DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE GASOLINAS EXTRA Y SÚPER DEL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS EL BEATERIO DE EP PETROECUADOR

Víctor Pulla, Ramiro Chuva

Ing. Paul Ayala, Ing. Hugo Ortiz.

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército

Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador

RESUMEN

Se realizó el diseño de la ingeniería básica y de detalle para la repotenciación del sistema de despacho de gasolinas extra y súper que consta de dos fases, la primera es la optimización de la lógica de control para equilibrar el tiempo de operación de las electrobombas; la segunda fase consiste en el diseño de las ingenierías para conseguir que cada electrobomba funcione con un variador de velocidad.

En el PLC central Quantum se implementó un algoritmo para conseguir la equidad de operación de las electrobombas de gasolinas extra y súper. Además se instaló un dispositivo transmisor de presión en la tubería principal de gasolina extra con el objetivo de regular la presión de la línea mediante un controlador Proporcional Integral.

Se mejoraron las interfaces Hombre – Máquina tanto en Intouch como en Vijeo – Designer, consiguiendo reflejar condiciones actuales de funcionamiento.

INTRODUCCIÓN

El terminal de productos limpios El Beaterio se dedica al almacenamiento y despacho de combustibles como: Extra, Súper, Diesel 2, Diesel Premium y Jet Fuel.

Para el despacho de combustibles hacia los tanqueros, se cuenta con un área de almacenamiento en tanques, un área de bombeo, y un área de despacho denominada islas de carga.

En extra, al trabajar con el variador, por la activación de un brazo se enciende automáticamente una electrobomba a la velocidad de 1350 rpm que en la práctica permite, a ésta entregar 500GPM; mientras que por la activación de dos brazos, la electrobomba funciona con una velocidad de 1800 rpm; que es su velocidad nominal y le permite entregar 1000 GPM. Si el sistema no cuenta con variador, por la activación de un brazo automáticamente enciende una electrobomba con arranque directo, el cual trabaja hasta con la activación del segundo brazo. Al activarse el tercero automáticamente se enciende la siguiente electrobomba.

Con respecto a Súper, su sistema de despacho es similar a extra, con la única diferencia que no se cuenta con un variador, por ende solo existe arranques directos. No existe equidad

de los tiempos de operación de las electrobombas por lo que sufren desgaste prematuro. Además las interfaces HMI no reflejan condiciones actuales de funcionamiento.

Con el fin de optimizar el sistema de despacho de las gasolinas, la empresa en aproximadamente un año, cuenta con la aprobación para la adquisición de variadores, por lo que se requiere realizar las ingenierías básica y de detalle.

DISEÑO FASE 1

Gasolina Extra

Actualización del número de brazos de carga.- La condición actual del sistema de gasolina extra consta con la capacidad de realizar el despacho simultáneamente a través de 7 brazos de carga (4, 5, 8, 9, 11, 19 y 22).

Configuración automática de las electrobombas.- Se conoce que cada electrobomba puede abastecer 2 brazos de carga y la condición máxima de trabajo es 7 brazos activados simultáneamente por lo que se requieren hasta 4 electrobombas encendidas, para esto la configuración de la secuencia de encendido (principal, auxiliar 1, auxiliar 2 y auxiliar 3) se debe aplicar de manera automática cuando todas las electrobombas se encuentren detenidas. Para lo cual deben existir botones de Detener - Reiniciar despacho y asegurar que todas las electrobombas se apaguen, luego el programa del PLC debe ordenar de menor a mayor el tiempo de operación de las electrobombas que están disponibles y en ese orden seleccionar principal y auxiliares.

