de las lámparas de los tableros N°2 y N°3 respectivamente

2.3. Software:

2.3.1. Interfaz entre el Digilux 9500 y Labview.

El Digilux 9500 viene incorporado con un software propietario llamado Digilumen 9500 el cual permite la adquisición de datos en la PC, pero este software no permite una programación personalizada, y, como se muestra en el procedimiento, la adquisición de datos debe darse hasta que los valores obtenidos en la lámpara estén estables y su error sea menos al 1%. De tal manera se ve la necesidad de que la adquisición de los datos del Digilux 9500 sea a través de Labview el cual permite una programación más acorde con lo requerido.

El manual de operación del Digilux 9500 incorpora la información de las características de la comunicación serial que se describen en el Cuadro 1:

Característica	Valor
Baud Rate	9600
Flow Control	None
Data Bit	8
Stop bit	1
Parity	None

Cuadro 1: Características de la comunicación serial entre el Digilux 9500 y Labview 2010

Una vez conocida las características de la comunicación se requiere saber cuáles son las palabras que se deben escribir para que el equipo proporcione el dato de las medidas de flujo luminoso instantáneamente.

En este punto la opción más adecuada es utilizar un monitor del puerto serial, el programa utilizado para esto tiene el nombre de HDD Serial Port Monitor el mismo que puede ser descargado del internet de manera gratuita. Con esta sencilla herramienta se puede analizar el tráfico en el puerto. Para que el equipo envíe los valores de flujo luminoso necesita una palabra de requerimiento por parte de la PC, para esto se procede a analizar el tráfico en el puerto cuando se encuentra conectado el Digilux 9500 y su software propietario Digilumen 9500.

El cuadro 2 describe el significado de las palabras escritas en el puerto:

Palabra	Significado
ML\r	Palabra de inicio de la comunicación. El equipo responde con la palabra \06 para afirmar que existe conexión entre los dispositivos
CL\r0.9621\r	Esta palabra se la podría tomar como una contraseña ya que debe ser escrita cada vez que se quiera extraer un dato del instrumento, la respuesta del equipo debe ser nuevamente \06 si la comunicación se realiza de manera normal.
ST\r	Esta palabra es un requerimiento de dato al equipo el cual instantáneamente toma el dato actual y lo envía en una cadena de caracteres. Esta cadena contiene un encabezado y un pie los mismos que no se requieren, así que se toma únicamente el dato numérico de la cadena, este dato tiene formato de notación científica y va desde el caracter 5 al 11.

Cuadro 2: Descripción de las palabras del puerto

2.3.2. Interfaz entre el Fluke 435 y Labview.

El analizador de energía Fluke 435 tiene la capacidad de medir múltiples variables eléctricas, e incorpora un software propietario llamado FlukeView el cual permite controlar el equipo remotamente así como adquirir datos en línea que se concentran únicamente en este software y que pueden ser migrados a formatos de texto plano. Una vez conocido que es posible adquirir datos en línea con el equipo el siguiente paso es saber qué tiempo de comunicación maneja con la PC.

El equipo se conecta a la PC mediante un cable USB, al analizar su interfaz en el administrador de dispositivos se observa que realmente es una comunicación serial enmascarada en una USB.

Lo siguiente que se debe saber son las características con las que se realiza la comunicación, esto se obtiene con el software HHD Device Monitoring Studio 6.23 el mismo que tiene la capacidad de proporcionar las características de la comunicación, mismas que se muestran en el cuadro 3:

Característica	Valor
Baud Rate	1200/9600/19200/57600
Flow Control	None
Data Bit	8
Stop bit	1
Parity	None
Timeout	10 segundos

Cuadro 3: Características de la comunicación serial entre el Fluke 435 y Labview 2010

La velocidad de transmisión puede variar, esto depende de la velocidad a la que se realizó la última transmisión la cual es tomada por defecto para la próxima comunicación.

Una vez que se sabe todas las características de la comunicación se procede a analizar las tramas de datos. Estas tramas se las obtiene analizando el tráfico existente entre el equipo Fluke 435 con su software propietario FlukeView.

El mismo software con el que se obtiene las características de la comunicación (HHD Device Monitoring Studio 6.23) también es utilizado para monitorear las tramas que se están transmitiendo en el puerto de comunicación.

