

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



Tesis presentada en opción al grado académico de

Máster en Automática y Sistemas Informáticos

**Mejoras en sistema SCADA para la operación
automática de carga en grupos electrógenos
Hyundai**

Autor: Ing. Julian Javier Valdivia de Armas

Tutor: Dr. C. Eduardo Izaguirre Castellanos

Santa Clara

2017

"Año 59 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



**Tesis presentada en opción al grado académico de
Máster en Automática y Sistemas Informáticos**

**Mejoras en sistema SCADA para la operación
automática de carga en grupos electrógenos
Hyundai**

Autor: Ing. Julian Javier Valdivia de Armas

Especialista A en Automatización, ATI Villa Clara

javier@ativc.une.cu

Tutor: Dr. C. Eduardo Izaguirre Castellanos

Profesor Titular, Dpto. Automática, Facultad de Ing. Eléctrica, UCLV,

izaguirre@uclv.edu.cu

Santa Clara

2017

"Año 59 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo para optar por el título de máster fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la maestría en Automática y Sistemas Informáticos, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Dtor UEB

ATI Villa Clara

PENSAMIENTO

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

DEDICATORIA

A mi madre por su apoyo incondicional durante toda mi vida, su ejemplo que me ha servido de guía en mi formación y orientación.

A mi abuelo y abuela por contribuir con su amor para su hijo más chiquito.

A mi hija Lis Lauren, para que encuentre un ejemplo de constancia y superación a seguir.

A mi familia que es lo mejor que tengo en la vida.

A Linny por su amor y cariño en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, Dr. C., Ing. Eduardo Izaguirre Castellanos, por brindarme su atención y ayuda durante todo este tiempo y por orientarme en cada aspecto de la tesis.

A Saura por su amistad, su apoyo y aportes de experiencias de años de trabajo.

A mi trabajo, ATI por la oportunidad de crecer como profesional.

A Emérita mi amiga y compañera en estos años de estudios.

A Tamara, Csillag, Glenda y Saymi por su amistad.

A todos los que me han ayudado y brindando su apoyo.

RESUMEN

Para garantizar la generación eléctrica del polo turístico de Cayo Santa María se cuenta con una Central Eléctrica compuesta por una batería de motores *fuel oil* Hyundai gobernado por un sistema SCADA propietario, el cual no se explota al máximo de sus potencialidades, sobre todo en lo relacionado con el manejo de la carga del sistema. Gracias a los resultados de este trabajo se logra la operación automática en el manejo del porcentaje individual de carga de los generadores, se crea un novedoso procedimiento para la operación del grupo electrógeno, y la concepción de nuevas interfaces gráficas de usuario del SCADA, lográndose funcionalidades adicionales que permiten realizar una mejor gestión del mismo.

En este sentido se desarrolla la modificación al sistema de gestión de carga de los generadores sobre un proyecto SCADA de cuatro motores de tecnología Hyundai de 1,7 MW de potencia, con la incorporación de un grupo de variables para su gestión. Se realiza la reorganización de los mímicos del SCADA para el sistema de control de la carga de los generadores acorde a las necesidades de operación y de manejo del personal, con lo cual se amplía el espectro de operación del sistema en su conjunto.

Con las modificaciones propuestas se incorporan nuevas variables al SCADA y al proyecto del PLC que no estaban contempladas en el proyecto original del fabricante, y que resultaron vitales para realizar la modificación de la operación. Son reestructurados, entre otros, el tratamiento de eventos y marcas de memoria para el manejo de la carga de los generadores, así como son identificadas las variables implicadas en el proyecto para la transmisión de las variables eléctricas y se crean otras que garantizan mayor seguridad en el proceso de generación.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	1
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	8
Organización del informe	13
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS SCADA EN GRUPOS ELECTRÓGENOS	14
1.1 Fundamentos de los sistemas SCADA.....	14
1.2 Requisitos de un SCADA.....	16
1.3 Módulos comunes de un SCADA.....	16
1.3.1 Principales módulos SCADA	17
1.4 Tendencias actuales en el desarrollo de aplicaciones SCADA	19
1.5 Principios de trabajo de los Grupos Electrógenos en Cuba	20
Conclusiones del Capítulo	22
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL SCADA PARA EL MANEJO DE LA PLANTA HYUNDAI.....	23
2.1 Descripción del Proceso Tecnológico	23
2.2 Arquitectura de la comunicación de la planta	33
2.2.1 Enlaces S7 para la comunicación entre autómatas	34
2.2.2 Enlaces Profibus DP para periferia descentralizada	35
2.2.3 Comunicación Modbus para transmisión de datos eléctricos	37
2.3 Integración de las bombas de transferencia al HTU	39
2.4 Preparación del Hardware del PLC para la operación de cuatro generadores	42

2.4.1	Análisis de la configuración de hardware existente.....	42
2.4.2	Propuesta de nueva configuración de hardware	43
2.5	Proyecto SCADA para operar una batería	44
2.5.1	Principales gráficos a modificar	45
2.5.2	Implementación de restricción de acceso a uso de ventanas de comando desde SCADA.....	47
2.6	Análisis crítico del proyecto SCADA actual para el manejo de los generadores	50
2.6.1	Deficiencias del actual proyecto SCADA que limitan el manejo de los generadores	50
2.6.2	Propuestas de soluciones al SCADA para el manejo de los generadores.....	51
	Conclusiones del Capítulo	52
	CAPÍTULO 3. SISTEMA DE OPERACIÓN REMOTA DE CARGA EN GRUPOS HYUNDAI.....	53
3.1	Requisitos asociados a la operación de la carga del generador.....	53
3.2	Incorporación de nuevas variables al sistema SCADA.....	55
3.3	Modificaciones de los mímicos del SCADA	56
3.3.1	Selección del Modo de Operación	59
3.3.2	Selección del Punto de Ajuste individual en Modo Fijo	59
3.3.3	Selección del Punto de Ajuste Individual en Modo Droop	60
3.3.4	Operación para el Modo Combinado desde el SCADA	61
3.4	Incorporación de nuevas variables al dispositivo de control (autómata programable) del RCMS.....	62
	Conclusiones del capítulo	67
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
	Conclusiones.....	69

Recomendaciones	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS.....	76
Anexo I Datos técnicos del generador.....	76
Anexo II Cálculos de porcentos individuales.....	77
Anexo III Cálculos de valores de ajuste de Potencia Individual	77
Anexo IV Variables incorporadas al autómata programable	77
Anexo V Estructura del programa del autómata programable del RCMS	81
Anexo VI Procedimiento de operación para modificaciones.....	81

INTRODUCCIÓN

Con el inicio de la Revolución Energética impulsada por nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz a partir del 1ro de enero de 2006, se logró llevar la producción de la energía eléctrica más cerca del consumidor final, para de esta manera amortiguar las interrupciones del fluido eléctrico por daños a las líneas de transmisión. Para llevar a cabo este proyecto, fue necesario cambiar la concepción existente de generación eléctrica en el país, puesto que Cuba contaba con grandes plantas termoeléctricas distribuidas a lo largo de la isla (López y Jiménez, 2010).

Debido a la existencia de redes de suministro de energía eléctrica interconectadas de Oriente a Occidente, se incrementa la vulnerabilidad del sistema de distribución ante eventos meteorológicos, a ello se suma la dispersión geográfica de las plantas de generación, lo cual conlleva a un elevado número de pérdidas por concepto de transmisión de la energía.

A raíz de la situación creada por los huracanes en el año 2005, se puso una vez más en evidencia la vulnerabilidad del sistema transmisión de la energía eléctrica en nuestro país, por lo que fue necesario tomar medidas para lograr que la generación se efectuara lo más cerca posible del punto final de consumo, lo cual fue conocido como la generación distribuida, dada las ventajas que se logran con este tipo de sistemas (López, 2011).

Para solucionar estas dificultades se comienzan a instalar en una primera etapa, baterías de Grupos Electrónicos de alta calidad y eficiencia suministrados por firmas prestigiosas que producen la energía mediante el uso de combustible tipo diésel. Fueron distribuidas a lo largo y ancho del país llegándose a instalar más de 1300 MW. Posteriormente se dio paso a una segunda etapa del proceso con la instalación de grupos generadores de mayor potencia que emplean combustible más pesado, el denominado tipo “*fuel oil*” de tecnología HYUNDAI (Corea del Sur) y MAN (Alemania), hasta cubrir una capacidad instalada actual de casi 900 MW, estos últimos más económicos por ser este tipo de combustible más barato (Albuérne, 2010).

La concepción de la generación distribuida representó un apoyo a la generación de las plantas termoeléctricas. Las principales ventajas de esta modalidad de generación radican en que se reducen notablemente las pérdidas por transmisión dada la cercanía al

consumidor, se reducen las pérdidas por doble transformación, reducción del número de interrupciones, facilidad de adaptación a las condiciones del lugar, se libera la capacidad del sistema, mejor abasto para zonas remotas y disminuye el tiempo de inversión por la fácil instalación y construcción de la planta (Fernández, *et al.*, 2010).

Estas plantas cuentan con un conjunto de opciones de hardware y software que contribuyen a su rápido manejo e instalación, acorde con todo el equipamiento y tecnología que las caracteriza. El sistema de supervisión y control de estas plantas ofrece un paquete de opciones básicas para el manejo y supervisión, suministrados por el fabricante. Es de destacar que los proyectos SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que vienen implementados en estas centrales eléctricas de tecnología Hyundai, no poseen todos los elementos para la operación de estas plantas, en el sentido de que se adecuen a las necesidades específicas de nuestro régimen de trabajo, dado que no existe la posibilidad de efectuar la selección simultánea de los modos de operación, así como tampoco brindan la posibilidad de regular la carga individual de cada generador (López, y Jiménez, 2011).

En el presente trabajo se persigue incorporar mejoras sobre el proyecto SCADA original, para regular la carga individual de cada generador, lo cual se aplica en la Central Eléctrica ubicada en Cayo Santa María al norte de la provincia de Villa Clara, región central del país, logrando de esta manera explotar al máximo sus potencialidades, y garantizar una mejor explotación del sistema en su conjunto. En este contexto, se incorporan nuevas variables al SCADA y al proyecto de PLC que no estaban contempladas en el proyecto original de los fabricantes, y que para realizar esta nueva implementación de la operación resultaba imprescindible.

En ese sentido se define el **objeto de investigación** dentro de los Sistemas SCADA para monitoreo y operación de grupos electrógenos de regímenes continuos de explotación, y como **campo de acción** como la operación de carga de trabajo automática de los generadores desde el sistema SCADA en grupos electrógenos Hyundai de *fuel oil*.

El **problema científico** queda entonces planteado como la incapacidad del sistema de supervisión original de propiciar la operación automática en el manejo del porcentaje individual de carga de trabajo de los generadores y con ello la imposibilidad de poder efectuar la explotación más eficiente del grupo electrógeno.

Con la realización de modificaciones a las interfaces gráficas de usuario que contiene el sistema SCADA actual, así como con la implementación de un grupo de variables para el manejo individual de los generadores de la planta, se podrá garantizar una operación efectiva del sistema en su conjunto y con ello una explotación más eficiente del mismo.

Por consiguiente, en este contexto se plantea la siguiente **hipótesis de investigación**: Es posible realizar modificaciones al sistema SCADA existente en los grupos electrógenos Hyundai de *fuel oil*, de manera que posibilite monitorear y controlar la operación de los generadores de forma individual, lográndose una mejora sustancial en el manejo de la carga de los mismos.

Objetivo general

Efectuar modificaciones en el sistema SCADA en los grupos electrógenos Hyundai para mejoras en la operación de carga de los generadores.

Objetivo específicos

Para lograr este objetivo principal se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Analizar en la literatura especializada los fundamentos relacionados el objeto de investigación.
- Efectuar estudio del sistema SCADA actual que caracteriza a los grupos electrógenos de tecnología HYUNDAI.
- Incorporar al proyecto un sistema de manejo individual de modos de operación y de carga de los generadores mediante un conjunto de variables para facilitar la selección de los mismos.
- Realizar la reorganización de los mímicos del SCADA para el subsistema de manejo de carga de los generadores que componen la central, en función de rediseñarlos con un ambiente acorde a las exigencias de operación.
- Incorporar las variables necesarias al SCADA original y a los dispositivos de control que resultan vitales para la nueva operación del sistema.

Tareas investigativas

1. Revisión bibliografía de los sistemas SCADA para los grupos electrógenos que utilizan como referencia el *WinCC* propietario de Siemens.
2. Estudio y reestructuración de variables en el PLC y en los correspondientes mímicos del proceso, para una gestión más efectiva de la interface hombre máquina.
3. Desarrollo de interfaces gráficas para mejor manejo y operación del sistema SCADA por parte de los operadores.
4. Programación del dispositivo de control para facilitar el manejo de los modos y la carga de trabajo de los generadores.
5. Implementación de las modificaciones propuestas al sistema SCADA en su conjunto.
6. Confección de instrucción de operación para la operación del sistema.

En relación con el contexto investigativo y a los resultados derivados de la presente investigación se definen los siguientes aportes de este trabajo.

Aporte práctico: relacionado con la implementación de un sistema de supervisión para la operación automática en el manejo del porcentaje individual de carga en el trabajo de los generadores, incluyendo la nueva programación del PLC para complementar e implementar las modificaciones propuestas al sistema SCADA original.

Aporte Metodológico: con el nuevo procedimiento creado para la operación del grupo electrógeno, basado en las modificaciones efectuadas, y en la concepción novedosa de las nuevas interfaces gráficas de usuario del SCADA.

Impactos

Entre los principales impactos del trabajo realizado se puede destacar el **medio-ambiental**, ya que el combustible (*fuel oil*) usado para generar, es un residuo del proceso de refinación del petróleo, dándole un uso utilitario a este producto. Además, debido al bajo índice de consumo promedio por kilowatt hora generado por los motores Hyundai se abarata el proceso de generación, con lo que se logra una operación estable del conjunto motor-generator, y se alcanza una mayor eficiencia del sistema, con la correspondiente reducción de las emisiones de CO₂ a la atmosfera, dada la estabilidad alcanzada en el control de la carga.

Desde el punto de vista **económico** se logra otro impacto, pues al disponer de una operación más estable de los motores, se alarga su vida útil pues se reducen los disparos ante variaciones del sistema, se dota al mismo y a los operadores de la capacidad de responder mejor a las condiciones de operación para realizar las necesarias acciones de control de carga. Esto conlleva a que se explote el sistema con el correspondiente plan de mantenimientos planificados y no se realicen mantenimientos por averías. Al mantenerse el motor en operación estable y disminuir los disparos, se logra un ahorro significativo de combustible diésel, debido a que cada vez que se tiene que arrancar el motor es necesario emplear una cantidad de este combustible que es más caro, lo cual eleva sustancialmente el costo de cada kilowatt generado.

Desde el punto de vista **social**, se garantiza la estabilidad en la operación del sistema y se alcanza una importante disminución de las interrupciones ante variaciones de los parámetros del sistema, de este modo se entrega un servicio estable para el cliente, que en este caso es totalidad de la infraestructura hotelera y de la construcción radicada en el Cayo Santa María. Se alcanza una elevada humanización del trabajo, ya que antes de realizar dicha modificación era necesario para un operador trasladarse largas distancias para poder realizar el control y manejo de la operación de los generadores. Gracias a los resultados de la investigación se pueden controlar los generadores desde el cuarto de control de la planta y ante una avería o fluctuación del sistema, desde el propio SCADA se pueden realizar las acciones correctivas para evitar una afectación del servicio.

Entre los métodos de investigación empleados podemos mencionar los siguientes: **análisis-síntesis**, se evidencia en la revisión bibliográfica enfocada en el rediseño del sistema de manejo de carga, selección de modos de operación y modificaciones al proyecto; **hipotético-deductivo**, de la definición de la hipótesis de investigación, a partir del problema científico, y en el planteamiento y determinación del sistema de manejo de los generadores.

Experimental, al lograr en la práctica un sistema de manejo de carga de los generadores y en la incorporación de nuevas variables al sistema.

Organización del informe

En el presente trabajo se abordan diferentes aspectos relacionados con la investigación, que son mostrados en el informe escrito que contiene una Introducción, desglose del desarrollo agrupado en tres Capítulos, Conclusiones, Recomendaciones, y por último las Referencias Bibliográficas. Se incorporan varios anexos para complementar los principales elementos tratados en los capítulos del informe escrito.

En el Capítulo I se realiza un análisis de los sistemas SCADA de forma general, de los requisitos de un SCADA, de sus tendencias actuales y las generalidades de los SCADA para grupos Electrógenos.

El Capítulo II hace una caracterización del proyecto SCADA utilizado por el fabricante (Hyundai), particularidades de su funcionamiento, se describen los mímicos y se determinan las deficiencias e insuficiencias en el manejo de carga de los generadores.

En el Capítulo III se efectúan las propuestas de incorporación de un sistema de operación remota de carga, programación del dispositivo de control, modificaciones de los mímicos del proyecto SCADA e incorporación de nuevas variables y la implementación de las modificaciones propuestas en el sistema SCADA

Las contribuciones fundamentales de este trabajo están encaminadas a garantizar un manejo satisfactorio y eficiente del sistema, la incorporación de un control de carga y modos de operación individuales para cada generador que facilitan a los operarios un mejor y eficiente control de la planta a partir de un mayor aprovechamiento del SCADA.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS SCADA EN GRUPOS ELECTRÓGENOS

En este capítulo se describen las principales características y tendencias de los sistemas SCADA. Se analizan los principales módulos y componentes de los mismos en su generalidad y los específicos del *WinCC*, que fue el sistema seleccionado por el fabricante. Se abordan además los principios de trabajo de los grupos electrógenos en nuestro país, así como la situación específica para el Cayo Santa María.

1.1 Fundamentos de los sistemas SCADA

Damos el nombre de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*, Control Supervisor y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y posibilite utilizar las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, y el control del mismo. Acorde a la definición se puede ver que no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel superior. (Penin, 2007a)

Los primeros SCADA eran simplemente sistemas de telemetría que proporcionaban reportes periódicos de las condiciones de campo que vigilaban las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas. Estos ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna, estaban basados en los contadores y las lámparas incorporadas a paneles llenos de indicadores. (Penin, 2007b)

Hoy en día los sistemas SCADA son parte integral de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos, ya que pueden recoger la información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente y presentarla a un operador en un entorno amigable. Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control al proporcionar la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas (Gómez, 2012). Además, responden al objetivo principal de la automatización industrial que consiste en gobernar la actividad y la evolución de los

procesos sin la intervención continua de un operador humano. (Cabús, Navarrete y Porras, 2004)

El sistema SCADA se encarga de asegurar la fiabilidad del sistema, mediante la adquisición y procesamiento de la información en tiempo real, para lo cual además de las funciones básicas de supervisión y control, incluye una interface hombre máquina así como también el almacenamiento histórico de eventos y de valores de telemetría. En los procesos de generación de energía eléctrica, es de suma importancia mantener controlado, a tiempo completo los equipos de la planta que generan la electricidad hasta los consumidores. (Plata, 2007)

La tecnología de interfaces computarizadas viene encaminada a sustituir los antiguos tableros de control por estaciones de trabajo. Con el uso de un SCADA comercial como *WinCC* se permite gestionar la información de una planta de manera muy simple y ágil, se dota de la capacidad de obtener dicha información de una amplia gama de componentes de sistemas de control. Su versatilidad y alcance es bastante amplio y permite la implementación de interfaces de operación gráficas de una manera sencilla y rápida. Se trata de un sistema abierto con soporte de estándares industriales que permiten una rápida personalización de las aplicaciones de monitoreo y despliegue de datos, así como la integración de aplicaciones propietarias. (Garduño, *et al.*, 2002)

Actualmente, con el empleo más generalizado de las redes digitales industriales, un sistema SCADA no sólo se diseña e implementa para procesos industriales ampliamente distribuidos geográficamente, sino que también pueden implementarse en complejos industriales concentrados en un solo sitio. Aprovechando las redes de comunicación, industriales y administrativas, en los sistemas SCADA actuales existe una computadora central que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y generación de tendencias de un proceso. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar sus procesos. (Corrales, 2007)

La tendencia actual apunta hacia la integración con el propósito de potenciar las funcionalidades del conjunto, lo que permite desarrollar estrategias de supervisión específicas para un proceso concreto, basadas en la aplicación de diferentes tecnologías e

integrarlas en un sistema de supervisión y control construido a partir de un SCADA comercial. (Llinás, Meléndez, y Ayza, 2000)

1.2 Requisitos de un SCADA

Existen diversos tipos de sistemas SCADA en dependencia del fabricante y sobretodo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente para el usuario con el equipo de planta (“*drivers*”) y con el resto de la empresa (acceso a redes locales y de gestión).
- Debe ser un programa sencillo de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fácil de utilizar, con interfaz amigable con el usuario.

