

Reingeniería como metodología para el desarrollo de instrumentación virtual y aplicaciones integrales

Ricardo Araguillín, Inst. Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Quito-Ecuador

Nelson Sotomayor, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Ronny De La Bastida, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Resumen – Este artículo presenta una metodología de reingeniería para la integración de instrumentos de medición eléctricos y fotométricos en una plataforma virtual, realizada para el Laboratorio de Luminotecnia del INER. Dentro del proceso de reingeniería se aplicó técnicas de ingeniería inversa a los sistemas de comunicaciones de los equipos que se utilizan para ensayo de flujo luminoso, de esta manera se obtuvo los algoritmos para decodificar sus tramas de comunicación e integrarlos en una aplicación desarrollada en LabVIEW. El sistema implementado realiza monitoreo en tiempo real de las variables y la creación de un registro dinámico de los parámetros eléctricos y fotométricos, para analizar el comportamiento de las muestras durante el ensayo, cumpliendo la normativa establecida por la Illuminating Engineering Society. La aplicación está abierta para que futuros desarrolladores puedan ampliar sus prestaciones e integrar a futuro la automatización completa de todo el laboratorio, tanto para ensayos de servicio como pruebas de investigación.

Índices – Reingeniería, Ingeniería inversa, Decodificación de comunicaciones, Esfera Integradora, Flujo Luminoso.

I. INTRODUCCIÓN

El Ecuador mantiene un alto índice de desarrollo humano (IDH) en América Latina [1], con una visión de mejorar la matriz productiva. Para cumplir este objetivo se requiere de la importación de tecnología inexistente en el país priorizando una inversión de bajo costo en el sector público y privado para mantener índices de rentabilidad y cubriendo sus necesidades inmediatas con poca visión al futuro. Esto se vuelve una limitante al momento de incorporar procesos de mejora continua con tendencia al desarrollo tecnológico actual para una mayor eficacia y mejora de la calidad de los productos y servicios.

Las alternativas para desarrollar y mejorar los sistemas de instrumentación en el campo académico, industrial y de investigación pueden ser muy diversas. Una alternativa práctica se presenta en la instrumentación virtual que permite la integración de diversos equipos que cumplan con una o varias tareas relacionadas, reduciendo los tiempos de ejecución y facilitando el procesamiento de datos de manera automática.

En el proceso de integración el problema regular es que los fabricantes mantienen sus diseños y sistemas de comunicación de forma reservada. En el caso de equipos poco comunes el problema se agranda con la falta de documentación, tecnología inexistente en el país y limitado acceso a la información sobre las experiencias de desarrolladores alrededor del mundo.

El Laboratorio de Luminotecnia del INER presenta este caso en particular en sus instrumentos fotométricos y eléctricos necesarios para realizar ensayos de flujo luminoso.

Este artículo propone una solución a la problemática con una metodología de reingeniería a la etapa de comunicación de instrumentos inexistentes en nuestro país para la integración en una plataforma virtual, sirviendo de guía para trabajos similares.

II. ENSAYO DE FLUJO LUMINOSO

El método aprobado por la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) para medición de flujo luminoso es utilizando una esfera integradora [2]. En el centro de la esfera se ubica la lámpara de prueba y en un punto de la superficie de la esfera se coloca un fotosensor que posee una corrección $v(\lambda)$ llamada función fotópica que permite medir únicamente la luz visible por el ser humano. Para evitar la saturación del fotosensor se lo apantalla usando un deflector [3]. El flujo luminoso que llega al fotosensor es el flujo radiante reflejado en todas las direcciones de la esfera, siendo el flujo luminoso total proporcional a la cantidad de flujo luminoso en el fotosensor [4] [5].

La norma IES LM 78 indica que durante el periodo de ensayo se debe medir el flujo luminoso, espectro de radiación, parámetros eléctricos de la lámpara y temperatura ambiente. La Fig. 1 muestra el sistema de medición de flujo luminoso utilizando una esfera integradora. El proceso original de ensayo se realizaba de manera manual e independiente en cada equipo, lo cual resultaba en largos periodos de ensayo y fatiga del operador, razones que motivaron la integración del sistema en un solo software para una automatización futura del ensayos.

III. INGENIERÍA INVERSA Y REINGENIERÍA.

La necesidad de un monitoreo continuo de variables de un proceso requiere de cambios que están ligados al desarrollo de un nuevo software. En aplicaciones informáticas que no presentan actualizaciones, con el tiempo llegan a surgir problemas de compatibilidad con las versiones actuales de los sistemas operativos y de adaptación a nuevas tareas debido a sus limitados recursos informáticos. Este tipo de aplicaciones son denominados sistemas legados debido a su diseño para necesidades inmediatas [6].

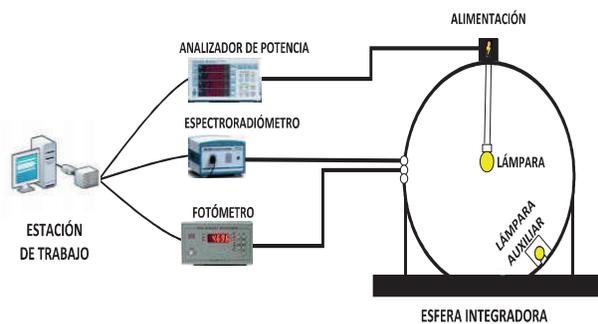


Fig. 1. Sistema de medición en una esfera integradora.

La necesidad de implementar una mejora manteniendo el hardware conllevó a la creación de un software, para lo cual fue importante tocar dos temáticas importantes dentro del área de desarrollo: la ingeniería inversa y la reingeniería.