El cuadro 4 explica la manera en la que se establece el enlace con el Fluke 435.

Palabra	Significado
\r	Es la palabra con la que se inicia la comunicación, el equipo responde con 0\r o 1\r. Ambas palabras mencionan que el dispositivo esta enlazado.
\r	Esta palabra es para confirmar que el equipo está listo. Su respuesta es 0\r o 1\r igualmente.
ID\r	Esta palabra es un requerimiento de identificación para el equipo, si la comunicación es correcta el equipo responde con su ID.

Cuadro 4: Tramas para el enlace inicial entre el Fluke 435 y el computador

Si las respuestas del equipo son las adecuadas el enlace se realizó exitosamente, caso contrario se deberá comprobar que el equipo se encuentre bien conectado y que las tramas de datos escritas sean las correctas.

Pantalla	Palabra	Significado
Nivel de Armónicos	QM\s0,3,4,7,8,11,12,15,16,19,20,24,27,28,31\r	Parabra de requerimiento de dato en Armónicos. El equipo responde con un string de datos separado por comas donde contiene la información hasta del armónico 25. Se extrae el THD, el tercer y el quinto armónico de corriente los cuales se encuentran en las posiciones 1, 3 y 5 del string respectivamente.
Potencia	QM\s0,3,4,7,8,11,12,15,16,19,20,24\r	Parabra de requerimiento de dato en Potencia. El equipo responde con un string de datos separado por comas donde contiene la información de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia los cuales se encuentran en las posiciones 2, 8, 11 y 12 del string respectivamente.
Factor de Potencia	QM\s0,3,4,7,8,11,12,15,16,19,20,24\r	Parabra de requerimiento de dato en Potencia. El equipo responde con un string de datos separado por comas donde contiene la información de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia los cuales se encuentran en las posiciones 2, 8, 11 y 12 del string respectivamente.

Cuadro 6: Tramas para obtener datos en el Fluke 435.

Para la extracción de datos del fluke es necesario que el equipo se encuentre en la pantalla de la señal de la cual se requiera la extracción. Por ejemplo, si se desea un dato de nivel de armónicos es necesario estar en la pantalla de Armónicos del equipo de tal manera que se vuelve indispensable controlar el equipo remotamente para una automatización más completa.

Analizando el tráfico de datos se obtiene el cuadro 5 para controlar los botones de navegación del Fluke 435 desde el computador:

Palabra	Significado
KY\s10\r	Tecla de navegación hacia arriba
KY\s11\r	Tecla de navegación hacia abajo
KY\s12\r	Tecla de navegación hacia la izquierda
KY\s13\r	Tecla de navegación hacia la derecha
KY\s7\r	Tecla de Menú
KY\s9\r	Tecla de Enter
KY\s5\r	Tecla F5
KY\s4\r	Tecla F4
KY\s3\r	Tecla F3
KY\s2\r	Tecla F2
KY\s1\r	Tecla F1

Cuadro 5: Tramas para controlar el Fluke 435 desde la PC mediante comunicación serial.

Una vez que el equipo está en la pantalla deseada se procede a la extracción de datos misma que se la hace instantáneamente después de escribir las tramas que se encuentran en cuadro 6.

2.3.3. Interfaz entre el Micrologix 1100 y Labview.

La arquitectura de control contempla una interfaz entre Labview y Micrologix para lo cual se utiliza el NI OPC Server. Este paquete de National Instruments permite compartir variables entre Labview y Micrologix mediante el protocolo de comunicación OPC.

El PLC debe tener la capacidad de realizar el control de las conmutaciones con las siguientes características para ser manejado desde el HMI:

1. Poder dar inicio y fin a un ciclo de conmutaciones en cualquier momento (Botones de Start y Stop para cada sección).

2. Ingresar los valores de tiempo de encendido y apagado.

3. Ingresar el tiempo total de operación de las lámparas.

4. Tener la información del tiempo que las lámparas llevan encendidas.

El Cuadro 7 explica la función de cada uno de los grupos de tags.