1.3 Módulos comunes de un SCADA

En el diseño de un sistema SCADA se llevan a cabo un conjunto de acciones que brindan la posibilidad de contar con un entorno de control y supervisión completo, por ello es necesario conocer los principales módulos que conforman a este tipo de sistemas;

- **Configuración:** permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA y adaptarlo a las necesidades particulares de la aplicación.
- **Interfaz Gráfica:** generados desde el editor incorporado en el SCADA permite la elaboración de pantallas con múltiples combinaciones de imágenes y textos, para definir las funciones de control y supervisión de planta.
- **Tendencias:** esta herramienta permite representar de forma cómoda la evolución de variables del sistema y ver su comportamiento a lo largo del periodo de trabajo.
- **Alarmas y Eventos:** Las alarmas se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema. Son los sucesos no deseables, porque su aparición puede dar lugar a problemas de funcionamiento. Los eventos no requieren de la atención del

operador del sistema, registran de forma automática todo lo que ocurre en el sistema.

- **Registro y Archivo:** se encarga del almacenamiento y procesamiento ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- **Generación de Informes:** la capacidad de generar información capaz de ayudar en la toma de decisiones, aparece como complemento de las funcionalidades de adquisición, registro de datos y generación de alarmas
- **Control de Proceso:** Lenguajes de alto nivel, como Visual Basic, C o Java, son incorporados en los paquetes de software y brindan la posibilidad de programar tareas que respondan a eventos del sistema.
- **Comunicaciones:** se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el sistema y el resto de los elementos informáticos de gestión. La conexión se realizará mediante controladores específicos o genéricos.

1.3.1 Principales módulos SCADA

En la literatura consultada existen gran variedad de módulos SCADA concebidos en función el tipo de plataforma de software y de las características del diseñador, en este epígrafe se abordan los principales módulos SCADA disponibles en el *WinCC*, que es el sistema que se encuentra implementado en nuestro contexto de aplicación.

El *WinCC* es un sistema modular. Sus componentes básicos son el programa de configuración (CS) y el programa de ejecución (RT). En el *WinCC Explorer* que constituye el núcleo del programa de configuración, se encuentra la estructura global del proyecto:

- **Equipo:** punto de partida para la creación y configuración del proyecto de *WinCC*.
 - **Arranque:** se pueden indicar y editar aplicaciones que se inician automáticamente con el inicio del *WinCC Explorer*.
 - **Parámetros:** abarca la configuración del modo de trabajo del equipo seleccionado.
 - **Runtime de Gráficos:** se configura y ve la imagen de apariencia así como el modo de procesamiento para el *Runtime* de la aplicación.

- **Runtime:** se definen ajustes específicos de usuario para los demás productos de *WinCC* en el ordenador.
- **Graphics Designer:** es un editor que sirve para la creación y la dinamización de imágenes de proceso.
- **Tendencias:** esta herramienta permite representar de forma cómoda la evolución de variables del sistema y ver su comportamiento a lo largo del periodo de trabajo.
- **Alarm Logging:** El sistema de avisos se encarga de enviar un informe completo sobre los estados de averías y funcionamiento. Aquí se configura la preparación de avisos, la visualización de avisos en *Runtime*, el acuse de avisos y el archivo de avisos.
- **Tag Logging:** El sistema de archivo es responsable en *Runtime* del archivado de valores de proceso. El sistema de archivo procesa los valores de proceso almacenados de manera temporal en la base de datos de *Runtime* y los guarda en la base de datos de archivo.
- **Generación de Informes:** Es un componente del paquete básico General de *WinCC* y ofrece funciones para crear y sacar informes.
- **Global Script:** Es el término general empleado para funciones y acciones en C. Hay una serie de funciones en C disponibles para programas acciones frecuentes en *WinCC*. Estas funciones en C están divididas en grupos Funciones Estándar, de Proyecto e Internas.
- **Administración de Variables:** administra las variables y el controlador de comunicación que se usan en el proyecto.

Para la instalación del *WinCC* v6.2 es necesario tener en cuenta los requerimientos de hardware y software para realizar una eficiente gestión del mismo.

Especificaciones de Software:

- Sistema Operativo, Windows XP Professional Service Pack 2.
- Microsoft SQL Server 2005.
- SIMATIC NET

- Microsoft Message Queuing Services
- Licencias para *WinCC* y SIMATIC NET.

A continuación se muestran en la siguiente tabla estos requisitos.

Tabla 1.1. Especificaciones de Hardware del sistema

Requisitos	Mínimos	Recomendados
CPU	<u>Cliente:</u> Intel Pentium II, 300MHz <u>Servidor:</u> Intel Pentium III, 800MHz <u>Servidor Archivo Central:</u> Intel Pentium IV, 2GHz	<u>Cliente:</u> Intel Pentium III, 800MHz <u>Servidor:</u> Intel Pentium IV, 1.4GHz <u>Servidor Archivo Central:</u> Intel Pentium IV, 2.5GHz
Memoria RAM	<u>Cliente:</u> 256 MB <u>Servidor:</u> 512MB <u>Servidor Archivo Central:</u> 1GB	<u>Cliente:</u> 512 MB <u>Servidor:</u> 1GB <u>Servidor Archivo Central:</u> \geq 1GB
Capacidad en disco duro para instalación <i>WinCC</i>	<u>Cliente:</u> 500MB <u>Servidor:</u> 700MB	<u>Cliente:</u> 700MB <u>Servidor:</u> 1GB
Capacidad en disco duro para trabajar con <i>WinCC</i>	<u>Cliente:</u> 1GB <u>Servidor:</u> 1.5GB <u>Servidor Archivo Central:</u> 40GB	<u>Cliente:</u> 1.5GB <u>Servidor:</u> 10GB <u>Servidor Archivo Central:</u> 80GB
Tarjeta video	16 MB	32 MB
Número de colores	256	Color verdadero
Resolución	800x600	1024x768

1.4 Tendencias actuales en el desarrollo de aplicaciones SCADA

La evolución de los productos *software* para la adquisición y registro de datos en tiempo real y la supervisión y control de procesos se orientan en los siguientes ámbitos:

- El desarrollo de aplicaciones sectoriales en las que el fabricante es el proveedor y en las que acostumbra a existir un importante acomodamiento a determinados sectores industriales.
- El desarrollo de herramientas de tipo general donde es determinante la facilidad de configuración por parte del proveedor, generalmente distinto al fabricante.
- Su integración en entornos completos para la gestión del negocio para disponer de la información de la planta en tiempo real, control y tratamiento de datos, y supervisión y gestión global de la empresa.
- Tratamiento de los datos adquiridos en planta por parte de sistemas expertos que ofrecen funcionalidades de detección y diagnóstico de fallos
- La posibilidad de configuración en línea, pues permite hacer modificaciones en una aplicación activa e incorporarlas directamente, sin necesidad de detener la aplicación y relanzar la posteriormente.

Si bien las topologías que sobre las que se sustentan los sistemas SCADA se han adecuado a los servicios de los sistemas operativos y protocolos actuales, las funciones de adquisición de datos y supervisión no han variado mucho respecto a las que proponían en sus inicios. Se han adoptado estándares de comunicación, tanto para la comunicación entre dispositivos como entre aplicaciones y la disponibilidad de módulos especializados para el análisis de datos obtenidos en tiempo real y para la comunicación de los usuarios con el sistema a través de Internet. (Solé, 1999)

En la industria cubana los SCADA se han insertado con diferentes niveles de complejidad en el control de procesos en las diferentes esferas como son: la farmacéutica, de alimentos, de generación de electricidad, de extracción y perforación de petróleo, turismo entre otras, con el propósito de aumentar la calidad de la producción y humanizar el trabajo del hombre. (López, 2011)

1.5 Principios de trabajo de los Grupos Electrógénos en Cuba

Los Grupos Electrógénos son equipos electromecánicos que ejercen como unidades autónomas para suministrar energía eléctrica. Brindan servicio de generación permanente,

temporal o de emergencia para suplir al suministro normal, durante cortes eventuales o programados. Se operan fundamentalmente en;

- **Isla:** los grupos electrógenos en su concepción están diseñados normalmente para funcionar de modo aislado (llamado también modo isócrono) las unidades trabajan de forma independiente o paralelas entre sí, pero fuera del sistema de forma tal que los parámetros de frecuencia, voltaje y factor de potencia son fijados por ellas.
- **Sincronizado:** las unidades trabajan en paralelo guiadas por el sistema de forma sincronizada, los parámetros de voltaje, frecuencia y factor de potencia son fijados por el sistema, el regulador de velocidad de la máquina controlará la potencia activa y el regulador de voltaje controlará la potencia reactiva.

Principales modos de ajuste para el trabajo en Isla y Sincronizado.

- **Modo fijo:** la unidad aporta una potencia fija al sistema. La potencia de las unidades tiende a variar con las variaciones de frecuencia del sistema y el sistema de control corrige la potencia fijada.
- **Modo droop:** la unidad aporta potencia al sistema y se convierte en apoyo de regulación de frecuencia del mismo (regulación de frecuencia secundaria). No tiene fijada ninguna potencia, el operador la varía de acuerdo a la necesidad del sistema.
- **Modo isócrono:** la unidad regula frecuencia. Se ajusta la caída de velocidad a cero. Las variaciones de carga del sistema son asumidas por la unidad, sin que la frecuencia de esta varíe.

Dado que los Grupos Electrógenos objeto de estudio están ubicados en el Cayo Santa María, se explica brevemente a continuación en qué consiste el principio de operación de los mismos.

El principio de operación en el Cayo Santa María, obedece al principio del trabajo en modo Isla ya que dicha locación se encuentra totalmente aislada. Por este motivo se cuentan con unidades a potencia fija y otras en modo isócrono, mediante regulación de frecuencia, por lo que es necesario que la reserva rodante sea representativa ante las variaciones de carga del subsistema; con unidades en modo fijo y otras en modo *droop*, la frecuencia se tiene que ajustar manualmente; o con unidades en modo *droop* y otras en modo isócrono, el

ajuste del *droop* o caída de velocidad tiene que ser suficiente para evitar oscilaciones de carga entre unidades y desestabilización del subsistema.

Como se ha evidenciado en este capítulo, la utilización de las plantas de generación eléctrica con motores de combustión interna, resulta sumamente ventajoso en nuestros días, entre otros factores por la facilidad de montaje, cortos tiempos de mantenimientos, bajo índice de consumo, etc., brindando solución a las necesidades energéticas de nuestro país.

Se ha profundizado en los principales aspectos y características de los sistemas SCADA y la importancia de su aplicación en la industria, las principales tendencias en su diseño, arquitectura, así como sus ventajas y desventajas, donde se evidencia que el uso de los sistemas SCADA por sus prestaciones y características son parte vital del desarrollo de los procesos industriales y su necesaria aplicación en las plantas de generación de electricidad no es la excepción.

Conclusiones del Capítulo

Con el alto nivel de tecnología que caracteriza a los Grupos Electrónicos Hyundai, se hace necesario emplear sistemas SCADA que por sus características y prestaciones resulten vitales para la explotación de estas plantas generadoras.

Estos SCADA dada la gran cantidad de variables implicadas en el proceso a manejar por los operadores de forma simultánea, garantizan la eficacia en la operación de estos sistemas de generación.

Es importante conocer a profundidad el funcionamiento de la planta y del sistema para garantizar una explotación eficiente y segura del proceso, así como disponer de la capacidad de realizar posibles modificaciones y mejoras.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL SCADA PARA EL MANEJO DE LA PLANTA HYUNDAI

En las tecnologías de generación eléctrica resulta sumamente importante y necesaria la utilización de los sistemas SCADA, en este sentido las centrales eléctricas Hyundai, que conforman el núcleo de este trabajo, no son la excepción. Las mismas vienen provistas de un sistema de supervisión el cual emplea el paquete de *WinCC* que constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los SCADA para la visualización y control de los procesos industriales, tales como los de generación de electricidad, refinerías, etc.

En este capítulo se ofrece una descripción de los diferentes subsistemas de la planta Hyundai emplazada en el Cayo Santa María, además se describen los mímicos del sistema. Se realiza un análisis de la operación de los generadores de la planta y se elaboran las propuestas de las modificaciones a realizar.

2.1 Descripción del Proceso Tecnológico

Una Central Eléctrica Fuel (CEF) consiste en un grupo de motores de combustión interna cuyo combustible para funcionar es el denominado *fuel oil*. El proceso en sí radica en el acoplamiento de un generador eléctrico a un motor de combustión interna para generar electricidad. Este tipo de centrales son empleadas en dos formas, modo isla o modo sincronizado. En modo isla trabajan aisladas del sistema y son básicamente las propias máquinas las encargadas de regular frecuencia, voltaje y factor de potencia. En modo sincronizado las unidades trabajan con el sistema como referencia donde el regulador de velocidad de la máquina controlará la potencia activa y el regulador de voltaje controlará la potencia reactiva.

Una CEF está conformada por una serie de módulos que a su vez derivan en baterías que agrupan cuatro motores, una unidad de tratamiento de combustible, una caldera recuperadora de vapor, una unidad de compresores y una unidad de tratamiento eléctrico (ETU). Además, como parte comunes para todas las baterías se encuentra una estación de descarga y transferencia de combustible, una planta de tratamiento de agua, una unidad de arranque en negro y un cuarto de control remoto para el monitoreo y control de toda la planta (RCMS).

La Unidad de Tratamiento de Combustible, también denominada como HTU (*Heavy Fuel Treatment Unit*), se encarga de la preparación de combustible y el lubricante. Conformado por bombas, válvulas automáticas, tuberías, tanques de recepción y operación de combustible, etc. conforman este sistema de la central. Su función es purificar el lubricante y el combustible que es empleado por el motor, así como reducir la viscosidad de este último antes de ser usado para la combustión.

El proceso de purificación en ambos casos (combustible pesado y lubricante) tiene un mismo objetivo, separar partículas sólidas y agua del combustible y restos de la combustión en el aceite de lubricación. (López, 2011)

La purificación se realiza por medio de la fuerza centrífuga o el levantamiento simultáneo de agua y partículas sólidas que se dispersan en el combustible pesado. Siendo esta, miles de veces mayor que la gravedad, siendo usada en estos funcionamientos para acelerar la separación.

La tecnología de separación centrífuga es un componente central en este campo, que permite un procesamiento que garantiza un óptimo aprovechamiento de la materia prima. En esta separación centrífuga, una cámara cilíndrica, ancha y relativamente plana gira en una carcasa estacionaria. (HIMSEN-HYUNDAI, 2010g)

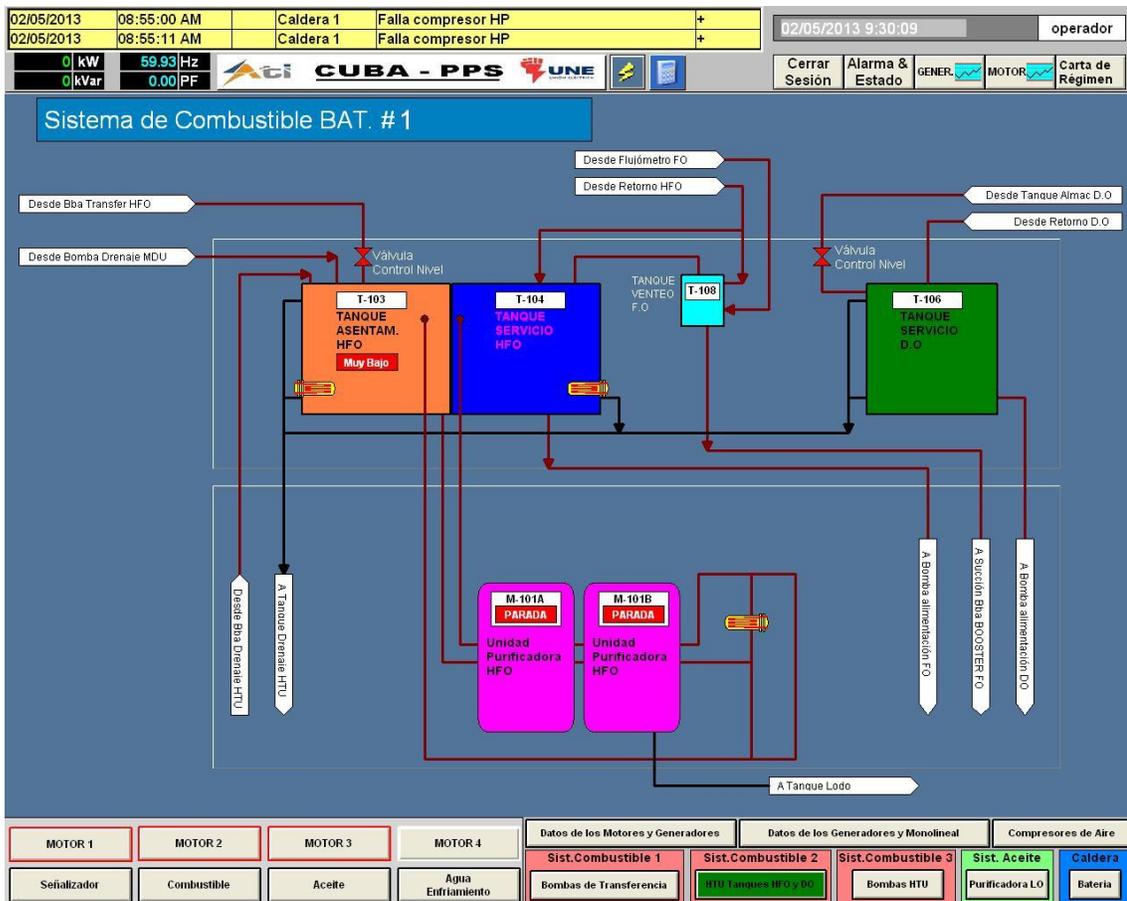


Figura 2.1: Mímico sistema de purificación de *Fuel Oil*.

A continuación se procede a describir el proceso de tratamiento al cual se somete el combustible del HFO, el cual pasa por las siguientes etapas:

1) Purificación

El HFO tiene que ser purificado mediante centrifugación ya que los combustibles están siempre contaminados con partículas sólidas, sales, agua, etc. Antes de centrifugar el combustible debe pre-calentarse para disminuir su viscosidad.

2) Calentamiento

La viscosidad del combustible para la máquina debe mantenerse con valores entre 12 cSt (432 cm²/h) a 18 cSt (648 cm²/h) y la temperatura máxima de calentamiento para el combustible debe ser 155 °C, para evitar vapores en el sistema de combustible.

3) Control de Viscosidad

La viscosidad cinemática de combustible que va hacia a la máquina debe mantenerse dentro de los valores establecidos que podrían lograrse por el calentamiento apropiado que recomienda el proveedor del combustible, el mismo se controla de forma automática por un controlador de viscosidad para crear condiciones de temperatura y viscosidad antes de ingresar el combustible al sistema del motor.

El proceso de tratamiento al cual se somete el combustible lubricante es muy similar al del HFO, y se denomina sistema de Purificación del Aceite Lubricante, aunque además el motor cuenta con un filtro.

Este tipo de purificador centrífugo es requerido para el motor cuando emplea combustible pesado. Es recomendado separar el aceite del motor mientras está en operación. De esta manera, el aceite sucio puede ser removido inmediatamente cuando es suministrado al motor.