Debido a una similitud de términos existe una confusión entre las dos temáticas, la diferencia radica en su objetivo. La ingeniería inversa está enfocada a descubrir el funcionamiento y operación de un sistema analizando sus componentes con el fin de reconstruir uno nuevo que realice el mismo trabajo sin copiar todos sus componentes [7], la Fig. 2 muestra el flujo del proceso desarrollado de la ingeniería inversa con respecto a la ingeniería directa.

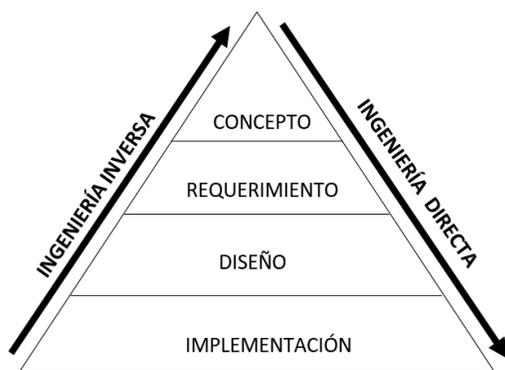


Fig. 2. Flujo de proceso aplicando ingeniería inversa.

La reingeniería es considerada como un rediseño radical del proceso mediante examinación, análisis y alteración de un sistema para reconstruirlo en una nueva forma corregida o mejorada [8] [9]. La Fig. 3 muestra el flujo de procesos aplicado a la reingeniería, donde se observa que se aplica una etapa de ingeniería inversa para estudiar el sistema y una segunda etapa de alteración para implementar un nuevo y mejorado sistema.

Para la integración de equipos en una plataforma virtual, que fue el propósito de este proyecto, se optó por un proceso de reingeniería. Dentro del proceso se aplicó técnicas de ingeniería inversa para encontrar los protocolos de comunicación de los equipos, de tal manera que se puedan integrar a una nueva plataforma virtual desarrollada con los nuevos requerimientos y de fácil adaptación a futuras aplicaciones.

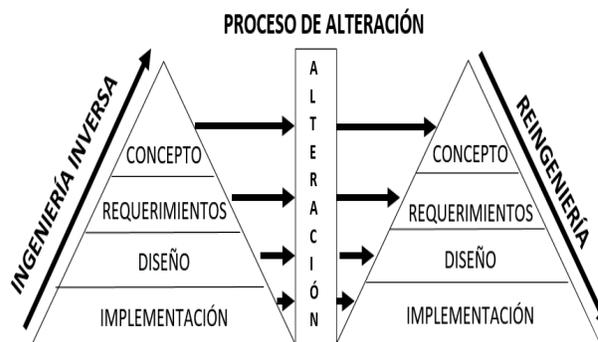


Fig. 3. Flujo de proceso aplicando reingeniería.

IV. INGENIERÍA INVERSA APLICADA PARA LA DECODIFICACIÓN DE LA COMUNICACIÓN DE EQUIPOS.

La integración de equipos en una plataforma virtual requiere fundamentalmente conocer los protocolos de comunicación de los instrumentos que componen el sistema. La metodología utilizada aplica técnicas de ingeniería inversa y está compuesta de tres fases fundamentales: Análisis de equipos, tráfico de datos y decodificación de tramas, que pueden relacionarse con las capas del modelo OSI.

El modelo OSI ayuda a comprender la acción que se produce durante la comunicación entre equipos dentro de un proceso [10]. Ubicar el sistema de comunicación actual en las diferentes capas del modelo OSI facilita el análisis de datos para la decodificación. Dependiendo de la complejidad del sistema pueden intervenir todas las capas o solo algunas de ellas.

Al analizar detalladamente los componentes de la Fig. 1 se pudo relacionar las fases de ingeniería inversa con el modelo OSI y ubicarlas dentro de la capa física, capa de enlace y capa de aplicación. En este estudio se consideró que la capa de sesión y de presentación están incluidas dentro de la capa de aplicación para un concepto más general.

A. Análisis de los equipos.

Es fundamental conocer el rol que cumple cada equipo en el sistema a ser integrado. Para cada instrumento se debe recopilar toda la información posible sobre sus características, modo de operación y conexión dentro del sistema, por ejemplo: principio de funcionamiento, variables registradas, presentación de valores, bus de comunicaciones y adquisición de datos entre otros. Conocer los equipos proporciona los primeros indicios para identificar las alternativas de decodificación.

La capa física es el punto de partida del análisis en el que se identifican las características de los equipos. Analizar los conectores, buses de datos, niveles de voltaje y características de la estación base constituye el primer paso al no poseer documentación suficiente para saber las características que presentan los equipos, con lo cual se puede llegar al conocimiento del protocolo de comunicación en la capa física sin la necesidad de la documentación por parte del fabricante.

B. Tráfico de datos.

El monitoreo del tráfico de datos permite observar en primera instancia los paquetes de información enviados entre equipos. Existen dos etapas importantes, la primera consiste en hallar las características de comunicación entre los equipos como: velocidad de transmisión y detalles de la trama de comunicación de acuerdo a la complejidad del protocolo que se encuentre implementado. Para la segunda etapa se realiza el análisis en la capa de aplicación, donde se encuentran los métodos de comunicación entre equipos, por ejemplo: ¿Quién y cómo inicia la comunicación?, ¿existe más de una llamada de petición? y la manera de finalizar la comunicación.

Para la observación del tráfico de datos se tienen dos alternativas, mediante hardware o mediante software. El primer caso consiste en medir los niveles de voltaje en el bus de comunicación con la ayuda de un osciloscopio, para obtener una trama de información y transformarla a una base numérica o en código ASCII según las preferencias del desarrollador. Esta alternativa posee una desventaja al conectar el osciloscopio al bus de comunicación debido a que se forma un circuito en paralelo que puede provocar pérdidas de corriente, efectos de diafonía, desacoplamiento de impedancias, que provoca alteración en los datos y fallas en la comunicación, que pueden conducir a una interpretación errónea. La otra alternativa es usando un software que permita monitorear un puerto serial de la computadora de manera no invasiva en la línea de comunicación. Existen varios programas de fácil uso desarrollados en plataformas abiertas que realizan esa tarea con un costo de inversión mínimo, permitiendo visualizar los datos en diferentes bases numéricas.

