

Herramienta de monitorización para mejorar las prestaciones de los grupos electrógenos fueloil en Cuba



Yolanda Pardo-Llosas¹, Rodolfo Haber-Guerra², Alejandro Cobos-Castro³, Yolanda Llosas-Albuerne¹, Hugo Domínguez-Abreu¹

¹ UNIVERSIDAD DE ORIENTE. Departamento de Ingeniería Informática. Avenida de Las Américas esquina Casero – Santiago de Cuba. CUBA Tfno: +53 22601149. ypardo@fie.uo.edu.cu

² CENTRO DE AUTOMÁTICA Y ROBOTICA (UPM-CSIC). Ctra. De Campo Real km. 0,200 La Poveda - 28500 Madrid.

³ UNIVERSIDAD DE CAMAGÜEY. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7156>

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha tratado de eliminar el gigantismo en las unidades de generación eléctrica, que aunque presentan menores índices de consumos se vuelven complejas en su operación. Además, cuando salen del sistema por conceptos de roturas o mantenimiento, provocan dificultades en la oferta de energía respecto a la demanda normalmente existente. En el mundo hay una tendencia a generar electricidad en pequeñas unidades cercanas a los consumidores, que disminuyen las pérdidas por transmisión y distribución, lo que se conoce como Generación Distribuida [1].

Debido a su ubicación geográfica la isla de Cuba es azotada por huracanes y tormentas tropicales constantemente. Esta situación provoca averías de envergadura en la transmisión de la energía que ocasionan indisponibilidad eléctrica en territorios que quedan aislados y apagados por largos períodos de tiempo. El sistema de generación de electricidad tradicional se mostraba incapaz de recuperarse con celeridad. A esto se añade que en el año 2004 se originaron fallos en las grandes termoeléctricas del país. Todo esto conllevó a un estudio profundo que tuvo como resultado la necesidad de un cambio de dirección con el objetivo de descentralizar los sis-

temas energéticos y producir la energía cerca o en los propios centros de consumo. Paulatinamente, se sustituyeron las centrales termoeléctricas ineficientes y fueron instalados grupos electrógenos en todas las provincias del país.

Una parte importante de las funciones que realizan los grupos electrógenos está relacionada con la seguridad y la continuidad de la operación o funcionamiento normal en caso de interrupción del suministro eléctrico [2]. Ciertamente la conexión de los grupos electrógenos es especialmente crítica en el caso de los hospitales donde los requisitos son muy exigentes desde el punto de vista del control y la monitorización [3]. La actividad de investigación y desarrollo en este campo aparece reportada en numerosos trabajos. Una de las líneas más activas es la detección y monitorización de anomalías transitorias eléctricas [4]. En algunos trabajos las recomendaciones para mejorar el funcionamiento en régimen transitorio serán clave para mejorar el funcionamiento de los grupos electrógenos [5]. Sin embargo, es el modelado una de las líneas de investigación más activa, ya que los modelos suelen utilizarse en la predicción de situaciones anormales y para la simulación y supervisión. El modelado suele ser una tarea muy compleja cuando se trata de grupos electrógenos debido a la complejidad computacional ocasionado por las dinámicas eléctricas muy rápidas con constantes

de tiempo de las partes mecánicas muy grandes [6]. Novedosas arquitecturas para la gestión energética inteligente de micro-redes han sido también propuestas en la literatura científico técnica [7]. Precisamente, ha sido el desarrollo de nuevos modelos lo que ha permitido el diseño de nuevos controles digitales para convertidores de potencia dc-dc y dc-ac [8]. También se han diseñado controladores borrosos robustos para los lazos de control de velocidad en los motores diésel [9] y sistemas avanzados de monitorización [10].

Desde el punto de vista del diseño se ha avanzado mucho tal y como se reporta en la literatura. Por ejemplo, los sistemas híbridos diésel que combinan generadores diésel y aerogeneradores se han ido consolidando como una combinación eficiente [11]. Otros sistemas híbridos que utilizan sistemas fotovoltaicos también han sido propuestos [12].

El presente estudio se realizó en un emplazamiento de grupo electrógeno de fueloil de tecnología *Hyundai* ubicado en el Oriente de Cuba. Tiene una potencia instalada de 60 MW distribuidos en 24 motores de 2,5 MW cada uno, agrupados en 6 baterías de 4 motores cada una. La planta cuenta con un sistema de combustible, sistema de aire comprimido, sistema de refrigeración, sistema de alimentación, sistema de caldera, planta de tratamiento químico de agua, motor de combustión interna, purificadoras de combustible y aceite, generador, monolineal eléctrico y sistema de supervisión y control. Este último sistema posee autómatas Siemens S7 300 y el SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) Simatic WinCC V6.0.