Grupo de tags	Función
START_SECCIÓN	Inicia el ciclo de conmutaciones de cada sección, dependiendo de los valores seteados en los tiempos de encendido o apagado (TIEMPO-ENCENDIDO-APAGADO)
TIEMPO-ENCENDIDO-APAGADO	Estos tags guardan los valores de tiempo del ciclo total de operación (T_C_T_SECCIÓN) y el tiempo de encendido de cada sección (T_C_E_SECCIÓN). En el momento en el que se da un START los valores son enviados al PLC para realizar las conmutaciones adecuadamente.
TIEMPOS-TOTALES	A cada sección se le debe enviar un valor de tiempo total de operación (T_T_SECCIÓN) que es el tiempo total que permanecerá conmutando la lámpara. Por ejemplo el tiempo total de operación puede ser de 1000 horas mientras que el ciclo de operación sería de 2 horas encendido y una de apagado.
CONTADORES DE HORAS	Cuando una sección se encuentra en operación se debe presentar el tiempo que lleva operando para que el encargado del laboratorio pueda administrar de buena forma el trabajo. Se puede extraer los valores de los contadores de horas de cada sección (CONT_SECCIÓN) y los contadores de minutos por sección (CONT_M_SECCIÓN)

Cuadro 7: Función de los grupos de tags

2.3.4. Programación del PLC Micrologix 1100

Anterior a la programación del PLC se lo debe enlazar al computador por medio del BOOT-DHCP de Rockwell Automation el cual identifica a los dispositivos conectados al computador por medio de su dirección MAC. En este caso se tiene conectado el PLC al computador por medio de un cable de red cruzado y se le proporciona la dirección 192.168.1.20 que está en la misma subred de la PC la cual tiene la dirección 192.168.1.10.

La rutina utilizada para el control de conmutaciones es la misma para cada sección, es así que se tiene un algoritmo que se repite 6 veces ya que existen 6 secciones que realizan las conmutaciones en las lámparas. En primer lugar se debe tener el enlace listo en el PLC e ingresar los valores de los ciclos de conmutación y las horas de operación; una vez que se dé la señal de inicio (START_SECCIÓN) estos valores son enviados al Micrologix 1100. Cada vez que se requiera se puede visualizar los contadores de horas y minutos en el HMI, estos valores son muy útiles para tener el conocimiento exacto del tiempo de operación de las lámparas.

2.3.5. **Programación en Labview.** La programación necesaria para que Labview acceda a los tags declarados en el servidor OPC es a través de los Data Socket de lectura y escritura.
Mediante estas útiles herramientas únicamente se debe proporcionar la dirección exacta del dato al que requiera acceder, como por ejemplo, si se desea alterar el tiempo del ciclo de operación total de la Sección 1 el string que se debe proporcionar a la entrada "connection in" del bloque debe ser: opc://localhost/National Instruments.NIOPCServers/LFC MICROLOGIX 1100.MICROLOGIX 1100.TIEMPO-ENCENDIDO-APAGADO.T_C_T_ SECCION_ 1.

2.3.6. HMI.

El Laboratorio de LFC consta de un HMI (Interfaz Humano Máquina) diseñado en el Software Labview. Tiene la capacidad de realizar las siguientes tareas:

1. Realizar los siguientes ensayos: Tiempo de vida, flujo luminoso Inicial, mantenimiento de Flujo Luminoso, potencia Consumida, factor de Potencia, nivel de Armónicos, eficiencia Energética.

2. Controlar Remotamente los siguientes equipos: Digilux 9500, Analizador de Energía Fluke 435.

3. Realizar Conmutaciones Programadas de los tableros de pruebas.

4. Gestionar el Nivel de Usuarios.

5. Proporcionar Resultados en Formatos aprobados por el Laboratorio.

6. Configurar las variables de cada ensayo.

Estructura general las pantallas del HMI

Todas las pantallas de navegación poseen una estructura general descrita en la figura 2

Figura 2: Estructura general del HMI

1. Titulo de Pantalla: Titulo de la pantalla referente a su función

2. Logo de la Institución INEN

3. Botones de Ejecución del HMI: permite ejecutar o parar el programa.

4. Botones de Navegación: realizan la función o trabajo relacionado con su nombre, o a su vez permite acceder a otras pantallas

5. Botón de salida: permite salir de la pantalla actual dirigiéndose directamente a la pantalla anterior.

2.3.6.1. Almacenamiento y extracción de datos

La información realizada de cada ensayo, así como de las cuentas de usuario requieren ser almacenadas de manera segura, confiable y ordenada, para que de esta manera el operario pueda acceder a ella solo desde la interfaz únicamente si posee una cuenta de usuario.

