

Ingeniería básica y detalle de un sistema de monitoreo y control automático de los procesos de generación, para la pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda.

Alex Daniel Correa Mollocana, David Alejandro Espinosa Guaita.

Departamento de Eléctrica y Electrónica.

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador

correa.ald@hotmail.es

david_espinosa@outlook.es

Resumen.- El presente artículo describe la ingeniería básica y de detalle para una estación de monitoreo y control, usada en los procesos de generación de frío y calor, en la planta pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda. Entre los procesos que permite monitorear se halla la temperatura en bancos de hielo, presión en calderos y nivel en tanques de diésel, usándose transmisores electrónicos adecuados para cada caso. El diseño propuesto también permite el control automático de la válvula de purga de la torre de enfriamiento. Como requerimiento adicional solicitado por la empresa, se plantean las interfaces de usuario y la programación del elemento controlador de todo el sistema, un PLC.

I. INTRODUCCIÓN

En las industrias lácteas, el proceso de pasteurización es elemental. La pasteurización se la realiza con el propósito de destruir únicamente agentes patógenos presentes en la leche cruda, evidentemente nocivos para la salud, rescatando aquellos componentes nutritivos. La totalidad de técnicas de pasteurización existentes están basadas en el principio de un cambio abrupto desde temperaturas relativamente bajas hacia temperaturas relativamente altas. Esto se logra a través de componentes denominados intercambiadores de calor, que extraen el calor de un fluido, y lo transfieren a otro fluido de menor temperatura. Mantener un continuo monitoreo sobre los equipos involucrados en este proceso no es trivial en absoluto.

Desde un punto de vista empresarial, el conocer los valores de un proceso a través del monitoreo continuo sobre éstos, aporta información valiosa acerca de la materia prima existente, los momentos precisos en los que debe ejecutarse el mantenimiento de equipos y la optimización de tiempos por concepto de inspección en persona de un determinado proceso. Todos estos factores confluyen en un punto primordial: la asignación adecuada de recursos económicos. Adicionalmente, un punto de monitoreo adecuadamente ubicado aleja al personal de situaciones potencialmente peligrosas, trayendo un beneficio bipartito, ya que el operario se mantiene a salvo, y la empresa no incurre en indemnizaciones.

Por las razones expuestas, el Departamento de Mantenimiento de la pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda., ubicada en Salcedo, Ecuador, ha solicitado el diseño de un sistema de monitoreo de los procesos involucrados en la generación de frío y calor (posteriormente usados en el proceso de pasteurización), como son bancos de hielo (en el que se mide temperatura), calderos (en el que se mide presión del vapor de agua), y nivel de diésel (que provee de combustible a los calderos). El alcance del proyecto se ha extendido a la implementación de un sistema de activación horaria de una válvula de purga en una torre de enfriamiento.

El diseño se efectúa en dos etapas claramente identificadas. La primera etapa se trata de la ingeniería básica, que parte de la inspección de las instalaciones actuales de la planta, para concluir con los requerimientos mínimos de los equipos y la estructura general que debe adoptar el proyecto a diseñar. La segunda etapa se trata de la ingeniería de detalle, que parte de los resultados de la ingeniería básica, para luego especificar modelos, dimensión y cantidad de los componentes a usarse, y termina con los planos en los que se indica minuciosamente el montaje de cada componete. En este caso, también se indica la programación de los componentes más relevantes del sistema, como lo son el PLC, y un computador que hará las veces de estación de monitoreo.

II. INGENIERÍA BÁSICA

Como punto de partida, se observa el estado actual de los equipos. Primero se inspeccionó el área de los bancos de hielo. Estos sistemas generan el frío usado en el intercambio de calor para la pasteurización, a través de la circulación de gas amoníaco en un serpentín rodeado de agua, la cual eventualmente se congela y provee de agua fría. Existen 5 bancos de hielo formados por varias unidades de enfriamiento (conformadas por el compresor y la válvula de expansión primordialmente), cada una alimentada con voltaje trifásico de 380 voltios, con un consumo de 2 HP por cada unidad de enfriamiento (U.E.), como se indica en la TABLA I.