Los denominados sistemas SCADA ayudan al personal técnico durante su interacción con los procesos de producción [13]. *WinCC* constituye un entorno de desarrollo propietario de *Siemens* en el marco de los SCADA, para visualización y control de procesos industriales. Contiene plantillas dibujos para diseñar representaciones de plantas, generador de informes sobre los datos solicitados y administración de datos para definir y recopilar información [14]. Por otro lado, STEP 7 es el *software* estándar para

configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC, permite crear y gestionar proyectos, configurar el hardware y la comunicación, gestionar símbolos, crear programas, comprobar el sistema automatizado y diagnosticar fallos de la instalación [15].

En el motor de los grupos electrógenos de fueloil instalados en Cuba, uno de los problemas que se presentan está relacionado con las válvulas de escape quemadas, como se muestra en la Fig. (1), por lo que el operador realiza la verificación del funcionamiento de los 9 cilindros de cada motor frecuentemente, partiendo de los datos de temperatura de los gases.



Fig. 1: Válvulas de escape quemadas

Debido a la mala calidad, incorrecta ubicación y deficiente manipulación, con el transcurso del tiempo y sometidos a un trabajo continuo, se han deteriorado los termómetros que miden el valor real de la temperatura de los gases de escape, tal como se muestra en la Fig. (2), lo que no permite una monitorización exacta, provocando que no exista un control de la estabilidad del funcionamiento del motor y pueda ocurrir un deterioro irreversible.



Fig. 2: Termómetros averiados

El control de la viscosidad en estos emplazamientos se realiza en la Unidad de Tratamiento de Combustible mediante un sistema automático compuesto por el sensor, la caja de interfase, el regula-

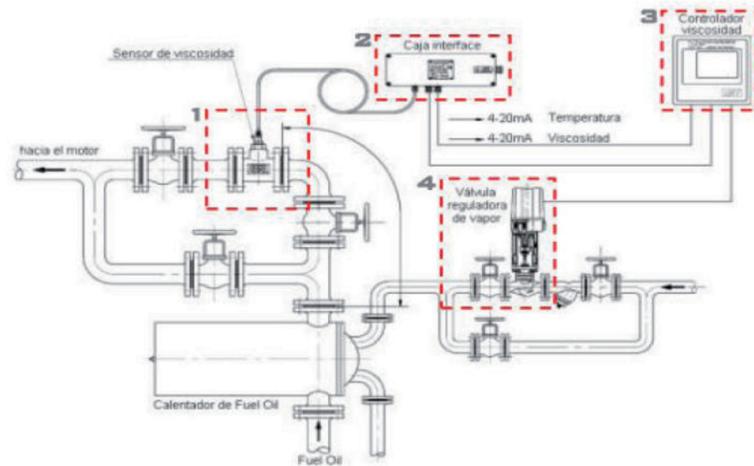


Fig. 3: Sistema de Regulación de Viscosidad

dor y la válvula reguladora de vapor, tal como se muestra en la Fig. (3).

Las vibraciones y altas temperaturas que se producen en las unidades han dañado los reguladores, generando un mal control, lecturas incorrectas de las variables, interrupciones, aumento del consumo de combustible, afectaciones en el suministro energético, elevación de los costes de explotación, incremento de la frecuencia de mantenimiento, afectación en la eficacia del Grupo y, eventualmente, la disminución de su vida útil.

Con esta investigación se puede estimar la necesidad del empleo de termopares y otros recursos y se establecen un conjunto de nuevas funcionalidades que se añaden a la aplicación SCADA y a la aplicación de los PLC (*Programmable Logic Control*) para posibilitar la interacción con la viscosidad del combustible, visualizar las mediciones de temperatura de los gases a la salida de los cilindros de los motores e informarle al operador las acciones que deberá realizar en caso de que se produzca una avería.

Esta propuesta crea las condiciones para la aplicación de una tecnología de acuerdo con la técnica instalada, garantizando sus prestaciones óptimas en Cuba y pudiendo hacerse extensiva a otros países del mundo que empleen como forma de generación los grupos electrógenos de fueloil.

2. DESARROLLO

Para solucionar los problemas planteados anteriormente se hace una pro-

puesta de modificación del sistema de supervisión y control del emplazamiento que contempla la monitorización de las mediciones de temperatura de los gases de escape a la salida de los cilindros de los motores. Se incluyen además acciones correctivas para que orienten al operador en caso de que se produzcan fallos, que si no se atienden a tiempo pueden producir un aumento de la temperatura de los gases y la deformación de las válvulas. Por último se transforma el sistema de control de la viscosidad, se elimina el viscosímetro dañado y se incorpora dicho control en el proyecto de los PLC.

2.1. MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE A LA SALIDA DE LOS CILINDROS DE LOS MOTORES

Para la atención de la temperatura de los gases de escape a la salida de los cilindros de los motores no existe actualmente instalado ningún sistema de control, solo se supervisa la temperatura a través de los termómetros defectuosos. En este trabajo se propone la monitorización de la temperatura.