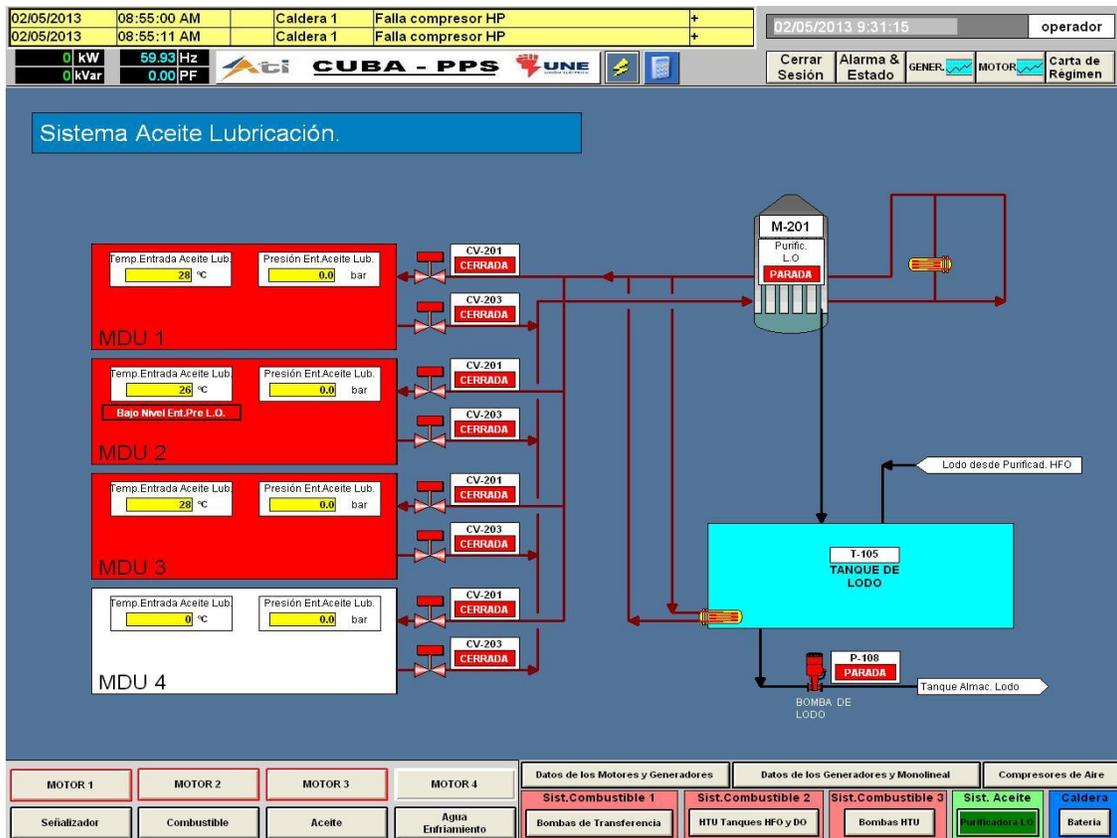


Figura 2.2: Mímico sistema de purificación de Aceite.

Compresor: la unidad de compresores conjuntamente con sus válvulas automáticas, tuberías, elementos de accionamiento, motor de arranque, etc. conforman el sistema de aire de la central. Generalmente este aire es usado con dos finalidades, una la de ser empleado (aire de alta 30 bar) por el motor de arranque de las máquinas, dado los grandes torques que se pueden generar y las ventajas de robustez que presentan los equipos neumáticos; y segunda para el accionamiento (aire de baja 8 bar) de las válvulas automáticas de cambio de combustible y aceite del motor. (HIMSEN-HYUNDAI, 2010a)



Figura 2.3: Mímico del sistema de compresores

Arranque en negro (*Black Start*)

Como parte de esta unidad existe el denominado arranque en negro (grupo de emergencia) de 700kW con motor diésel, en el que la puesta en marcha se realiza con un motor eléctrico que recibe la energía de una batería de 12V. Su papel dentro de la central es suministrar voltaje a equipos auxiliares para lograr crear las condiciones de operación (poner en servicio compresores y bombas de alimentación de combustible) y arrancar un grupo de la central (1,7 MW o 2,5MW) ante ausencia de suministro eléctrico del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

Caldera recuperadora

El sistema de generación de vapor de planta está conformado por todo un conjunto de bombas de alimentación y recirculación, válvulas, tuberías, y demás.

Su función está orientada a generar vapor saturado cuya principal uso es en el tratamiento del combustible (*fuel oil*), para su trasiego mediante el módulo de bombas de transferencia y purificación a través del módulo de tratamiento del HFO, en aras de cumplir con los parámetros normados por el fabricante para poder ser utilizados en la combustión del motor.

Este tipo de plantas de generación eléctrica no usa combustible para generar el vapor como en las centrales termoeléctricas. Aquí se aprovechan las altas temperaturas de los gases de escape de los motores ($>350^{\circ}\text{C}$). Estos gases de la combustión a altas temperaturas se hacen pasar por la superficie exterior de los intercambiadores por donde continuamente se recircula el agua mediante bombas entre el domo y la caldera. Esto permite arrastrar las burbujas de vapor que se forman en las paredes interiores del intercambiador hasta el domo, donde se concentra el vapor a presión (6,8 bar a 7,2 bar), el cual es colectado en un cabezal común de donde es distribuido a las unidades que lo requieren. (López y Jiménez, 2010)

El sistema de generación de vapor cuenta con tres lazos cerrados de control, los cuales cuentan con controladores independientes acompañados de un alto nivel de instrumentación. Las principales variables implicadas en este control son:

- Nivel del domo
- Nivel del tanque de agua caliente
- Presión del domo.

Nivel del domo

Este lazo de control se conforma por un transmisor inteligente e indicador de presión diferencial con salida de 4 mA a 20 mA, el controlador y una válvula automática. La señal de salida del sensor es conducida hasta el controlador del lazo cuyo objetivo es mantener el nivel en el rango de operación deseado, enviando una señal de control sobre la válvula automática de alimentación de agua del domo, que es el elemento final de control

encargado de regular la cantidad de caudal de agua de entrada al domo y dando una salida de 4 mA a 20 mA para el autómatas a través de un módulo de entradas analógicas, cuyo objetivo es transmitir el valor numérico del nivel del domo hasta el SCADA.

Nivel del tanque de agua caliente

Este lazo de control es muy similar al del nivel del domo, se emplean de igual forma instrumentos similares para realizar su función, sólo que con ajustes diferentes y de forma similar la señal de nivel es llevada al PLC y posteriormente al SCADA.

Presión del domo

El lazo de presión se conforma por el sensor-transmisor de presión con salida 4 mA a 20 mA, el controlador y la válvula de tres vías tipo *dámper*. Después del controlador de presión recibir la señal enviada por el transmisor, se lleva a cabo la acción de control sobre la válvula que regula el caudal de los gases de escape hacia el interior de la caldera recuperadora. Similar a los dos lazos de control antes mencionados, la señal de presión del domo es transmitida al nivel superior del SCADA (ver figura 2.4).

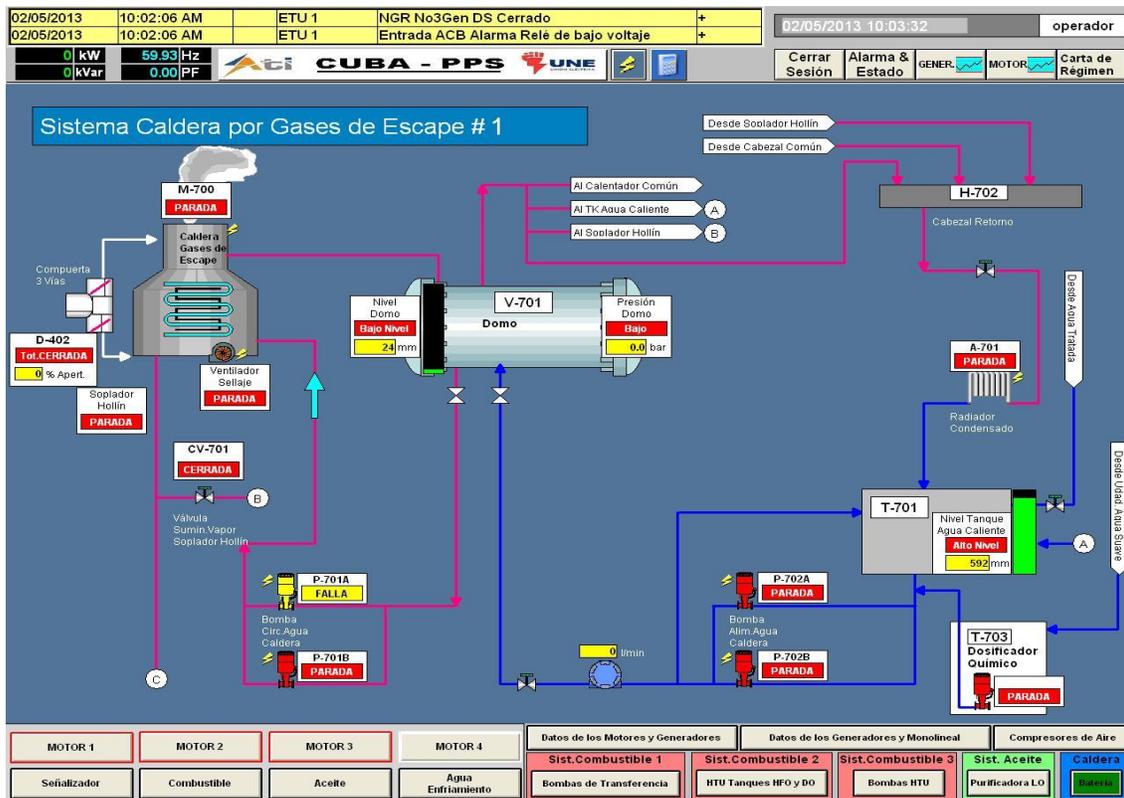


Figura 2.4: Mímico sistema de generación de vapor.

Motor-Generador

La automatización del motor consiste en un sistema de control, monitoreo y seguridad, los cuales están diseñados para satisfacer los requerimientos de los consumidores. Los sensores e indicadores están instalados en el motor adecuadamente y conectados al panel del sistema de energía para controlar y monitorear todo este subsistema. El motor responde a las señales vía mecanismos neumáticos y electrónicos del mismo. Por lo tanto, energía eléctrica de 24 VCD y aire comprimido de más o menos 30 bar, deben ser suministrado constantemente durante la operación del motor.

El aire comprimido suministrado del tanque de aire se disminuye hasta la presión apropiada en la válvula reductora del motor de arranque, el cual es usado para encender y parar el motor. El sistema de automatización puede proporcionar conexiones para un sistema de control remoto en dependencia de los requerimientos del consumidor. Las funciones básicas del sistema de automatización del motor son las siguientes:

- Sistema de Arranque del Motor
- Sistema de Parada del Motor
- Sistema de Control de Velocidad del Motor
- Sistema de Seguridad del Motor

El conjunto motor-generador es la principal razón de uso de la planta. En este acápite se aborda el generador así como los gráficos asociados al mismo, en el anexo I se muestran los datos de chapa más importantes del generador. Los mímicos asociados a la visualización de los datos eléctricos del generador son: **Singleline.PDL**, **GPCCtrl.PDL** y **EngineOverview.PDL**, esta última muestra en conjunto todas las variables y estados del motor y el generador. Además, en los registradores se archivan algunas de estas variables eléctricas para su posterior análisis y trazabilidad de la planta.

El mímico **Singleline.PDL** correspondiente a la figura 2.5 muestra todos los valores eléctricos de los generadores y los analizadores de red de la batería. En este, se muestran cada uno de los parámetros eléctricos medidos mediante el Controlador Paralelo del Generador (GPC) que a su vez son accesibles de forma local en cada panel. Además de los

analizadores, también se reciben todos los datos de las mediciones de voltajes de barra, las corrientes en cada una de las fases, entre otros aspectos.

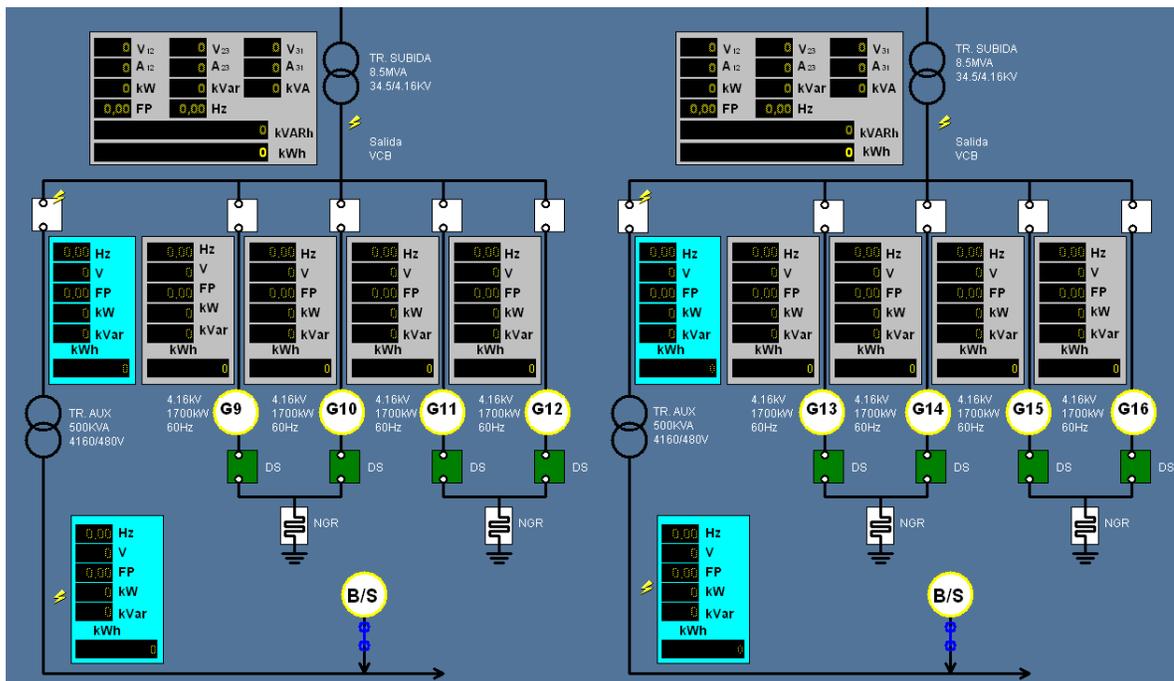


Figura 2.5: Mímico **Singleline.PDL**, proyecto típico Hyundai 16 motores.

En la figura 2.6 se muestra el mímico **GPCCtrl.PDL** que es en el que se reciben los datos de todos los generadores de la planta así como los estados fundamentales para la operación. Se muestran los valores instantáneos de Potencia Activa, Frecuencia, Reactiva, Factor de Potencia y Voltaje del generador. También aparece reflejado el estado en el que se encuentra el control del generador modo ETU, RCMS o si esta en modo local MDU. En este mímico además aparecen los valores de ajuste que son enviados a los GPC cuando el control de los mismos está en modo RCMS. Para realizar el proceso de descarga del generador a través del GPC también se encuentra implementado en esta pantalla.



Figura 2.6: Mímico **GPCCtrl.PDL**, proyecto típico Hyundai 12 motores.

En este gráfico es en el que se realiza la mayor parte de la propuesta de trabajo, ya que posee el inconveniente que sólo es posible inicializar los valores a todos los generadores a un mismo valor lo cual limita la potencialidad del SCADA elegido por el fabricante.

La operación remota de los generadores tiene su principal limitante en que obligatoriamente hay que llevar a todos los generadores en modo RCMS al mismo porcentaje de carga. Si hay algún generador limitado mecánicamente que no pueda alcanzar el mismo valor que lo demás generadores, ya no puede ser manejado desde el sistema SCADA. Esta dificultad está tanto en el SCADA como en la programación del autómata del RCMS. Tampoco brinda la posibilidad de manejar el control de los generadores en diferentes modos de operación, por lo que limita a los mismos a trabajar al menos desde el SCADA en un solo modo de operación, ya sea Fijo o *Droop*.

Después de esta breve descripción, se llega a la esencia de la propuesta que consiste en implementar la importante funcionalidad de controlar los modos de operación de los generadores y controlar de forma individual los diferentes porcentajes de carga, lo cual en la versión original no es posible.

2.2 Arquitectura de la comunicación de la planta

El proyecto del Cayo Santa María mantiene el mismo principio de la estructura de comunicación diseñado por el fabricante. Enlaces *Industrial Ethernet* (IE) entre los autómatas programables, y enlaces *Profibus DP* entre los autómatas del motor y las periféricas descentralizadas en el ETU y MODBUS para el manejo de las variables eléctricas de los generadores. Como principal característica de esta planta en particular se debe destacar que; al tener que insertarse la batería Hyundai en una planta con diferentes tecnologías fue necesario reacondicionar la estructura de la red para cumplir con las normas de distancia. Este fue el principal reto en el montaje y puesta en marcha de la comunicación de la planta.

La arquitectura del fabricante la red IE la conforman las cuatro unidades motor - generador, la unidad de tratamiento de combustible (HTU), la caldera y la unidad de tratamiento eléctrico (ETU). Cada una de estas CPU se conectan a un *switch* concentrador en el ETU y que a su vez se encuentra enlazado a otro en el RCMS, tal y como se muestra en la figura 2.7.

Este *switch* de la estación de monitoreo se comunica físicamente con la CPU de la propia estación de monitoreo, de donde además se enlazan las PC industriales, para de esta forma manipular las variables que llegan al SCADA.

Como principal deficiencia se destaca que no fue posible realizar una redundancia de la comunicación, lo que hace vulnerable la integridad de la red industrial ante alguna falla.

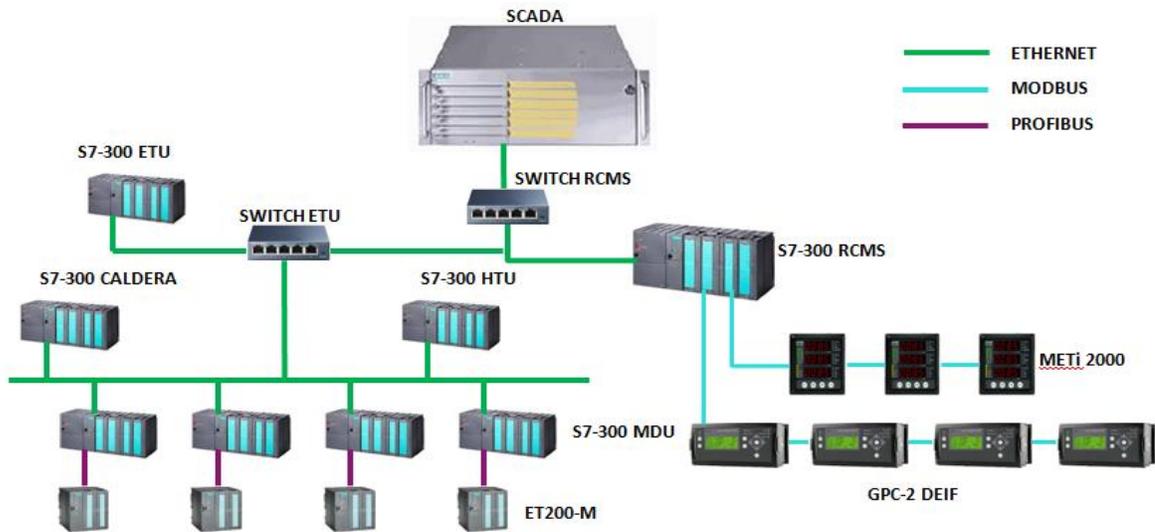


Figura 2.7: Arquitectura de la red industrial de la planta.

2.2.1 Enlaces S7 para la comunicación entre autómatas

Los sistemas de Hyundai cuentan con autómatas Siemens S7-300 para sus configuraciones de 1,7 y 2,5 MW que son las que se dispone en Cuba. La transferencia de datos se lleva a cabo con Ethernet Industrial.