Debido a que toda la información se almacena en archivos de texto plano es necesario proteger los ficheros que contienen estos, para que la información no pueda ser modificada. Para dicho efecto se utiliza el software Folder Protector 5.39 el mismo que restringe el acceso a los ficheros mediante una clave de seguridad.

Cuentas de Usuarios

Para el manejo de las cuentas de usuarios la interfaz genera automáticamente un documento de texto plano ubicado en una carpeta única de nombre USUARIOS, llamado usuarios.txt, el mismo que almacena los nombres, contraseñas y niveles de usuario de manera ordenada. Por motivos de seguridad toda esta información se almacena encriptada mediante la herramienta Advanced Encryption Standar (AES) para labview. En la Figura 13.19 se muestra los bloques para encriptar y desencripar información utilizados. Esta herramienta trabaja mediante una clave (Key) que codifica y decodifica la información para que no pueda ser legible en los documentos de almacenamiento. La interfaz está diseñada para que la lectura de este documento sea de manera constante de tal manera que cualquier cambio que se realice en esta, ya sea añadir o borrar un usuario, sea visualizado inmediatamente.

Información de ensayos

El almacenamiento de la información de los ensayos realizados al igual que en el caso de cuentas de usuarios se almacenan por medio de archivos de texto plano, pero guardando un orden de jerarquización.

La interfaz genera una carpeta con el nombre del lote que se asigne al grupo de muestras, la cual contendrá en su interior un grupo de carpetas, una para cada ensayo: Nivel de Armónicos, Flujo Luminoso Inicial, Mantenimiento de Flujo Luminoso, Tiempo de Vida, Potencia, Factor de Potencia. A su vez cada carpeta tendrá en su interior documentos de texto plano, uno de características técnicas y condiciones de ensayo de ese lote, y un documento por cada muestra ensayada que almacenará los resultados de las pruebas realizadas el mismo que por nombre llevara el de la muestra. Por ejemplo si la muestra tiene

por nombre 01, el documento generado será 01.txt.

2.3.6.2. Generación de Reportes

La generación de reportes se lo realiza utilizando la herramienta Report Generation Toolkit for Microsoft Office[key-6], la cual permite enlazar una plantilla de Microsoft Excel previamente diseñada de acuerdo a las necesidades del usuario, con datos que se envíen desde el HMI diseñado en Labview. Los datos pueden ser enteros, dobles, strings e incluso arrays

Creación de Plantillas y enlace con el HMI

La creación de la plantilla se lo realiza e una manera relativamente fácil para una persona que tenga un conocimiento básico del Microsoft Excel.

1. Se elabora el documento de acuerdo a los requerimientos necesarios, dejando en blanco las celdas requieren ser llenas con datos provenientes del HMI

2. A las celdas que serán llenas con datos del HMI se les asigna un nombre (tag), este es el nombre que servirá de enlace con la interfaz.

3. Una vez terminado el documento es necesario guardarlo como formato plantilla para que sea reconocido por la herramienta de generación de reportes de Labview

4. En la programación de la interfaz se utiliza el bloque de generación de reportes y en sus propiedades se selecciona el documento creado.

5. Finalmente se enlaza los datos que se requieren enviar al documento con sus respectivos tags.

Diseño de Plantilla Microsoft Excel

Los reportes deben estar conformes con las normas NTE INEN 17025, IES LM 65-10 y la IES LM 66-11, es decir que debe constar toda la información relevante del ensayo. Registrar toda la información es de suma importancia, un concepto medular en los ensayos de laboratorio afirma que lo no se registra, simplemente no existe.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez diseñado e implementado el sistema de adquisición de datos y control es necesario realizar una verificación de la validez del proyecto para una puesta en funcionamiento del mismo.