Para este trabajo se optó por la segunda opción, se usaron dos programas complementarios, el primero el programa VB6 que permite ver las características de velocidad y bits de paridad cada instante que se establece de comunicación entre el equipo y el ordenador. El segundo programa fue HDD Serial Port Monitor, que permite observar los datos intercambiados en cualquier base numérica que se elija y en código ASCII. De esta manera se obtienen las características del protocolo de comunicación y la forma de intercambiar información entre ellos.

La Fig. 4 muestra un ejemplo de los datos obtenidos mediante el programa VB6, al analizar el tráfico de datos entre el fotómetro y su aplicación correspondiente se pudo identificar la velocidad de transmisión y la paridad de la comunicación en cada instante.

En la Fig. 5 se muestra los datos intercambiados expresados en una base hexadecimal y su equivalente en código ASCII, tomados con el programa HDD Serial Port Monitor. Los datos en rojo corresponden a la petición de la aplicación hacia el equipo y los datos en azul a la respuesta del equipo hacia la aplicación.

Se recomienda iniciar el monitoreo del tráfico de datos antes de ejecutar la aplicación correspondiente al equipo con el que se comunica, debido a que existen instrumentos que pueden permanecer en un modo de ahorro de energía. Estos equipos requieren un aviso por parte de la aplicación, antes de visualizar su interfaz al usuario, para configurar sus componentes de manera apropiada y evitar que lleguen medidas erróneas.

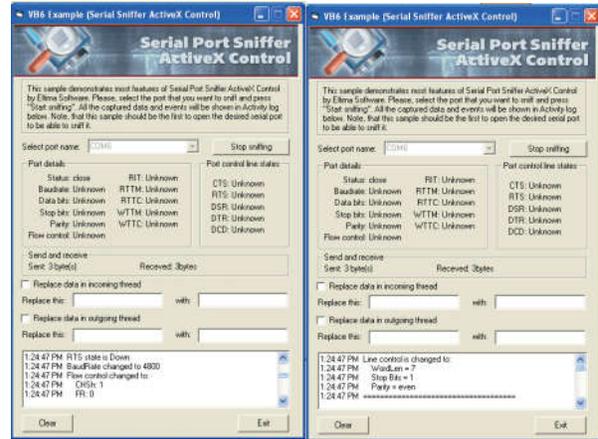


Fig. 4. Monitoreo de comunicaciones con VB6.

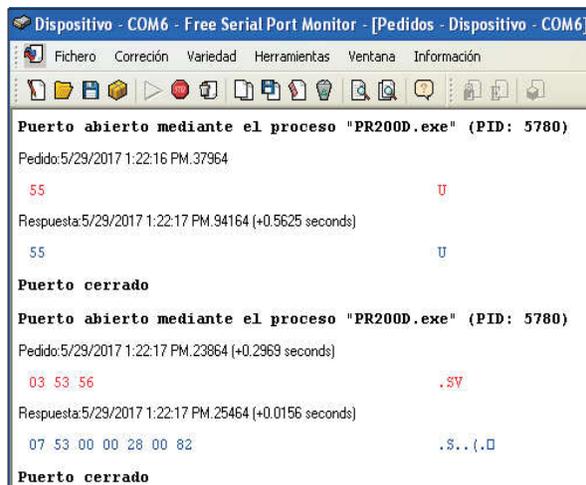


Fig. 5. Monitoreo de la comunicación con HDD Serial Port Monitor.

C. Decodificación de tramas.

Esta fase consiste en entrelazar los valores de las variables con los bits intercambiados en las comunicaciones, donde se debe determinar el tipo de base numérica en el que el valor de la variable ha sido codificado por el equipo y el método de decodificación que permita presentar el valor de la variable. Existen dos etapas dentro de esta fase, en la etapa inicial se aplicará un algoritmo desarrollado para encontrar los bits que llevan la información del valor de la variable y en la etapa final se deberá encontrar la base numérica con su respectivo método de decodificación.

El algoritmo desarrollado y aplicado en la fase inicial, analiza matrices de datos obtenidas en el monitoreo del tráfico de información, que se clasifican en dos grupos: matrices de petición y matrices de respuesta, denominadas con las letras P y R respectivamente. La Fig. 6 detalla el proceso para la obtención de las matrices de datos, definiendo a_m como el valor de la variable mostrada por la aplicación, $R(n,m)$ como la matriz de datos de petición de la aplicación, $R(n,m)$ como la matriz de datos de respuesta del equipo, m el número de lectura tomada y n el número de iteración correspondiente a una petición y su respuesta hasta finalizar la comunicación.

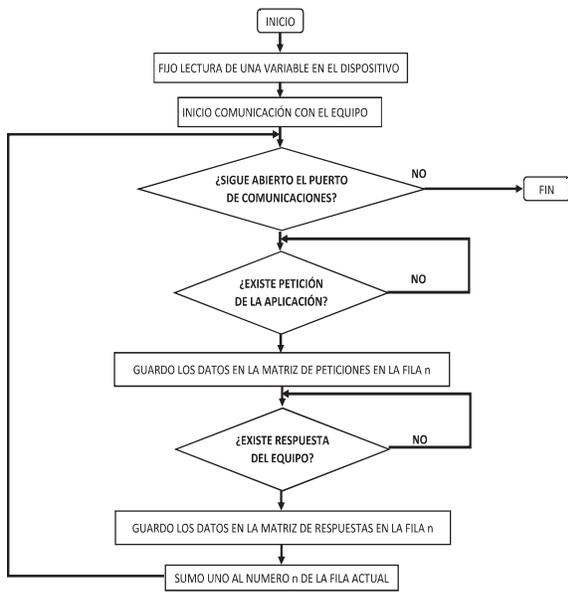


Fig. 6. Algoritmo de la obtención de las matrices de datos de petición y respuesta.