Como se ha planteado anteriormente los termómetros existentes están averiados. Entonces se decidió sustituirlos por termopares tipo K, tal como se presenta en la Fig. (4). Estas mediciones son llevadas al PLC del motor.

Para lograr dicha monitorización es necesario primeramente sustituir los termómetros dañados para obtener la medición, para esto se acoplan 9 termopares tipo K (uno a cada cilindro), tal como se presenta en la Fig. (4). Dichas mediciones son llevadas al módulo de

entradas analógicas del PLC del motor. Esto debe realizarse en cada motor.



Fig. 4: Instalación del termopar

Luego, en la herramienta STEP 7, usada para modificar el proyecto de los PLC, se obtienen las mediciones entre 0 y 600 °C.

En el proyecto desarrollado en WinCC se incluyen 9 variables externas en los enlaces a los PLC asociados a los motores y se crean 10 variables internas (9 asociadas a la temperatura y la temperatura promedio).

Utilizando GraphicsDesigner, uno de los editores de WinCC, se crea una nueva imagen Motor.pdl. Dicha imagen contiene los valores correspondientes al motor seleccionado. Esto se logra a partir de las instrucciones incorporadas en el C-Editor, tal como se muestra en la Fig. (5).

```

case 6:
// Temperatura de los Cilindros
sprintf(str125,"%s%d",TempCil1,EngineNo);// temp cilindro 1
sprintf(str126,"%s%d",TempCil2,EngineNo);// temp cilindro 2
sprintf(str127,"%s%d",TempCil3,EngineNo);// temp cilindro 3
sprintf(str128,"%s%d",TempCil4,EngineNo);// temp cilindro 4
sprintf(str129,"%s%d",TempCil5,EngineNo);// temp cilindro 5
sprintf(str130,"%s%d",TempCil6,EngineNo);// temp cilindro 6
sprintf(str131,"%s%d",TempCil7,EngineNo);// temp cilindro 7
sprintf(str132,"%s%d",TempCil8,EngineNo);// temp cilindro 8
sprintf(str133,"%s%d",TempCil9,EngineNo);// temp cilindro 9

// Otros datos de la ventana de los cilindros
sprintf(str134,"%s%d",ChargeAirPress,EngineNo);// ChargeAirPress
sprintf(str135,"%s%d",HTWaterOutletTemp,EngineNo);// HTWaterOutletTemp
sprintf(str136,"%s%d",FOinletTemp,EngineNo);// FOinletTemp
sprintf(str137,"%s%d",FOinletPress,EngineNo);// FOinletPress
sprintf(str138,"%s%d",LOinletPress,EngineNo);// LOinletPress
sprintf(str139,"%s%d",LOinletTemp,EngineNo);// LOinletTemp

//
SetTagFloat("TempCil1",GetTagFloat(str125));
SetTagFloat("TempCil2",GetTagFloat(str126));
SetTagFloat("TempCil3",GetTagFloat(str127));
SetTagFloat("TempCil4",GetTagFloat(str128));
SetTagFloat("TempCil5",GetTagFloat(str129));
SetTagFloat("TempCil6",GetTagFloat(str130));
SetTagFloat("TempCil7",GetTagFloat(str131));
SetTagFloat("TempCil8",GetTagFloat(str132));
SetTagFloat("TempCil9",GetTagFloat(str133));

SetTagFloat("ChargeAirPress",GetTagFloat(str134));
SetTagFloat("HTWaterOutletTemp",GetTagFloat(str135));
SetTagFloat("FOinletTemp",GetTagFloat(str136));
    
```

Fig. 5: Nuevas instrucciones en el C-Editor

2.2. ATENCIÓN A ALARMAS

Se adicionó una alarma para notificar al operador cuando la diferencia entre la temperatura de los gases a la salida de los cilindros y la promedio supere los $\pm 50^{\circ}\text{C}$, pues se realizaría una combustión incompleta. Se utili-

zó AlarmLogging, el editor de WinCC, para la dotar la herramienta de nuevas acciones. En cada una de estas alarmas, se activó el campo Texto Informativo y se le incorporaron las tareas que debe realizar el operador.

Por otra parte, existen fallos que repercuten en el aumento de la temperatura de los gases de escape a la salida de los cilindros. Estos fallos son: alta temperatura del agua de enfriamiento, bajo nivel de aceite en el cárter, bajo nivel de aceite a la entrada del motor, suciedad en el filtro de aceite y fallo en el filtro de aire a la entrada al motor. En la aplicación SCADA existían alarmas para cada uno de estos fallos, no obstante, se decidió incorporar para cada alarma una interfaz que contiene información de las acciones que el operador debe realizar.