TABLA I.
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
DE LOS BANCOS DE HIELO

Banco de hielo	Número de U.E.	Consumo [HP]
1	4	8
2	2	4
3	2	4
4	1	2
5	1	2

La Fig. 1 por su parte, muestra la estructura física de uno de los bancos de hielo (empotrados en el suelo), similar para los bancos de hielo 1, 2, 3 y 5 siendo diferente el banco de hielo 4 por poseer un tanque montado sobre la superficie. Las temperaturas generadas por estos sistemas fluctúan entre -13 y 13 grados centígrados, medidas a través de sensores RTD tipo PT100, conectados a indicadores de tipo digital modelo MT-512i, montados sobre los paneles eléctricos.



Fig. 1. Banco de hielo con que cuenta la pasteurizadora "El Ranchito" Cia. Ltda.

El segundo componente de inspección fueron los calderos. Se trata de calderos pirotubulares, en los cuales se hace viajar una llama al interior de una tubería (denominado paquete multitubular) rodeada por agua (contenida por el tanque exterior de caldero), que eventualmente hierve y genera vapor de agua. Los calderos se diferencian por tener diferente potencia, uno es de 100 HP y el otro es de 250 HP; esto hace que varíen ligeramente sus tamaños aunque estructuralmente son similares. La presión generada por el vapor de agua fluctúa entre 80 y 110 psi, registrados a través de medidores de tipo Bourdon. La Fig. 2 muestra la estructura física de uno de los calderos.



Fig. 2. Caldero con que cuenta la pasteurizadora "El Ranchito" Cia. Ltda.

El tercer componente de inspección fueron los tanques de diésel que abastecen de combustible a los calderos. Existen dos tanques, uno principal y otro de respaldo, instalados en la superficie y el subsuelo respectivamente. La medida del nivel se logra a través de indicadores de nivel tubular, construidos artesanalmente. Para el caso del tanque principal, el máximo nivel es de 2,2 m y en el caso del tanque de respaldo el máximo nivel es de 1,6 m. La Fig. 3 muestra la estructura física del tanque principal de diésel.



Fig. 3. Tanque principal de abastecimiento de diésel hacia los calderos. Nótese el indicador de nivel.

El último componente de inspección es la válvula de purga de la torre de enfriamiento. La purga se hace manualmente, a través de una válvula de globo de media vuelta, a las 00:00, 08:00 y 16:00. Dado que no existe iluminación, la purga de medianoche no se hace. La Fig. 4 muestra el detalle de la válvula indicada.



Fig. 4. Válvula de purga de la torre de enfriamiento.

La distancia a la que se hallan cada uno de los procesos es considerable. Se debe usar transmisores electrónicos, que de forma común, deben satisfacer las siguientes especificaciones eléctricas:

- Alimentados con 24 VDC (se dispone en bodega de fuentes de voltaje con esa salida);
- Salida proporcional para cada caso, de 4 a 20 mA (las pérdidas de corriente por transmisión son mínimas)
 - Para la medición de temperatura, el rango mínimo va desde -13 a 13 grados centígrados,
 - Para la medición de presión, el rango mínimo va desde 80 a 110 psi,
 - Para la medición de nivel, el rango mínimo va desde 0 a 2,2 m.

El elemento de control del sistema es un PLC, dada su versatilidad para trabajar tanto con entradas como salidas de diverso tipo (analógicas y digitales) en entornos industriales. El elemento de visualización es el monitor del computador de escritorio ubicado en el primer piso del taller de mantenimiento, debido principalmente porque todo operario inspecciona su trabajo diario asignado en ese computador y también por el ahorro para la empresa.

La estructura de comunicación será a través de una red Ethernet/IP, para guardar concordancia con la red a la que actualmente está conectada el computador de escritorio (a través de ésta se conecta a internet).

La Fig. 5 muestra el esquema general del sistema, con lo que la etapa de diseño correspondiente a la ingeniería básica está completa.