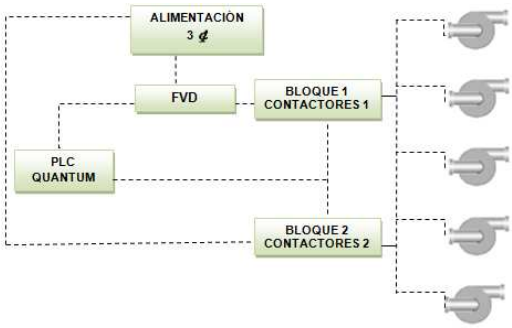

Figura. 1. Configuración electrobombas - variador de velocidad.

HMI en INTOUCH

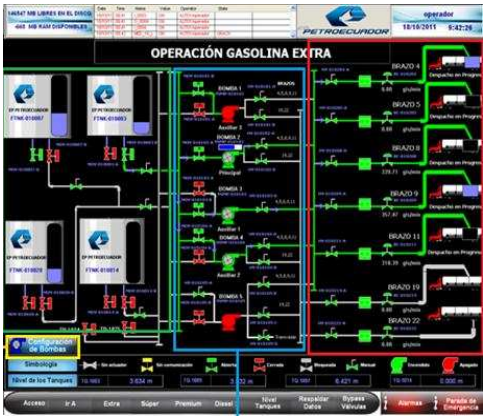

Figura. 2. Imagen de la ventana de operación de gasolina extra con las modificaciones respectivas.

Figura. 3. Imagen de la ventana configuración de bombas de gasolina extra.

Gasolina Súper

Configuración automática de las electrobombas.- Se conoce que cada electrobomba puede abastecer 2 brazos de carga y la condición máxima de trabajo es 4 brazos activados simultáneamente por lo que se requieren hasta 2 electrobombas encendidas, para esto la configuración de la secuencia de encendido (principal y auxiliar 1) se debe aplicar de manera automática cuando todas las electrobombas se encuentren detenidas. Además deben existir botones de Detener y Reiniciar despacho y asegurar que todas las electrobombas se apaguen, luego el programa del PLC debe ordenar de menor a mayor el tiempo de operación de las electrobombas que están disponibles y en ese orden seleccionar principal y auxiliar.

Se necesita implementar una interfaz Hombre- Máquina en la Sala de Control mediante el programa INTOUCH y otra en el Centro de Control de Motores mediante Vijeo Designer para el touch panel MAGELIS.

HMI en INTOUCH

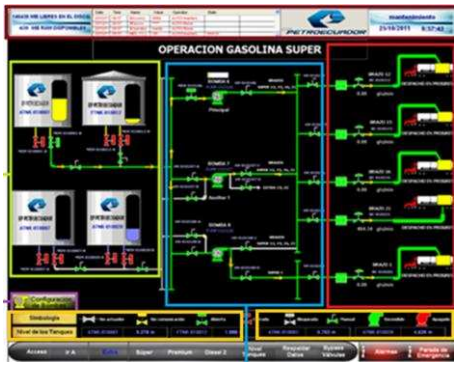

Figura. 4. Imagen de la ventana operación de gasolina súper.

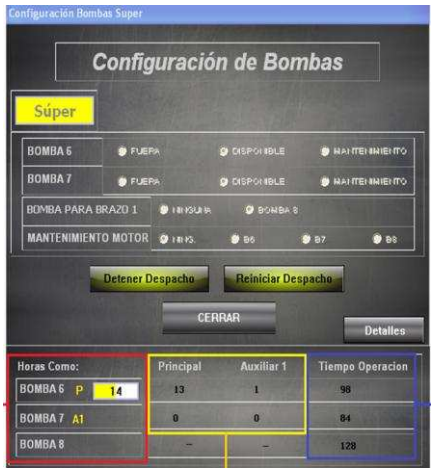

Figura. 5. Imagen de la ventana configuración de bombas de gasolina súper

DISEÑO FASE 2

El objetivo de la fase II es optimizar totalmente el sistema de bombeo de gasolina, de manera que la operación de todas las electrobombas sea mediante variadores de frecuencia lo cual reduce el consumo de energía y el desgaste de la tubería y sus accesorios. La figura 6, muestra el esquema a diseñar:

