

Proceso Automático de Conmutación de un Intercambiador de Calor para Evitar la Contaminación del Agua y la Parada Forzosa de la Unidad Generadora

Frank Gutiérrez, Ricardo Ávila, Diego Sendoya
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Fecha de Recepción: 18/05/15 – Fecha de Aceptación: 29/08/15

Resumen

En el presente trabajo se presenta la solución a un problema encontrado en el proceso de generación de energía eléctrica es presentado. Un fallo en el intercambiador de calor principal ocasiona la contaminación del río porque se evacúan grandes volúmenes de agua mezclada con el aceite de lubricación. La solución planteada utiliza sensores de agua y de nivel, así como de hardware y software proporcionados por la empresa National Instruments para automatizar el proceso de conmutación del intercambiador de calor y de esta manera evitar la contaminación del agua y la parada forzosa de la unidad generadora.

Palabras Clave: Adquisición de datos (DAQ), emulsión, generador hidráulico, intercambiador de calor, sensor de agua, sensor de nivel, válvula motorizada.

Abstract

In this paper the solution to a problem found in the electric energy generation process is presented. A failure in the primary heat exchanger causes contamination of the river because large volumes of water mixed with lubricating oil are evacuated. The proposed solution uses water and level sensors, as well as hardware and software provided by National Instruments to automate the process of switching for the heat exchanger and thus to prevent contamination of water and forced shutdown of the generating unit.

Keywords: Data Acquisition (DAQ), emulsion, hydraulic generator, heat exchanger, water sensor, level sensor, motorized valve.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria de generación de energía eléctrica se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, para convertir alguna clase de energía (química, mecánica, térmica, etc.) en energía eléctrica. En una central hidroeléctrica se aprovecha la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural para mover una turbina hidráulica, la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

El movimiento rotacional casi permanente de las máquinas hace necesario la utilización de un aceite que permita la lubricación de las mismas. Durante su operación, el aceite eleva su temperatura haciendo necesario la utilización de un sistema de enfriamiento para que se mantenga a una temperatura normal de servicio y así pueda funcionar eficientemente.

El proceso de sistema de enfriamiento está constituido por intercambiadores de calor, los cuales necesitan gran cantidad de agua para el enfriamiento del aceite, proveniente de la misma hidroeléctrica. Uno de los riesgos contaminantes más constantes son los aceites lubricantes, debido a que en caso de una contingencia, estos van directamente descargados a las aguas del río y por su composición son altamente nocivos. Por lo tanto es necesario empezar a trabajar en el cuidado del agua que regresa a su cauce una vez es utilizada.

Al existir fugas de agua y al mezclarse con el aceite se genera la emulsión, lo cual es la mezcla líquida heterogénea de dos o más líquidos que no se disuelven entre sí en un alto grado de turbulencia, modificando la tensión superficial de las gotas para impedir la coalescencia (unión de dos materiales en un solo cuerpo). La contaminación del agua con el aceite en gran proporción origina daños ambientales debido a la contaminación del agua del río. Además, se generan pérdidas económicas en la central debido a que la unidad generadora se declara indisponible.

El presente trabajo muestra la manera como se pueden emplear herramientas de hardware y software proporcionadas tanto por la empresa National Instruments, como por otros proveedores de instrumentación industrial para automatizar el proceso de conmutación del intercambiador de calor, evitando la contaminación del agua y la parada forzosa de la unidad generadora. Esta propuesta es amigable con el medio ambiente y con ella se ratifica el interés por cuidarlo, con el diseño de un proceso eco eficiente.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En esta propuesta se analiza el proceso con un generador hidráulico de energía eléctrica de eje vertical, asíncrono de 180 Mega Vatios de generación, empezando con la utilización de agua de un embalse que es llevada por el túnel de conducción con caída para el movimiento rotacional de la turbina con velocidad constante, el total de caudal turbinado con la unidad en potencia máxima es de $293 \text{ m}^3/\text{seg.}$, el agua utilizada en este proceso es devuelta nuevamente aguas abajo. En la parte superior de la turbina se encuentra ubicado el generador eléctrico en el cual es excitado el bobinado del inductor con tensión eléctrica continua y en el bobinado del inducido se genera una tensión eléctrica alterna producto del campo electromagnético, la cual es conducida mediante ducto de barras hacia los transformadores principales, enviada a la subestación hacia los autotransformadores y distribuida en las diferentes líneas de transmisión eléctrica.

El generador hidráulico de energía eléctrica consta de tres cojinetes sumergidos en aceite cuya función es mantener el eje de la unidad generadora que gira a una velocidad constante de forma vertical, adicionalmente soportar los esfuerzos que se originan en el eje. Los tres cojinetes se denominan: cojinete de guía eje superior, cojinete soporte de empuje y cojinete de guía eje inferior como se muestra en la Figura 1, cuyo lubricante utilizado es el Texaco Regal Oil R&O68, su viscosidad es tipo 5.5 °Engels. Dado que el aceite se ve sometido a presiones, necesita tener una temperatura normal de servicio (36°C a 44°C) para funcionar eficientemente. La cantidad de aceite en cada una de las cubas de los tres cojinetes es: 730 litros en la cuba del cojinete de guía eje superior, 900 litros en la del cojinete guía eje inferior y 13000 litros en la del cojinete de soporte de empuje. Para mantener la temperatura óptima de servicio del lubricante, éste se extrae de la cuba y se hace circular por un sistema de tubería hacia un intercambiador de calor - uno por cada sistema de cojinete - y finalmente es devuelto a la cuba mediante una bomba de servicio.

El sistema de enfriamiento del aceite consta de un intercambiador de calor principal en servicio y un intercambiador de calor de reserva disponible para cada uno de los sistemas de cojinete.

Cada intercambiador de calor (ver Figura 2) consta de válvulas manuales para:

- Aspiración agua enfriamiento.
- Descarga agua enfriamiento.
- Aspiración aceite lubricante.
- Descarga aceite lubricante.

En cada cuba de aceite existe un indicador de nivel (ver Figura 3), el cual al llegar al umbral máximo, debido a fugas del agua en el intercambiador principal, activa una alarma en el tablero de control informando al operador de la contaminación del agua/aceite, sin darle tiempo alguno de poder conmutar los intercambiadores de calor.

Figura. 1. Alineación del eje generador por tres cojinetes guías de eje y sus respectivas cubas de aceite.

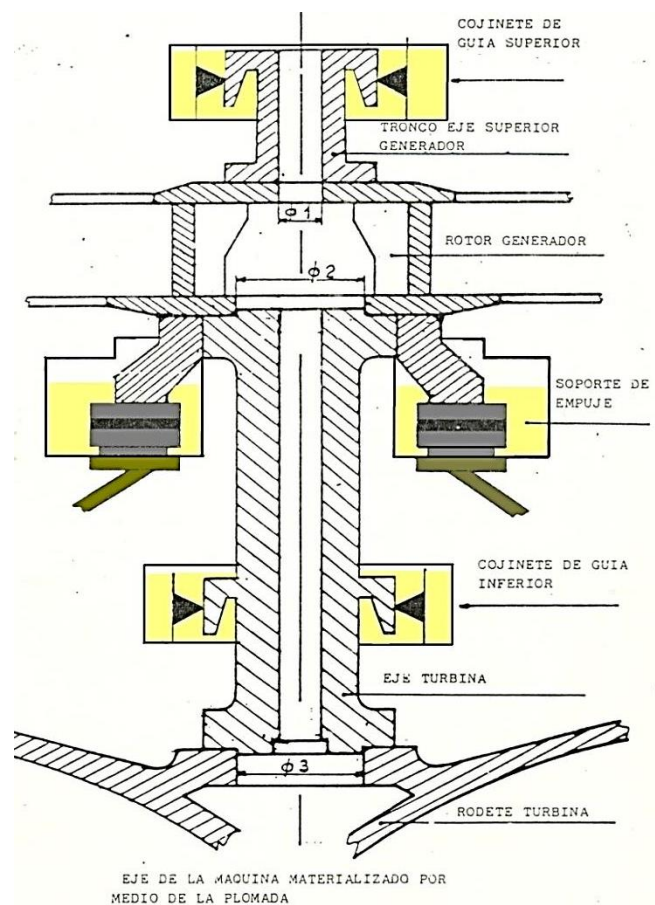


Figura 2. **A.** Intercambiador de calor principal. **B.** Intercambiador de calor de reserva. **C.** Válvulas manuales aspiración agua enfriamiento. **D.** Válvulas manuales descarga agua enfriamiento. **E.** Válvulas manuales aspiración aceite lubricante. **F.** Válvulas manuales descarga aceite lubricante.

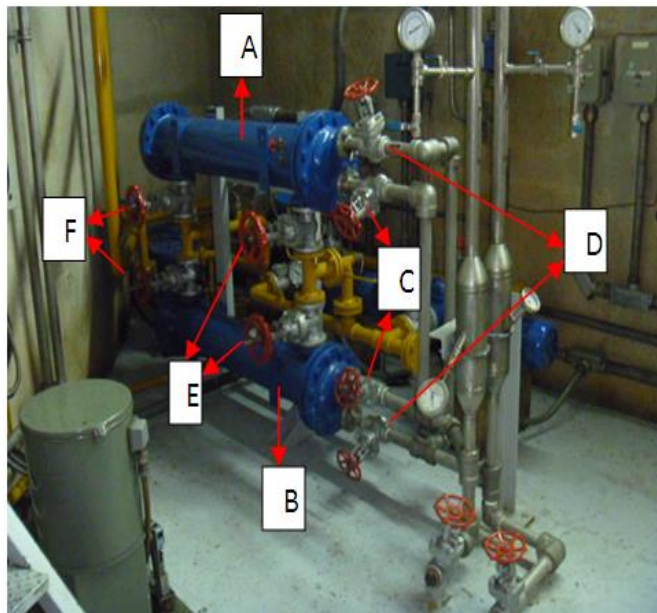


Figura 3. Indicador de nivel en la cuba del cojinete guía.



III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

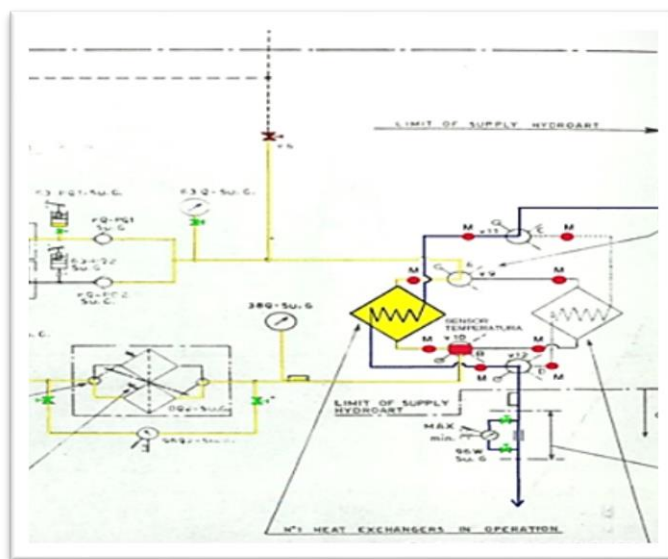
Durante el proceso de enfriamiento del aceite en el intercambiador de calor principal se pueden presentar fugas en los ductos de agua en su parte interna generando así la

contaminación de agua/aceite. Esto conduce a la posterior disminución de la viscosidad del fluido lubricante debido al daño del mismo intercambiador.

Si se presenta un daño o mal funcionamiento del sensor de nivel, de manera que no se detecta el umbral máximo, entonces la contaminación del agua/aceite será detectada visualmente cuando el operador lo perciba durante la ronda de supervisión de equipos por el color cremoso que genera la emulsión del fluido en la cuba y aumento de temperatura en la instrumentación local. En esta situación, se presenta una mayor contaminación del agua y se genera un daño irreparable del sistema cojinete afectado del generador hidráulico, debido al aumento de la temperatura de los metales en fricción.

Al producirse la contaminación del agua/aceite en gran proporción se declara la unidad generadora indisponible, interviniendo el personal de mantenimiento para la extracción total de la emulsión de los dos líquidos, limpieza de residuos en la cuba, purificación del aceite en la planta de tratamiento de aceite donde se realizará la separación del agua/aceite y residuos sólidos, adicionalmente es llenada la cuba con el aceite tratado, este mantenimiento correctivo es realizado en un lapso de tiempo de 120 horas y los costos que deja de recibir la central dependiendo de la época del año, de los aportes agua al embalse, nivel del embalse y el precio del Megavatio/Hora oscila entre 2000 a 5000 dólares US en una hora. Adicionalmente el daño ambiental por la contaminación del agua-aceite que se produce aguas abajo del río es considerable.

Figura 4. Cambios a nivel hardware en el diagrama de circuito (en rojo)



IV. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

A. Descripción del Hardware Empleado

En el diagrama de la Figura 4, se muestra en color rojo los cambios que se proponen para el sistema de enfriamiento, los cuales consisten en la inclusión de ocho válvulas motorizadas de aspiración de agua/aceite y descarga de agua/aceite para los dos intercambiadores de calor; además de añadir un sensor de presencia de agua a la salida del aceite y un sensor de nivel en la cuba. Hay que aclarar que en dicha figura donde se ubica el sensor de temperatura realmente iría el sensor de agua.

Cada sistema de enfriamiento en sus dos intercambiadores de calor, se propone la instalación de válvulas motorizadas para:

- Aspiración agua enfriamiento (2 válvulas),
- Descarga agua enfriamiento (2 válvulas),
- Aspiración aceite lubricante (2 válvulas),
- Descarga aceite lubricante (2 válvulas).

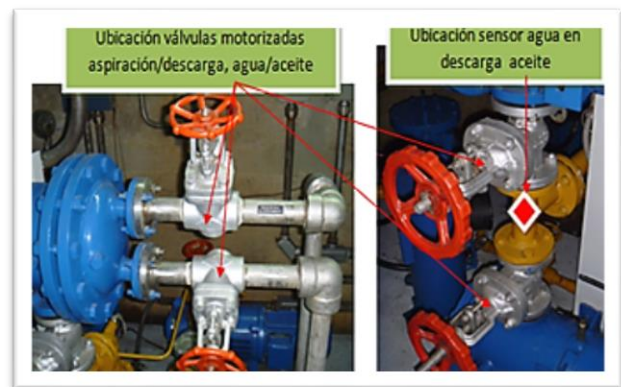
En total se necesitan ocho válvulas motorizadas de bola [1] las cuales responderán a las órdenes del sistema de control a través de los motores eléctricos abriendo o cerrando el obturador.

También cuenta con un sensor de porcentaje de saturación de agua de referencia WS10 [2] (ver Figura 5), el cual detecta el nivel de agua diluida en el aceite en un porcentaje de 0 a 100%, igualmente mide la temperatura del aceite en un rango de 0 a 100 °C. Sus dos salidas (% saturación y temperatura) son de 4 a 20 mA lineales en rampa ascendente, las cuales se conectan a una tarjeta convertidora de corriente-voltaje con el fin de obtener un rango de 2 a 10 V para su posterior procesamiento. En la cuba de aceite se debe instalar un sensor de nivel ultrasónico modelo UB800-18GM40A [3] cuyo rango de entrada es de 5 a 70 cm y su salida es de 0 a 10 V lineales en rampa ascendente. Otro elemento importante es la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) de National Instruments de referencia NI USB 6008 [4], la cual recibe los voltajes lineales de la tarjeta convertidora de corriente-voltaje y del sensor de nivel de cuba. La salida de la DAQ debe manejar señales discretas (todo o nada) para el control de las válvulas motorizadas, el generador y los indicadores luminosos y sonoros. Esta tarjeta se conecta al PC ubicado en sala de control para la visualización y control del sistema a través del puerto USB. Por último también se instalará un bombillo de neón de 110 VAC para la alarma visual y una bocina tipo corneta que trabaja 110 VAC para la alarma sonora en el tablero local instrumentación unidad.

Figura 5. Sensor de agua Pall WS10 [2].



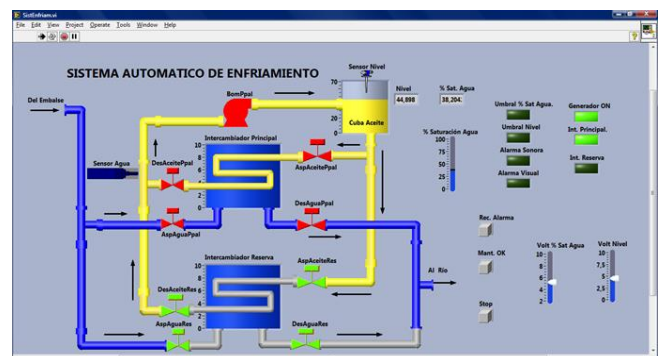
Figura 6. Ubicación de las válvulas motorizadas y sensor de agua.



En la Figura 6 se observa con más detalle el sitio exacto donde podrían ubicarse las válvulas motorizadas y el sensor de agua en los intercambiadores de calor.

B. Descripción del Software

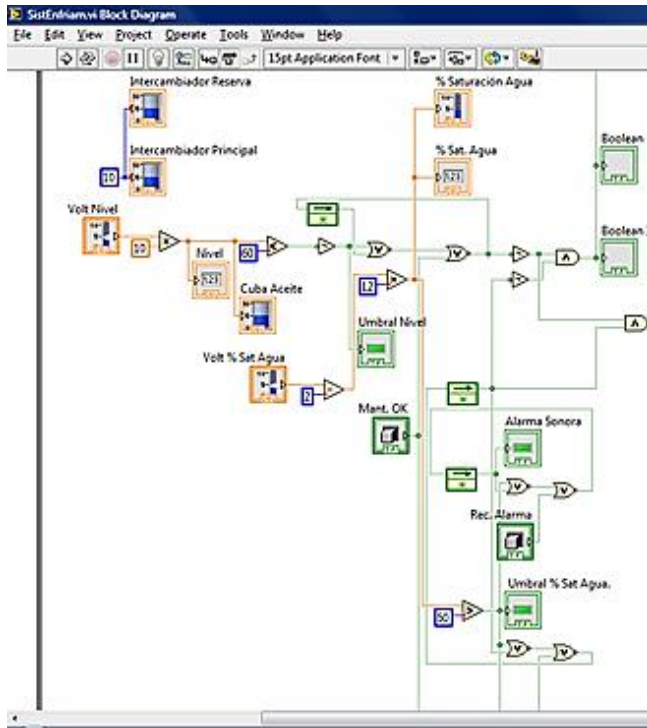
Figura 7. Imagen del panel frontal de LabVIEW [5].



El software para desarrollar el automatismo es LabVIEW 2010 de National Instruments [5], el cual tiene las funciones de interfaz con el usuario (HMI) y control supervisorio a través de su panel frontal (ver Figura 7), además posee una interfaz de programación a través del diagrama de bloques,

mostrado en la Figura 8, la cual permite implementar el algoritmo de control realizado en el nuevo lenguaje G.

Figura 8. Imagen de parte del diagrama de bloques de LabVIEW [5].



Adicionalmente se debe utilizar un driver para la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) el cual es NIDAQmx9.3.0 también de National Instruments [5], éste es la interface entre la DAQ y Labview [6-8] para poder visualizar las señales de porcentaje de saturación de agua y nivel, provenientes de sus respectivos sensores y transductores y además de exportar las señales de control hacia las válvulas, generador e indicadores de alarma.

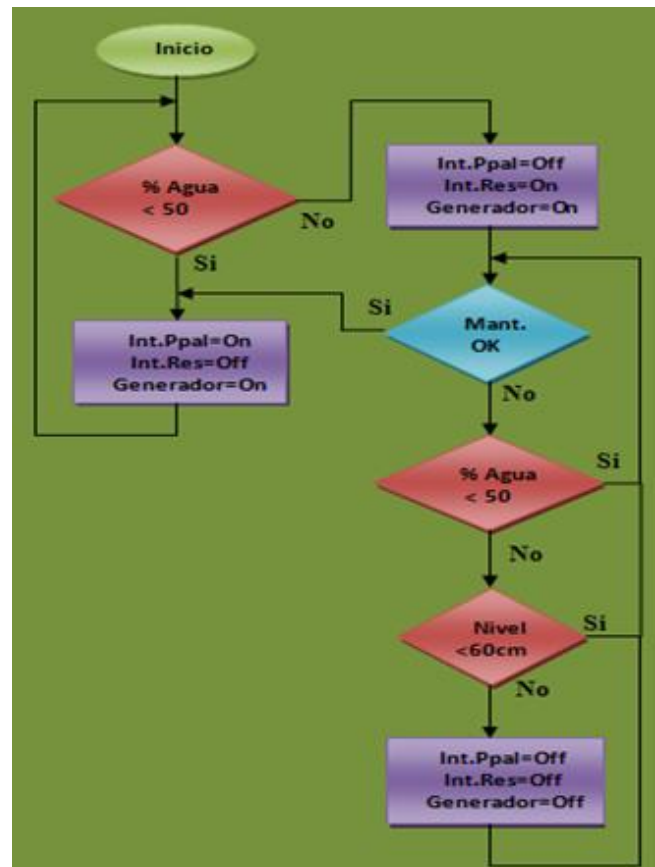
C. Funcionamiento del Sistema Propuesto

Primero se hará una descripción del funcionamiento del sistema propuesto a nivel hardware y después una descripción de éste a nivel software.

Observe el diagrama de flujo en la Figura 9 para entender mejor la siguiente explicación. El sistema automático se encarga de supervisar las condiciones óptimas de operación de los dos intercambiadores de calor [9,10] cada sistema de cojinete mediante los sensores de presencia de agua y de nivel de aceite. De esta manera se genera la operación automática de puesta en marcha del intercambiador de calor principal, dando la orden de apertura a las cuatro válvulas motorizadas localizadas en las tomas de agua/aceite, de aspiración/descarga y permitiendo el giro de la unidad generadora sin novedad alguna. El otro intercambiador de calor de reserva tendrá sus cuatro válvulas motorizadas tomas agua/aceite, de

aspiración/descarga cerradas, y en su parte interna está completamente lleno sus sistemas de agua y aceite respectivamente, estando disponible para reemplazar al primero en caso de fallar, brindando de esta manera la confiabilidad de la unidad generadora.

Figura 9. Diagrama de flujo del sistema.



Con el uso del sensor WS10 se medirá, la cantidad de agua en el aceite de descarga, permitiendo así la circulación del fluido con calidad en su viscosidad y prevención de posible contaminación con el agua de enfriamiento. Cuando se detecta el umbral del porcentaje de saturación de agua (50%), provocado por fugas de agua en el mismo, se presencia la anomalía en el tablero de control activando la “Alarma Sonora” y la “Alarma Visual” en el tablero de control local, simultáneamente el programa da la orden de cierre a las cuatro válvulas motorizadas de las tomas de agua/aceite, aspiración/descarga del intercambiador principal para excluirlo totalmente, al mismo instante se genera la orden de apertura de las cuatro válvulas motorizadas del intercambiador de calor de reserva quedando en servicio; inmediatamente el contenido de agua en aceite medido en la descarga vuelve a su valor normal y se puede oprimir el pulsador “Rec. Alarma” (en el panel frontal de LabVIEW) para apagar la alerta sonora (apaga la corneta en el tablero local de control y el indicador respectivo desde el panel frontal de LabVIEW).

Durante este proceso del cambio de servicio de los intercambiadores de calor se podría contaminar una cantidad mínima de agua, el cual al llegar a la cuba y tener contacto con el metal del cojinete y del eje cambia su estado de líquido a gaseoso por las altas temperaturas que allí se manejan, el cual es evacuado por un extractor de humos ubicado en la parte superior de la cuba y enviado al proceso de purificación de agua – aceite.

El intercambiador de calor principal contaminado con agua – aceite queda excluido del sistema y bloqueado su servicio por el automatismo, el cual puede ser intervenido de forma segura por el personal de mantenimiento para su retiro y respectiva reparación, una vez reparada la fuga es instalado este intercambiador en su lugar y con sus circuitos internos de tuberías con agua – aceite. El operador una vez haya evaluado que el intercambiador de calor principal tiene las condiciones óptimas para colocarlo nuevamente en servicio, lo instala y luego oprime el pulsador de “*Mant. OK*” en el panel frontal, borrando la alarma visual (apagando el bombillo de neón en el tablero de control local y el led en el panel frontal de LabVIEW), entonces vuelve a quedar en servicio el intercambiador de calor principal y disponible el intercambiador de calor de reserva.

Si durante el mantenimiento correctivo del intercambiador de calor principal (El operador aún no ha pulsado el pulsador de “*Mant. OK*”) se presenta falla del intercambiador de calor de reserva entonces se vuelve a activar la alarma, pero en este caso no se puede conmutar a otro intercambiador lo cual provoca un incremento considerable en el nivel agua-aceite de la cuba el cual es detectado por el sensor de nivel, cuando dicho nivel supera el umbral (>60 cm) se cierran las válvulas motorizadas tomas de agua/aceite del intercambiador de reserva y se saca de servicio a la unidad generadora con disparo mecánico por activación del relé maestro 86M, evitando que el agua de enfriamiento se contamine en gran proporción por mezclarse con el aceite que circula en la cuba del cojinete con falla, adicionalmente cuidando así las partes metálicas de posibles daños por fricción metal con metal del cojinete con el eje por causa de la disminución de la viscosidad del lubricante utilizado.

Cuando ambos intercambiadores son reparados y el aceite es debidamente filtrado entonces el operador oprime el pulsador “*Mant. OK*” y todo vuelve a su operación normal, es decir, el intercambiador principal queda en servicio y el intercambiador de reserva queda disponible.

Para entender el funcionamiento del sistema a nivel software observe las Figs. 7, 8 y 9. Las entradas al programa son el porcentaje del contenido de agua y el nivel proveniente de sus respectivos sensores y transductores dado el caso. Para ello se hace uso de asistentes para DAQ los cuales permiten adquirir estos datos para procesarlos en el programa; aquí es imperativo aclarar que estos asistentes no se muestran porque para fines

de simulación se reemplazó por dos controles deslizables llamados: voltaje de % saturación de agua y voltaje nivel. Luego estos niveles de voltaje son convertidos a valores equivalentes a las variables de proceso a través de sencillos cálculos matemáticos, los cuales son presentados gráfica y numéricamente a través de indicadores en el panel frontal (HMI) [11,12] de la Figura 7. Estos datos son comparados con sus respectivos umbrales a través de operaciones de “mayor que” y “menor que”, para tomar la decisión de acuerdo a lo programado. Una vez alcanzado un umbral, ese estado se retiene con un latch SR (puesto en activación o Set), compuesto por dos compuertas NOR, el cual es borrado cuando entra un pulso positivo por su entrada Reset a través de los pulsadores “*Mant. OK*” y “*Rec. Alarma*”. Para exportar las salidas del programa se hace también con asistentes DAQ (no mostrados) para las válvulas de los dos intercambiadores de calor y el relé maestro del generador, como también a una alarma sonora y otra visual para así de esta manera controlar todo el proceso. Además cuenta con indicadores tipo led en el panel frontal para informar en todo momento el estado de operación de cada una de las salidas. Por último, se cuenta con un pulsador para detener todo el sistema (*Stop*) y dos pulsadores, uno para apagar la alarma sonora “*Rec. Alarma*” y otro para apagar la alarma visual “*Mant. OK*”.

El programa inicia sensando el contenido de agua en aceite en el intercambiador principal, con el fin de compararlo con el umbral previamente establecido. Si las condiciones son normales entonces se activan las válvulas motorizadas del intercambiador principal e informa al PLC del sistema de arranque que tiene las condiciones óptimas de enfriamiento aceite. Si en algún momento de la operación la saturación de agua toca el umbral entonces se activa un latch y con esto el programa desactiva las válvulas motorizadas del intercambiador principal y activa las válvulas motorizadas del intercambiador de reserva. Cuando el % de saturación de agua vuelve a la normalidad el operador oprime el pulsador “*Rec. Alarma*” con lo cual apaga la alarma sonora. Después el personal de mantenimiento tendrá que revisar y reparar el intercambiador principal, una vez reparado e instalado completamente dicho intercambiador, el operador oprime el pulsador “*Mant. OK*” el cual desactiva el latch anterior, apaga la alarma visual y el programa responde abriendo las válvulas motorizadas del intercambiador principal y cerrando las del de reserva. En el caso poco probable de que el intercambiador de reserva esté funcionando defectuosamente (el intercambiador principal está fuera de servicio en el momento), o en el caso de fallo posterior, se activará el primer cerrojo (latch), adicionalmente el nivel de la cuba de aceite subirá por fuera de su rango normal lo cual activa otro latch, es entonces cuando el programa desactiva al intercambiador de reserva y envía la activación del relé maestro bloqueo mecánico 86M e informa de dicha anomalía al PLC supervisorio de la unidad, sacando forzosamente la unidad generadora del sistema de generación. En este caso los técnicos repararán ambos intercambiadores excluidos, cambiarán el

aceite contaminado y cuando se logren las condiciones normales, el operador oprimirá los pulsadores de “*Rec. Alarma*” y “*Mant. OK*” con lo cual desactiva ambos cerrojos para volver a operar normalmente la planta. En el diagrama de flujo no se tuvo en cuenta la alarma sonora y visual ni los indicadores puesto que no hacen parte del bucle de control del sistema.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Con la automatización del proceso de enfriamiento del aceite de lubricación propuesto en cada uno de los sistemas de cojinete de guía eje del generador hidráulico se reduce el daño ambiental producido por los residuos óleos que se vierten normalmente cuando se avería uno de los intercambiadores de calor.
- Se pueden reducir los costos de operación y mantenimiento correctivo del generador al evitar en un gran porcentaje el daño en éste y además de las pérdidas que también ocasiona el detener por varios días la unidad generadora.
- Los productos de National Instruments utilizados para la implementación de la solución se basan en el software LabVIEW y en el hardware de la DAQ. Los costos de la implementación son mucho menores a las millonarias pérdidas económicas que puede tener la central hidroeléctrica, debido a la parada forzosa de la unidad generadora.
- Sin lugar a dudas uno de los más beneficiados es el río donde actualmente se vierte el agua contaminada y todo su ecosistema, además de los pobladores cercanos al río quienes tendrán agua más limpia para su ciclo vital y sus actividades económicas.

REFERENCIAS

- [1] FrigoPack. (2011). *Válvulas Motorizadas de Bola*. [en línea]. Disponible en: <http://www.frigopack.com/Seccion-x-Valvulas-motorizadas-3-vias-IDSeccionArticulo~128~OrdenSeccion~090010060~Pagina~2.html>
- [2] Pall Corporation. (2010, febrero). *Sensor de agua Pall WS10 Series*. [en línea]. Disponible en: <http://site.pall.com/pdf/IMWS10ES.pdf>
- [3] CONRAD. *Conrad Electronic - Europe's leading electronics and technology online especiali*. [en línea]. Disponible en: [http://www1.conraduk.com/scripts/wgate/zcop_uk/~f1N0YXRIPTMwMzU0NjM5NTU=?~template=PCAT_AREA_S_BROWSE&glb_user_js=Y&shop=UK&zhhmmh_lfo=&zhhmmh_area_kz=&product_show_id=156141&gvlon=&p_init_ipc=X&p_page_to_display=fromoutside&~cookies=1&gclid=&cookie_n\[1\]=u](http://www1.conraduk.com/scripts/wgate/zcop_uk/~f1N0YXRIPTMwMzU0NjM5NTU=?~template=PCAT_AREA_S_BROWSE&glb_user_js=Y&shop=UK&zhhmmh_lfo=&zhhmmh_area_kz=&product_show_id=156141&gvlon=&p_init_ipc=X&p_page_to_display=fromoutside&~cookies=1&gclid=&cookie_n[1]=u)
- [4] National Instruments. (2011). *Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB - Data Sheet - National Instruments*. [en línea]. Disponible en: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-218/lang/es>
- [5] National Instruments. (2011). *Sistema de Desarrollo Completo de LabVIEW para Windows - National Instruments*. [en línea]. Disponible en:

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/modelpopup/p/pcat/845/lang/es>

- [6] M. Hong and Z. Chenguang, “Data acquisition system based on LabVIEW,” *Electron. Meas. Technol.*, 2008.
- [7] C. Elliott, V. Vijayakumar, and W. Zink, “National instruments LabVIEW: a programming environment for laboratory automation and measurement,” *J. Assoc.*, 2007.
- [8] C. Kalkman, “LabVIEW: a software system for data acquisition, data analysis, and instrument control,” *J. Clin. Monit.*, 1995.
- [9] O. Jaramillo, “Intercambiadores de calor,” *Cent. Investig. en Energ.*, 2007.
- [10] V. Isachenko, V. Sukomel, A. Ganzo, and N. Angel, “Transmisión del calor,” 1979.
- [11] D. Martínez, J. Poveda, and A. Guáqueta, “Electric vehicle instrumentation by using HMIs,” *Power Qual.* ..., 2013.
- [12] F. J. Espín and S. S. Santamaría, “Construcción de un sistema de lavado de arena con capacidad aproximada de ciento sesenta toneladas por día e implementación de un HMI, para la Compañía ...,” 2013.

BIOGRAFÍA



Ricardo Ávila nació en Algeciras Huila Colombia, el 21 de febrero de 1977. Ingeniería Electrónica UNAD. Se ha desempeñado por más de 10 años en su propio taller de electrónica en reparación y mantenimiento de electrodomésticos. Hace parte del semillero de investigación SICON registrado en SIUNAD. Sus áreas de interés son el control industrial y la instrumentación.



Frank Gutiérrez nació en el año 1985 en Neiva, Colombia. En el año 2004 recibe el título de Técnico Profesional en Mantenimiento Electrónico en el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, en el año 2007 ingresa mediante convenio SENA – UNAD en la carrera de Ingeniería electrónica de la UNAD CCAV Neiva, actualmente tiene 128 créditos aprobados. Se desempeñó durante 5 años como técnico de telefonía pública en las empresas INNOVATEC LTDA y VIVA VOZ SA ESP, actualmente tiene 2 años de experiencia como operador de central hidráulica de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica de Betania con la empresa EMGESA SA ESP. Hace parte del semillero de investigación SICON registrado en SIUNAD. Sus áreas de interés son la automatización industrial y la electrónica de potencia.



Diego Sendoya nació en 1980 en Neiva, Colombia. Se graduó de la Universidad Surcolombiana en 2004 como Ingeniero Electrónico. Recibió el título de Especialista en Automatización Industrial de la Universidad de Ibagué en 2007. Obtuvo el grado de Magíster en ingeniería de Control Industrial de la universidad de Ibagué en 2009. Se ha desempeñado como docente en diferentes universidades del sur de Colombia. Actualmente lidera el programa de Ingeniería Electrónica en la UNAD. Sus áreas de interés incluyen el control y automatización industrial, así como la bioingeniería.