Obtenidas las m matrices y aplicando (1), donde X_m representa la matriz vinculada a las matrices P o R correspondiente a un valor de lectura, se observa que se cumple la igualdad solo si las matrices son tomadas para un mismo valor en instantes diferentes. Caso contrario no se cumple la igualdad lo cual significa un cambio en uno o varios paquetes de datos de las matrices. Al tomar lecturas de diferentes valores se observan fácilmente los paquetes de datos que difieren en cada lectura y aquellos que son semejantes.

$$X_1=X_2=X_3...= X_m \quad (1)$$

El conjunto de paquetes que no varían entre lecturas de valores diferentes se los considerarán datos constantes y se los denomina como datos invariantes, mientras que el conjunto de datos que varían son aquellos que llevan la información de un cambio en la lectura del proceso y se los nombra como datos variantes. Encontrar los datos variantes e invariantes da la posibilidad de reducir el número de información a analizar. La matriz que se debe someter a un análisis es la de datos variantes por ser los encargados de llevar la información de un cambio en el valor de lectura. La Fig. 7 muestra un paquete de datos de un número k de bytes relacionado con su respectiva lectura. Comparando lecturas distintas en rangos cercanos se encontrarán los bytes específicos que contienen el valor de la variable y que serán sometidos al análisis de decodificación. Se observa que el algoritmo utilizado se puede aplicar no solo para encontrar los datos variantes e invariantes, sino que reduciendo el rango entre lecturas se puede llegar a encontrar la relación entre uno o varios bytes que llevan la información codificada del valor de la variable.

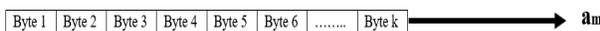


Fig. 7. Estructura paquete de datos relacionado con su valor de lectura.

La etapa final consiste en el análisis de los bytes codificados que contienen la información de la variable, lo cual involucra experiencia y habilidad para encontrar el lenguaje en que se debe trabajar y el método aplicado para la decodificación; esta etapa es crítica ya que demanda tiempo de manera proporcional a la complejidad del sistema de comunicación. Los métodos de decodificación pueden ser simples o muy complejos y puede llegar a tener un número alto de manipulación de los bytes codificados. Se debe considerar que la nueva aplicación deberá trabajar con bases numéricas distintas y con diferentes algoritmos de decodificación por cada equipo.

La Fig. 8 resume el método de ingeniería inversa propuesto, desarrollado y aplicado a la decodificación de la comunicación de un equipo electrónico, además de los objetivos que se deben cumplir en cada fase y la relación con las capas del modelo OSI.

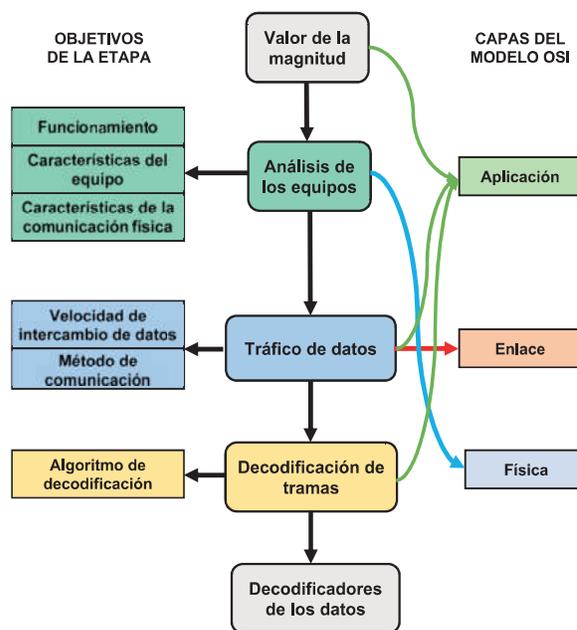


Fig. 8. Metodología para decodificación de la comunicación de un equipo electrónico.

V. REINGENIERÍA APLICADA AL DESARROLLO DE SOFTWARE

Entre las herramientas de desarrollo para la integración virtual de equipos se tiene varias alternativas, de las cuales el software LabVIEW es muy usado en el campo universitario, industrial y de investigación, por su facilidad de programación y versatilidad [11]. LabVIEW posee las características necesarias para crear librerías para el control y la comunicación con un dispositivo en particular mediante un protocolo serial. El desarrollo del software se lo realizó en tres fases diferentes.

La primera fase corresponde al diseño del panel frontal que involucra el entorno en el que trabajará el usuario. La interfaz gráfica posee seis pantallas que permiten observar la evolución de las variables en línea, una pantalla para ver el espectro de la lámpara y una última pantalla con la posibilidad de graficar una o más variables en escalas diferentes, para analizar sus comportamientos. Los datos visualizados en las

pantallas corresponden a las lecturas periódicas de los instrumentos integrados para la medición de variables fotométricas y eléctricas, donde el tiempo entre cada una de las lecturas será variable dependiendo de las necesidades de análisis. El tiempo de muestreo mínimo del sistema en conjunto es de 6 ms debido principalmente al tipo de protocolo de petición y respuesta de cada uno de los equipos.

La segunda fase corresponde a la creación de las librerías de control, donde se configuran las características de comunicación de cada equipo y el método de decodificación de la trama de datos para entregar el valor de lectura de manera decimal. Las librerías de control son programadas de manera secuencial dentro del mismo software de LabVIEW, donde cada una de las librerías contiene el protocolo de comunicación con los equipos. En la Fig. 9 se muestra un ejemplo el uso de una estructura secuencial para poder realizar las tareas de comunicación y su respectiva decodificación programada dentro del mismo entorno de LabVIEW.