La transferencia se efectúa mediante bloques de función de Siemens FB12 "BSEND" para envío y FB13 "BRCV" para recepción. El FB 12 (BSEND) emite datos a un FB remoto del tipo "BRCV". En esa transferencia de datos puede ser transportada una mayor cantidad de datos entre los interlocutores de lo que es posible entre todos los otros FBs para los enlaces S7 configurados, o sea, hasta 32768 bytes en S7-300, ver figura 2.8.

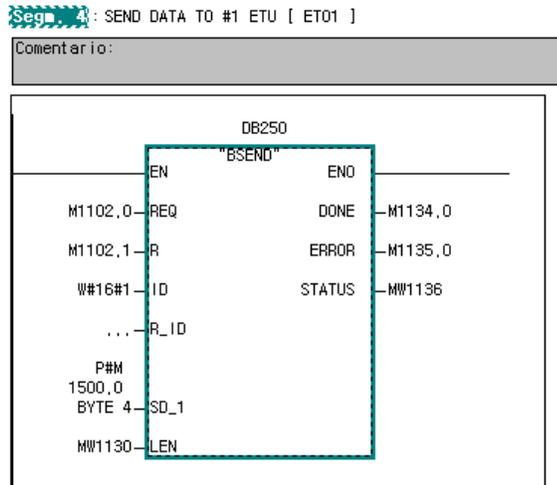


Figura 2.8: Ejemplo de envío desde PLC del RCMS al PLC de ETU.

El bloque de función FB 13 (BRCV) recibe datos de un FB remoto asociado del tipo "BSEND". Después de cada segmento de datos recibido se envía un acuse de recibo al FB asociado, como se muestra en la figura 2.9.

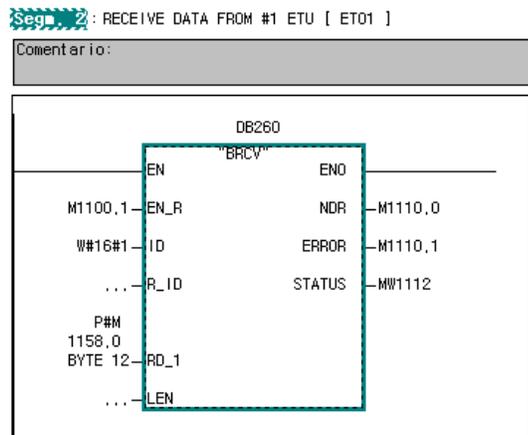


Figura 2.9: Ejemplo de recepción del PLC del RCMS desde el PLC de ETU.

2.2.2 Enlaces Profibus DP para periferia descentralizada

Los buses de campo en serie se usan en la actualidad fundamentalmente como sistemas de comunicación para intercambio de información entre los sistemas automatizados y los dispositivos de campo distribuidos. Sólo se usan dos hilos para transmitir toda la información relevante, esto es, datos de entrada/salida, parámetros, datos de diagnóstico, programas y tensión de alimentación para los dispositivos de campo.

Profibus es el líder en Europa de los sistemas de bus de campo abierto, y disfruta de una amplia aceptación mundial. Fue estandarizado en el estándar de buses de campo europeo EN 50 170, concretamente en el volumen 2.

La familia Profibus está formada por tres versiones compatibles entre sí, ellas son:

- Profibus-DP (Periferia Descentralizada, DIN E 19245, Parte 3), perfil para el acoplamiento de la periferia descentralizada, por ejemplo ET 200 con tiempos de reacción. El intercambio de datos es cíclico. El tiempo de ciclo debe ser menor que el tiempo de ciclo del programa del controlador central.
- Profibus-PA (Process Automation) es la ampliación de Profibus-DP compatible en comunicación con una tecnología que permite aplicaciones en el área Ex. El sistema de transmisión de Profibus-PA cumple la normativa internacional IEC 1158-2.
- Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification, DIN 19245 T.2) es aplicable para la comunicación de autómatas en pequeñas células y para la comunicación con dispositivos de campo con interfase FMS. En Profibus-FMS la funcionalidad es más importante que conseguir un sistema con tiempo de reacción pequeño. En la mayor parte de aplicaciones, el intercambio de datos es fundamentalmente no cíclico en base a la demanda del proceso del usuario.

Profibus especifica las características técnicas y funcionales de un sistema de bus de campo serie, al cual pueden conectarse controladores digitales descentralizados desde el nivel de campo hasta el nivel de célula, donde se distinguen entre dispositivos maestros y esclavos:

- **MAESTROS.** Determinan la comunicación de datos en el bus. Un maestro puede enviar mensajes, sin necesidad de una petición o solicitud externa, cuando posee los derechos de acceso al bus (token). A los maestros también se les da el nombre de estaciones activas en el protocolo Profibus.
- **ESCLAVOS.** Son elementos de periferia. Los esclavos típicos incluyen dispositivos de entrada/salida, válvulas, transmisores de medida y accionamientos. Éstos no tienen derechos de acceso al bus y sólo pueden acusar los mensajes recibidos o enviar mensajes al maestro cuando éste así lo requiere. A los esclavos también se

les da el nombre de estaciones pasivas. Dado que sólo les es necesaria una pequeña parte del protocolo del bus, su aplicación es especialmente económica y sencilla.

En el proyecto bajo estudio cada motor- generador cuenta con un esclavo ET200M para comunicar todas las entradas y salidas de los equipos en el ETU a la CPU colocada en el panel del motor, que ejerce básicamente la función de una extensión de módulos para el PLC del motor.

2.2.3 Comunicación Modbus para transmisión de datos eléctricos

La designación Modbus Modicon corresponde a una marca registrada por Gould Inc. Como en otros tantos casos, la designación no corresponde propiamente al estándar de red, que incluye todos los aspectos desde el nivel físico hasta el de aplicación, sino a un protocolo de enlace (nivel OSI 2). Por tanto, puede implementarse con diversos tipos de conexión física, donde cada fabricante suele suministrar un software de aplicación propio, que permite parametrizar sus productos.

No obstante, se suele hablar de MODBUS como un estándar de bus de campo. El protocolo establece cómo los mensajes se intercambian en forma ordenada y la detección de errores.

El medio físico de conexión puede ser un bus semidúplex (half duplex) (RS-485 o fibra óptica) o dúplex (full duplex) (RS-422, BC 0-20mA o fibra óptica).

La comunicación es asíncrona y las velocidades de transmisión previstas van desde los 75 hasta 19.200 baudios. La máxima distancia entre estaciones depende del nivel físico, donde se pueden alcanzar hasta 1200 m sin repetidores. (SIEMENS, 2012a)

La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado por el maestro. El número máximo de estaciones previsto es de 63 esclavos más una estación maestra. A cada esclavo se le asigna una dirección fija y única en el rango de 1 a 247. Existen dos variantes en el formato: ASCII y RTU.

Los intercambios de mensajes pueden ser de dos tipos:

- Intercambios punto a punto, que comportan siempre dos mensajes: una petición del maestro y una respuesta del esclavo (puede ser simplemente un reconocimiento (*acknowledge*)).

- Mensajes difundidos. Estos consisten en una comunicación unidireccional del maestro a todos los esclavos. Este tipo de mensajes no tiene respuesta por parte de los esclavos y se suelen emplear para mandar datos comunes de configuración, reset, etc.

Para este proyecto los fabricantes optaron por la CP 340 y un módulo procesador de comunicación de Siemens para comunicación serie.

El mismo permite establecer un acoplamiento punto a punto con diferentes módulos Siemens, así como con productos de otros fabricantes. Además puede operar descentralizadamente con el sistema de periferia descentralizada ET 200M (IM 153).

Se dispone de tres variantes de módulo del procesador de comunicaciones que se describen a continuación, cada una con diferente física de interfaz, para adaptarse a la física del interlocutor. Siemens pone a su disposición cables de conexión estándar de diferentes longitudes para el acoplamiento punto a punto entre el procesador de comunicaciones y su interlocutor. (SIMATIC, 2007)

- Interfaz RS 232C del CP 340–RS 232C. La interfaz RS 232C es una interfaz de tensión cuya función es la transmisión serie de datos de acuerdo con la norma RS 232C.
- Interfaz 20mA-TTY del CP 340–20mA-TTY. La interfaz 20mA-TTY es una interfaz de lazo de corriente cuya función es la transmisión serie de datos.
- Interfaz X27 (RS 422/485) del CP 340–RS 422/485. La interfaz X27 (RS 422/485) es una interfaz diferencial cuya función es la transmisión serie de datos de acuerdo con la norma X27.

Con Modbus 485 se enlazan cada uno de los GPC de cada unidad motor - generador el cual tiene la función del reparto de carga de estas así como las protecciones eléctricas.

De igual forma se enlazan cada uno de los metros contadores de energía. Ambos enlaces se conectan a través de un módulo de expansión (CP 340) de la CPU de la estación de monitoreo. La información es manipulada y recepcionada por el S7 Protocol Suite de WinCC donde las PC leen estos datos.

2.3 Integración de las bombas de transferencia al HTU

Las bombas de transferencia de combustible, forman parte de la Estación de Bombeo la cual no fue trasladada. Dicha estación pertenece a los módulos que conforman la planta agrupados en bombas de descarga y transferencia. Las bombas de descarga son las que llevan el combustible tanto el diésel como el *fuel oil* a los tanques de almacenamiento, cuya parte del proceso ya existía y no era necesario su uso en el proyecto.

Las bombas de transferencia son las encargadas de llevar el combustible desde los tanques de almacenamiento a los tanques de servicio del HTU, por lo que estas si eran parte indispensable para realizar la integración, debido a que no había compatibilidad entre el sistema existente y el de Hyundai.

En los proyectos originales de Hyundai es el HTU el que gobierna el arranque y parada de las bombas de transferencia, comandos programados y previamente enviados por comunicación hacia el PLC de la Estación de Bombeo. Al activarse las señales de bajo nivel de los tanques de servicio de diésel o *fuel oil*, se enviaba la señal de arranque de las respectivas bombas de transferencias al PLC de la estación de bombeo. Como este panel no fue necesario trasladarlo se debía analizar el programa del PLC del HTU y realizar un diagnóstico de las entradas y salidas disponibles para ejecutar esta función ahora de forma local; además de poder señalar en el panel el estado de arranque y parada de las bombas y realizar la selección de operación de las mismas en caso de que una estuviera en falla, así como su operación automática.

De esta forma quedan conformadas las nuevas variables y las entradas utilizadas para señales de las bombas de transferencia según aparece respectivamente en la figuras 2.10 y 2.11, para el anunciador; donde además visualiza la señal de alarma en las bombas de transferencia de HFO y Diésel (DO). En las lámparas de indicación se muestra cual bomba de transferencia se encuentra en operación.

FI (ANNUNCIATOR) DETAIL

DC24V LED LAMP (RED COLOR)

F.O SERVICE TANK LEVEL LOW	D.O SERVICE TANK LEVEL LOW	D.O SERVICE TANK LEVEL HIGH	H.F.O LEVEL CONTROL V/V ALARM	H.F.O LEVEL CONTROL V/V ALARM
F.O BOOSTER P/P PRESS. LOW	F.O FILTER DIFF. PRESS. HIGH	D.O SUPPLY P/P PRESS. LOW		
BOILER COMMON ALARM	ALARMA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 1	ALARMA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 2	ALARMA BOMBA TRANSFERENCIA D.O. # 1	ALARMA BOMBA TRANSFERENCIA D.O. # 2

Figura 2.10: Nuevas variables incorporadas al anunciador de panel de HTU.

INDICATION LAMP (30S)

DC24V LED LAMP

AC 220V POWER SOURCE G1	H.F.O MODE G2	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 1 G3	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 2 G4	RCMS CONTROL MODE G5
DC 24V CONTROL SOURCE G11	D.O MODE G12	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA D.O. # 1 G13	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA D.O. # 2 G14	SPARE G15

Figura 2.11: Entradas utilizadas para señales de las bombas de transferencia.

Como parte de la modificación a la lógica del PLC del HTU se utilizaron entradas digitales que estaban como repuesto en el autómat. En este caso para las señales de Marcha Bomba Transferencia HFO#1 y #2 se utilizaron las entradas I4.0 e I 4.2 respectivamente, mientras que para las señales de Marcha Bomba Transferencia DO #1 y #2 se usaron las entradas I4.3 e I4.4, tal como se muestra en la figura 2.12.

6EST 321-1BL00-0AA0		LOCAL RACK NO. <input type="text" value="0"/>	SLOT NO. <input type="text" value="2-0"/>	REFERENCE	
TB NO.	ADD NO.	DESCRIPTION		FROM	LOCATION
A/2	I : 4.0	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 1		B1-CK1	P. CONTROL BOMBAS COMB. 
A/3	I : 4.1	VISCOSITY COMMON ALARM			FROM VISCOSITY
A/4	I : 4.2	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 2		B2-CK1	P. CONTROL BOMBAS COMB. 
A/5	I : 4.3	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA D.O. # 1		B3-CK1	
A/6	I : 4.4	MARCHA BOMBA TRANSFERENCIA D.O. # 2		B4-CK1	
A/7	I : 4.5	ALARMA BOMBA TRANSFERENCIA H.F.O. # 1		B1-CD1	

Figura 2.12: Entradas utilizadas para señales de las bombas de transferencia.

Una vez realizada la programación en el autómatas del HTU se puede llevar a cabo la operación de las bombas desde el SCADA, así como incorporar y redireccionar las variables previamente disponibles en el PLC de la Estación de Bombas ahora al PLC del HTU.

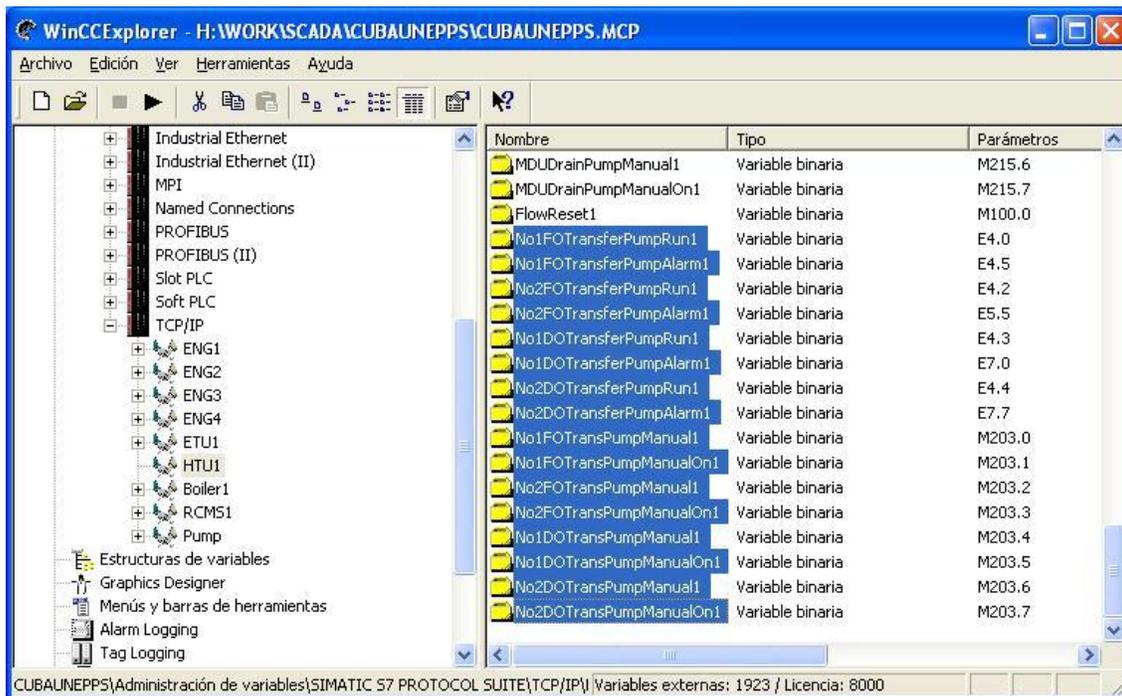


Figura 2.13: Nuevas variables incorporadas al HTU para uso en WinCC (vista desde el Administrador de Variables de WinCC).

2.4 Preparación del Hardware del PLC para la operación de cuatro generadores

Fue necesario reajustar todo el hardware del panel del RCMS para el control de sólo 4 motores. Puesto que el panel original controlaba y monitoreaba la operación de 16 motores iban a quedar módulos de entradas y salidas, así como de comunicación de forma obsoleta. De igual forma se tuvo que modificar todo el programa del autómeta del control para que fuera consistente el hardware existente con el trabajo del software.

2.4.1 Análisis de la configuración de hardware existente

El RCMS que se trasladó al Cayo Santa María, era el que se encontraba en la CEF Naranjito el cual estaba configurado para gobernar 16 generadores. Por lo que el hardware con el que se contaba superaba ampliamente la necesidad real del proyecto, quedándose subutilizado gran parte del hardware.

La configuración original de hardware tal y como se puede apreciar en la figura 2.14 consta de:

- 1 módulo de expansión IM365 (Interface para un bastidor de ampliación)
- 6 módulos de comunicación CP340 (Procesador de comunicación con conexión RS422/485)
- 2 módulos de 32 entradas digitales (Módulo de entradas digitales DI32, 24V)
- 7 módulos de 32 salidas digitales (Módulo de salidas digitales DO32, 24V/0.5A, en grupos de 8)

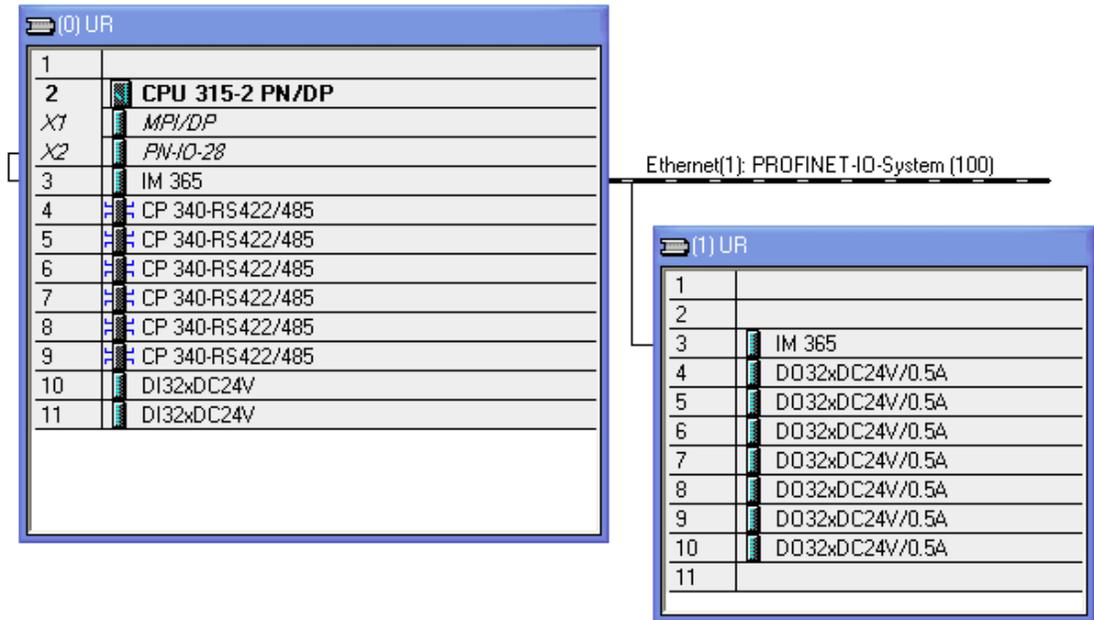
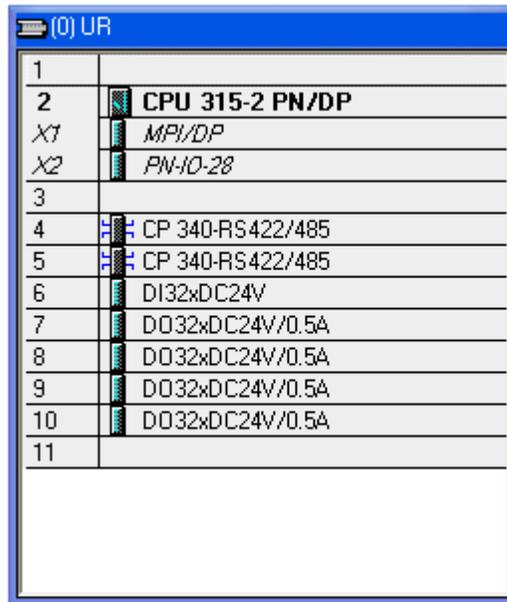


Figura 2.14: Configuración de Hardware original del PLC de RCMS para 16 motores (vista desde el HW Configuración de STEP7).