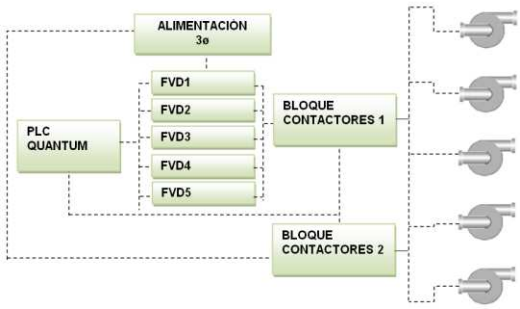

Figura. 6. Configuración electrobombas - variador de velocidad para Fase II.

Se debe tener en cuenta que la lógica de control es similar a la que se implementó en la fase I, con la diferencia de que es necesario asignar la velocidad correspondiente a cada variador de frecuencia de acuerdo con el siguiente criterio:

- La velocidad del variador de frecuencia de la electrobomba

principal se determina según el valor de lectura del transmisor de presión

- La velocidad del variador de frecuencia de las electrobombas auxiliares se establece de acuerdo a la corriente de salida del variador principal, ya que el objetivo es optimizar el consumo de energía del sistema

PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas:

La selección del tipo de controlador se tomó después de realizar varias pruebas con los valores calculados en la sección de sintonización, a continuación se muestran las curvas de respuesta con sus respectivos parámetros. En primer lugar se comprobó el funcionamiento de un controlador proporcional con la activación de un solo brazo de carga, y la respuesta de la presión se describe en la curva de la figura 7.

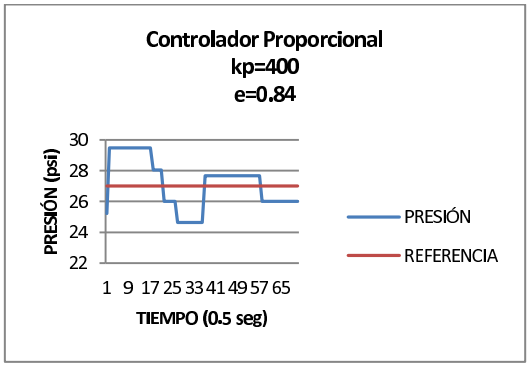

Figura. 7. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Kp = 400 y error en estado estacionario e= 0.84.

Debido a que es necesario eliminar el error en estado estacionario se realizó una segunda prueba con un controlador proporcional integral PI, y arrojó la curva que se muestra en la figura 8.

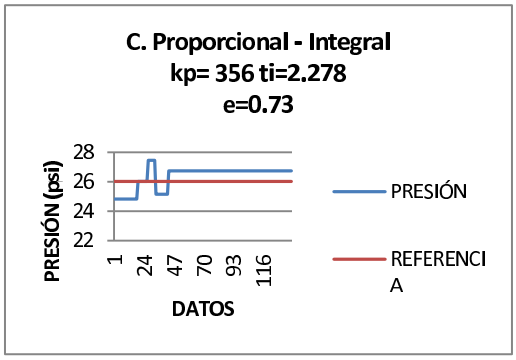

Figura. 8. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Integral Kp = 356, ti = 2.278 y error en estado estacionario e= 0.73

Es importante recalcar que con el controlador PI se redujo el error en estado estacionario al igual que el valor de sobrepico, sin embargo se realizó una tercera prueba con el mismo controlador PI pero esta vez se redujo el valor de la ganancia proporcional lo cual eliminó considerablemente el valor de sobrepico y el error en estado estacionario, como se muestra en la figura 9. Además, al reducir la ganancia proporcional, la señal de control no varía súbitamente y se evita cambios bruscos en la velocidad del motor.