Cabe mencionar que los equipos utilizados tanto de medición y de alimentación como son: Analizador de energía Fluke 435 y Fuente MX15 California Instruments tienen sus certificados de calibración y los equipos de medición de flujo ya han sido previamente calibrados, lo cual brinda la confiabilidad adecuada para trabajar con los valores (medidos, señales de alimentación entregadas) que estos proveen. Por lo tanto queda por validar el HMI implementado.

Para la validación de la interfaz se realizan todos los ensayos a una misma muestra, con el fin de comparar los valores mostrados por el equipo de medida y los adquiridos por el sistema. El objetivo no es comparar el rendimiento de una lámpara fluorescente compacta con una lámpara incandescente o una lámpara patrón sino únicamente verificar que el sistema de adquisición de datos esté trabajando adecuadamente. La validación de los ensayos se realiza tomando 10 medidas en un intervalo de 30 segundos. Para validar los tiempos de conmutación se utiliza un cronometro digital calibrado. Los resultados fueron los siguientes:

3.1. Medidas de Voltaje

Medición	HMI [V]	Equipo de Medición [V]	Error [%]
1	119,94	119,94	0
2	119,93	119,93	0
3	119,94	119,94	0
4	119,93	119,93	0
5	119,94	119,94	0
6	119,93	119,93	0
7	119,94	119,94	0
8	119,94	119,94	0
9	119,93	119,93	0
10	119,93	119,93	0
Desviación Estándar	0	0	0

Cuadro 8 : Validación de Software. Medidas de voltaje

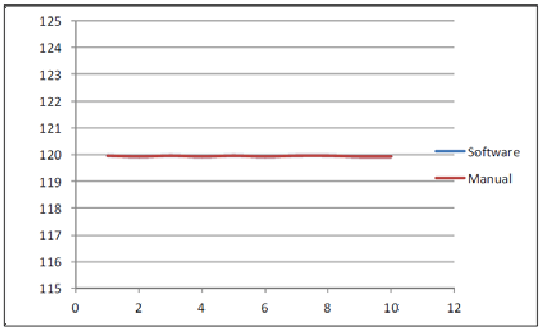

Figura 3: Comparativa de la adquisición de datos Software vs Manual. Voltaje

La fuente con la que se provee la señal de voltaje (MX15 California Instruments) entrega una señal muy estable. El analizador de energía Fluke 435 es el equipo encargado de medir el voltaje. Al comparar los valores mostrados en la pantalla del equipo y en el HMI no se detecta ninguna variación.

3.2. Mediciones de corriente

Medición	HMI [A]	Equipo de Medición [A]	Error [%]
1	0,122	0,12	1,67
2	0,122	0,12	1,67
3	0,122	0,12	1,67
4	0,122	0,12	1,67
5	0,122	0,12	1,67
6	0,122	0,12	1,67
7	0,122	0,12	1,67
8	0,122	0,12	1,67
9	0,122	0,12	1,67
10	0,122	0,12	1,67
Desviación Estándar	0	0	0

Cuadro 9: Validación de Software. Medidas de corriente

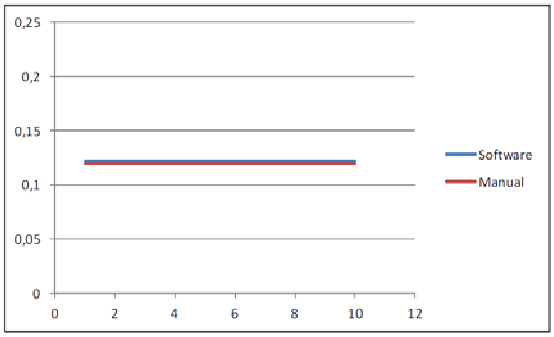

Figura 4: Comparativa de la adquisición de datos Software vs Manual. Corriente

En el caso de la corriente existe un pequeño error ya que los datos enviados al HMI tienen 3 decimales de resolución mientras que los valores mostrados en la pantalla del equipo cuentan únicamente con 2 decimales de resolución. Se puede ver que el instrumento provee medidas más exactas cuando trabaja a través de la comunicación serial pero para motivos de la validación del software se genera un pequeño error.