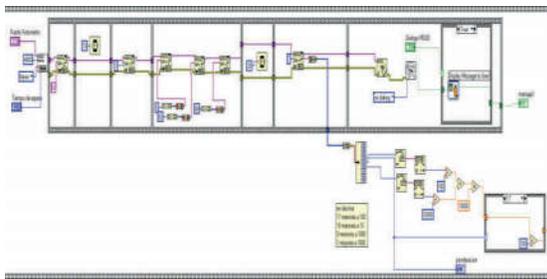


Fig. 9. Aplicación de una estructura secuencial para la comunicación con los equipos fotométricos y eléctricos.

En la Fig.10. se observa el icono del subVI correspondiente al ejemplo de la Fig. 9, donde las librerías que gestionan la comunicación de los tres equipos conectados tienen la misma estructura. En la parte izquierda se encuentran los pines de conexión de las variables de entrada de las librerías, que corresponden a el nombre del puerto de comunicación serial, el tiempo de espera para establecer la comunicación y una entrada booleana para la notificación de fallas en la comunicación. En la parte derecha están disponibles los parámetros de salida correspondientes a una variable booleana que indica el estado de la comunicación y una salida tipo numérica que indica el valor de la medición realizada por el equipo, el número de variables depende del número magnitudes que mide cada equipo.

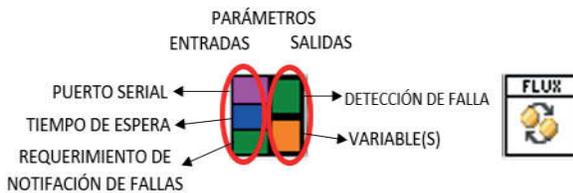


Fig. 10. Estructura de los parámetros de entrada y salida de las librerías de comunicación de los dispositivos.

La tercera fase corresponde a la programación del software donde se enlazan las funciones de las librerías creadas para cada dispositivo cumpliendo con los requerimientos de un

monitoreo en línea. En la Fig. 11 se observa el pseudocódigo de la aplicación desarrollada en LabVIEW.

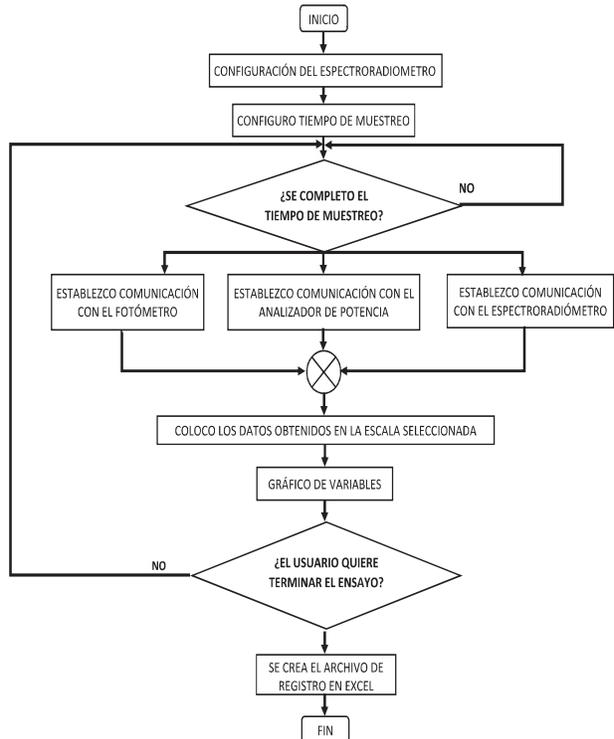


Fig. 11. Funcionamiento de la aplicación programada desarrollada.

El programa inicializa los equipos que necesitan una configuración previa, luego activa el reloj de sincronización para muestreo de variables. La comunicación con los instrumentos y el procesamiento de datos se realiza al mismo instante mediante estructuras paralelas, que ejecutan flujos de programación simultáneos, lo cual es posible solo en ordenadores con más de un núcleo de procesamiento. Los datos procesados se grafican en siete pantallas. Mediante la implementación de estructuras tipo Case se puede elegir múltiples variables para ser mostradas en una misma gráfica en la cual se puede cambiar la escala para una apreciación óptima y analizar la correlación entre variables. Al finalizar la ejecución de la aplicación se despliega un cuadro de dialogo para guardar el registro de las variables en un archivo de Excel.

VI. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados mostrados a continuación presentan las características de los protocolos de comunicación en la capa física, los algoritmos de decodificación de la información para cada instrumento al aplicar ingeniería inversa en las comunicaciones de los equipos y el desarrollo de un nuevo software que permita incorporar los equipos dentro de una sola aplicación, adicionando aspectos para un monitoreo en tiempo real y la creación de un registro de las variables para su estudio posterior.

A. Características de las comunicaciones de los equipos eléctricos y fotométricos.

Dentro de la fase de análisis de los instrumentos se observó que los equipos tienen un conector DB9 para comunicación, lo que permite suponer que se cuenta con una interfaz RS232, RS485 o RS422, teniendo en cuenta que la estación base donde se concentran todos los equipos debe poseer las características necesarias para poder entablar en los mismos niveles físicos la comunicación y verificando las características de la estación base se concluye que el interfaz de comunicación es de tipo serial RS232 para el fotómetro y el analizador de potencia. Para el espectroradiómetro su interfaz de comunicación es RS485 que utiliza un conversor comercial para pasarlo a RS232. Con los resultados obtenidos en el monitoreo de flujo de tráfico con el programa VB6 se pudieron definir las características de las interfaces de comunicación para los instrumentos. En la Tabla I se muestran las características de las interfaces de comunicación que poseen los equipos fotométricos y eléctricos.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE COMUNICACIÓN DE LOS EQUIPOS