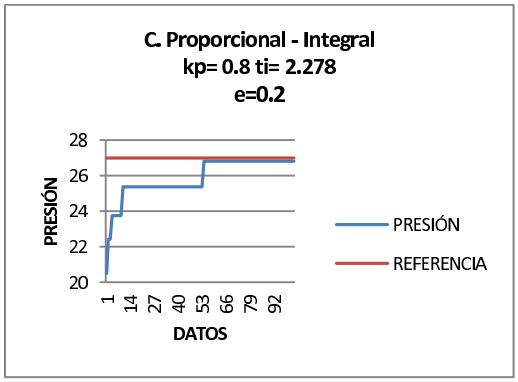

Figura. 9. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Integral Kp = 200, ti = 2.278 y error en estado estacionario e= 0.2

Ya que el resultado fue satisfactorio se decidió implementar el controlador

Proporcional Integral con los valores hallados.

Resultados:

Gasolina Extra

Resultado 1: Tiempo de operación de electrobombas

En las Figuras 10, 11, 12, 13, se muestran la línea de tendencia que ratifica el cumplimiento de la igualación de tiempos de operación, objetivo planteado para la fase 1.

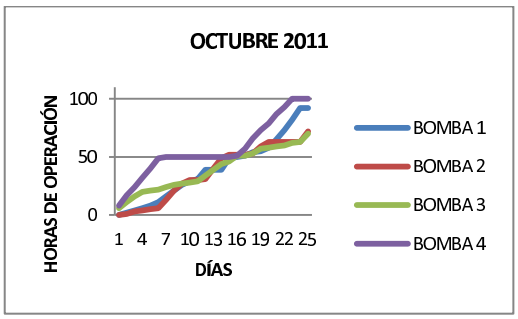

Figura. 10. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de octubre 2011.

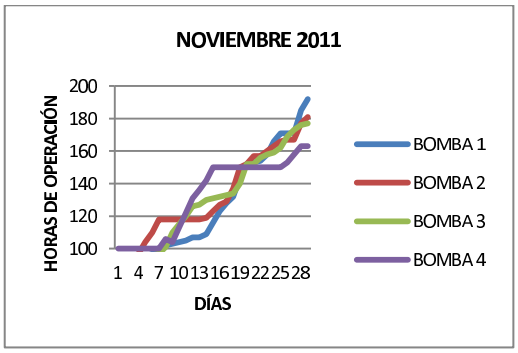

Figura. 11. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de noviembre 2011.

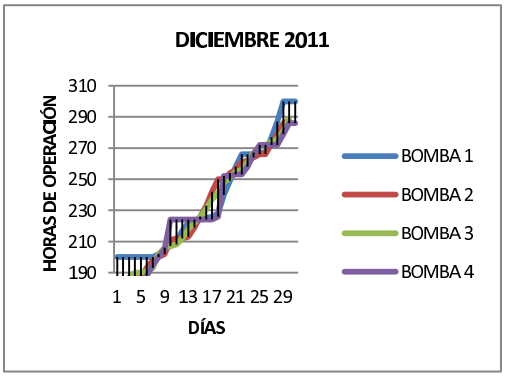

Figura. 12. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de diciembre 2011.

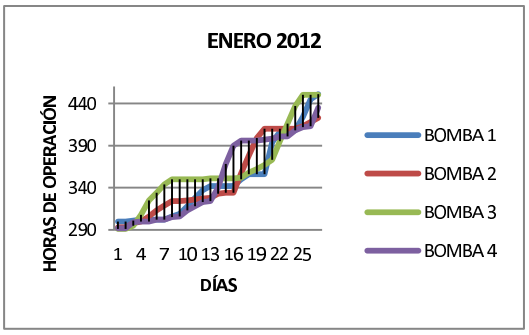

Figura. 13. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de enero 2012.

Resultado 2: Control de la presión en la línea

A pesar de que no era un objetivo trazado al inicio del proyecto en la Fase I, se consiguió implementar un sistema de control de presión de la tubería en función a la velocidad que se asigna al variador de velocidad, logrando un flujo alto (aproximado a 500 gls/min) en cada brazo de carga.

Para constatar el correcto desempeño del controlador PI se presentan las graficas a tiempo real del panel táctil MAGELIS.

La primera gráfica (figura 14) muestra la presión con los números de brazo activados sin ningún tipo de control y sin variador de velocidad.

Figura. 14. Grafica Presión – número de brazos activados sin controlador y arranque directo

La segunda gráfica (figura 15) muestra la presión con los números de brazos activados, esta vez con un control PI, usando el variador de velocidad.

Figura. 15. Grafica Presión – número de brazos activados con variador de velocidad y controlador P.I.

Gasolina Súper

En las figuras 16, 17, 18, 19, se muestra la línea de tendencia que ratifica el cumplimiento de la igualación de tiempos de operación de las electrobombas, objetivo planteado para la fase 1.

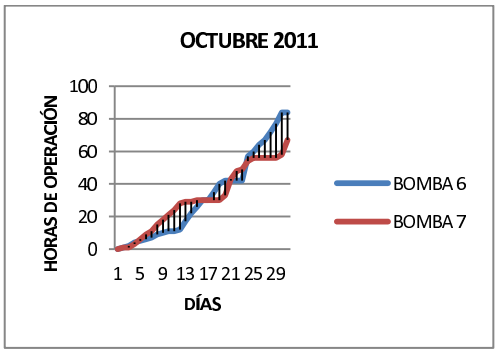

Figura. 16. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de octubre 2011.

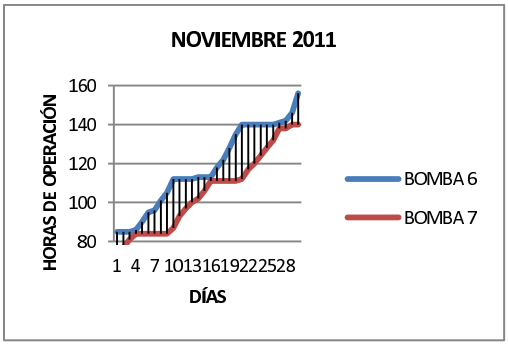

Figura. 17. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de noviembre 2011.

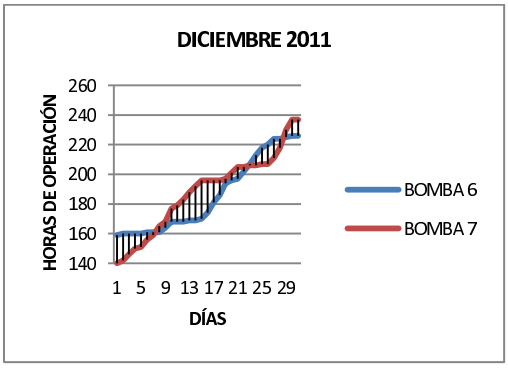

Figura. 18. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de diciembre 2011.

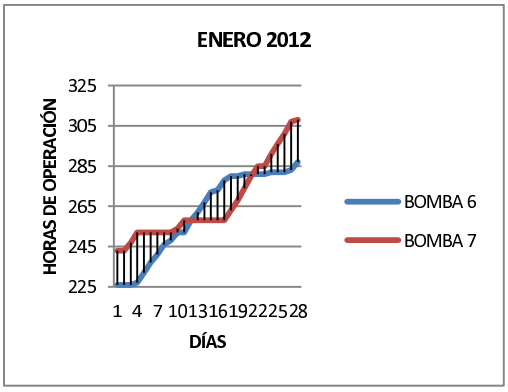

Figura. 19. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de enero 2012.

CONCLUSIONES

- Se realizó el levantamiento de conexiones eléctricas, instrumentación, comunicación e infraestructura del sistema, y descripción del proceso de despacho de las gasolinas Extra y Súper.
- Se realizó una revisión completa de la lógica de control del PLC y se organizaron todas las variables en tablas detalladas.
- Se realizó la programación del PLC Quantum requerida para conseguir igualar los tiempos de operación de las electrobombas, con lo cual el desgaste de las mismas es equitativo.

- Se optimizó la interface Hombre – Máquina, tanto en Intouch como en el panel táctil MAGELIS reflejando condiciones actuales del proceso.

- Se instaló un equipo medidor y transmisor de presión en la tubería de gasolina extra para diseñar un sistema de control en base a la señal entregada.

- Se consiguió un control más exacto del flujo, mediante la implementación de un controlador de presión, lo que además permite alargar la vida útil de la tubería y sus accesorios.

- Se implementó una consulta a la base de datos en Intouch, para respaldar información de las variables de interés ante cualquier eventualidad de fallo ó emergencia.

- Se realizó un diseño base del sistema de control para el funcionamiento de cada electrobomba con un variador de velocidad

- Se realizó la ingeniería básica para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper, identificando los nuevos equipos de control, protección y canalización.

- Se realizó la ingeniería de detalle para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper, presentando al final las respectivas proformas y requisiciones de los diferentes equipos requeridos.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar un despacho equilibrado desde los tanque FTNK-010003 y FTNK-010014 para conseguir la igualación del tiempo de operación de todas electrobombas.
- Se recomienda optimizar las líneas de succión y descarga en el patio de bombas mediante tuberías principales para evitar pérdidas de flujo y de esta manera maximizar la eficiencia de las electrobombas.
- Se recomienda cambiar los brazos de carga normal por los de carga ventral para reducir el tiempo de espera y tráfico de auto-tanques, contribuyendo adicionalmente con la eliminación de vapores contaminantes para el medio ambiente.
- El variador Altivar 61 cuenta con un controlador PID integrado, cuyo funcionamiento se recomienda considerar como control alternativo ante algún fallo del PLC.

- Se recomienda instruir al respectivo personal de operación acerca de los diferentes procedimientos implementados en el sistema de despacho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SMITH, Carlos y Armando CORRIPIO. ***Principles and Practice of Automatic Process Control,*** Segunda Edición. John Wiley & Sons Inc. New York.1997

Smith Meter Product Catalog, **Valves Model 210 Digital Electro-Hydraulic Set-Stop Specifications**, 1996-10.

Rotor k, **Modbus RTU Actuator Control MFU Option Card Installation Manual**, Publication S175EV2.4.

Schneider Electric, **Manual electrotécnico Telesquemario Telemecanique**, Junio 99.

Telemecanique, **Variable speed drives for asynchronous motors Programming manual.**

Schneider Electric, **Manual teórico-práctico Instalaciones en baja tensión, Volumen I, II.**

Cooper Crouse – Hinds, **Code Digest Article 500-516 of the NEC with product recommendations for use in hazardous (classified) areas**, 2008.

Smith Meter Product Catalog, **Valves Model 210 Digital Electro-Hydraulic Set-Stop Specifications**, 1996-10.

Smith Meter Product Catalog, **Valves Model 210 Digital Electro-Hydraulic Set-Stop Specifications**, 2000.

Victor Geovanny Pulla Aulestia, nació en Quito - Ecuador, el 25 de mayo de 1985. Realizo sus estudios secundarios en el Colegio Militar Nº10 "Abdón Calderón" obteniendo el título de bachiller técnico en comercio y administración especialidad informática. Estudió Ingeniería Electrónica en Automatización y Control en la Escuela Politécnica del Ejército.

Dennis Ramiro Chuva Alvarez, nació en Quito - Ecuador, en 1988. Realizo sus estudios secundarios en el Colegio Técnico Experimental de Aviación Civil "COTAC" obteniendo el título de bachiller en Comercio y Administración especialidad Informática en el 2006. Realizó sus estudios en la Escuela Politécnica del Ejército la carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Automatización y Control.