3.3. Mediciones de Potencia

Medición	HMI [W]	Equipo de Medición [W]	Error [%]
1	4,565	4,57	-0,11
2	4,572	4,57	0,04
3	4,567	4,57	-0,07
4	4,56	4,57	-0,22
5	4,565	4,57	-0,11
6	4,571	4,57	0,02
7	4,572	4,57	0,04
8	4,562	4,56	0,04
9	4,563	4,56	0,07
10	4,575	4,57	0,11
Desviación Estándar	0,01	0	0,1

Cuadro 10: Validación de Software. Medidas de Potencia

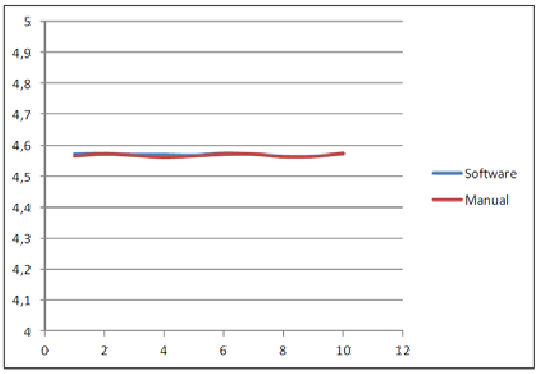

Figura 5: Comparativa de la adquisición de datos Software vs Manual. Potencia

Las medidas de potencia tomadas de una lámpara fluorescente compacta presentan fluctuaciones hasta llegar a una estabilización, una vez estable se toman medidas las cuales aún presentan pequeñas perturbaciones. La resolución de los valores son los mismos tanto en el equipo de medida como en el HMI. Los valores obtenidos no son exactamente iguales debido a que es imposible tomarlos en el mismo instante.

3.4. Medición de Factor de Potencia

Medición	HMI	Equipo de Medición	Error [%]
1	0,311	0,31	0,32
2	0,311	0,31	0,32
3	0,311	0,31	0,32
4	0,311	0,31	0,32
5	0,311	0,31	0,32
6	0,311	0,31	0,32
7	0,311	0,31	0,32
8	0,311	0,31	0,32
9	0,311	0,31	0,32
10	0,311	0,31	0,32
Desviación Estándar	0	0	0

Cuadro 10: Validación de Software. Medidas de Potencia

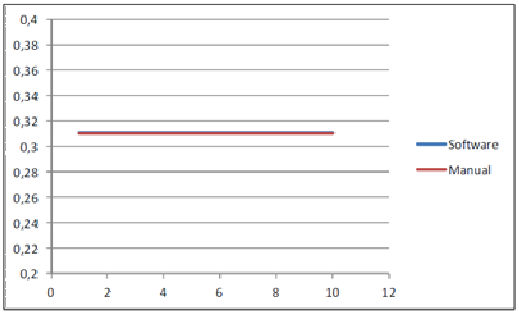

Figura 6: Comparativa de la adquisición de datos Software vs Manual. Factor de Potencia

En el ensayo de factor de potencia existe un pequeño error ya que los datos enviados al HMI tienen 3 decimales de resolución mientras que los valores mostrados en la pantalla del equipo cuentan únicamente con 2 decimales de resolución. Se puede ver que el instrumento provee medidas más exactas cuando trabaja a través de la comunicación serial pero para motivos de la validación del software se genera un pequeño error.

3.5. Mediciones de Armónicos

Medición	HMI [%f]	Equipo de Medición [%f]	Error [%]
1	173,3	173,1	0,12
2	173,2	173,2	0
3	173,3	173,3	0
4	173,2	173,2	0
5	173,2	173,1	0,06
6	173,1	173	0,06
7	173,1	173,2	-0,06
8	173,2	173,2	0
9	173,2	173,2	0
10	173,2	173,2	0
Desviación Estándar	0,07	0,08	0,05

Cuadro 11: Validación de Software. Medidas de Armónicos

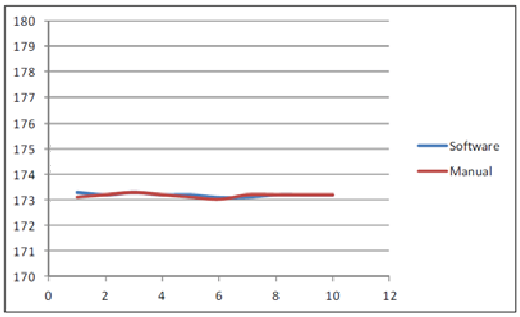

Figura 7: Comparativa de la adquisición de datos Software vs Manual. Armónicos(THD)