	Fotómetro	Analizador de Potencia	Espectroradiómetro
Interfaz	RS232	RS232	RS485
Conversor	No	No	Si
Conector	DB9	DB9	DB9
Velocidad	4800 Bd	9600 Bd	115200 Bd
Bits de datos	8	8	8
Bits de parada	1	1	1
Paridad	Ninguna	Ninguna	Ninguna

En la Tabla II se muestra la cuantificación de los datos obtenidos en el proceso de comunicación entre los equipos y sus respectivas aplicaciones mediante el monitoreo y el análisis de los datos usando la aplicación HDD Serial Port Monitor. En la segunda y tercera fila se establece el número de peticiones que realiza la aplicación hacia el equipo y la cantidad total de bytes intercambiados respectivamente. En la cuarta y quinta fila se muestra el número de tramas enviadas del equipo hacia la aplicación y la cantidad total de bytes intercambiados. En la última fila se identifica si la comunicación requiere de un inicio para la configuración de los equipos. En el caso particular del espectroradiómetro las peticiones y respuestas totales del equipo son dos, el número restante corresponde a la comunicación inicial para configurar los componentes del equipo para su funcionamiento.

Al analizar los bytes codificados se obtuvo como resultado la base numérica en la que debe trabajar cada equipo y su método de decodificación. La Tabla III muestra el tipo de base numérica de cada equipo para aplicar el método de decodificación; cada equipo codifica sus datos en una base numérica diferente

TABLA II
CUANTIFICACIÓN DE DATOS EN EL PROCESO DE COMUNICACIÓN

	Fotómetro	Analizador de Potencia	Espectroradiómetro
Total de peticiones	2	1	26
Bytes de peticiones	4	121	42
Total de respuestas	2	1	26
Bytes de respuestas	8	32	2160
Configuración	No	No	Si al iniciar

TABLA III
BASE NUMÉRICA PARA DECODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Equipo	Base Numérica
Fotómetro	Base Hexadecimal
Analizador de potencia	Código ASCII extendido
Espectroradiómetro	Base Decimal

B. Algoritmos de decodificación

Para el fotómetro se presenta en la Fig. 12 la estructura del paquete de datos que contiene la información del valor de la variable de flujo en base hexadecimal. El paquete específico es la segunda trama de respuesta del equipo hacia la aplicación que posee una cabecera formada por tres bytes, tres bytes que conforman el valor de la variable y un byte considerado como fin de la trama.

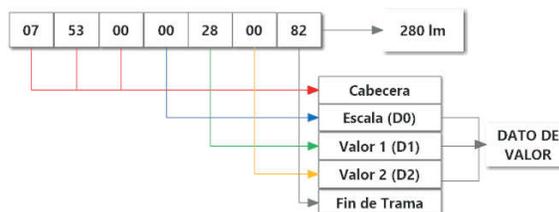


Fig. 12. Estructura de la trama de comunicación que contiene el dato de valor del fotómetro.

En la Fig. 13 se muestra el algoritmo aplicado para la decodificación del dato de valor, donde se observa que el byte denominado D0 es el encargado de llevar la información de la escala en la que se encuentra el valor de flujo luminoso, D1 y D2 en base hexadecimal muestran los 4 dígitos del valor de flujo luminoso que se encuentra en un formato decimal. Por lo que se ve conveniente primero transformar a base hexadecimal y transformarlo en un formato ASCII que nuevamente se puede transformar a formato decimal sin realizar un cambio de base y manteniendo los valores en hexadecimal. Dividiendo D1 y D2 por los valores mostrados en la Fig. 13 y sumándolos se pueden concatenar los dígitos para formar el valor visualizado en el dispositivo que finalmente se multiplica por un factor constante para tenerlo en la escala correcta.

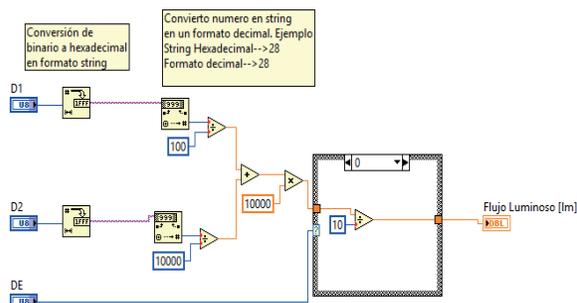


Fig. 13. Algoritmo de decodificación aplicado el dato de valor del fotómetro.

El byte codificado que contiene la información de la variable del analizador de potencia se encuentra en la única respuesta que da el equipo hacia la aplicación, como se muestra en la Fig. 14. Las variables de voltaje, corriente y potencia en notación científica son enviados al mismo tiempo

en un formato ASCII y delimitados por una coma entre cada variable, llamada delimitador.



Fig. 14. Trama de comunicación para el analizador de potencia.

En la Fig. 15 se muestra la aplicación del algoritmo que se basa en el escaneo de los delimitadores para separar los bytes codificados que corresponden a los valores de las variables que corresponden al voltaje, la corriente y la potencia.

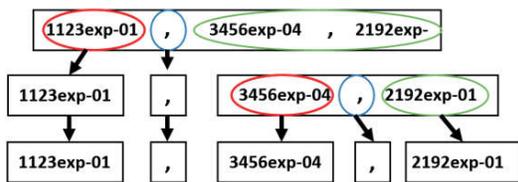


Fig. 15. Algoritmo de decodificación para el analizador de potencia aplicado a la trama que contiene la información de la variable.

El espectroradiómetro es un caso particular en el cual además de seguir el método de ingeniería inversa se recurrió a la documentación sobre su funcionamiento, documentos de calibración que crea su aplicación original y un análisis del código fuente de su aplicación. Con la ayuda de un software que permite colocar cualquier archivo de aplicación o extensión .dll a un código en lenguaje ensamblador, se puede entender las acciones básicas que realiza el programa y tener los primeros indicios sobre su comunicación. Los datos enviados por espectroradiómetro al equipo son los datos correspondientes al convertor análogo digital de 16 bits que tiene incorporado el equipo y que se encuentran en el segundo paquete de respuestas. La estructura de la trama se muestra en la Fig. 16, donde n toma el valor de ocho.