Estas acciones son correctivas, pues permiten un tratamiento predictivo de los fallos que impiden su propagación. Es decir, si se ejecutan de forma oportuna las recomendaciones que se brindan al operador, se garantiza que la temperatura de los gases se mantenga en los índices establecidos, no existiendo entonces pérdida de estanqueidad de las válvulas que se deformarían producto de la alta temperatura.

2.3. CONTROL DE LA VISCOSIDAD

En estos grupos electrógenos se utilizan 2 tipos de combustible para su explotación (diesel y fueloil). Inicialmente los motores arrancan con diesel hasta alcanzar el 50% de la potencia instala-

da. Simultáneamente el fueloil debe ser precalentado en cada batería en la unidad de tratamiento de combustible, donde se le suministra vapor para calentarlo y lograr una viscosidad permisible para la explotación.

La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad. De ahí que las sustancias de alta viscosidad presentan resistencia al fluir, mientras que los de baja viscosidad fluyen con más facilidad [16]. Para el funcionamiento óptimo de los motores, la viscosidad se debe encontrar entre 12 y 18 cSt (centiStokes).

El control de la viscosidad se lleva a cabo por cada batería mediante un sistema de regulación compuesto por el sensor, la caja de interface, el regulador y la válvula reguladora de vapor. El sensor mide la viscosidad y temperatura del fueloil y las transmite a la caja de interface. Las señales provenientes de la caja son enviadas al regulador de viscosidad y al PLC de la batería. El controlador de viscosidad es un instrumento electrónico basado en microprocesadores con acción de control proporcional integral (PI). La acción de control es ejecutada por dos relés de contactos que abren o cierran la válvula reguladora de vapor. Estos contactos son normalmente cerrados. La válvula tiene acoplado un actuador de empuje. El movimiento giratorio del motor se transmite a la tuerca de husillo mediante un engranaje. El husillo transmite un movimiento de trac-

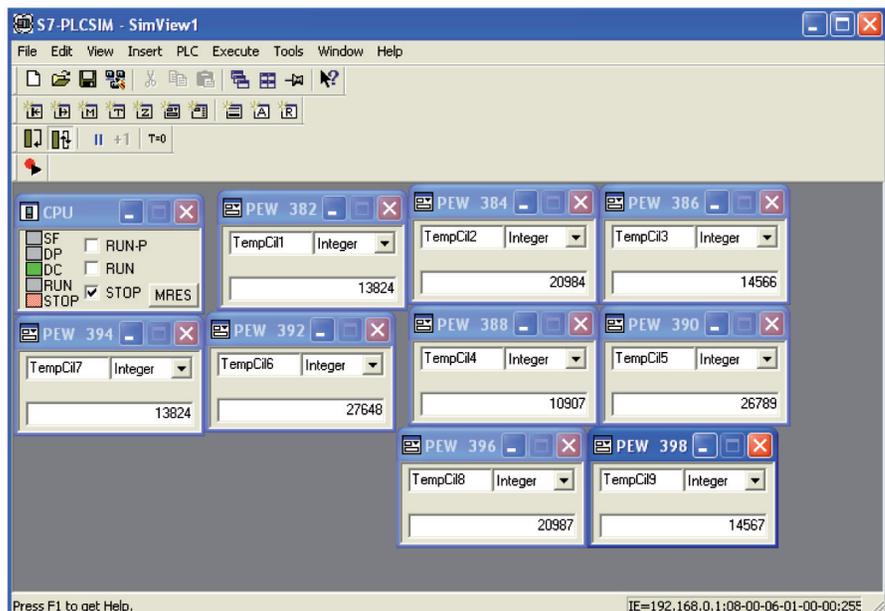


Fig. 6: Simulación de los valores de temperatura de los gases de escape

ción o empuje en función del sentido de rotación. Esta válvula regula el flujo de vapor que calienta el combustible para que llegue con la viscosidad requerida al kit de válvulas. Existe también un posicionador para el reconocimiento de la posición de la válvula.

El PLC asociado a la batería, como se plantea anteriormente, recibe los va-

lores de temperatura y de viscosidad del combustible. Tiene una entrada analógica y varias salidas digitales disponibles. Al no funcionar de forma adecuada el regulador de viscosidad, se decidió realizar el control de la viscosidad en el PLC. Se utilizó la entrada analógica libre para recibir la posición de la válvula reguladora de vapor proveniente

del posicionador y se emplearon dos de las salidas digitales disponibles en la conexión a los relés, para que gire el motor de la válvula indicando su apertura o cierre. La apertura de la misma oscila entre 0 y 100%. Cuando la posición de la válvula es 0, significa que el vástago está en el tope inferior, y cuando es 100 significa que el vástago se encuentra en el límite superior.

Para el control de la viscosidad se utilizó el Bloque de Función FB42 CONT_S. Las condiciones que se deben cumplir para que se active el bloque son: al menos un motor trabajando y al menos una bomba reforzadora que envía el combustible a la Unidad de Tratamiento de Combustible trabajando. Este bloque implementa un regulador PI con la posibilidad de realizar el control manual. En la aplicación SCADA se crean las variables en el enlace al PLC de la batería.

Empleando *GraphicsDesigner* se crea una nueva imagen ControlViscosidad.pdl. Se añade un objeto *slider* para indicar el porcentaje de apertura de la válvula reguladora de vapor. Se incluyen dos botones para indicar Modo Manual o Automático. En el modo manual se obtiene la posición deseada de la válvula, que es la que se envía al PLC.

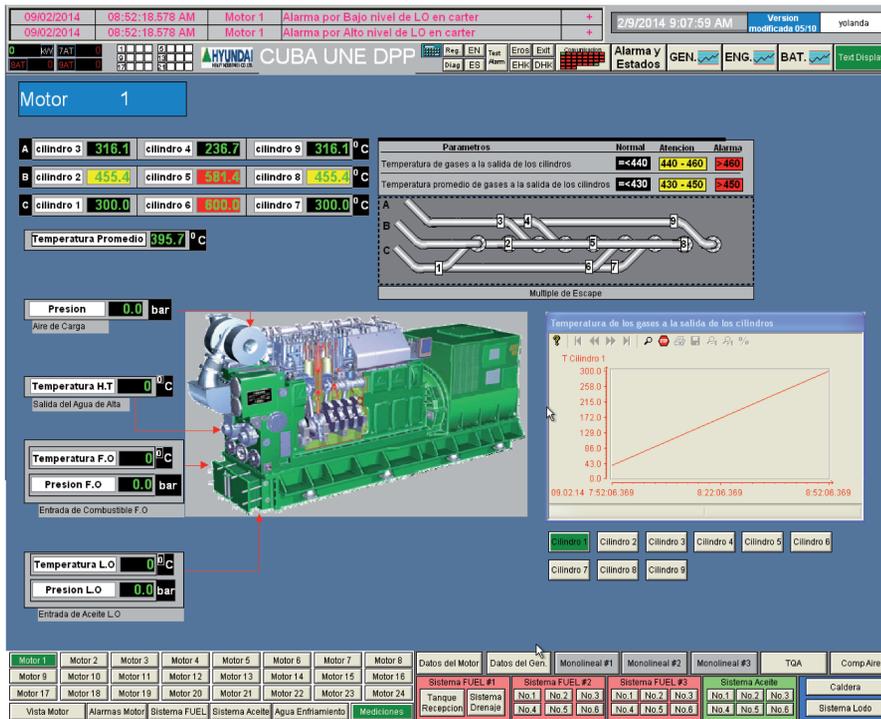


Fig. 7: Interfaz correspondiente a la medición de la temperatura de los gases de escape a la salida de los cilindros de los motores

3. RESULTADOS

En la Fig. (6) se presentan los valores introducidos al simulador S7-PLCSIM para validar la medición de la temperatura de los gases de escape a la salida de los cilindros de los motores y obtener con ello los diferentes comportamientos.

En la Fig. (7) se muestra la interfaz creada para la medición de las temperaturas de los gases de escape. Pulsando con el botón correspondiente al motor objeto de revisión, se muestra la temperatura de los gases a la salida de los cilindros, la ubicación de los cilindros y un gráfico en el borde inferior derecho con los valores históricos de las temperaturas.

En la Fig. (8) se ilustran las alarmas que se han activado mediante simulaciones que se hicieron a la aplicación SCADA estando desconectada del proceso. Se muestra una alarma específica para el caso de que el filtro de aceite se

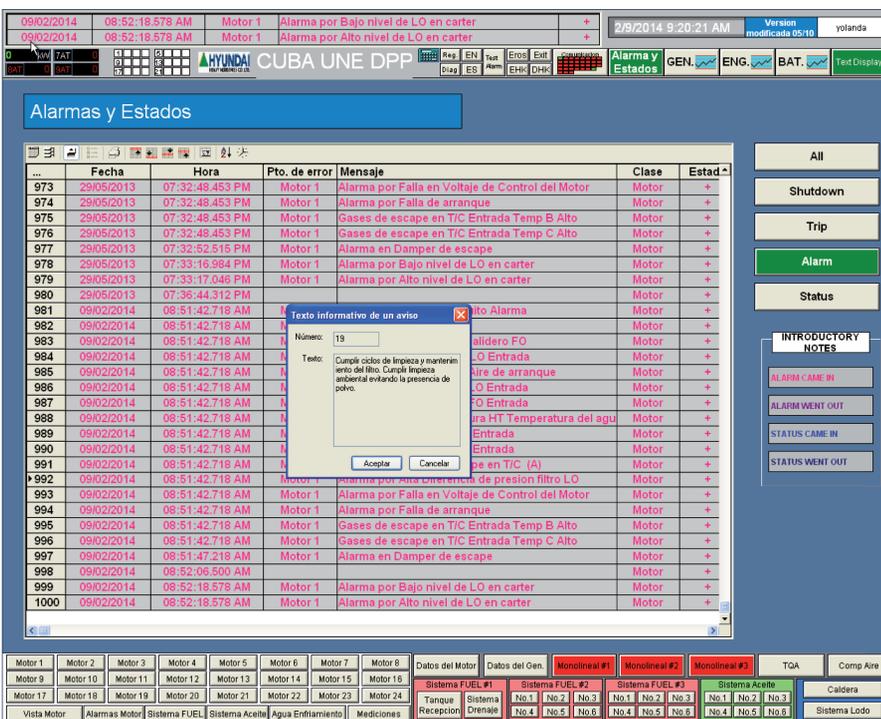


Fig. 8: Interfaz correspondiente a las alarmas, caso particular aceite sucio

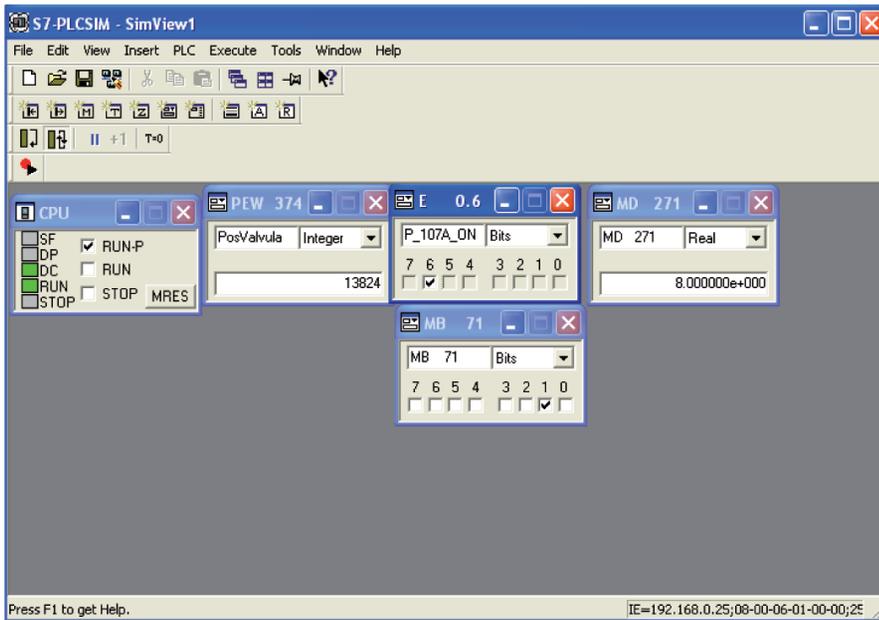


Fig. 9: Simulación empleada para el control de la viscosidad

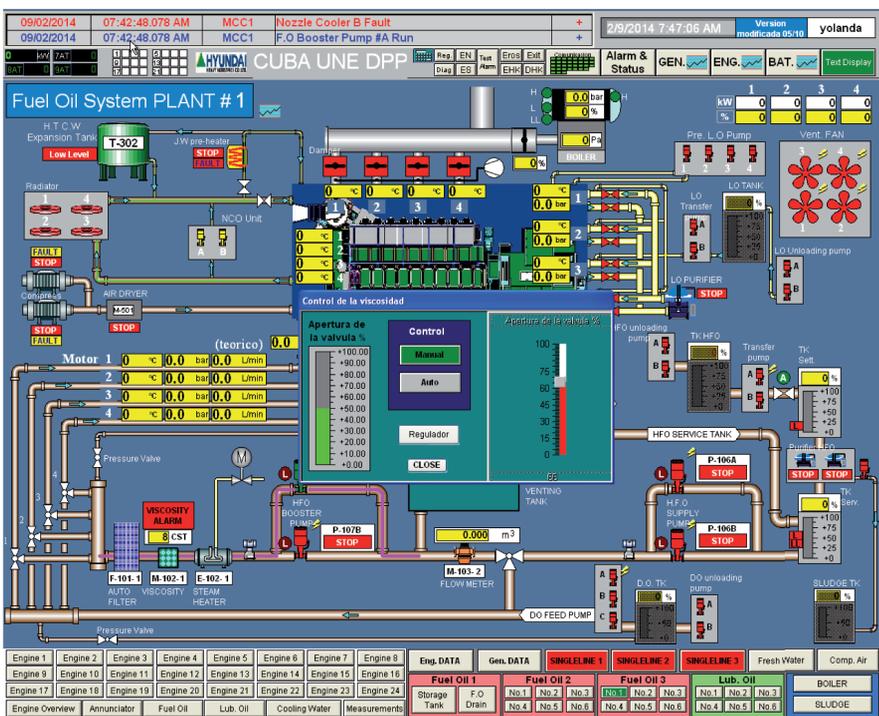


Fig. 10: Interfaz para establecer el control manual de la viscosidad del fueloil

encuentre sucio, apareciendo su respectiva acción correctiva.

En la Fig. (9) se presentan los resultados de la simulación para establecer la posición de la válvula reguladora de vapor, el motor 1 en régimen de trabajo, la bomba reforzadora de combustible 1 en régimen de trabajo y el valor real de la viscosidad del combustible.

En la Fig. (10) se muestra la interfaz de la aplicación SCADA correspondiente a la batería 1 y al hacer clic en

el símbolo que representa la válvula se puede acceder a la ventana que permite el control de la viscosidad, en este caso específico el régimen de control manual, donde se fuerza la apertura de la válvula por el operador con privilegio de administrador.

En la Fig. (11) se muestra la interfaz de la aplicación SCADA correspondiente a la batería 1 y al seleccionar el símbolo que representa la válvula se puede acceder a la ventana que permi-

te el control de la viscosidad, en este caso para establecer por el operador con privilegio de administrador el valor de consigna, la ganancia, el tiempo de acción integral y la zona muerta, todos parámetros del regulador PI.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se proponen modificaciones al sistema de supervisión y control del emplazamiento. Se incluyó en la programación de los PLC la regulación de la viscosidad del combustible, indispensable para el funcionamiento adecuado del proceso, y la obtención de la temperatura de los gases de escape a la salida de los cilindros de los motores. Se adicionó a la aplicación SCADA las funcionalidades necesarias para interactuar con la viscosidad y monitorizar las mediciones de temperatura de los gases.

Asimismo, se incorporó a la aplicación SCADA una alarma para notificar al operador cuando la diferencia entre la temperatura de los gases a la salida de los cilindros. Los valores históricos de las temperaturas que se muestran en la aplicación SCADA pueden ser almacenados y a partir de su análisis se podrían predecir averías. Con el tratamiento de las alarmas, se logra una asesoría oportuna del operador con vistas a prevenir la propagación del fallo y que no se quemen y deterioren las válvulas de escape.

Con las acciones correctivas y la monitorización de la temperatura de los gases se evitan grandes afectaciones en el proceso de generación de energía eléctrica, garantizándose la vitalidad y robustez del sistema, la fiabilidad en la operación y la disminución de los costes por concepto de mantenimiento y reparación de los motores.

Estos cambios pueden ser extendidos a los grupos electrógenos de fueloil de la misma tecnología en Cuba. Las propuestas están siendo adoptadas, si bien el impacto económico de este trabajo no se ha cuantificado todavía la repercusión económica y las contribuciones a la mejora de la eficiencia energética son evidentes, por lo que se contribuye de forma indirecta a la sostenibilidad del Sistema Electroenergético Nacional. El combustible ahorrado es una fuente energética que se puede utilizar posteriormente y la disminución de la emisión de gases contaminantes a la

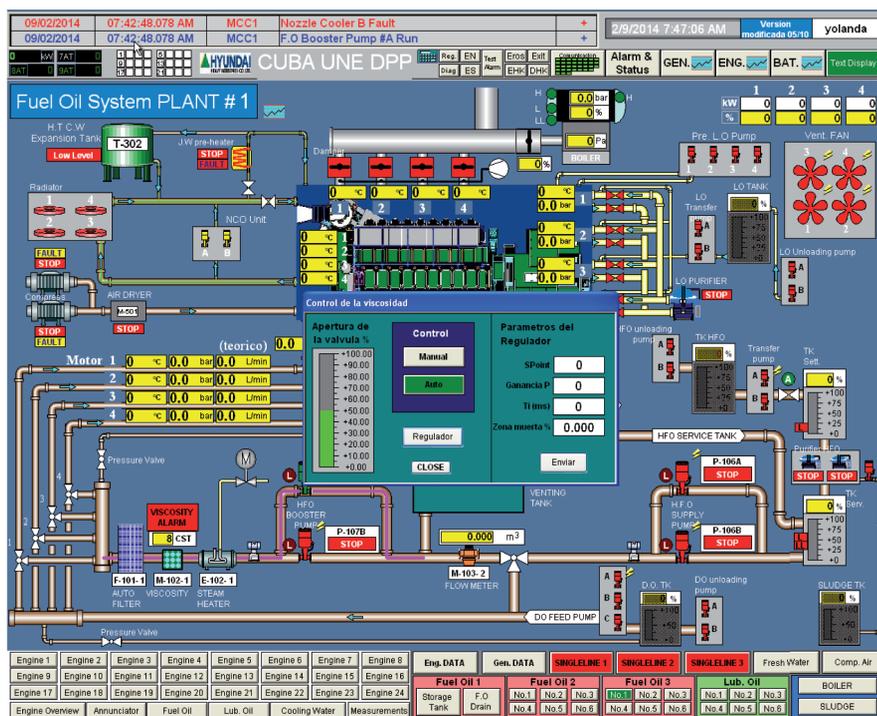


Fig. 11: Interfaz para establecer los parámetros del regulador PI empleado en el control de la viscosidad del fueloil

atmósfera por una combustión completa apuesta por la disminución del efecto invernadero.

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación DPI2012-35504 CONMICRO financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España. Además, se ha realizado como parte de la colaboración entre el Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC) y la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente de Cuba. Finalmente, agradecemos las valiosas sugerencias realizadas por los cuatro revisores y el editor, que han sido recogidas en el trabajo.

PARA SABER MÁS

- [1] Montero R, Reyes A, Marisma D. "Comportamiento de las principales variables de los Grupos Electrónicos para la Generación Distribuida en Moa". En: Actas de la V Convención Internacional FIE 2008, (Santiago de Cuba 14-16 de julio de 2008), v. I. Santiago de Cuba: [s.n.], 2008. ISBN: 978-84-00-08680-0
- [2] Angays P. "What to do if you are afraid of the dark: Recommendations for the design of electrical backup systems". IEEE Industry Applications

- Magazine. 2013. Vol.19 p. 49-59. DOI: 10.1109/MIAS.2012.2216001
- [3] Patel B. "Producing reliable power in the hospital setting". Power Engineering (Barrington, Illinois). 2011. Vol.115 p. 20-24
- [4] Moreno-Sánchez R, Núñez-Gutiérrez C, Visairo-Cruz N, et al. "Monitorización de anomalías transitorias eléctricas. Detección y aislamiento de impulsos y muestas eléctricas". DYNA-Ingeniería e Industria. 2012. Vol.87. DOI: http://dx.doi.org/10.6036/4573
- [5] Best R, Kennedy J, Morrow D, et al. "Steady-state and transient performance of biodiesel-fueled compression-ignition-based electrical generation". IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2011. Vol.2 p. 20-27. DOI: 10.1109/TSTE.2010.2085458
- [6] Hill C, Zanchetta P, Bozhko S, "Accelerated electromechanical modeling of a distributed internal combustion engine generator unit". Energies. 2012. Vol.5 p. 2232-2247. DOI:10.3390/en5072232
- [7] Jimeno-Huarte J, Anduaga-Muniozgueren J, Oyarzabal-Moreno J, "Arquitectura de un gestor energético de microrredes". DYNA-Ingeniería e Industria. 2009. Vol.84
- [8] Hoyos-Velasco F, Angulo-García

- F, Taborda-Giraldo J, et al. "Implementation of a new digital control technique for dc-dc and dc-ac power converters". Dyna. 2010. Vol.77 p. 189-199. DOI:10.1155/2008/7320
- [9] Rashed M, Elmitwally A, Kaddah S. "New control approach for a PV-diesel autonomous power system". Electric Power Systems Research. 2008. Vol.78 p. 949-956. DOI: 10.1016/j.epr.2007.07.003
- [10] Jarrett H. "Wireless remote monitoring and control of onsite power systems". Power Engineering (Barrington, Illinois). 2007. Vol.111 p. 40-48
- [11] Sebastián R. "Simulation of the transition from wind only mode to wind diesel mode in a no-storage wind diesel system". IEEE Latin America Transactions. 2009. Vol. 7 p. 539-544. DOI: 10.1109/TLA.2009.5361191
- [12] Tapanlis S, Kininger F, Klammer J. "PVP + SHS vs HYBRID - A comparison of different approaches to rural electrification by PV". Osaka. 2003. p. 2341-2342
- [13] Krutz Ronald. Securing SCADA Systems. Indianapolis: Wiley Publishing Inc, 2006. 218 p. ISBN: 978-0-7645-9787-9
- [14] Forcade-Gómez N, Torres-Lorenzo W. "Sistemas de guías de laboratorio en los entornos de desarrollo SCADA WinCC e Intouch". En: Actas del Tercer Taller La virtualización en la Educación Superior, (Congreso Universidad 2010, La Habana, Cuba), v. I. [S.I.]: [s.n.], 2010. ISBN: 978-959-16-1137-7
- [15] Cobos-Castro A. "Herramienta para mejorar la Gestión Energética de los Grupos Electrónicos de tecnología HYUNDAI instalados en Cuba". Director: Llosas-Albuerno Y. Universidad Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, Departamento de Electromecánica, 2010.
- [16] Páez M, Lafont J, Portacio A. "Efecto de la Temperatura sobre la Viscosidad de Soluciones Acuáticas Diluidas de 1, 2-Pentanodiol". Información tecnológica. 2009. Vol.20-2 p.55-60. DOI: 10.4067/S0718-07642011000100008