Las medidas de nivel de armónicos tomados de una lámpara fluorescente compacta presentan fluctuaciones hasta llegar a una estabilización, una vez estable se toman medidas las cuales aún presentan pequeñas perturbaciones. La resolución de los valores son los mismos tanto en el equipo de medida como en el HMI. Los valores obtenidos no son exactamente iguales debido a que es imposible tomarlos en el mismo instante.

3.6. Medición de Flujo Luminoso

Medición	HMI [Lm]	Equipo de Medición [Lm]	Error [%]
1	744,73	744,74	0
2	744,29	744,29	0
3	743,95	743,95	0
4	744,22	744,2	0
5	744,4	744,42	0
6	743,99	744	0
7	743,47	743,47	0
8	743,47	743,47	0
9	743,96	743,94	0
10	744,16	744,16	0
Desviación Estándar	0,4	0,39	0

Cuadro 12: Validación de Software. Medidas de Flujo Luminoso

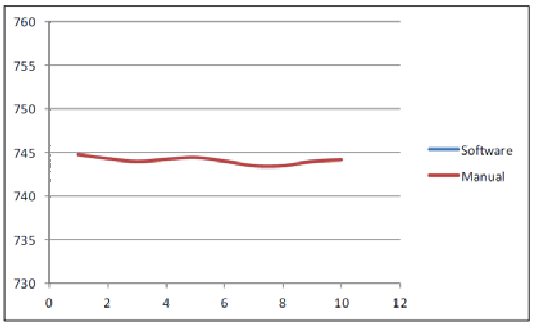

Figura 8: Comparativa de la adquisición de datos Software vs Manual. Flujo Luminoso

El flujo luminoso es la magnitud de más difícil estabilización y las medidas obtenidas presentan oscilaciones a una frecuencia pequeña, lo que genera que el error entre las medidas obtenidas del HMI y el instrumento de medida sea mínimo.

4. CONCLUSIONES

• Al utilizar una norma para realizar una implementación, una construcción o un trabajo, dicha norma es un fuerte respaldo al trabajo que se está realizando, es un aval de que la implementación tiene un alto grado de homogenidad y sus resultados serán aceptados por un cliente con suficiente conocimiento de causa.

• Después de los ensayos realizados se puede observar, que la inserción de armónicos a la red eléctrica por parte de una lámpara fluorescente compacta es la magnitud que mayor incumplimiento tiene con el RTE 036: 2010.

• Un patrón de medida con trazabilidad directa al patrón internacional asegura que los instrumentos que dicho patrón calibre, sean más exactos y por lo tanto puedan tener mejores prestaciones en donde sean utilizados. Es el caso puntual de la esfera fotométrica que requiere de focos patrón para su calibración.

• El uso de una interfaz de comunicación estándar (OPC) permite la comunicación entre instrumentos de distintos fabricantes, esto permite aprovechar las ventajas que cada proveedor tiene, e integrarlos para construir una solución mas potente. Es el caso de la integración de Labview y el Micrologix 1100 (Rockwell Automation), Labview es una herramienta muy potente en procesamiento de datos mientras que el Micrologix 1100 es un equipo muy robusto y escalable que asegura una operación confiable.

• La implementación del sistema automático de adquisición y control hace que los ensayos en las lámparas se puedan efectuar de una manera rápida y con un alto grado de desempeño, cumpliendo con las normas que exige cada ensayo, y brindando ventajas como el requerir de menor capacitación para el personal que opere el sistema al ser este un entorno amigable e intuitivo, centralizar la información así como generar resultados y reportes de manera efectiva.

• La lectura de los puertos de comunicación de una PC por medio del Software HDD Serial Port Monitor, permite obtener información necesaria para la comunicación con los equipos de medición, y así saber que datos son necesarias enviar a estos para obtener las variables de interés.