En la Fig. 16 se observa que los bytes a partir del octavo puesto y que se encuentran en una posición par, corresponden a las variables del ADC del corrector lineal con filtro variable y la cabeza fotométrica. Los bytes con posición impar son el valor de lectura del sensor CCD mostrado en la Fig. 17. El valor del ADC correspondiente al sensor CCD puede ser normalizado pudiéndose obtener el espectro con una escala de amplitud de 0 al 1 con una precisión de un nanómetro.

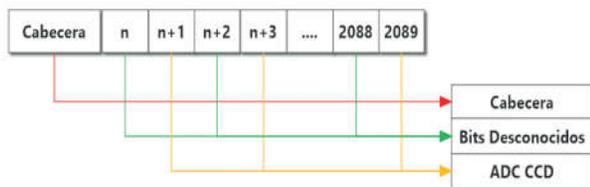


Fig. 16. Estructura de la trama del espectroradiómetro que contiene el dato de valor.

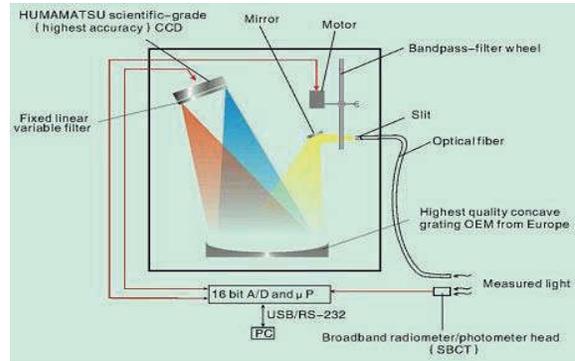


Fig. 17. Componentes de diseño del espectroradiómetro [12].

C. Software desarrollado.

El software desarrollado en LabVIEW integra los equipos existentes en el laboratorio y los datos obtenidos por el software son exportados a un archivo de Excel para el análisis posterior por parte del usuario. En la Fig. 18 se puede observar las dos pantallas principales durante el ensayo de una lámpara incandescente, donde en la pantalla de la izquierda se observa el comportamiento del flujo luminoso, la corriente consumida por la lámpara y la eficacia luminosa de la lámpara con diferentes escalas pudiendo mostrar que las tres variables tienen un comportamiento críticamente amortiguado hasta llegar a su estabilización. La pantalla de la derecha muestra el espectro visible normalizado de la lámpara incandescente en el cual se puede notar que tiene una forma lineal por ser una lámpara patrón.



Fig. 18. Pantallas principales del software desarrollado.

La Fig. 19 muestra el comportamiento individual de las seis variables implicadas en el ensayo de flujo luminoso: En la parte superior se observa el flujo luminoso, voltaje, corriente y en la parte inferior se observa la potencia, el factor de potencia y la eficacia luminosa de la lámpara. Se puede observar nuevamente que al ser una carga resistiva por ser una lámpara incandescente se tiene un factor de potencia unitario y tanto su variables fotométricas y eléctricas presentan el mismo comportamiento críticamente amortiguado hasta su respectiva estabilización.

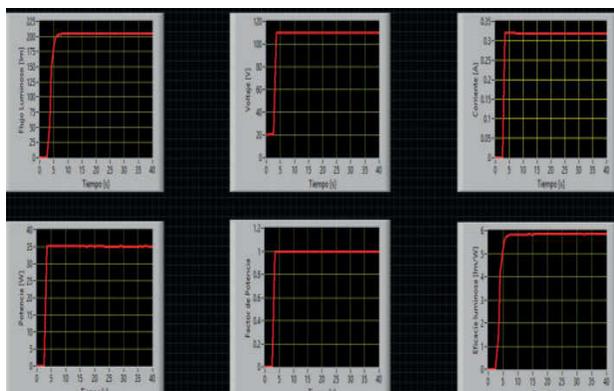


Fig. 19. Pantallas de los comportamientos individuales de las variables fotométricas y eléctricas durante el ensayo de una lámpara incandescente.

En la Fig. 20 se muestra el registro creado en Excel de las variables fotométricas y eléctricas creados por el software una vez acabado el ensayo de flujo luminoso de la lámpara incandescente que podrán ser usados por el investigador para su respectivo trabajo.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Tiempo	Flujo [lm]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Factor de Pot.	Eficiencia[lm/W]
2	0	0	19.91	0	0	0	0
3	0.5	0	20.18	0	0	0	0
4	1.5	0	20.41	0	0	0	0
5	2	0	20.48	0	0	0	0
6	2.5	0	20.57	0	0	0	0
7	3.5	56.1	110	0.321	35.29	1	1.59
8	4	146.7	110	0.32	35.17	1	4.171
9	5	182.3	109.99	0.32	35.14	1	5.188
10	5.5	195.9	109.99	0.32	35.14	1	5.575
11	6	201.1	110	0.32	35.14	1	5.723
12	7	203.2	109.99	0.32	35.14	1	5.783
13	7.5	204.1	109.99	0.319	35.13	1	5.81
14	8	204.5	110	0.319	35.13	1	5.821
15	9	204.8	110	0.319	35.13	1	5.83
16	9.5	204.8	110	0.319	35.13	1	5.83
17	10.5	204.9	110	0.319	35.13	1	5.833
18	11	204.9	110	0.319	35.12	1	5.834
19	11.5	204.9	110	0.319	35.13	1	5.833
20	12.5	204.9	110.01	0.319	35.13	1	5.833
21	13	205.1	110.01	0.319	35.13	1	5.838
22	14	205.2	110.01	0.319	35.12	1	5.849
23	14.5	205.1	110.02	0.319	35.13	1	5.838

Fig. 20. Comportamiento del flujo luminoso con respecto al tiempo.