2.4.2 Propuesta de nueva configuración de hardware

Cabe destacar que con sólo conectar y preparar el SCADA no era necesario llevar a cabo cambios tan sustanciales en esta configuración, pero sí iba a dotar de una serie de repuestos de gran valor para el país, evitando la realización de importaciones, así como permitir una rápida respuesta en caso de ser necesario por una avería.

La nueva configuración de hardware se observa en la figura 2.15.



[0] UR	
1	
2	CPU 315-2 PN/DP
X1	MPI/DP
X2	PN-IO-28
3	
4	CP 340-RS422/485
5	CP 340-RS422/485
6	DI32xDC24V
7	DO32xDC24V/0.5A
8	DO32xDC24V/0.5A
9	DO32xDC24V/0.5A
10	DO32xDC24V/0.5A
11	

Figura 2.15: Nueva configuración de Hardware original del PLC de RCMS (Vista desde el HW Configuración de STEP7).

Además de la nueva configuración de hardware, se modificó todo el programa para este RCMS. Para realizar un mejor manejo de la CPU se evita realizar un barrido de programa para los estados de 16 motores en lugar de sólo cuatro. Con estos cambios este proyecto de Hyundai es el único de su tipo en el país en cada uno de sus aspectos.

2.5 Proyecto SCADA para operar una batería

Para el sistema de supervisión se utilizó *WinCC* que constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los SCADA para la visualización y control de los procesos industriales como los de generación de electricidad, refinerías, etc. Este es un sistema moderno con interfaces cómodas para el usuario, abierto al mundo ofimático y a la producción. Está dotado de funciones probadas y fiables en el ámbito industrial, resulta fácilmente configurable y escalable desde las tareas más sencillas a las más complejas. (Ackermann, Andersson y Soder, 2001)

El proyecto está estructurado por las vistas de datos analógicos y eléctricos de los motores, sistemas registradores de los datos eléctricos y analógicos, en los que se incluyen datos del HTU y la Caldera, la navegación de las diferentes pantallas del sistema de combustible, se

muestran los estados de niveles de los tanques de diésel y fuel en el HTU, estados de las bombas y su operación local y remota.

Ya con los cambios realizados en los módulos de HTU y RCMS fue necesario preparar el sistema SCADA de la planta para su operación. Como principales aspectos se priorizó la eliminación de todas los gráficos y variables que no formaran parte del sistema, así como integrar mímicos para realizar más cómoda y ágil la operación.

Se crearon las nuevas variables (*Tags*) para la integración de las bombas de transferencia de combustible al SCADA que ahora forman parte del autómata del HTU. La configuración de las bases de datos para el almacenamiento de las alarmas y eventos de la planta.

2.5.1 Principales gráficos a modificar

El mímico **GPCCtrl.pdl** que representa los principales valores eléctricos de cada motor – generador, los parámetros eléctricos (intensidad de corriente, potencia aparente y energía reactiva generada). Además cuenta con la interfaz de entrada de datos para la operación remota de los generadores.

La pantalla **Singleline1.pdl**, que representan los esquemas eléctricos de conexión de cada generador con la barra de salida, se encuentran las variables (frecuencia, potencia reactiva, potencia activa, factor de potencia, tensión, intensidad de corriente, potencia aparente, potencia aparente a la salida de las baterías e intensidad de corriente de cada generador), que son de gran importancia para la operación.

La pantalla **EngineAnalog.pdl** en la cual se muestran en tiempo real todas las variables analógicas del motor (presión y temperatura de aceite y combustible, temperatura de los gases de escape, presión de aire de arranque entre otros.)

Al sólo tener para mostrar los datos de cuatro motores-generadores y tener un solo monitor, se integraron los gráficos monolineales con los de control de generadores, facilitándose el trabajo de sincronización desde el control, al poder visualizar los parámetros eléctricos (ver figura 2.16).

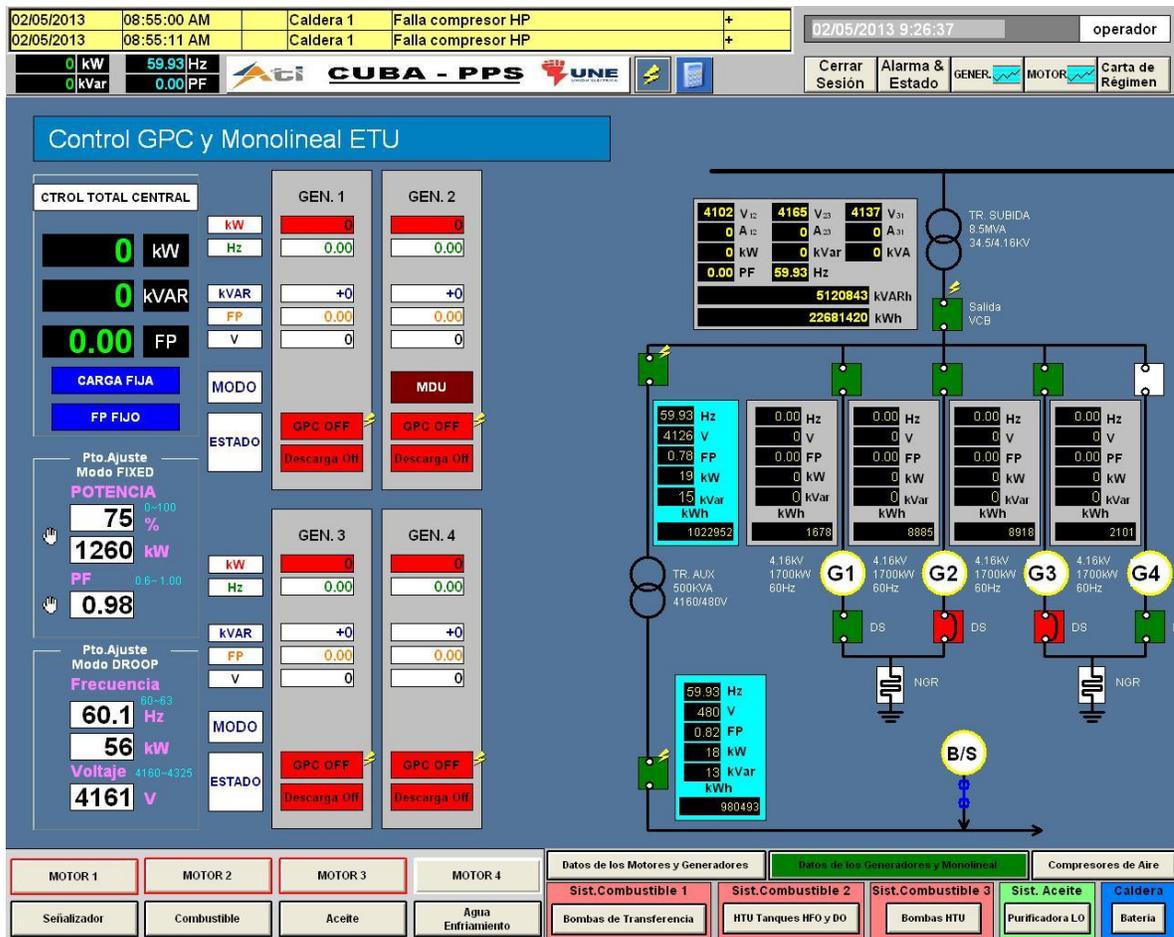


Figura 2.16: Integración de los gráficos Singleline.pdl y GPCCtrl.pdl.

De igual forma en la pantalla **EngineAnalog.pdl** se incorporan los datos correspondientes al mímico **GPCCtrl.pdl** por lo que pasa a ser esta la pantalla principal de operación ya que permite al operador visualizar al mismo tiempo todas las variables eléctricas y mecánicas del motor, así como los diferentes estados asociados a las mismas (ver figura 2.17).

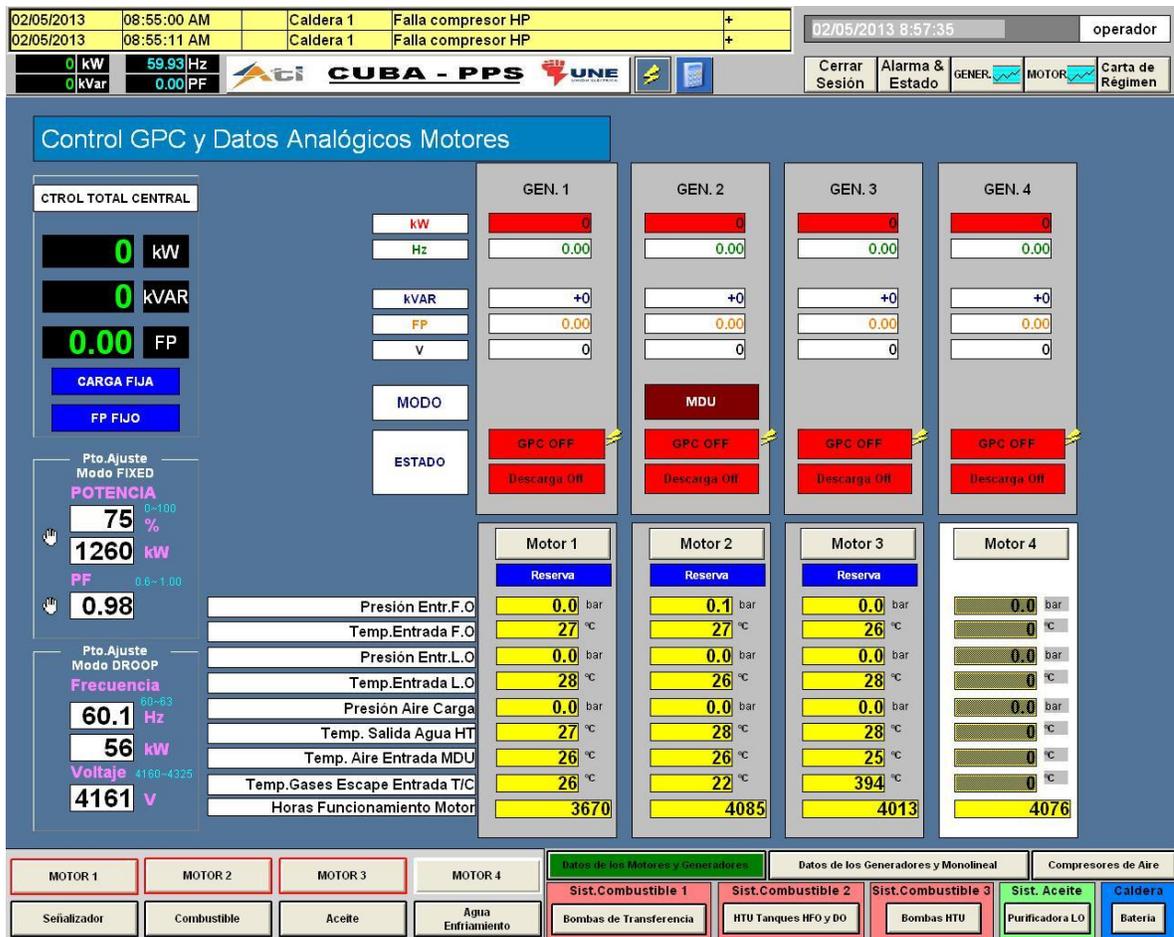


Figura 2.17: Integración de los gráficos EngineAnalog.pdl y GPCCtrl.pdl.

2.5.2 Implementación de restricción de acceso a uso de ventanas de comando desde SCADA.

Como parte del trabajo de adecuación de mímicos y revisión de gráficos asociados al proyecto se detectó que, dentro de la aplicación se encontraban libres de uso las ventanas de comandos en todo el proyecto.

Por ejemplo en la ventana de comando asociada al arranque desde el RCMS de los motores sin estar transferido el control de los mismos a esta instancia, el operario podía accionar tanto el arranque como la detención del mismo; ello trae consigo fallas en la operación al poder activar la función de detención del motor sin evaluar el estado previo del mando del mismo.

Con el motor incluso en funcionamiento si el operador accionaba la función de detenerlo, aunque el mismo siguiera por el mando local, si se decidía cambiar a control remoto (como previamente se había accionado el comando de detener), pues automáticamente que se realizara el cambio de local a remoto, el motor procedía a detenerse. Debido a este problema los operadores asociaban un disparo por el motor, y no consideraban necesario el empleo de la operación remota.

Con la nueva modificación se evita por ejemplo que si el control del motor-generator no esté transferido hacia el RCMS el operador no pueda accionar los comandos de arranque/parada de forma remota. Con lo que se elimina una falla importante del proceso.

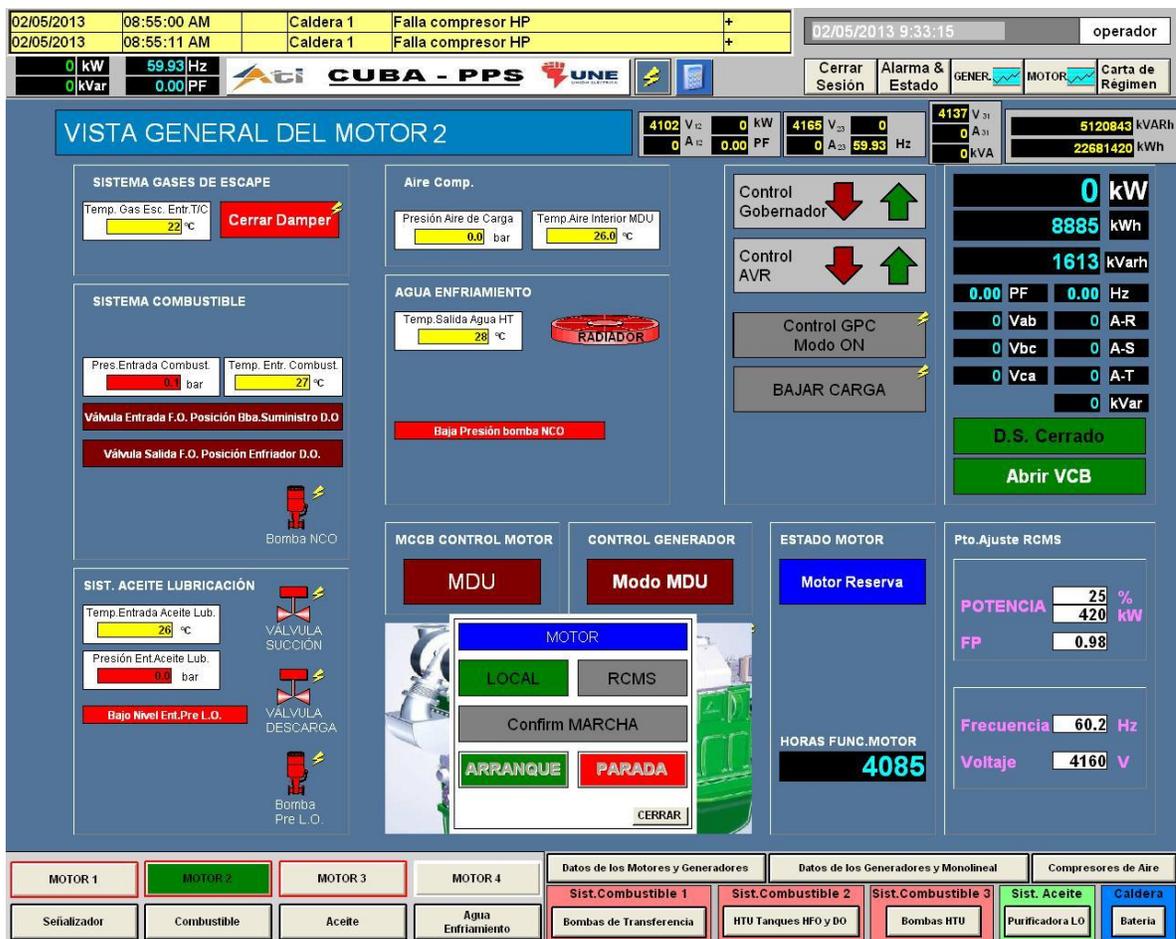


Figura 2.18: Bloqueo de arranque y/o parada del motor sin señal de RCMS activada.

Una vez solucionada esta falla de diseño del fabricante, se procedió a revisar cada una de las ventanas de comando del sistema SCADA e incorporar la restricción de autorización de uso, para prevenir con esto la inserción de datos a los autómatas, si no está previamente

definido el modo de operación remoto. Este trabajo se realizó en todos los ficheros nombrados de la forma *xxxxxPicWin.pdl* del proyecto, donde *xxxx* varía según el gráfico del SCADA donde se trate.



Figura 2.19: Bloqueo de operación de arranque y parada remota de bombas de transferencia desde el SCADA, si no está activada la señal de RCMS.



Figura 2.20: Operación de arranque y parada remota de bombas de alimentación desde el SCADA habilitada, con la señal de RCMS activada.

En las figuras 2.19 y 2.20 se muestran las pantallas para la operación remota de arranque y parada de las bombas sin la activación de la señal RCMS y con la señal RCMS activada respectivamente.

2.6 Análisis crítico del proyecto SCADA actual para el manejo de los generadores

Como deficiencia fundamental del proyecto SCADA actualmente existente, se tiene la incapacidad de poder efectuar la operación deseada de los generadores. Es decir, no se dispone de la posibilidad de seleccionar dos modos de operación (modo *droop*/fijo) de manera simultánea, así como no poder controlar la carga de trabajo de los generadores de forma individual.

A ello se suma que para poder solucionar los inconvenientes antes mencionados, resulta necesario incorporar elementos de software en estos momentos inexistentes en el sistema SCADA y en el Autómata Programable.

Un análisis preliminar del sistema de supervisión, arroja que en el panel de mando del control remoto existen diseñadas variables que limitan la operación y selección de los diferentes modos de trabajo de los generadores en el proyecto SCADA.

2.6.1 Deficiencias del actual proyecto SCADA que limitan el manejo de los generadores

Como principales deficiencias del proyecto SCADA original que tienen que ver de manera negativa con la correcta operación de carga de los generadores, podemos resumir las siguientes:

- No es posible tener dos o más generadores controlados desde el SCADA a diferentes valores de carga de trabajo.
- No es posible establecer diferentes modos de operación de los generadores desde el sistema de supervisión.
- Para llevar el trabajo combinado de los generadores no es posible tener combinadas baterías de generadores a diferentes porcentos de carga de trabajo.
- El proceso de selección de los valores de ajuste se realiza mediante un panel de mando que no brinda la posibilidad de controlar de forma individual los generadores.
- El proceso de selección de los modos de operación que se realizan en la planta a través del panel de mando limitan al sistema a operar en un solo modo de trabajo.

- El autómata encargado de realizar todo el manejo de los datos de lectura y escritura sobre los elementos que controlan al generador, tampoco contempla la posibilidad de manejar individualmente los modos de operación y valores de ajuste de carga de trabajo deseados.
- No existe ninguna condición para limitar el proceso de envío de datos a los GPC, para con esto evitar cambios bruscos en los mismos al momento de seleccionar la operación remota

2.6.2 Propuestas de soluciones al SCADA para el manejo de los generadores

A partir del estudio pormenorizado de los elementos de hardware y de software descritos en los capítulos anteriores se decide realizar propuestas de solución para lograr el manejo de carga de los generadores, las cuales se resumen de la siguiente manera:

- El proceso de selección de los modos de operación debe cambiarse, dado que actualmente se realiza única y exclusivamente desde el panel de mando sin poder llevarlo a cabo desde el SCADA.
- Desarrollar una interfaz gráfica para manejar de forma individual la carga de los generadores, dado que el ingreso de los valores de ajuste deseados para la carga de trabajo de los mismos no cuenta con una interfaz que posibilite la operación de forma individual.
- Operar varios valores del porcentaje de carga de los generadores, resolviéndose la problemática actual de que el operario sólo puede manipular a un único porcentaje de carga de trabajo todos los generadores.
- Modificar el programa del PLC, al no encontrarse programado el autómata para establecer los modos de operación y valores de ajuste de carga de trabajo de los generadores de forma individual.

Con estos elementos se plantea la solución de la problemática principal, relacionada con la incapacidad existente del sistema de supervisión original de propiciar la operación automática en el manejo del porcentaje individual de carga de trabajo de los generadores y con ello la imposibilidad de poder efectuar la explotación más eficiente del grupo electrógeno.

En este capítulo se ha incursionado en los principales aspectos que caracterizan este tipo de plantas generadoras. Se han descrito todos los subsistemas que lo conforman, con énfasis en el manejo de la carga de los generadores, donde se ha puesto en evidencia el porqué de la necesidad de este trabajo, como apoyo al mejor desempeño y manejo de la planta.

Se trató de manera especial la identificación y descripción de las principales deficiencias del actual proyecto SCADA que limitan el manejo de los generadores y se proponen las soluciones para eliminar estas insuficiencias señaladas, aspectos que será tratado con más detalles en el próximo capítulo.

Conclusiones del Capítulo

Se demuestra como el sistema SCADA proporcionado por el fabricante no se ajusta totalmente a las condiciones reales de operación de la planta.

Gracias al estudio realizado se logra identificar y describir de manera coherente las deficiencias que presenta el actual sistema, en relación con el manejo de la carga de los generadores, aspecto de gran importancia para poder acometer las mejoras en su operación.

Resulta necesario evaluar y proponer los cambios necesarios a realizar en el SCADA y el PLC para la nueva funcionalidad que se pretende incorporar al sistema, de manera que se resuelvan las problemáticas identificadas.

Es posible efectuar modificaciones al actual sistema SCADA con vistas a mejorar su funcionalidad y explotación más eficiente por la planta.

CAPÍTULO 3. SISTEMA DE OPERACIÓN REMOTA DE CARGA EN GRUPOS HYUNDAI

En el capítulo anterior se realizó un análisis de los mímicos del SCADA, donde se hace énfasis en los relacionados con el control de los generadores. A partir del mismo se realizaron las modificaciones que serán abordadas con más detalles en el presente capítulo.

Para la realización de la tarea en cuestión se han llevado a cabo diferentes mejoras y modificaciones tanto al proyecto SCADA como a la programación del dispositivo de control que interviene en la operación de control de los generadores de la planta. Se mostrará en detalle cada cambio realizado en cada uno de estos elementos.

La selección de cuatro posibles modos de operación del sistema SCADA fácilmente accesibles desde el HMI, brindan al operador un control total y cómodo de la operación de los generadores. Acorde al modo seleccionado es posible solamente escribir los valores de ajuste (*Set Point o SP*) para dicho modo, se evita de esta forma escribir valores sin que el modo de operación este seleccionado. Se mantiene la opción de operación vigente, de tener todos los generadores con el mismo modo y valores de ajuste.

3.1 Requisitos asociados a la operación de la carga del generador

Para llevar a cabo la operación fue necesario analizar y determinar cómo se opera en la planta acorde a la implementación del fabricante, las necesidades reales de los operarios y que puede resultar factible o no implementar. En este contexto, se establecen los siguientes requisitos básicos asociados a la operación de la carga de trabajo del generador:

Primero: si el generador esta en modo local, no se deben escribir en el controlador del generador datos de forma innecesaria.

Como una de las deficiencias encontradas en el sistema de operación se destaca que no existe ninguna condición para limitar el proceso de envío de datos a los GPC, con esto se busca evitar cambios bruscos en los mismos al momento de seleccionar la operación remota.

Segundo: deben estar prefijados en el panel el Modo Fijo o *Droop* antes de realizar el cambio de local a remoto.

Para garantizar la correcta operación es necesario que la función de las entradas digitales del autómatas del RCMS I18.3 e I19.2 para el Modo Fijo ó las I18.4 e I19.3 para el Modo *Droop*, cuando se realice el cambio de local a remoto el GPC no pierda la referencia de operación y así evitar un disparo innecesario del motor involucrado. Con la incorporación del prefijado de modo de trabajo desde el SCADA, una vez pasado el mando del generador de local a remoto, a Modo Individual Fijo, no es indispensable el uso de los selectores del panel del cuarto de control. Con ello se impiden errores de operación en la selección de modos.

Tercero: si está seleccionado cualquier modo de trabajo individual, no debe operarse por el sistema de operación del fabricante.

Una vez pasado el mando al SCADA se contempla la regulación de la operación, ya que se debe garantizar que sólo se escriban valores para un modo u otro. Si el generador está en algún modo individual es necesario que no se escriba por el sistema de trabajo combinado ningún valor de SP, para evitar errores de operación por este motivo se dejó programado de esta forma en el PLC del RCMS y a su vez se incorporaron estas protecciones de acceso dentro de lo mímicos involucrados en el SCADA, para tener redundancia en la protección de la operación.

Cuarto: cuando se realice el cambio a remoto por defecto se inicia la operación en Modo Individual Fijo, como el sistema está en este momento a través de los selectores, con ello se evitan cambios bruscos en la operación del generador, ante diferentes valores de ajuste.

En el régimen de operación del fabricante es necesario que el operario tenga en cuenta que para realizar el cambio de local a remoto, se recomienda que el porcentaje de carga del generador en el ETU sea el mismo que en RCMS, para que la referencia de valores de inicialización se mantenga.

Es necesario que el operario conozca la carga que estaba prefijada en el modo local antes de que se tome el control por el SCADA. Con esto se evitan las fluctuaciones en la carga.

Cuando se cambie la operación de combinado a individual o viceversa es indispensable que se manejen los valores de ajuste para evitar cambios bruscos en la carga.

Quinto: procedimiento a seguir en la operación de cambio de remoto a local.

Si durante la operación de la planta fuese necesario volver a la operación local del generador para más tarde retornar a la operación remota sin apagar el motor, se implementó para cada generador un segmento de código donde se resetean los modos de operación individuales o combinados si fuera el caso. Gracias a ello, cada vez que el mando del generador pase al SCADA va a iniciarse su control mediante el Modo Individual Fijo.

Estas consideraciones se tendrán en cuenta a la hora de efectuar las modificaciones necesarias al actual sistema SCADA y al autómata programable. Las mismas serán descritas en los siguientes epígrafes.

3.2 Incorporación de nuevas variables al sistema SCADA

Las nuevas variables incorporadas al proyecto se desempeñan como seleccionadores de estados y visualizadores numéricos. Las mismas están ubicadas en el gráfico **GPCCtrl.pdl**, según se muestra en la figura 3.1.

Nota: estas variables son agregadas a cada uno de los cuatro generadores.

Nombre	Tipo	Parámetros
Gen1_RCMS	Variable binaria	M1158.4
sp_PF_raise1	Variable binaria	M1013.1
sp_PF_lower1	Variable binaria	M1013.0
sp_Volt_raise1	Variable binaria	M1012.1
sp_Volt_lower1	Variable binaria	M1012.0
sp_kW_raise1	Variable binaria	M1011.1
sp_kW_lower1	Variable binaria	M1011.0
sp_Hz_raise1	Variable binaria	M1010.1
sp_Hz_lower1	Variable binaria	M1010.0
eg1_droop_comb	Variable binaria	M1004.0
eg1_fixed_comb	Variable binaria	M1003.0
eg1_droop_ind	Variable binaria	M1001.0
eg1_fixed_ind	Variable binaria	M1000.0
sp_PF1	Valor de 16 bits sin signo	DB15,DW6
sp_Volt1	Valor de 16 bits sin signo	DB15,DW4
sp_Hz1	Valor de 16 bits sin signo	DB15,DW2
sp_kW1	Valor de 16 bits sin signo	DB15,DW0

Figura3.1: Variables incorporadas al gráfico **GPCCtrl.pdl**.

La incorporación de dichas variables es de vital importancia para la nueva función de operación remota de los generadores de la Central Eléctrica, ya que mediante las mismas se

escriben directamente en el PLC para su procesamiento y envío a cada uno de los controladores de los generadores (GPC).

Se agregan además otras variables internas para el procesamiento de cálculo de los *Valores Deseados* individuales de cada generador, según se muestra en la figura 3.2.

Nombre	Tipo
sp_Hz1_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Hz2_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Hz3_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Hz4_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kw_Hz1_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kw_Hz2_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kw_Hz3_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kw_Hz4_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kW1_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kW2_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kW3_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_kW4_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_PF1_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_PF2_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_PF3_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_PF4_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Volt1_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Volt2_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Volt3_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754
sp_Volt4_Display	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754

Figura3.2: Variables internas incorporadas al sistema

3.3 Modificaciones de los mímicos del SCADA

En consecuencia es necesario modificar e incorporar gráficos para el nuevo régimen de operación de la planta, para que el operario de una forma eficaz y rápida pueda tomar decisiones operativas efectivas durante la ejecución de sus funciones.

De igual forma el principal gráfico involucrado en la operación es **GPCCtrl.pdl** el cual fue analizado a fondo en el capítulo anterior, sentando las pautas del trabajo a realizar.

Es de señalar que en la parte correspondiente a la visualización de los estados y valores eléctricos del generador no hay cambios.

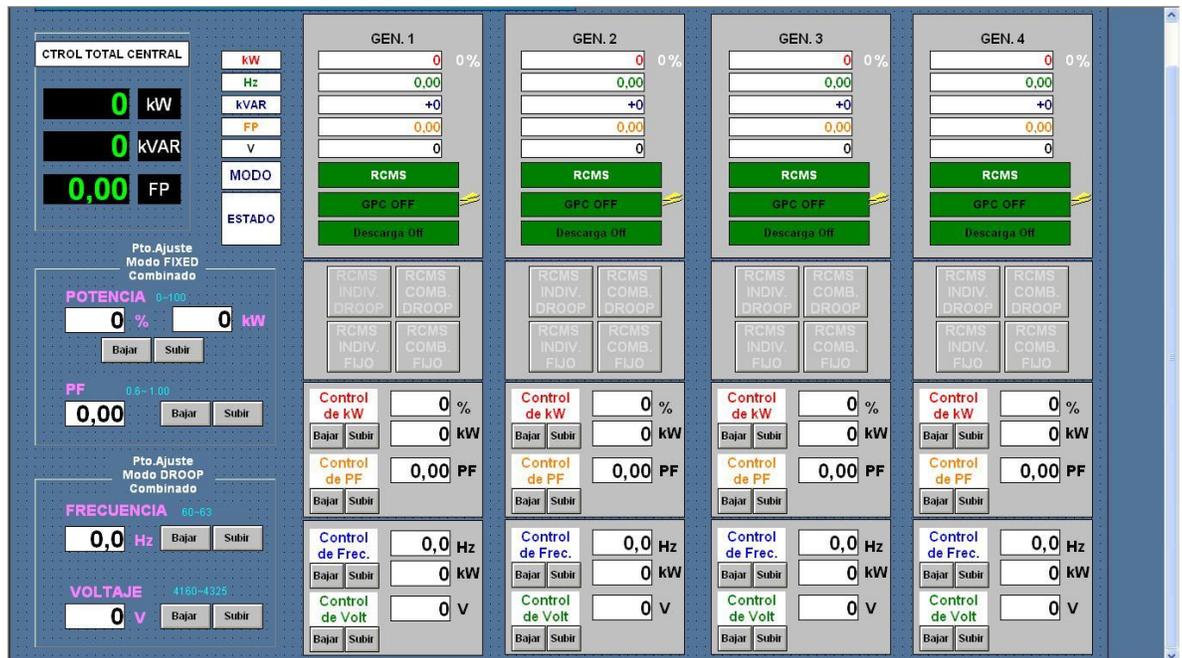


Figura 3.3: Nuevo diseño del gráfico **GPCCtrl.pdl**.

El nuevo diseño se muestra en la figura 3.3, donde se integran cuatro componentes que se corresponden con:

1. Selección del Modo de Operación.
2. Selección del Punto de Ajuste individual en Modo Fijo.
3. Selección del Punto de Ajuste individual en Modo *Droop*.
4. Operación para el Modo Combinado desde el SCADA

Estos componentes están basados en los modos de operación pre-existentes en la planta tal y como se muestran en la figura 3.4.

Como principales condiciones tenemos que en el RCMS para tener el control desde el SCADA deben estar los selectores del panel ambos en Modo Fijo ó Modo *Droop*, para que al momento de realizar la selección de control del generador mediante el SCADA los GPC tengan una referencia inicial de cómo va a operar al ser cambiado el mando a remoto.

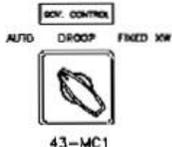
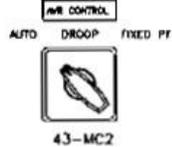
24	I 18.2	KW CONTROL MODE SELECT – AUTO MODE	S/S 43-MC1	
25	I 18.3	KW CONTROL MODE SELECT – DROOP MODE		
25	I 18.4	KW CONTROL MODE SELECT – FIXED KW MODE		
33	I 19.1	VOLT CONTROL MODE SELECT – AUTO MODE	S/S 43-MC2	
34	I 19.2	VOLT CONTROL MODE SELECT – DROOP MODE		
35	I 19.3	VOLT CONTROL MODE SELECT – FIXED P.F MODE		

Figura3.4: Variables existentes en el proyecto para seleccionar modos de operación.

Como se abordó en el capítulo 2, en la concepción inicial de operación remota debían estar seleccionados todos los generadores de la planta para un solo modo de operación y todos al mismo porcentaje de carga. Con la nueva ventana de selección de modo de operación integrada al gráfico **GPCCtrl.pdl** pueden ser cambiados una vez seleccionado el modo deseado; lo que permite operar de forma simultánea en ambos modos Fijo o *Droop* y además de forma Individual o Combinada. De esta forma se amplía el espectro de operación.

Por insuficiencias en el SCADA y en la programación del autómatas del cuarto de control, sólo era posible realizar el control de todos los generadores con la misma carga y en el mismo modo de operación. Ello constituía una de las problemáticas principales.

Por este motivo se adopta la nueva concepción de la operación basada en que el modo de inicio de la operación cuando se pasa el mando al SCADA es siempre Modo Individual Fijo, ya que por lo general la sincronización de los generadores de forma local se realiza en Regulación de Potencia Fija. Con ello se mantiene la referencia necesaria para el GPC al momento del cambio de local a remoto.

Una vez que se tiene el control del generador mediante el SCADA se pueden cambiar los modos a gusto del operador sin afectar la operación del generador en cuestión.

Con esta modificación se elimina la posibilidad de un posible error de operación a la hora de realizar el cambio de local a remoto, por una incorrecta selección de los selectores mostrados en la figura 3.4.

3.3.1 Selección del Modo de Operación

De nueva incorporación en el SCADA este componente siempre visible durante la operación es sólo accesible si el mando del generador en cuestión está seleccionado para la operación remota (RCMS) e inicia por defecto con la opción de trabajo en Modo Individual Fijo. Aunque se mantiene la opción de trabajo combinado, el envío de datos al GPC para indicar el modo de operación se realiza de forma individual a cada generador.

Con esto se gana en amplitud de operación ya que en la versión entregada por el fabricante sólo se admitían dos posibles modos de operación y sólo uno a la vez. Ahora resulta posible manejar de forma simultánea cuatro modos, tanto los combinados como los dos individuales, lo que enriquece enormemente la capacidad de operar la planta y dota al operador de un mayor y mejor control de sus generadores.

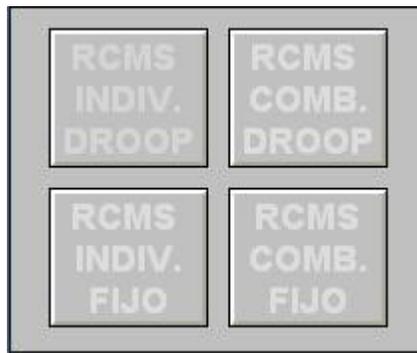


Figura3.5: Selección de Modos de Operación de los Generadores.

Para la operación de modos combinados se continúa con la utilización de las clavijas de subir o bajar para fijar los valores de *Set Point*.

3.3.2 Selección del Punto de Ajuste individual en Modo Fijo

La operación de fijar el valor deseado de carga de forma individual se realiza mediante el componente incorporado al seleccionarse dicho modo. Si no está seleccionado el trabajo en RCMS INDIV. FIJO los valores que se modifiquen no se escriben en el GPC, de este modo se evita escribir valores de inicialización incorrectos. La misma está compuesta por la sección de *Control de kW* con dos botones para realizar los pulsos y fijar el porcentaje de carga deseado en la operación mostrado a la derecha y debajo del valor del porcentaje se realiza el cálculo de la potencia (kW) que debe alcanzar el generador a dicho porcentaje, para poder comparar la carga que está siendo llevada por el generador con la prefijada.

El Control de Factor de Potencia funciona de forma similar, pero sólo muestra el valor de Factor de Potencia (PF) que se le va a inicializar al generador mediante los pulsos de subir y bajar.

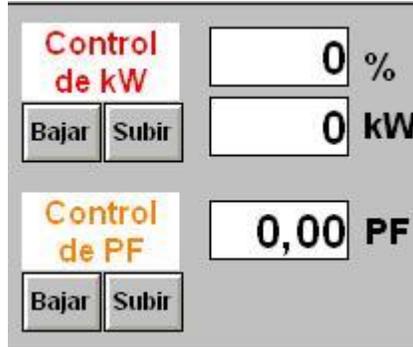


Figura3.6: Selección de Set Point de los Generadores Modo Fijo Individual

3.3.3 Selección del Punto de Ajuste Individual en Modo Droop

Similar a la operación en modo fijo, el funcionamiento de este componente tiene como condición inicial que previamente debió haber sido seleccionado el Modo *Droop* Individual. La ventana está compuesta por la sección de *Control de Frecuencia* con dos botones para realizar los pulsos para fijar el valor de la frecuencia deseada en la operación mostrado a la derecha y debajo el valor de la carga en kW del generador obtenido mediante cálculo en el script que se muestra en el anexo III, donde se realiza el cálculo de los kW que debe alcanzar el generador a una determinada frecuencia fijada. Para el *Control de Voltaje* funciona de forma similar, pero sólo indica el valor de Voltaje (V) que se le va a prefijar al generador mediante los pulsos de subir y bajar.

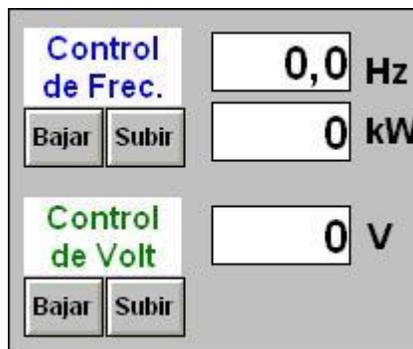


Figura 3.7: Ventana de selección de Set Point de los Generadores Modo *Droop* Individual.

3.3.4 Operación para el Modo Combinado desde el SCADA

Para la gestión de la operación de modos combinados, se implementa que además de las clavijas en el panel, el operador pueda modificar los valores de ajuste desde el SCADA. Con las modificaciones realizadas se pueden tener de forma combinada los generadores y en diferentes modos ya sea fijo o *droop*. En la figura 3.8 aparece ilustrada como queda la ventana de selección de valores de inicialización de los generadores para modos combinados.

The image shows a SCADA interface for generator initialization in combined modes. It is divided into two main sections:

- Pto.Ajuste Modo FIXED Combinado:**
 - POTENCIA:** Range 0~100. Current values: 0 % and 0 kW. Buttons: Bajar, Subir.
 - PF:** Range 0.6~1.00. Current value: 0,00. Buttons: Bajar, Subir.
- Pto.Ajuste Modo DROOP Combinado:**
 - FRECUENCIA:** Range 60~63. Current value: 0,0 Hz. Buttons: Bajar, Subir.
 - VOLTAJE:** Range 4160~4325. Current value: 0 V. Buttons: Bajar, Subir.

Figura 3.8: Ventana de selección de valores de inicialización de los Generadores para Modos Combinados.

Todas estas modificaciones en el sistema SCADA trabajan enlazadas a modificaciones e incorporaciones realizadas en el autómatas del RCMS, para lograr el manejo de los valores de ajuste deseados en los generadores en su trabajo desde el control remoto.

3.4 Incorporación de nuevas variables al dispositivo de control (autómata programable) del RCMS

Una vez realizada la interfaz gráfica de operación de los generadores, fue necesario evaluar la programación del autómata del RCMS para la operación de distribución de carga de los generadores y la incorporación de las nuevas funciones. Para esto fue necesario realizar una evaluación completa del hardware y el software implicado y de su completo funcionamiento.

Cuando se opera de forma local (ETU) el GPC asume la gestión del manejo de la carga y modo de trabajo del generador. Donde detecta en que régimen va a realizar la regulación, para modo fijo usa como referencia la señal del relé **BSL** (Carga Base) y para modo *droop* la señal emitida por el relé **VDX** (*Droop* de Voltaje).

Una vez seleccionado el control del generador desde el RCMS se activan los relés **H2X** (Comunicación MODBUS Habilitada) y **ETC** (Habilitación de Control Externo del GPC). Se permite que a través de los módulos CP340 instalados en el PLC del RCMS se procesen todos los datos que se envían y reciben desde y para el SCADA.

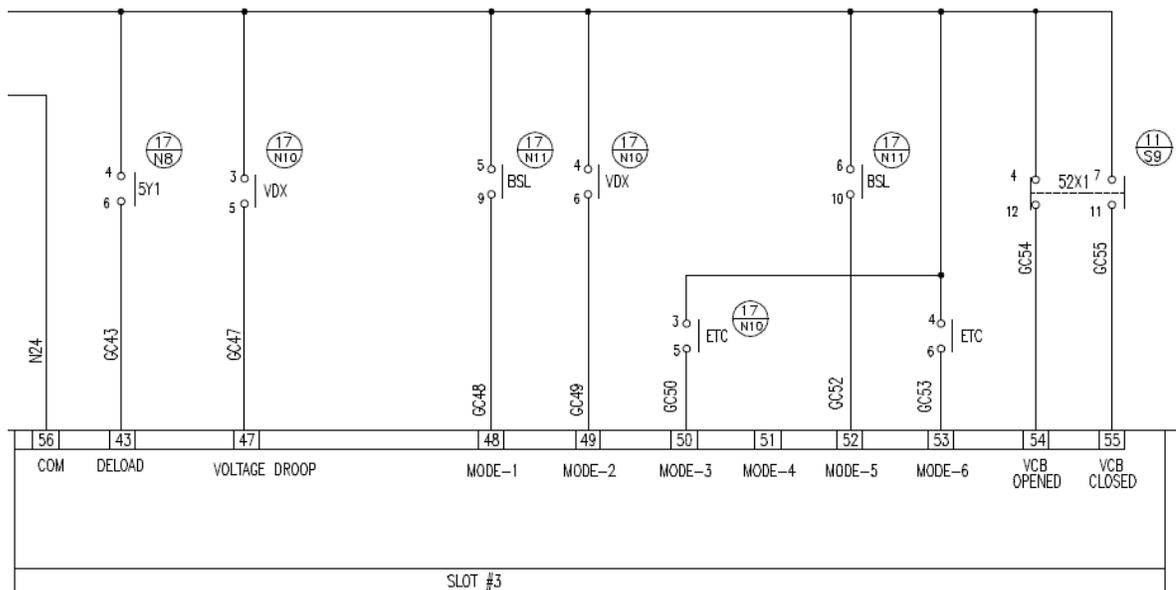


Figura 3.9: Conexiones para selección de modos de trabajo del GPC. (Fragmento de esquema eléctrico Volumen X, página UNEP-02012)

NOTE-1 : GPC CONTROL FUNCTION

1. MAIN'S SYNCHRO MODE START - [ETC] ON (at MAIN'S CB OPEN)
2. DROOP MODE SLECTED (at ETU mode) - [VDX] ON
3. FIXED KW/PF MODE SLECTED (at ETU mode) - [BSL] ON (at MAIN'S VCB CLOSE)
4. RCMS MODE SLECTED - [H2X] & [ETC] ON (at CCR S/S mode is non-auto)

5. AUTO(RCMS) MODE SELECTED - [H2X] OFF and [ETC] OFF

NOTE-2 : GPC MODE RELAY DESCRIPTION

1. BSL : BASE LOAD, FIXED P.F RUNNING
2. VDX : VOLTAGE DROOP RUNNING
3. H2X : H2 MODBUS COMM. ENABLE FOR GPC CONTROL
4. ETC : GPC EXTERNAL CONTROL ENABLE

Figura 3.10: Descripción de funciones de control del GPC y relés de modos de operación. (fragmento de esquema eléctrico Volumen X, página UNEP-02012)

La parte en cuestión que interesa realmente es como se realiza el proceso de envío de datos hacia los GPC, por este motivo fue necesario desglosar el programa del PLC del RCMS para definir que se podía usar y que era necesario incorporar al programa para la nueva forma de operar.

El bloque de programa FC50 es el encargado de llamar a cada uno de los FC involucrados en el proceso de comunicación para el tratamiento de los datos eléctricos, como se muestra en el gráfico correspondiente al anexo V.

El FC51 se encarga de realizar la recepción de los datos eléctricos para los generadores del uno al cuatro, para lo cual encuesta a cada uno de los GPC. Por su parte el FC53 maneja solamente la lectura de los analizadores de redes de la batería, mientras el FC60 realiza el chequeo de si esta pasado el control del generador para el RCMS, para dar inicio a la operación remota de los generadores.

El bloque FC80 maneja los modos de operación mediante las entradas digitales de los selectores del panel de mando en el RCMS. Estas señales son usadas para su posterior envío de estados a los GPC, como son Modo Fijo, Modo *Droop*, etc., que a su vez son usados en el SCADA para que el operador conozca el estado de los selectores y la operación que puede realizar con los mismos y en el programa del PLC.

Con la nueva concepción de modos manejados mediante el SCADA se mantienen las entradas de los selectores para otras funciones, pero se elimina la responsabilidad en la inicialización de los modos en los que van a operar los generadores.

En el bloque FC81 es donde se inicia el envío de los datos a cada uno de los GPC, en el programa original; una vez obtenido el modo de operación se escriben en bloques de datos correspondientes a cada uno de los GPC el modo de operación.

Aquí fue necesario modificar el bloque existente ya que el proceso de escritura se realiza independientemente de si el generador esta en modo local o remoto y para la nueva concepción de operación es necesario delimitar como se van a mandar dichos datos (a todos o a uno en específico).

Para el trabajo combinado existía el problema de que se usaban las mismas direcciones de memoria en las que se escriba el modo fijo o *droop*, por lo que fue necesario modificar e incorporar nuevas direcciones de memoria para garantizar un cambio viable de selección de modos. Además se desglosó el envío de modos para el trabajo combinado de generador en generador. Esto permite la posibilidad del manejo simultáneo de trabajo combinado Fijo o *Droop*.

Si mediante el SCADA se selecciona en modo individual un generador ya sea Fijo o *Droop*, el proceso de escritura de datos se realizará por separado, con esto se logra que se pueda llevar a cabo de forma simultánea la operación individual o combinada.

El bloque FC85 (Set Point) es el encargado de realizar toda la operación de manejo de los valores de ajuste deseados a prefijarse, mediante las clavijas ubicadas en el panel para la operación de los generadores desde el SCADA.

27	I 18.5	HZ LOWER COMMAND FOR DROOP MODE	S/S 43-CS1
28	I 18.6	HZ RAISE COMMAND FOR DROOP MODE	
29	I 18.7	KW LOWER COMMAND FOR FIXED KW MODE	S/S 43-CS2
32	I 19.0	KW RAISE COMMAND FOR FIXED KW MODE	
36	I 19.4	VOLT LOWER COMMAND FOR DROOP MODE	S/S 43-CS3
37	I 19.5	VOLT RAISE COMMAND FOR DROOP MODE	
38	I 19.6	P.F LOWER COMMAND FOR FIXED KW MODE	S/S 43-CS4
39	I 19.7	P.F RAISE COMMAND FOR FIXED KW MODE	

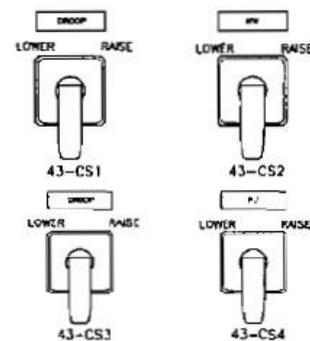


Figura 3.11: Entradas digitales del PLC de RCMS para las clavijas de *Set Point*.

Como se muestra en la figura 3.11, existen cuatro clavijas para aumentar y disminuir cada uno de los valores de ajuste deseados de Frecuencia, Voltaje, Factor de Potencia y Potencia. Cada modo de operación, es escrito en cada uno de los GPC de forma simultánea.

Se incorpora el bloque FC90 el cual cumple la función de recepcionar desde el SCADA todas las acciones correspondientes con los modos seleccionados de cada uno de los generadores, que a su vez son usados en los bloques modificados anteriormente. Esto brinda la posibilidad de llevar un control de los cambios realizados y con una mejor trazabilidad a la hora de seguir el programa, ya que la lógica entregada por el fabricante carece de comentarios y emplea demasiadas variables de memoria sin declarar y sin edición simbólica lo que hace muy engorroso seguir el programa, a la hora de presentarse una falla en el mismo.

Se implementaron las señales del generador seleccionado en Modo Fijo Individual y *Droop* Individual, para cada uno de los generadores de la planta, además las señales de los modos combinados.

También se contempló la posibilidad del cambio de modos individuales para lograr que independientemente del modo individual seleccionado por el operador, la señal de referencia para el generador no se pierda en ningún momento. Gracias a ello se garantiza que ante posibles errores de operación (por una inadecuada selección) se pierda la referencia de operación deseada.

Se incorporaron además las variables necesarias, para que ante la operación combinada en cualquier modo, el operador pueda variar los valores de ajuste desde el SCADA y no sólo desde las entradas físicas de las clavijas ubicadas en el panel de mando. El listado de todas las variables incorporadas al autómata se muestra en el anexo IV.

Para cada generador se creó un bloque para los valores de ajuste (del FC95 al FC98), que sigue la misma lógica que el FC85 entregado por el fabricante. El FC95 en particular entra a funcionar una vez seleccionado el Modo Fijo Individual o el *Droop* Individual, y mediante los botones de los gráficos mencionados anteriormente se recepcionan los pulsos para fijar los valores de ajuste al generador en cuestión, para cada una de las variables implicadas (potencia, voltaje, factor de potencia y frecuencia). En dicho bloque sólo se envían los datos al generador deseado y aunque se mantiene el bloque de valor de ajuste

para el trabajo combinado, una vez seleccionado el modo individual, se trabaja de forma separada, y no interfirieren ni se escriben datos antes de chequear el modo seleccionado.

Para evitar cambios bruscos en los valores de ajuste para cada generador cuando esté seleccionado el Modo Fijo Individual sólo se escribirá en el GPC los valores deseados de potencia y factor de potencia, sin embargo para el Modo *Droop* Individual sólo se escribirán los valores de Frecuencia y Voltaje.

Todas las modificaciones anteriormente explicadas fueron satisfactoriamente implementadas en la Central Eléctrica del Cayo Santa María, en el litoral norte de la provincia de Villa Clara, que dispone de cuatro motores Hyundai de 1.7 MW de capacidad cada uno. Como resultado se puede eficazmente controlar los modos de operación de forma simultánea y manejar la carga de los generadores de forma individual.

El nuevo sistema SCADA con las modificaciones implementadas está en operación de forma estable desde noviembre del 2015 con resultados satisfactorios y con elevado grado de aceptación por parte del personal de operación y mantenimiento del grupo electrógeno.

Valoración técnico económica

Desde el punto de vista técnico-económico el trabajo de investigación aporta un conjunto de elementos positivos que se destacan a continuación.

- Se presenta una solución ingenieril nacional a la problemática de la operación automática en el manejo del porcentaje individual de carga en el trabajo de los generadores, ello conlleva a que no es necesario realizar la contratación de un técnico extranjero para la realización de este trabajo. En el caso de la corporación Hyundai, se tendría que pagar alrededor de 800 euros por día de trabajo al personal técnico contratado, donde se incluye la puesta en marcha y ajuste de la operación del sistema. Bajo estas consideraciones, conservadoramente estimando que este trabajo técnico se podría efectuar en al menos tres semanas de trabajo, se logra un ahorro estimado de 15 600 dólares por cada grupo electrógeno.
- Se logra contribuir a la disminución de las afectaciones del servicio eléctrico en la cayería, incidiendo positivamente en la satisfacción y expectativas de los clientes tanto internos (trabajadores del sector) como externos (usuarios finales de las

instalaciones), reduciendo los tiempos de espera por afectación a los circuitos y daños materiales por falta de energía. Este hecho repercutirá cualitativamente no sólo en indicadores de ahorro al país, sino en mayores ingresos para el complejo del cayo debido al referido aumento del nivel de satisfacción de los clientes.

- Gracias a la implementación de la propuesta de mejora de la operación de la carga de los grupos electrógenos, se reduce el consumo de combustible diésel pues según el procedimiento establecido, para cada arranque y parada de los motores se deben consumir 150 litros de diésel, el cual se cotiza a 0.86 dólares en el mercado internacional. Al reducirse notablemente los disparos de los generadores se mantiene durante más tiempo el trabajo continuo con el *fuel oil* evitándose los procesos de arranque/parada. Bajo estas consideraciones se estima un ahorro de 5160 dólares anuales.
- Al lograrse la operación continua con *fuel oil* no es necesario arrancar los generadores MTU que sólo operan con combustible diésel, con un consumo aproximado de 350 litros por hora al 75% de carga. Ello representa un ahorro estimado de 300 dólares por hora de operación.
- Debido a que se logra una explotación más eficiente del grupo electrógeno, se estima que puede lograrse una mejora entre el 3 y el 5 % de la eficiencia en la operación del sistema. Esto representa para un consumo medio de 350 litros de *fuel oil* por hora al 85% de carga un ahorro estimado de 120 dólares por hora.

Conclusiones del capítulo

Gracias a las modificaciones al sistema SCADA de los grupos electrógenos Hyundai para monitorear y controlar la operación de los generadores de forma individual, se demuestra que fueron eliminadas todas las deficiencias de operación que presentaba el sistema original, en relación con el manejo de la carga de los generadores.

Con las innovaciones realizadas se logra enriquecer el sistema SCADA original proporcionado por el fabricante, ajustándose a las condiciones reales de operación de la planta.

Se demuestra que resulta factible ingenierilmente la modificación de forma satisfactoria en el sistema SCADA existente y en el autómata programable desde el punto de vista del control, así como la correspondiente incorporación de variables para el manejo de los generadores.

Gracias a la nueva propuesta en el sistema SCADA y en el PLC, se incrementa la funcionalidad y operatividad del Grupo Electrónico Hyundai del Cayo Santa María, con el correspondiente impacto económico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El presente trabajo ha estado orientado al cumplimiento de las hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos. A continuación se escriben las conclusiones generales del trabajo:

- 1 Se demuestra que la inclusión al proyecto de nuevas variables que inicialmente no existían, es determinante para la mejora de la operación de la planta.
- 2 La realización de los mímicos del SCADA basados en un rediseño acorde a las exigencias de la operación de la planta mejora las prestaciones y facilidad en la operación y funcionamiento del subsistema de gobierno de la carga de los generadores.
- 3 Con la incorporación al proyecto SCADA del control individual de modos de operación y el manejo de carga de trabajo de los generadores del sistema, se garantiza la reducción o eliminación de disparos y una operación más segura de la red.
- 4 Se demuestra cómo se eliminan las limitantes existentes y posibles errores que se cometían al establecer valores de ajuste sin estar previamente seleccionados los generadores implicados, de este modo se evitan errores de operación y cambios bruscos en la potencia de los generadores.
- 5 Queda demostrada la efectividad de la investigación desarrollada ya que se logra detectar y corregir todas las insuficiencias del sistema, relacionadas con el manejo más eficiente de carga de trabajo de los generadores.
- 6 Gracias a las modificaciones realizadas se enriquece considerablemente la capacidad de operar la planta, se dota al operador de un mayor y mejor control en tiempo real de los generadores.

Recomendaciones

1. Implementar estas modificaciones al sistema SCADA y el PLC del RCMS, para los proyectos típicos de Hyundai 1,7 MW de 8, 12 y 16 motores.
2. Implementar el archivado de cambios de estados del generador, para llevar un control de las operaciones realizadas.
3. Incorporar en estas modificaciones a los proyectos típicos, la funcionalidad de trabajo combinado por Baterías.
4. Efectuar estudios para evaluar con más profundidad el impacto económico que representa la introducción de esta investigación al aplicarse a los diferentes grupos electrógenos del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ackermann, T., Andersson, G. y Soder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research* 57, 195-204.
2. Albuérne, Y. L. (2010). *La generación distribuida y sus beneficios en Cuba*. [Online].Barcelona. Disponible en: http://www.cerien.upc.edu/jornades/VJIE/ponencies/Yolanda_Cuba.pdf [consultado 26 noviembre 2015].
3. Barker, P. P. y DE Mello, R. W. (2000). Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, 3, 1645-1656
4. Bollen, M. H. y Hassan, F. (2011). *Integration of Distributed Generation in the Power System*, Gothenburg, Sweden, Wiley-IEEE Press.
5. Bruce, A. G. (1998). Reliability analysis of electric utility SCADA systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 13, 844-849.
6. Cabús, J. R., Navarrete, D. G. y Porras, R. P. (2004). *Sistemas SCADA*. Especialidad en Electrónica Industrial, Universidad Politécnica de Cataluña.
7. Corrales, L. (2007). *Interfaces de Comunicación Industrial*. Ecuador: Dpto. de Automatización y Control Industrial, Escuela Politécnica Nacional.
8. Dulau, L. I., Abrudean, M. y Bica, D. (2014). Effects of distributed generation on electric power systems. *Procedia Technology*, 12, 681 – 686.
9. Dulau, L. I., Abrudean, M. y Bica, D. (2015). SCADA simulation of a distributed generation system with storage technologies. *Procedia Technology*, 19, 665 - 672.
10. Fernández, M. F., *et al.* 2010. Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba. *Revista Cubana de Ingeniería*, 1, 41 - 50.
11. Garduño, R., *et al.* 2002. *Tendencias Tecnológicas en Centrales Generadoras*. Cuernavaca, Mexico: Gerencia de Control e Instrumentación, DSC. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
12. Geberslassie, M. y Bitzer, B. (2010) Future SCADA systems for decentralized distribution systems. *45th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Aug. 31 -Sept. 3, 1-4.

13. Gómez, E. O. (2012). *Plan de proyecto para la implementación de un sistema remoto que ejecute la adquisición de datos y el control supervisorio de la central hidroeléctrica de Cubujuquí*. Master en Administración de Proyectos, Universidad para la Cooperación Internacional.
14. Gómez, J. M. M. (2006). *Diseño e implementación de una interfaz MODBUS para la integración de grupos electrógenos a la plataforma de gestión SCADA*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
15. Higgs, M. A. (1998). Electrical SCADA systems from the operators perspective. Condition Monitoring for Rail Transport Systems (Ref. No. 1998/501), *IEE Seminar*, 10 Nov, 3/1-3/4.
16. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010a). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 1: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
17. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010b). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 2: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
18. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010c). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 3: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
19. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010d). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 4: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
20. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010e). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 5: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
21. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010f). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 6: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
22. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010g). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 7: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*

23. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010h). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 8: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
24. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010i). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 9: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
25. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010j). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 10: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
26. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010k). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 11: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
27. HIMSEN-HYUNDAI, L. (2010l). *Electronic Instruction Manual. Volumen No. 12: Operation and Maintenance Manual for 1700kW Packaged Power Station. Hyundai Heavy Industries Co. Engine type 9H21/32. Korea.*
28. Patela, J., Patelb, A. y Singhc, R. (2014). Development of PLC Based Process Loop Control for Bottle Washer Machine. *ProcediaTechnology*, 365 – 371.
29. Llinás, J. C., Meléndez, J. y Ayza, J. (2000). *Sistemas de supervisión: introducción a la monitorización y supervisión experta de procesos: métodos y herramientas.* CetisaBoixareu.
30. López, D. O. M. (2011). *Desarrollo y ampliación de funcionalidades del proyecto SCADA en grupos electrógenos de fuel oil con tecnología Hyundai.* Tesis de Maestría en Informática y Automatización Industrial, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
31. López, D. O. M. y Jiménez, S. G. (2010). Desarrollo y ampliación de funcionalidades del proyecto SCADA en grupos electrógenos de fuel oil con tecnología Hyundai. *Simposio Internacional sobre Generación Distribuida*, Habana, Cuba, 11.
32. López, D. O. M. y Jiménez, S. G. (2011). Desarrollo y ampliación de funcionalidades del proyecto SCADA. *GIGA*, 7 - 11.

33. Luque, J. M. (2012). *Configuración CP 340 RS232*. [Online]. Barcelona, España. Disponible en: <http://plc-hmi-scadas.com/128.php>[consultado 20 enero 2013].
34. Marí, J. M. B. (2013). *Análisis y redimensionado de un sistema de combustible a partir del remolcador “Willy-T” y el buque Ro-Pax “Murillo”*. Facultad Náutica de Barcelona UPC.
35. Penin, A. R. (2007a). *Sistema SCADA Guía Práctica*. Barcelona, España, Marcombo, Ediciones Técnicas.
36. Penin, A. R. (2007b). *Sistemas SCADA*. España, Marcombo S.A.
37. Plata, J. L. (2007). *Análisis e Implantación de un Sistema Integral de Gestión de Información de Plantas Eléctricas en la empresa ENELVEN Generadora (ENELGEN)*. Especialista en Computación, Universidad de los Andes.
38. Quintero, S. X. C. y Jiménez, J. D. M. (2013). Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico. *Tecnura*, 17, 77- 89.
39. Rodríguez, S. G. (2011). *Desarrollo de sistema de control de Reactiva en Centrales Eléctricas*. Universidad Pontificia Comillas.
40. Rozas, M. L. F. S. D. y Fernández, M. C. (2012). La capacidad de absorción para la innovación: estudio de caso en la Generación Distribuida Cubana. *Ingeniería Energética*, XXXIII, 217 - 228.
41. SIEMENS (2012a). *Formación en Automatización y Sistemas SIMATIC S7. Curso Mantenimiento y Modbus*.
42. SIEMENS (2012b). *Formación en Automatización y Sistemas SIMATIC S7. Curso Programación 1*.
43. SIEMENS (2012c). *Formación en Automatización y Sistemas SIMATIC S7. Curso Programación 2*.
44. SIEMENS (2012d). *Formación en Automatización y Sistemas SIMATIC S7. Curso Simatic Net*.
45. SIEMENS (2012e). *Formación en Automatización y Sistemas SIMATIC S7. Curso WinCC*.
46. SIMATIC (2007). *S7-300 Acoplamiento punto a punto CP 340, configuración, instalación y parametrización*. En: SIEMENS (ed.). Augsburg, Alemania.

47. Slootweg, J. G. y Kling, W. L. (2002). Impacts of distributed generation on power system transient stability. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, 25-25 July, 862-867.
48. Solé, E. F. (1999). *Diseño de aplicaciones SCADA con Labview*. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona.
49. Thomas, M. S., Kumar, P. y Chandna, V. K. (2004). Design, development, and commissioning of a supervisory control and data acquisition (SCADA) laboratory for research and training. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19, 1582-1588.
50. Tomsovic, K., *et al.* (2005). Designing the Next Generation of Real-Time Control, Communication, and Computations for Large Power Systems. *Proceedings of the IEEE*, 93, 965-979.
51. Turca, T. (2015). SCADA Systems Management based on WEB Services. *Procedia Economics and Finance*, 32, 464 – 470.
52. Valdivia de Armas, J. J. (2012). Modificaciones a la Lógica de Autómatas de Centrales Eléctricas 2,5 MW de Hyundai. *I Simposio Científico-Técnico BTJ*, Facultad Ingeniería Eléctrica, UCLV.
53. Valdivia de Armas, J. J. y Leyva, E. J. (2015). Modificaciones al proyecto de automática del grupo electrógeno Hyundai en el Cayo Santa María. *XVI Convención de Ingeniería Eléctrica*, Cayo Santa María, Editorial S. Feijóo, 5.

ANEXOS

Anexo I Datos técnicos del generador

Item no.	Description	Unit	Data
GENERATOR			
1	Maker		HYUNDAI
2	Type		Brushless and rotating with Damper winding
3	Rated Output	KVA	2127KVA(1701KW)
4	Rated Voltage	V	4160
5	Rated Current	A	295.1
6	Rated Frequency	Hz	60
7	Rated Power Factor	Cos ϕ	0.8
8	Class of Insulation		
	(a) Stator		F
	(b) Rotor		F
	(c) Exciter		F
9	Temperature rise		F
10	Enclosure		IP23
11	Rated Speed	Rpm	900
12	Rated Over Speed	Rpm	1080
13	No. of Pole		8
14	Excitation Type		Brushless and self excited
15	Excitation Voltage	V	95
16	Excitation Current	A	6.5
17	Type of Bearing		Sleeve
18	No. of Bearing		One
19	Cooling Type		Air

Anexo II Cálculos de porcentos individuales

//Calculos % Individual para motores del 1 al 4

```
SetTagFloat("porc1",GetTagFloat("GenkW1")*100/1680);
SetTagFloat("porc2",GetTagFloat("GenkW2")*100/1680);
SetTagFloat("porc3",GetTagFloat("GenkW3")*100/1680);
SetTagFloat("porc4",GetTagFloat("GenkW4")*100/1680);
```

Anexo III Cálculos de valores de ajuste de Potencia Individual

//Calculos SP Potencia Individual para motores del 1 al 4

```
SetTagFloat("sp_kW1_Display",GetTagFloat("sp_kW1")*1680/100);
SetTagFloat("sp_kW2_Display",GetTagFloat("sp_kW2")*1680/100);
SetTagFloat("sp_kW3_Display",GetTagFloat("sp_kW3")*1680/100);
SetTagFloat("sp_kW4_Display",GetTagFloat("sp_kW4")*1680/100);
```

```
SetTagFloat("sp_PF1_Display",GetTagFloat("sp_PF1")/100);
SetTagFloat("sp_PF2_Display",GetTagFloat("sp_PF2")/100);
SetTagFloat("sp_PF3_Display",GetTagFloat("sp_PF3")/100);
SetTagFloat("sp_PF4_Display",GetTagFloat("sp_PF4")/100);
```

```
SetTagFloat("sp_Volt1_Display",GetTagFloat("sp_Volt1")+4160);
SetTagFloat("sp_Volt2_Display",GetTagFloat("sp_Volt2")+4160);
SetTagFloat("sp_Volt3_Display",GetTagFloat("sp_Volt3")+4160);
SetTagFloat("sp_Volt4_Display",GetTagFloat("sp_Volt4")+4160);
```

```
SetTagFloat("sp_Hz1_Display",60+GetTagFloat("sp_Hz1")/10);
SetTagFloat("sp_Hz2_Display",60+GetTagFloat("sp_Hz2")/10);
SetTagFloat("sp_Hz3_Display",60+GetTagFloat("sp_Hz3")/10);
SetTagFloat("sp_Hz4_Display",60+GetTagFloat("sp_Hz4")/10);
```

```
SetTagFloat("sp_kW_Hz1_Display",(GetTagFloat("sp_Hz1_Display")-60)*560);
SetTagFloat("sp_kW_Hz2_Display",(GetTagFloat("sp_Hz2_Display")-60)*560);
SetTagFloat("sp_kW_Hz3_Display",(GetTagFloat("sp_Hz3_Display")-60)*560);
SetTagFloat("sp_kW_Hz4_Display",(GetTagFloat("sp_Hz4_Display")-60)*560);
```

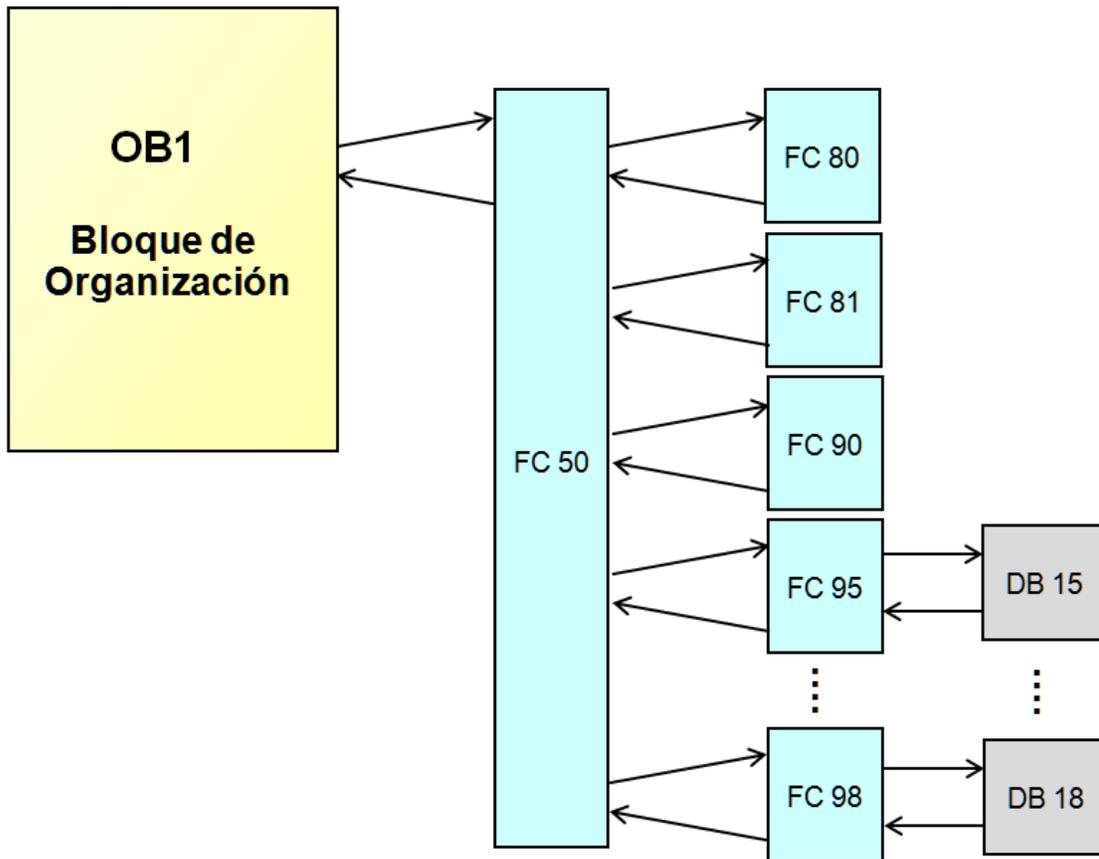
Anexo IV Variables incorporadas al autómatas programable

Dirección	Tipo de Datos	Descripción
M 990.0	BOOL	Hz lower Comb from WinCC
M 990.1	BOOL	Hz raise Comb from WinCC
M 990.2	BOOL	kW lower Comb from WinCC
M 990.3	BOOL	kW raise Comb from WinCC
M 990.4	BOOL	Volt lower Comb from WinCC
M 990.5	BOOL	Volt raise Comb from WinCC
M 990.6	BOOL	PF lower Comb from WinCC
M 990.7	BOOL	PF raise Comb from WinCC

M	991.0	BOOL	Hz LowerCmnd
M	991.1	BOOL	Hz RaiseCmnd
M	991.2	BOOL	kW LowerCmnd
M	991.3	BOOL	kW RaiseCmnd
M	991.4	BOOL	Volt LowerCmnd
M	991.5	BOOL	Volt RaiseCmnd
M	991.6	BOOL	PF LowerCmnd
M	991.7	BOOL	PF RaiseCmnd
M	1000.0	BOOL	E/G1 Ind Fixed from WinCC
M	1000.1	BOOL	E/G2 Ind Fixed from WinCC
M	1000.2	BOOL	E/G3 Ind Fixed from WinCC
M	1000.3	BOOL	E/G4 Ind Fixed from WinCC
M	1001.0	BOOL	E/G1 Ind Droop from WinCC
M	1001.1	BOOL	E/G2 Ind Droop from WinCC
M	1001.2	BOOL	E/G3 Droop from WinCC
M	1001.3	BOOL	E/G4 Droop from WinCC
M	1002.0	BOOL	E/G1 Individual
M	1002.1	BOOL	E/G2 Individual
M	1002.2	BOOL	E/G3 Individual
M	1002.3	BOOL	E/G4 Individual
M	1003.0	BOOL	E/G1 Comb Fixed from WinCC
M	1003.1	BOOL	E/G2 Comb Fixed from WinCC
M	1003.2	BOOL	E/G3 Comb Fixed from WinCC
M	1003.3	BOOL	E/G4 Comb Fixed from WinCC
M	1004.0	BOOL	E/G1 Comb Droop from WinCC
M	1004.1	BOOL	E/G2 Comb Droop from WinCC
M	1004.2	BOOL	E/G3 Comb Droop from WinCC
M	1004.3	BOOL	E/G4 Comb Droop from WinCC
M	1005.0	BOOL	E/G1 Indiv. Fixed Mode
M	1005.1	BOOL	E/G2 Indiv. Fixed Mode
M	1005.2	BOOL	E/G3 Indiv. Fixed Mode
M	1005.3	BOOL	E/G4 Indiv. Fixed Mode

M	1006.0	BOOL	E/G1 Individ. Droop Mode
M	1006.1	BOOL	E/G2 Individ. Droop Mode
M	1006.2	BOOL	E/G3 Individ. Droop Mode
M	1006.3	BOOL	E/G4 Individ. Droop Mode
M	1007.0	BOOL	E/G1 Comb
M	1007.1	BOOL	E/G2 Comb
M	1007.2	BOOL	E/G3 Comb
M	1007.3	BOOL	E/G4 Comb
M	1008.0	BOOL	E/G1 CombFixed
M	1008.1	BOOL	E/G2 CombFixed
M	1008.2	BOOL	E/G3 CombFixed
M	1008.3	BOOL	E/G4 CombFixed
M	1009.0	BOOL	E/G1 CombDroop
M	1009.1	BOOL	E/G2 CombDroop
M	1009.2	BOOL	E/G3 CombDroop
M	1009.3	BOOL	E/G4 CombDroop
M	1010.0	BOOL	Hz lower command for droop mode Eng/Gen1
M	1010.1	BOOL	Hz raise command for droop mode Eng/Gen1
M	1010.2	BOOL	Hz lower command for droop mode Eng/Gen2
M	1010.3	BOOL	Hz raise command for droop mode Eng/Gen2
M	1010.4	BOOL	Hz lower command for droop mode Eng/Gen3
M	1010.5	BOOL	Hz raise command for droop mode Eng/Gen3
M	1010.6	BOOL	Hz lower command for droop mode Eng/Gen4
M	1010.7	BOOL	Hz raise command for droop mode Eng/Gen4
M	1011.0	BOOL	kW lower command for fixed mode Eng/Gen1
M	1011.1	BOOL	kW raise command for fixed mode Eng/Gen1
M	1011.2	BOOL	kW lower command for fixed mode Eng/Gen2
M	1011.3	BOOL	kW raise command for fixed mode Eng/Gen2
M	1011.4	BOOL	kW lower command for fixed mode Eng/Gen3
M	1011.5	BOOL	kW raise command for fixed mode Eng/Gen3
M	1011.6	BOOL	kW lower command for fixed mode Eng/Gen4
M	1011.7	BOOL	kW raise command for fixed mode Eng/Gen4

M 1012.0	BOOL	Volt lower command for droop mode Eng/Gen1
M 1012.1	BOOL	Volt raise command for droop mode Eng/Gen1
M 1012.2	BOOL	Volt lower command for droop mode Eng/Gen2
M 1012.3	BOOL	Volt raise command for droop mode Eng/Gen2
M 1012.4	BOOL	Volt lower command for droop mode Eng/Gen3
M 1012.5	BOOL	Volt raise command for droop mode Eng/Gen3
M 1012.6	BOOL	Volt lower command for droop mode Eng/Gen4
M 1012.7	BOOL	Volt raise command for droop mode Eng/Gen4
M 1013.0	BOOL	P.F lower command for fixed kW mode Eng/Gen1
M 1013.1	BOOL	P.F raise command for fixed kW mode Eng/Gen1
M 1013.2	BOOL	P.F lower command for fixed kW mode Eng/Gen2
M 1013.3	BOOL	P.F raise command for fixed kW mode Eng/Gen2
M 1013.4	BOOL	P.F lower command for fixed kW mode Eng/Gen3
M 1013.5	BOOL	P.F raise command for fixed kW mode Eng/Gen3
M 1013.6	BOOL	P.F lower command for fixed kW mode Eng/Gen4
M 1013.7	BOOL	P.F raise command for fixed kW mode Eng/Gen4

Anexo V Estructura del programa del autómata programable del RCMS**Anexo VI Procedimiento de operación para modificaciones****Procedimiento de operación desde RCMS**

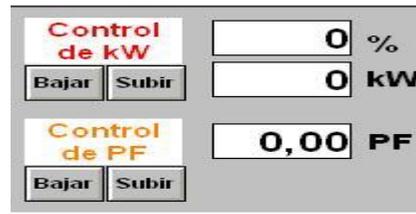
Para trabajar en la ventana modos de operación del SCADA se debe:

1. El ETU debe estar en carga base y GPC encendido, tienen que coincidir los % de carga y FP en el GPC y en el SCADA.
2. Pasar motor de ETU a RCMS con el GPC encendido.
3. En el SCADA se inicia por defecto en carga base individual (RCMS INDIV FIJO).
4. Seleccionar el modo de trabajo deseado (RCMS INDIV FIJO, RCMS COMB. FIJO, RCMS DROOP COMB, RCMS DROOP INDIV).

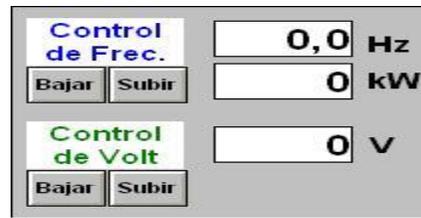
Modos de trabajo existentes (ventana del SCADA MODOS DE OPERACIÓN).



1. Carga base individual (RCMS INDIV FIJO): La carga en % y el Factor de Potencia (FP) se fija por el software desde el SCADA en la ventana de Control kW y PF.



2. Carga base combinada (RCMS COMB. FIJO): Se trabajan por las clavijas del pupitre, la carga se trabaja por la clavija de Control de kW y PF por las clavijas del pupitre de Control de PF.
3. Modo droop individual (RCMS DROOP INDIV): La carga se fija por software desde el SCADA en la ventana de Control Frecuencia y Control de Voltaje.



% de carga	Frecuencia
60	61,5
70	61,7
75	61,8
80	61,9
85	62,1
85 - 90	62,2
90	62,3

4. Modo droop combinado (RCMS DROOP COMB): Se trabaja por las clavijas del pupitre de Control de Hz y para el reactivo la clavija del pupitre de Control de Volt.

Para sacar el motor de línea

Cambiar el modo de trabajo a Modo Individual Fijo y fijar el % de carga y el FP en el SCADA.

Después fijar en el GPC el % de carga y el FP fijado en el SCADA, pasar el control a ETU.