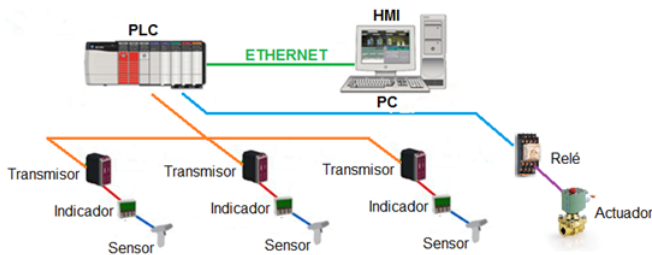


Fig. 4. Esquema general del sistema a diseñar

III. INGENIERÍA DE DETALLE

Partiendo de la etapa anterior, una de las primeras necesidades que se solventa en la ingeniería de detalle es la división del sistema en 3 zonas: una del taller de mantenimiento (donde se ubicará la “SALA DE CONTROL”), otra de la zona de bancos de hielo y una tercera de la zona de calderos. Esto se lo hace para ahorrar por concepto de conductores, y para habilitar el mantenimiento sectorizado (y no centralizado) del sistema; a cada una de las zonas mencionadas respectivamente se les asigna un tablero: el Tablero de Control # 1 (principal) a la zona 1, el Tablero de Control # 2 a la zona 2 y el Tablero de Control # 3 a la zona 3.

De entre varias opciones cotizadas de PLC (TABLA II), se escoge la marca Allen Bradley. Y en cuanto a las opciones de transmisores (TABLA III) se escoge la marca Sick. Se procuró la utilización de la mayor cantidad de componentes con los que cuenta la bodega de suministros de pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda., cotizándose únicamente lo necesario.

TABLA II.
FACTORES DECISIVOS EN LA SELECCIÓN DEL PLC

Opción	Costo bajo	Software gratis	Instalación inmediata	Posible integrarlo
Rockwell (AB)	NO	SI	SI	SI
Siemens	SI	NO	NO	SI
Xinje	SI	NO	NO	SI

TABLA III.
FACTORES DECISIVOS EN LA SELECCIÓN DE LOS TRANSMISORES

Opción	Costo bajo	Instalación inmediata	Posible integrarlo
Endress+Hausser	NO	SI	SI
Sick	SI	SI	SI
Brainchild/Wago	NO	SI	SI

El modelo del PLC que se escoge es el 1768-L43, por su capacidad de conexión a red Ethernet/IP y su modularidad. La Fig. 5 muestra al PLC señalado.



Fig. 5. PLC Allen Bradley 1768-L43

Varios módulos se conectarán al PLC, a saber:

- 1769-IQ16F, módulo de 16 entradas a 24 VDC, usado para el interruptor general del sistema;
- 1769-OB16P, módulo de 16 salidas a 24 VDC, usado para luces piloto y la activación de la válvula solenoide (a través de un relé);
- 1769-IF4I, módulo de 4 entradas analógicas tanto de voltaje como corriente, para el ingreso de señales de los transmisores;
- 1768-ENBT, módulo de comunicación Ethernet/IP (que se conectará al switch 1783-EMS04T);
- 1768-PA3, fuente diseñada especialmente para el controlador 1768-L43.

El PLC se encuentra conectado en una red Ethernet con un computador de escritorio que hace las veces de componente de visualización. Tal computador posee las siguientes características:

- Procesador Core 2 Duo 2.1 GHz
- Memoria RAM 1 GB.
- Disco duro 510 GB.
- Tarjeta de video VGA de 256 colores.
- Sistema operativo Windows XP Professional de 32 bits

Como transmisor de nivel se escogió el modelo UM30-214113, mostrado en la Fig. 6; la Fig. 7 muestra al transmisor de presión, modelo PBS-RP160SN1SS0D5AOZ; y la Fig. 8 muestra al transmisor de temperatura MST-665, cuyo sensor es una RTD de tipo PT100, con especificación IP68. Todos los transmisores señalados exceden los requerimientos solicitados en la etapa de ingeniería básica, sin necesariamente sobredimensionarse.



Fig. 6. Transmisor de nivel Sick UM30-214113



Fig. 7. Transmisor de presión Sick PBS-RP160SN1SS0D5AOZ



Fig. 8. Transmisor de temperatura MST-665

Posteriormente se debió dimensionar el calibre AWG de los cables con los que se conectan los equipos así como los elementos de protección eléctrica (interruptores automáticos) de cada tablero empleandose la gama de productos C60H de Schneider Electric, pues se contaba con tales elementos en el stock de la bodega de suministros. Para el caso de la válvula de purga de la torre de enfriamiento, se plantea la ejecución de un ensamble de *ByPass* como se indica en la Fig. 9, donde se usa la válvula solenoide UNI-D modelo SUW-50#316.

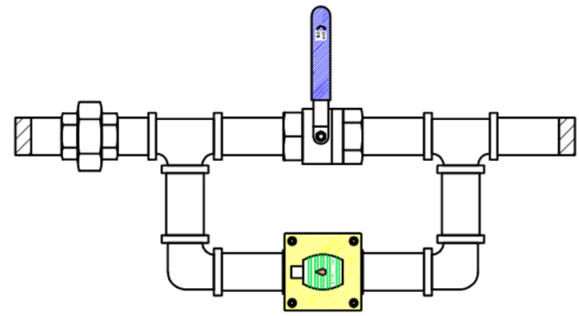


Fig. 9. Ensamble ByPass propuesto para la purga de la torre de enfriamiento

Una vez concluida la etapa de selección y dimensionamiento de componentes, se plantean los planos del sistema: P&ID, eléctricos, mecánicos y civiles, de forma que no quede especificación sin detallar. Cabe mencionar que los planos P&ID cobran especial importancia debido a que éste es el nivel más general de plano descriptivo de un sistema. En la Fig. 10 se muestra el plano P&ID del banco de hielo # 1 (que se repite prácticamente para el resto de bancos de hielo); en la Fig. 11 se muestra el plano P&ID del ByPass de la Torre de enfriamiento y en la Fig. 12 se muestra el plano P&ID del área de calderos junto con los tanques de diésel que los abastecen. En verde se marca la instrumentación añadida en la ingeniería de detalle.

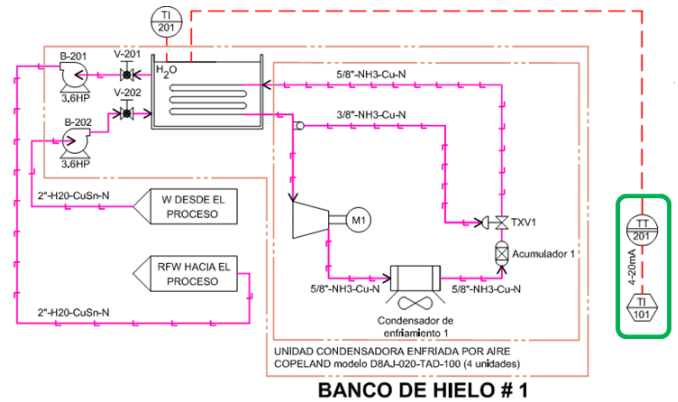


Fig. 10. Segmento del plano P&ID de bancos de hielo: Banco de Hielo # 1

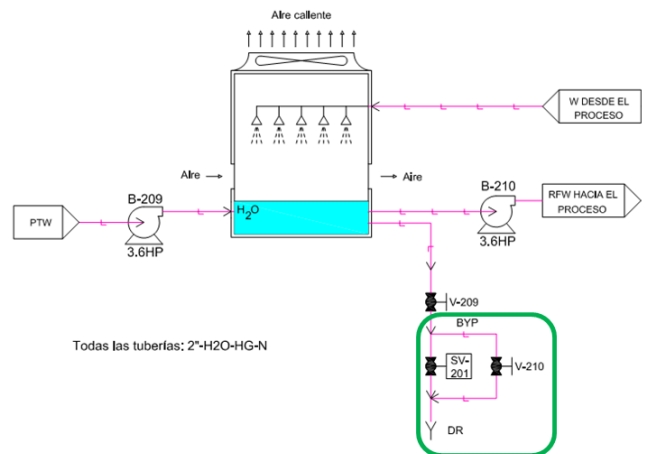


Fig. 11. Plano P&ID de la Torre de Enfriamiento

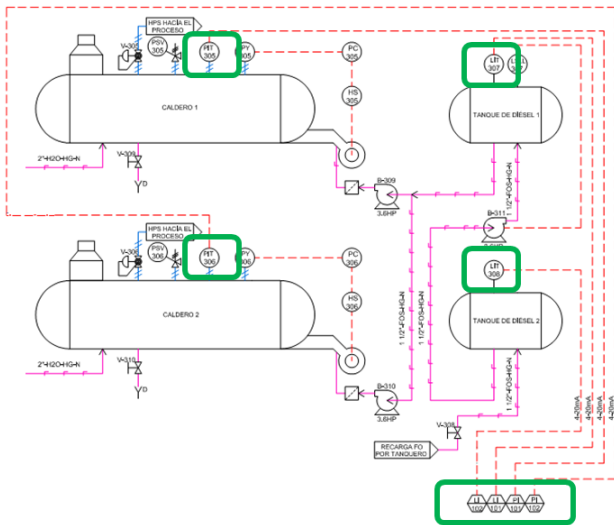


Fig. 12. Segmento del plano P&ID del Área de Calderos

IV. DISEÑO DE SOFTWARE

Una vez diseñada la etapa de hardware, se establece la configuración de los equipos que posean algún tipo de software. Claramente se tienen dos equipos con esas características: el PLC y las interfaces de usuario en el computador de escritorio. La Fig. 13 muestra la lógica con la que interactúan los dos softwares: mientras que desde los transmisores electrónicos se envía una señal de corriente, el PLC se encarga de convertir esto en unidades comprensibles para el controlador, y una vez hecho esto, se linealizan y se envían al computador para ser convenientemente mostrados al usuario.

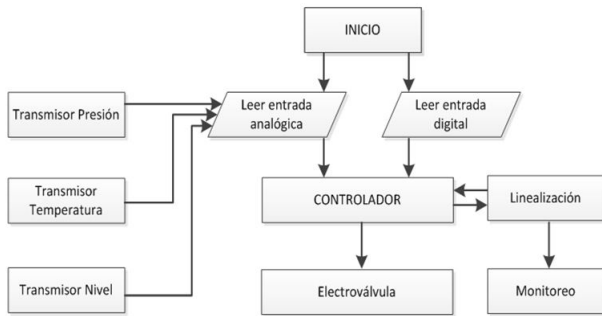


Fig. 13. Diagrama de flujo de la etapa de software

Para la programación del PLC, se usará el software RSLogix 5000 versión 16, compatible con el controlador empleado. Una vez que la señal de corriente del transmisor electrónico ingresa al controlador, con la configuración adecuada del módulo de entradas analógicas se convierte automáticamente a unidades crudas (*Raw Units*, "RU", por sus siglas en inglés) en el programa, en valores comprendidos entre 0 y 31206. Se ha llegado a las siguientes relaciones entre los valores buscados y las unidades crudas, para cada uno de los transmisores:

$$Temperatura = 0.042 * RU - 462.489$$

$$Presión = 0.006 * RU - 40$$

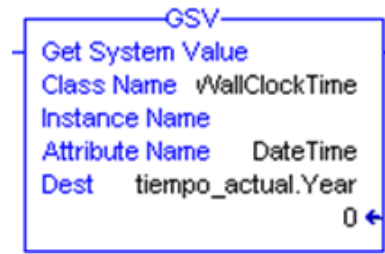
$$Nivel = 0.122 * RU - 412.469$$

Las anteriores ecuaciones se implementan en el programa a través del bloque CPT, tal como se muestra en la Fig. 14.



Fig. 14. Bloque CPT: Ecuación de temperatura implementada como ejemplo

Otro de los parámetros críticos en el programa es la activación horaria de la válvula solenoide; esto se logra fácilmente al extraer la información de fecha y hora del procesador del PLC, a través del bloque GSV, mostrado en la Fig. 15.



Name	Data Type
+ tiempo_actual	Dtime

Name	Data Type	Style
Year	DINT	Decimal
Month	DINT	Decimal
Day	DINT	Decimal
Hour	DINT	Decimal
Minute	DINT	Decimal
Second	DINT	Decimal
Microsecond	DINT	Decimal

Fig. 15. Bloque GSV y datos internos

En cuanto a la programación de las interfaces de usuario (HMI, Human - Machine Interface por sus siglas en inglés), se usó el software Wonderware Intouch versión 10.0, puesto que se dispone de una copia de este programa en la pasteurizadora. Las ventanas se han diseñado de forma que sean por demás intuitivas, estableciendo una jerarquía que comprende una ventana inicial (o "Carátula", mostrada en la Fig. 16), una ventana principal (mostrada en la Fig. 17), y varias ventanas de proceso.



Fig. 16. Ventana Inicial

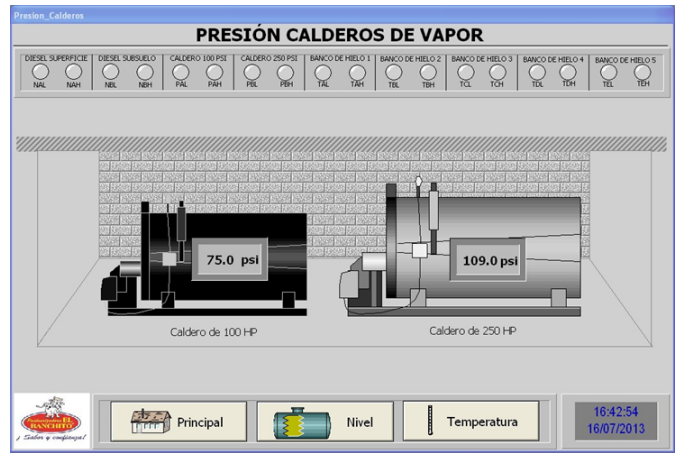


Fig. 19. Ventana de Presión en Calderos

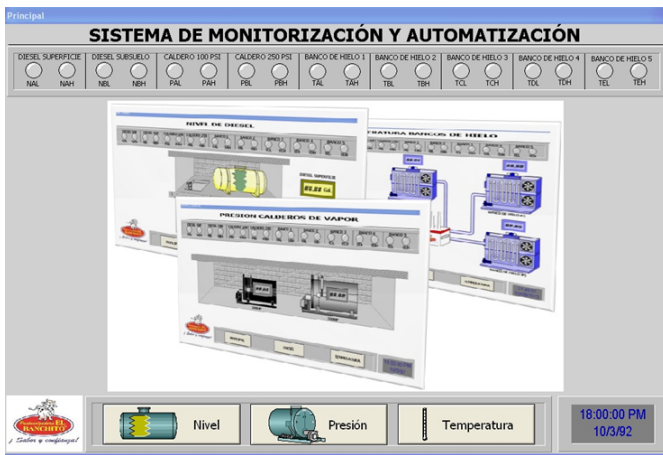


Fig. 17. Ventana Principal

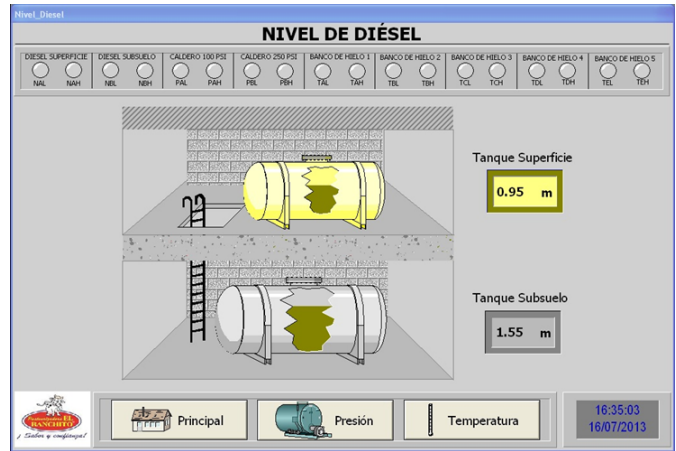


Fig. 20. Ventana de Nivel de tanques de diésel

Dentro de la ventana de proceso se hallan los elementos de interés para el usuario, la ventana de temperaturas de bancos de hielo (Fig. 18), presión de calderos (Fig. 19) y nivel de tanques de diésel (Fig. 20).

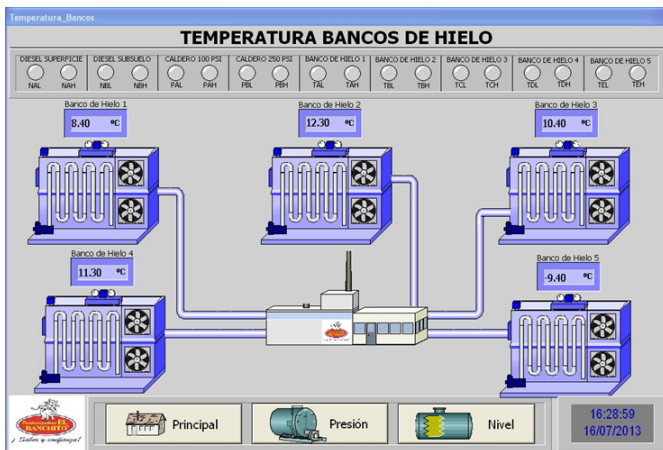


Fig. 18. Ventana de Temperaturas de bancos de hielo

V. CONCLUSIONES

Se estima que el sistema diseñado permite ahorrar 56 horas y media mensuales por concepto de inspección de equipos (bancos de hielo, calderos y tanques de diésel) y activación de la válvula de purga de la torre de enfriamiento. Esto se traduciría en un ahorro mensual para la empresa de USD 114,40. La rentabilidad del sistema (una vez instalado) es evidente.

Por otro lado, la empresa obtiene como beneficio directo todos aquellos implementos disponibles en la bodega de insumos que se han considerado en el diseño de este proyecto, y el costo de la ingeniería en sí. Como costos se tienen todos los equipos que se han cotizado. Al haber realizado una relación beneficio - costo, se ha llegado a la conclusión de que, al implementarse este proyecto se obtendría directamente una ganancia de USD 1,82 por cada dólar invertido en el proyecto.

El monitoreo de los procesos a distancia también permitiría lograr el parámetro adicional de seguridad deseado para los operarios. La activación de la válvula de purga se hace automáticamente, así que en tanto el sistema se halle en condiciones óptimas de funcionamiento, nadie debería permanecer pendiente de la purga mencionada.

Finalmente, la sectorización del sistema (en 3 zonas) permite el mantenimiento del mismo sin necesidad de detener

ningún proceso, lo que implica un ahorro por paradas inesperadas, e incrementa la productividad de pasteurizadora “El Ranchito”.

VI. REFERENCIAS

[1] ASPEN TECHNOLOGY INC. *Piping and Instrumentation Drawings*. Manual de Enero de 2009. [En línea]. [Consultado: 13 de mayo de 2013]. Disponible en formato PDF en: <http://archivos.labcontrol.cl/DINAMICA/IcarusPID.pdf>

[2] Gaibor, A. y Quinga, K. *Desarrollo de un programa de mantenimiento para la empresa pasteurizadora El Ranchito Compañía Limitada*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, Junio de 2009. Páginas 31-34, 37, 38.

[3] Mejía, J. y Pérez, J. *Ingeniería conceptual, básica y de detalle de un banco de pruebas para intercambiadores de calor tipo tubo concéntrico y multitubos para flujo paralelo y contraflujo utilizando como fluidos de trabajo aceites API y agua para el laboratorio de conversión de la energía del DECEM*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica del Ejército, Junio de 2011. Páginas 155-161.

[4] MINISTERIO IRANÍ DE PETRÓLEO. *Engineering Standard for Piping & Instrumentation Diagrams (P&IDs)*. Edición original de 1996. [En línea]. [Consultado: 22 de mayo de 2013]. Disponible en formato PDF en: <http://fumblog.um.ac.ir/gallery/280/e-pr-230a.pdf>

[5] Proaño, R. y Lugmaña, C. *Diseño e implementación de un sistema de automatización y control de un caldero industrial de vapor saturado para Construcciones Mecánicas S.A.* Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico en Automatización y Control, Escuela Politécnica del Ejército, Agosto de 2012. Páginas 6, 20, 21.

[6] ROCKWELL AUTOMATION. Manuales de usuario varios. [En línea]. [Consultado el 30 de abril de 2013]. Disponible en: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/>

[7] UNIVERSIDAD DE TEXAS. *PIP PIC001: Piping and Instrumentation Diagram Documentation Criteria*. Prácticas de Procesos Industriales. Abril de 2008. [En línea]. [Consultado: 22 de mayo de 2013]. Disponible en formato PDF en: <http://younansetya.files.wordpress.com/2008/11/sample-pid.pdf>

Tecnológico Superior Vicente León, Latacunga. Egresado de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2013 de la carrera de Ingeniería Electrónica especialidad en Automatización y Control.



David Alejandro Espinosa Guaita nace en Quito, provincia de Pichincha en el año de 1989. En el año 2006, obtiene el título de Bachiller Técnico Industrial en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, Quito. Egresado de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2013 de la carrera de Ingeniería Electrónica especialidad en Automatización y Control.

VII. AUTORES



Alex Daniel Correa Mollocana nace en Salcedo, provincia de Latacunga en el año de 1989. En el año 2007, obtiene el título de Bachiller en Ciencias Exactas en el Instituto