• El uso de un Controlador Industrial para el control de las conmutaciones de las lámparas se traduce en un buen desempeño del sistema, ya que dicho controlador está diseñado para operar ininterrumpidamente por un largo período de tiempo. Es el caso puntual del ensayo de Tiempo de Vida el cual es crítico ya que requiere un control de conmutaciones hasta de 6000 horas consecutivas.

• La velocidad en la adquisición de datos realizadas en Lámparas fluorescentes compactas no son un parámetro crítico, debido a que los distintos ensayos a realizar requieren de un tiempo extenso y las características eléctricas de una lámpara se estabilizan después de un período adecuado descrito en cada ensayo.

• La generación de reportes automáticos por medio de la herramienta Report Generation Toolkit permita exportar información a plantillas creadas en Microsoft Office ya sea Word o Excel, lo cual facilita al operario una edición final del reporte en caso de ser necesario convirtiéndose así en una herramienta versátil.

• El error entre las medidas tomadas manualmente y las adquiridas por el software diseñado son mínimas, generado principalmente porque el equipo tiene una mejor resolución al momento de enviar los datos a la PC como es el caso del factor de potencia y también debido a que es muy difícil adquirir los datos en el mismo instante de manera manual y automática. Error que es totalmente aceptado por el Laboratorio de ensayos.

5. RECONOCIMIENTOS

Un especial saludo y reconocimiento al Ingeniero Paúl Ayala Msc. y al Doctor Vinicio Carrera por toda la orientación brindada en el proyecto en cuestión. Sus observaciones y correcciones fueron de gran utilidad para el éxito de este trabajo.

6. REFERENCIAS

Fluke 434/435 ThreePhase Power Quality Analyzer Users Manual, https://www.distrelec.ch/ishop/Datasheets/aa434-435_manual_en.pdf

Power Log User Manual, http://www.chinaprecede.cn/PowerLog.pdf

Armónicos en Sistemas Eléctricos, http://www.youblisher.com/p/123331-Armonicos-en-Sistemas-Electricos

Medida de Flujo Luminoso en Esfera de Ulbricht. Estudio de Incertidumbres. Intercomparacion con Calculo por Integracion, http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2010/RCPS10/RCPS10.pdf

LabVIEW User Manual, http://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf

LabVIEW Report Generation Toolkit for Microsoft Office, http://www.ni.com/pdf/labview/us/report_generation_toolkit.pdf

Approved Method. Electrical and Photometric Measurements of Single-Ended Compact Florescent Lamps, IES LM-66-11, Illuminating Engineering Society of North America, United States of America, December 13, 2010, pags 1-9.

Approved Method. Life Testing of Compact Fluorescent Lamps, IES LM-65-10, Illuminating Engineering Society of North America, United States of America, April 18, 2011, pags 1-4.

Referencias REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 036:2010, EFICIENCIA ENERGÉTICA. LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS. RANGOS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y ETIQUETADO, Primera Edición, Quito, Mayo 2008, pags 1-16

MicroLogix 1100 Programmable Controllers, http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature /documents/um/1763-um001_-en-p.pdf

Fundamentos de RS-232 Comunicación Serial, http://www.pacontrol.com/download/RS232.pdf

Ethernet. Origen Funcionamiento y Rendimiento, José Marquez Días, Katherine Pardo Sánchez, Sisely Pizarro Valencia. Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte. 9: 22-34, 2001

Módulo de salida de relé 1762-OW8 MicroLogix, http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature /documents/in/1762-in003_-es-p.pdf

RS Logix 500. Getting Results Guide, http://www.plctrainer.net/RSLogix500.pdf

BIOGRAFÌAS

Favio David Estévez Viteri nació de 31 de Diciembre de 1987 en la ciudad de Quito. Sus estudios secundarios los realiza en el Colegio Municipal experimental "Sebastián de Benalcázar" consiguiendo ser el quinto mejor egresado de su promoción. Egresó de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control en Septiembre del 2010. Actualmente se encuentra culminando su tesis de grado.

Luis Fernando González Aguilera nació de 4 de Julio de 1987 en la ciudad de Quito. Sus estudios secundarios los realiza en el Colegio Técnico Salesiano "Don Bosco" consiguiendo ser el porta estandarte del colegio. Egresó de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control en Septiembre del 2010. Actualmente se encuentra culminando su tesis de grado.