VII. CONCLUSIONES

Al aplicar técnicas de ingeniería inversa y el uso de herramientas informáticas básicas de hacking, se obtuvo los protocolos de comunicación de los equipos eléctricos y fotométricos que se utilizan para realizar ensayos de flujo luminoso y mediante reingeniería se desarrolló un nuevo sistema de medición adaptado a las necesidades actuales del Laboratorio de Luminotécnica del INER con una inversión mínima de capital.

La facilidad que se tiene en LabVIEW para asignar procesos a cada núcleo del ordenador y correr flujos de

programación al mismo instante, permitió obtener como resultado del proceso de reingeniería un software capaz de integrar las mediciones de todos los equipos en una sola interfaz, realizar el monitoreo de todas las variables, crear registros apropiados para el análisis de la información y desarrollar experimentos para investigación dentro de la esfera integradora, en una plataforma intuitiva y fácil de usar.

Se pone a consideración que la aplicación de estos métodos requiere de largos periodos de tiempo dependiendo de la complejidad del sistema. Por este motivo en la industria se opta por un reemplazo completo de los sistemas con una inversión mucho más elevada, pero de rápida adquisición e implementación.

La ingeniería inversa puede desarrollarse como parte del sistema de mantenimiento, con el propósito de documentar los componentes y su funcionamiento dentro del sistema, que faciliten realizar acciones preventivas o correctivas tanto en el hardware como en software, permitiendo un desarrollo y mejora continua de los procesos sin la necesidad del cambio de instrumentación.

La metodología desarrollada e implementada pretende ser una guía y punto de partida para futuros trabajos que requieran usar técnicas de ingeniería inversa en la etapa de software, sistemas de comunicaciones de instrumentos y en el desarrollo de equipos tecnológicos partiendo de la adquisición legal de tecnología importada.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Laboratorio de Luminotecnica del Instituto Nacional del Eficiencia Energética y Energías Renovables que tuvo la apertura para realizar este proyecto en los equipos dedicados para ensayos de flujo luminoso.

IX. REFERENCIAS

- [1] El Comercio, «Ecuador Ocupa el puesto 89 en el índice de Desarrollo Humano del PNUD,» 21 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/pnud-ecuador-pobreza-desarrollo-americalatina.html>.
- [2] Illuminating Engineering Society of North America, IESNA Approved Method for Total Luminous Flux Measurement of Lamps Using an Integrating Sphere Photometer.
- [3] N. Trujillo Castillo, «Prototipo de Medido de Flujo Luminoso Basado en Esfera Integradora de Ulbricht,» Mendoza, 2015.
- [4] LabSphere, «LabSphere Master The Light,» [En línea]. Available: <https://www.labsphere.com/site/assets/files/2551/a-guide-to-integrating-sphere-theory-and-applications.pdf>.
- [5] Illuminating Engineering Society of North America, Lighting Handbook Tenth Edition. Reference and Application, Décima ed., New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- [6] M. Hammer y J. Champy, Reengineering the Corporation, Third ed., Nicholas Brealey Publishing Ltd, 2001.
- [7] L. H. Rosemberg y L. E. Hyatt, «Hybrid Re-Engineering,» de *Software Technology Conference*, Utah, 2006.
- [8] UNICEN, «Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad del Centro de la provincia de Buenos Aires,» Rigotti, G., [En línea]. Available: <http://www.exa.unicen.edu.ar/caedras/comdat1/material/ElmodeloOSI.pdf>. [Último acceso: 25 Mayo 2017].
- [9] R. Correia, M. El-Ramly, G. Koutsoukos y L. Andrade, «Amazon S3,» [En línea]. Available: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40861709/CS-06-014.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1495835362&Signature=MbaggAT233EmSNdQ5Kw2RWUoid4U%3D&response-content->

disposition=inline%3B%20filename%3DSoftware_Reengineering_at_the_Archite. [Último acceso: 2017 Mayo 26].

- [10] R. Warden, *Software Reuse and Reverse Engineering in Practice*, Londres: Chapman & Hall, 1992.
- [11] S. Lou, «Compact fluorescent lamp adapter measurement with integrated system of virtual instrumentation.» de *Industry Applications Society Annual Meeting*, Canada, 1993 .
- [12] Everfine, «Everfine.» [En línea]. Available: <http://www.everfine.net/productinfo.php?pid=73&clid=7>.

X. BIOGRAFÍAS



Ronny De La Bastida, nació en Quito-Ecuador el 26 de marzo de 1992. Cursó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico Experimental Salesiano Don Bosco de la Kennedy. Egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional. Está vinculado a la Línea de Investigación de Alumbrado Público del

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables en calidad de tesista.

Áreas de interés: Instrumentación electrónica, instrumentación biomédica, energías renovables, desarrollo de software, sistemas de control, automatización y control industrial.



Ricardo Araguillín, es Responsable de Calidad en el Laboratorio de Luminotecnia del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Realizó sus estudios de pregrado en la Escuela Politécnica Nacional donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Control. Adicionalmente realizó

estudios superiores en la Universidad Camilo José Cela de Madrid donde obtuvo el título de Master en Gestión de la Calidad. Sus áreas de interés incluyen ensayos eléctricos, sistemas de gestión de la calidad, energías renovables y luminotecnia.



Nelson Sotomayor, nació en Quito-Ecuador el 9 de septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006 en la Escuela Politécnica Nacional. En septiembre del 2008

como becario del Gobierno de México y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), participó en el IV Curso Internacional de Robótica Aplicada, en el Centro Nacional de Actualización Docente CNAD ubicado en México DF. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional y es Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control.

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial.