



Rehabilitación del sistema automático en radiadores para el enfriamiento de agua en los motores HYUNDAI de 2,5 MW en la termoeléctrica de Felton*

Raidel Palacio Revé

Carrera: Ingeniería eléctrica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se implementó la rehabilitación del Sistema Automático en los radiadores del Grupo Electrónico HYUNDAI de 60 MW en Felton, el cual estableció el control de estos mediante la variable temperatura. Para el trabajo se empleó el software SCADA, ya que el mismo ha demostrado su eficiencia en muchos sistemas tecnológicos, citando como ejemplo todas las plantas de este tipo ubicadas en el país. Mediante este sistema se pudo observar sus diferentes temperaturas, comportamiento y controlar la entrada o salida de los motores eléctricos a los radiadores desde la sala de control, logrando un enlace entre sensores y accionamientos con la computadora mediante un autómatas SIEMENS del tipo S7-300. Se incorpora un control parametrizable para registrar la temperatura del sistema, coordinando así la temperatura con el trabajo de los motores eléctricos.

Palabras clave: Radiadores; enfriamiento de agua; motor Hyundai.

* Trabajo tutorado por los ingenieros Keyler Cobas y Maikel Núñez Estenoz.

Recibido: 30 agosto 2014 / Aceptado: 23 febrero 2015.

Overhaul to radiators automatic system for 2,5 MW HYUNDAI motor water cooling at the Felton power plant

Abstract: An overhaul was conducted to the automatic system of the radiators installed in the existing 60 MW HYUNDAI electric generator at Felton, establishing their control through the variable [temperature]. In this work, WinCC will be used as SCADA because of its proven efficiency in various technological systems, quoting all the plants of this kind located around the country as an example. With this system, it is possible to observe the temperature variations, behavior and control the electric motor inlet and outlet to the radiators from the control room, creating a loop between sensors and the computer drivers through a SIEMENS automat of the S7-300 type. A parameter control was incorporated to record the system temperature, thereby coordinating the temperature with the operation of the electric motors.

Key words: Radiators; water cooling; Hyunday motor.

Introducción

El ahorro de energía, de manera racional, en la actualidad conlleva a las más variadas investigaciones a escala global. Los motores eléctricos consumen la mayor parte de la energía producida en cualquier instalación o industria (60 % o más). La solución es utilizar los consumidores en las horas lógicas y que este rango de tiempo sea lo más óptimo posible.

Con el surgimiento de la Revolución Energética en Cuba fue necesario incrementar la capacidad de generación eléctrica emplazando diferentes grupos electrógenos (GE) por todo el país, entre los que se destacan los *fuel oil*. Un ejemplo de estos se encuentra en la termoeléctrica de Felton, donde se emplazaron 24 motores-generadores del fabricante HYUNDAI con una potencia de 2,5 MW cada uno. El mismo está dividido en seis baterías de 10 MW compuestas por 24 motores-generadores, lo que permite una capacidad de generación total de 60 MW.

Las fallas más importantes en los equipos auxiliares de los grupos electrógenos Hyundai fueron analizadas por Castillo (2009), aunque este estudio no abordó el tema de las fallas de los generadores.

Las fallas más comunes registradas desde la puesta en marcha de los generadores y los principales parámetros que caracterizan el conjunto generador Hyundai de 2,5 MW en operación fueron analizados por Gutiérrez (2013) quien estableció una metodología para la solución de fallas más comunes en estos equipos.

Para la explotación de estos grupos se realizan una serie de tareas que tributan a un mejor desempeño de los mismos como el sistema de tratamiento de combustible, los sistemas de control y los de enfriamiento o radiadores de los que cada motor de combustión posee uno individual, para lograr hacer circular a través de conductos por dos circuitos internos de enfriamiento agua encargada de mantener las diferentes partes del motor de combustión a temperatura estable.

La conexión paralela de los motores eléctricos de los radiadores y los motores-generadores trae consigo una serie de inconvenientes; en un principio, el elevado consumo energético de los radiadores, debido a los largos periodos de trabajo a los que se encuentran expuestos. Esto trae como consecuencia su avería lo que implica la reposición de los mismos al ser estas unidades selladas e imposible de repararlo que

incide en el mal funcionamiento de los radiadores, transfiriendo elevadas temperaturas y continuos disparos de los motores-generadores, afectando la producción de energía del GE.

Por ello el trabajo propone rehabilitar la automatización de los radiadores de enfriamiento para el agua de alta en los motores Hyundai 2,5 MW mediante un sistema de control.

Características y funcionamiento de los sistemas de enfriamiento del grupo electrógeno de Felton

Los grupos electrógenos de *fuel oil* están constituidos por un motor de combustión interna acoplados a un generador sincrónico trifásico, además de una serie de equipos y dispositivos auxiliares que son los encargados del suministro de las materias primas necesarias en el proceso de combustión y generación de energía eléctrica. Para obtener un funcionamiento eficiente, tanto en el equipamiento como en la distribución energética, el emplazamiento cuenta con un sistema de tratamiento de combustible, compresores, caldera recuperadora de vapor y para cada batería un sistema de almacenamiento de combustibles y lubricación. También posee sistemas de control, una planta de tratamiento químico de agua, un sistema de arranque en negro, además del sistema de enfriamiento o radiadores para los motores diesel.

En el caso de los radiadores, cada motor tiene dos circuitos internos de enfriamiento por agua; que son el sistema de baja y el sistema de alta temperatura. La mayoría de los circuitos son modulares y montados directamente al bloque de alimentación. Este sistema es necesario dada la cantidad de calor que se desprende durante el proceso de combustión en los cilindros a causa del rozamiento entre una gran cantidad de piezas que conforman el motor. Este proceso se efectúa utilizando un fluido, en este caso, el agua actúa como refrigerante de modo que este es el encargado de evacuar las altas temperaturas a las que se exponen estas piezas. El sistema evacua aproximadamente entre un 20 % y 25 % de la temperatura creada por la combustión.

Durante el proceso de enfriamiento se evitan fallas del motor debido al sobrecalentamiento del aceite y los esfuerzos por fricción entre las partes del motor como consecuencia de las elevadas temperaturas. Es importante que el aceite conserve su viscosidad, ya que su disminución puede causar un aceleramiento en el

desgaste de las piezas, como son los cilindros, culatas, pistones, cuerpos de las válvulas de escape, el colector de escape, los turbo compresores, inyectores así como las coronas de los pistones, en especial, en motores de alta potencia o caballaje.

Principales insuficiencias en el monitoreo y control del sistema automático de los radiadores

Los paneles de control fueron afectados debido a la humedad, las altas temperaturas y la corrosión a la que se encuentran expuestos. Los operadores no contaban con una referencia visual del sistema de radiadores sin acceso a estos desde la sala de control. Esto conlleva a que no es posible operar el sistema de forma manual, ni automática; por lo que los operadores deben trasladarse constantemente hasta los radiadores, para observar el valor de la temperatura del agua y operar los motores-generadores a menor o mayores potencias. Por otro lado, los circuitos de control en estos paneles son electrónicos y no están diseñados para trabajar en condiciones climatológicas adversas. Sumado a esto, la falta de piezas de repuestos para el sistema, en especial las tarjetas electrónicas automáticas ubicadas en los paneles junto a los circuitos de fuerza, trae como consecuencia la indisponibilidad del sistema automático de control.

Problemas con el equipamiento

Dentro de los principales problemas se detectó una serie de tarjetas electrónicas averiadas sin reparación que fueron expuestas a temperaturas mayores de 35 °C. Los paneles tampoco cumplían con las normas establecidas, ya que el material de fabricación de estos no es apto para las condiciones climatológicas a las que se encuentran expuestos y revelaron severos daños a consecuencia de los gases emanados por la central termoeléctrica, el salitre marino y otros factores medioambientales.

Problemas tecnológicos

La temperatura del agua de enfriamiento en los motores-generadores no estaba controlada, siendo esta la variable principal en este proceso. De manera que en ocasiones ocurrían disparos o salidas de línea de los motores-generadores como consecuencia; al mismo tiempo, causaba pérdidas de generación eléctrica afectando la estabilidad del SEN. Debido a la indisponibilidad de este sistema de control, los radiadores trabajan de modo continuo. Significa esto que al arrancar un motor-

generador, o varios, todos los motores eléctricos de los radiadores también lo hacen. Esto acarrea un consumo energético innecesario, debido a que en ese momento la temperatura del agua se encuentra muy por debajo a los 80 °C, momento a partir del cual debe entrar la primera pareja de estos a operar en el proceso de enfriamiento.

Estructura del software Supervisor WinCC para la aplicación específica

El sistema de control y adquisición de datos (SCADA) constituye la interfaz hombre-máquina (HMI) del sistema de control de procesos SIMATIC WinCC, sirviendo al usuario como ventana y acceso al proceso. La arquitectura del sistema de operador es muy variable y adaptable, con flexibilidad, a plantas de distintos tamaños y diferentes requisitos de los clientes. La base de este sistema está formada por estaciones de operador (OS) perfectamente coordinadas entre sí para sistemas monopuesto (OS *Single Stations*) y sistemas multipuestos en una arquitectura *client-server*.

Estaciones de operador

Todas las estaciones de operador se basan en la moderna tecnología de PC, con prestaciones escalonadas y optimizada para su utilización como OS Single Station, OS *Client* u OS *Server*, combinadas con el sistema operativo:

- Microsoft Windows 2000 Professional / 2000 Server
- Microsoft Windows XP Professional / Server 2003.

Gracias a la modernización y utilización de componentes e interfaces estándares del entorno de PC las estaciones de operador están abiertas para integrar opciones y ampliaciones personalizadas para cada cliente o sector. Pueden emplearse tanto en entornos industriales como en oficinas. Mediante gráficos multi-VGA y a través de hasta 4 monitores, las OS Single Stations y los OS Clients permiten conducir el proceso de varias unidades de la planta.

El software del sistema de las estaciones de operador es escalable en función del número de objetos del proceso. En todo momento se puede aumentar, adquiriendo los correspondientes *PowerPacks*, dicho número si aumentan los requisitos o hay necesidad de ampliar la planta.

Sistema monopuesto (OS Single Station)

En un sistema monopuesto, todas las funciones de manejo y visualización para un proyecto, planta o unidad de proceso están concentradas en una estación. La placa lleva integrado un puerto FastEthernet RJ45 aplicable para conectar una LAN de OS (*Local Area Network*, bus de terminales), mientras que la OS Single Station se puede conectar al bus de planta Industrial Ethernet de dos maneras:

- Vía un procesador de comunicaciones CP 1613 (comunicación con máx. 64 controladores).
- Mediante una sencilla tarjeta LAN (Basic Communication Ethernet para la comunicación con máx. 8 controladores).

Conectada al bus de planta la OS Single Station se aplica a otros sistemas monopuestos o formando uno multipuesto. Si se utiliza el paquete de programas WinCC/Redundancy también se puede operar de forma redundante con dos OS Single Stations.

Estructura del hardware

En el desarrollo de este proyecto fue necesario elaborar una aplicación en el software Step 7 para el manejo del autómatas a utilizar, configurando el hardware según los dispositivos y tarjetas a emplear.

Programación

Luego de seleccionar el hardware a utilizar en el proyecto procedimos a la programación de las funciones a realizar, creando los respectivos bloques de funciones que desarrollarán todas las operaciones de control de los radiadores.

La intención fundamental de la estructura del hardware consistió en lograr las mediciones y control de la temperatura en tiempo real. Se analizaron todas las variantes de solución para los dispositivos dañados. Una vez realizado el levantamiento necesario en el sistema se determinó su sustitución por dispositivos existentes en la planta que a la vez sustituyeran las funciones básicas de los dispositivos dañados; debido a que estos poseen en su estructura una amplia posibilidad de expansión en cuanto a tareas de este tipo, la programación de las lógicas de control junto a las

variables de entradas y salidas quedan implementadas en un controlador lógico programable (PLC). La supervisión y el monitoreo deben instalarse en una computadora, quedando de esta forma sustituidas todas las funciones perdidas e incrementando otras (Figura 1).

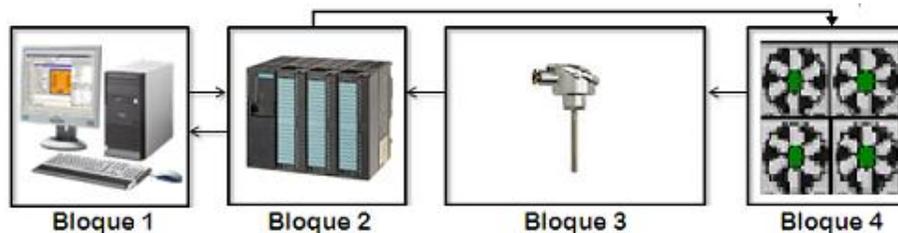


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema de control propuesto.

El nuevo sistema estará compuesto por un dispositivo controlador S7 300 de la firma SIEMENS y termorresistencias PT-100 para las mediciones de las diferentes temperaturas, las cuales, una vez adquiridas, serán monitoreadas por el SCADA WinCC. El sistema registrará la variable antes definida y automatizará mediante un control los ventiladores eléctricos.

Tareas que se ejecutarán para el montaje físico del sistema:

Verificación de las señales a medir y controlar

Montaje y cableado del autómata

Configuración en el SCADA

Configuración del PLC

Verificación del control de temperatura

Comprobación del control desde el computador.

Procesamiento de datos en el software Supervisor WinCC

Cada dirección pertenece a un motor eléctrico que, en el caso de las variables externas, puede asociarse al autómata o tarjeta de medición, que acoplado a la red industrial es el encargado de informar a la PC su valor. Los dispositivos se comunican con la PC a través de un protocolo que depende del fabricante y por ello necesitan un manejador o *driver* que implemente ese protocolo en la PC. De esta manera, el SCADA WinCC asume el sistema como una estructura jerárquica en la que el nodo superior es la estación local de operación (la PC) y los nodos inferiores son los dispositivos que

manejan directamente las variables externas, tal como lo muestra el esquema de la Figura 2.

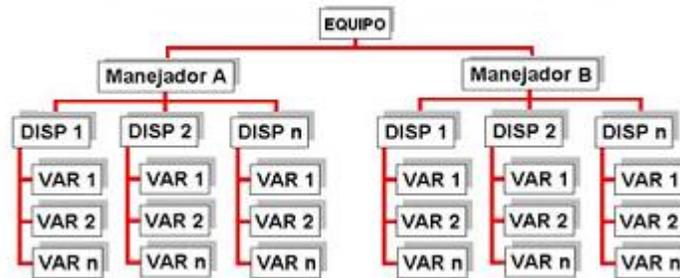


Figura 2. Esquema de procesamiento de datos del SCADA WinCC.

Variables de entrada analógica: Son señales que se miden en los dispositivos y su magnitud puede variar de forma continua en el tiempo y tomar cualquier valor dentro del rango definido (ej. flujos, temperaturas, presiones, etc.).

Variables de entrada discretas: Estas señales se miden en los dispositivos y su magnitud solo puede tener uno de dos valores o estados (ej. Apagado/Encendido, Trabajando/Parado, 0/1 etc.).

Registros analógicos: Son direcciones de memoria dentro de los dispositivos que generalmente no están asociadas a canales físicos, en los que se almacenan valores analógicos.

Registros discretos: Las localizaciones de memoria dentro de los dispositivos que generalmente no están asociadas a canales físicos, en los cuales se almacenan valores discretos.

Variables de salida analógicas: Generalmente están asociadas a canales físicos en los dispositivos, mediante las cuales se envían señales analógicas a los elementos de acción final.

Variables de salida discretas: Generalmente asociadas a canales físicos de los dispositivos mediante las cuales se envían señales discretas a los elementos de acción final.

Protocolo de comunicación ETHERNET

En calidad de bus de planta y LAN de OS (bus de terminales) para sistemas multipuestos, en arquitectura client-server se emplea Industrial Ethernet, una potente red de área y célula para uso industrial conforme con la norma internacional IEEE 802.3 (Ethernet).

Aplicable universalmente:

- En todas las industrias
- En despachos y entornos industriales
- Seguridad para las inversiones gracias a desarrollos siempre compatibles.

Rápida puesta en marcha por:

- Simple sistema de cableado.
- Conexión in situ con el sistema de cableado Fast Connect en combinación con conectores RJ45.
- Inmunidad a interferencias electromagnéticas si se usan fibras ópticas.
- Vigilancia permanente de los componentes de red por esquemas de señalización sencillos y eficaces.
- La sincronización horaria a nivel de sistema permite etiquetar cada evento con la hora y la fecha exactas.
- Componentes de red modernos y con proyección al futuro.

Formato data: Las mediciones realizadas son guardadas en los ficheros históricos, de manera encriptada, con el fin de proteger la data y evitar modificaciones y violaciones. Este fichero contiene la información de todas las variables durante el tiempo de operación y está delimitado por la hora de inicio del día definido en la configuración.

Descripción de los SCADA

Por sus siglas en inglés estos son Sistemas de Control, Supervisión y Adquisición de Datos, los cuales, mediante una interfaz, brindan el comportamiento de un proceso, ya sea industrial o no. Son sistemas basados en computadores que permiten controlar variables de procesos a distancia, proporcionando comunicación en los dispositivos de campo, controlando los procesos de forma automática por medio de un software

especializado. Proveen de toda la información que se genera en los procesos productivos a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como a supervisores. La información puede tratar acerca del control de calidad, nivel de producción, almacenamiento de datos y estado de la instrumentación de campo.

Se encuentran diseñados de dos modos, la primera variante es la conocida como OUT o salida, en la que el operador cuenta con información visual de un proceso. Información que puede ser acerca de la presión en un tanque, la velocidad de rotación en motores, el flujo de sustancias y la temperatura. Pero debido a sus características este no puede interactuar con lo reflejado en la interfaz. La otra variante es la más empleada y su función es INT/OUT, o sea, de entrada y salida. El operador puede intervenir en el proceso mediante el accionamiento, desde su puesto de trabajo, al detectar anomalías en el comportamiento del proceso.

Configuración del SCADA WinCC en la estación de operación

Después de realizada la instalación de los ficheros del sistema se procede a la configuración. Mediante las opciones que brinda el sistema se podrán definir las características generales del mismo como el conjunto de dispositivos que entregarán información a la Estación Local de Operación y la configuración de estos, además de informar las características de las variables a manipular; también el enlace que tienen con el dispositivo, así como la forma, contenido y estructura de los gráficos a mostrar.

Para comenzar esta configuración se definieron todos los parámetros de las variables que intervendrían en el sistema y se introdujeron en la configuración del SCADA. Inicialmente se va a la opción *Nuevo* y se crea un proyecto (Figura 3).

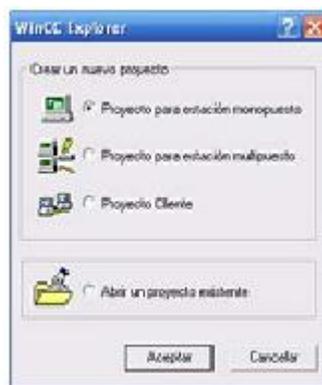


Figura 3. Configuración de un nuevo proyecto.

En esta pantalla se configura:

Nombre: El nombre de la estación de operación. En esta aplicación se escogió RADIADORES.

Tipo: Proyecto para estación enfriamiento.

La selección del manejador o driver de comunicación se realiza mediante el administrador de variables, seleccionando el tipo de controlador a emplear, en este caso se utiliza un controlador S7 300 por lo que el manejador a utilizar en este software es el WinCC S7, tal como se muestra en la Figura 4.

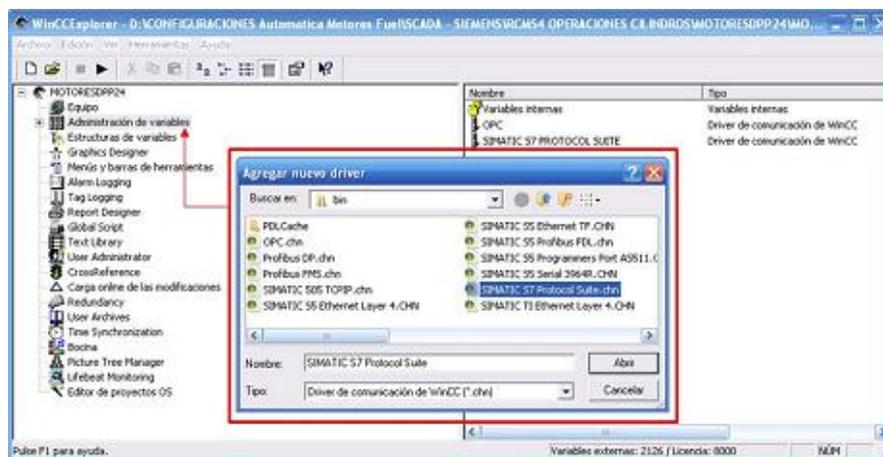


Figura 4. Selección del controlador.

Teniendo el manejador seleccionado se configura asignándole una dirección en la red de procesos. Una vez configurados el dispositivo y el manejador se crean las variables a utilizar en el proyecto con sus respectivas configuraciones. Se asigna un nombre, se define el tipo de datos que puede ser real, entero, booleano y se define la dirección en el autómata. La Figura 5 muestra el proceso de caracterización de las variables.

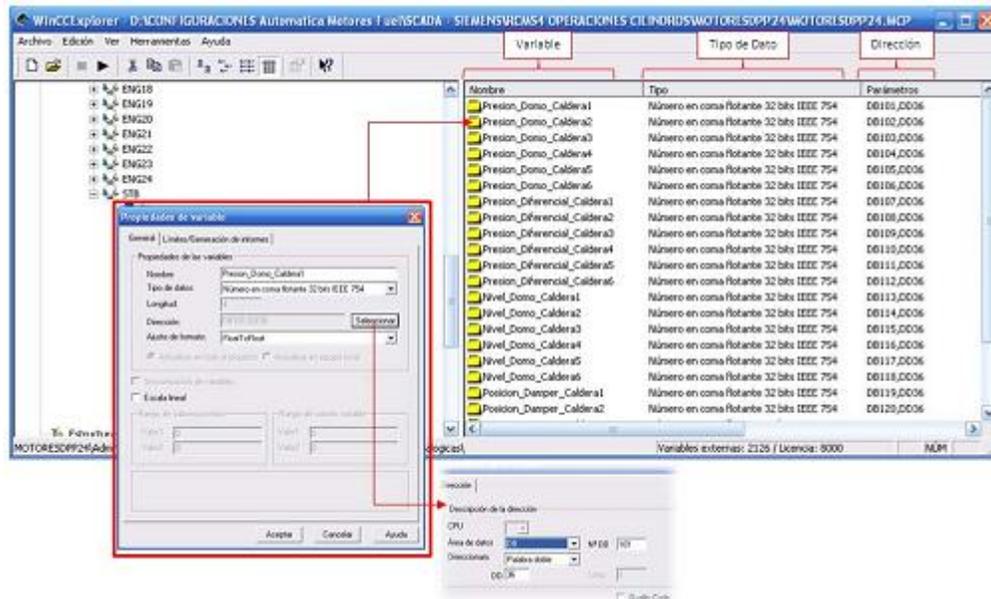


Figura 5. Caracterización de las variables.

Configuración del SCADA

Para la elaboración del SCADA se tomaron en cuenta las características principales del sistema de radiadores. Se desarrolló la variante INT/OUT de manera que el personal en la sala de control tenga acceso al sistema, manual o automáticamente.

Se identificó la variable temperatura como principal objeto de visualización en el sistema y se estableció el *set point* o valor de ajuste para la operación automática a 80 °C. Se le asignaron tareas específicas a cada botón elaborado, asignando a cada motor-eléctrico banderas o indicadores (Figura 6).

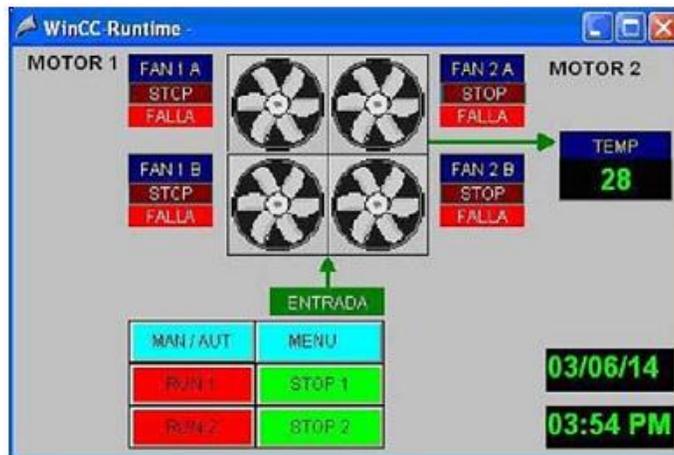


Figura 6. Pantalla del SCADA para el radiador de un motor-generator.

MOTOR 1: Esta etiqueta se refiere a la pareja de motores eléctricos FAN 1 A y B.

Fan1 A: Es el nombre del motor eléctrico situado a la derecha de la etiqueta.

STOP/RUN: Señaliza el estado de trabajo del motor eléctrico.

FALLA: Indica que el motor eléctrico está averiado.

MAN/AUT: Selecciona la acción a realizar por el sistema automático o por el operador manual.

RUN 1: Acciona el circuito de fuerza poniendo en servicio al MOTOR 1.

STOP 1: Indica la parada del conjunto de trabajo referido, en este caso a la pareja FAN 1 A y B.

MENU: Despliega una ventana la cual posee herramientas para la supervisión, monitoreo, control y ajuste del sistema de radiadores (Figura 7).



Figura 7. Ventana del menú principal.

V. Ajuste: Permite establecer el valor de ajuste deseado en el sistema de radiadores con un margen previamente programado. Cinco segundos antes de que la temperatura alcance el valor establecido el sistema comienza a operar. En caso de presionar la opción *Reiniciar* el sistema tomará como valor de ajuste previo el último establecido. Si se selecciona *Aceptar* será este el valor de referencia para el funcionamiento del sistema (Figura 8).



Figura 8. Valor de ajuste.

Tiempo: Este botón despliega una ventana en la cual se establece el modo de trabajo de los conjuntos M1 y M2 (Figura 9). De manera que al introducirle 20 segundos, el sistema accionara a M1 cuando la temperatura alcance entre 75 °C y 80 °C. Luego

contará el tiempo introducido y si la temperatura se mantiene, accionará entonces a M2. Si esto ocurre realiza el conteo una vez más y al bajar la temperatura a los parámetros establecidos se desconectan M1 y M2 con igual secuencia de pasos.



Figura 9. Ajuste de tiempo.

Registro: Mediante el registro histórico se obtendrá una media del comportamiento de la temperatura, ya sea en días, semanas o meses. El operador logrará, en caso de realizar alguna operación con el sistema en manual, tomar decisiones fundamentadas en la data registrada. El mismo relacionará el comportamiento de la temperatura con el tiempo de funcionamiento de los conjuntos M1 y M2; a la vez que identificará los valores 1 para trabajo o RUN y 0 para detenido o STOP (Figura 10).

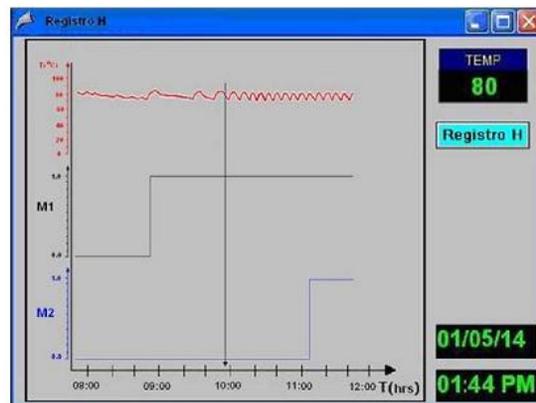


Figura 10. Registro histórico.

Conclusiones

Las tarjetas electrónicas automáticas encargadas de controlar el sistema están averiadas y no se poseen piezas de repuestos.

El proceso en el que participan los radiadores incide de forma negativa en la eficiencia, ya que en estos momentos son grandes consumidores energéticos, debido a los extensos períodos de trabajo a que son sometidos.

La sala de control no cuenta con una referencia visual de la temperatura en los radiadores, solo la general en los motores de combustión.

Es necesario sustituir las funciones de las tarjetas electrónicas automáticas por otras implementadas en los autómatas de uso de planta.

Las tarjetas electrónicas automáticas encargadas de controlar el sistema mediante la variable principal están averiadas y no se poseen piezas de repuestos.

Los radiadores inciden de forma negativa en la eficiencia, ya que en estos momentos son grandes consumidores energéticos.

Referencias bibliográficas

DEL CASTILLO, S. 2009: Análisis de criticidad personalizados. *Ingeniería Mecánica* 3: 1-12.

GUTIÉRREZ, Y. 2013: Metodología para solución de fallas en los generadores HYUNDAI de la Empresa Termoeléctrica de Felton. *Ciencia & Futuro* 3(4): 32-51.