

Automatización y Monitoreo del Sistema de Refrigeración de los Cuartos Fríos de Fabrilacteos Cía. Ltda. – Helados Jotaerre

Darwin Guachi Moposita¹

Jonathan Rojas Correa¹

Nelson Sotomayor Orozco¹

¹Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional

E-mail: roberto.guachi@epn.edu.ec

E-mail: jxavier-rojasc@hotmail.com

E-mail: nelson.sotomayor@epn.edu.ec

Abstract— Este documento contiene información relevante de la automatización y monitoreo del sistema de refrigeración de freón de los cuartos fríos en los que se almacena los productos terminados de la Empresa Fabrilacteos Cía. Ltda., para garantizar que la temperatura se mantenga en el rango de -28 a -35 °C y a su vez contribuir con la optimización del funcionamiento de los componentes del sistema. La lógica de control se establece por condiciones de temperatura en los cuartos fríos, así como por horarios de trabajo en que opera el sistema; es así que en modo diurno se cuenta con cuatro opciones de operación y en modo nocturno con dos. Además se incluye la automatización del funcionamiento del ventilador en la torre de enfriamiento del bloque de apoyo para horario nocturno, el mismo que funcionará únicamente cuando la temperatura del agua no sea adecuada, contrarrestando de esta manera el ruido que produce su funcionamiento continuo en la noche.

Abstract— This document contains information relevant automation and system monitoring freon refrigeration cold rooms where the finished products Company Fabrilacteos Cia. Ltda. is stored, ensuring that the temperature is maintained in the range of -28 to -35 ° C and in turn contribute to optimizing the operation of the system components. The control logic is set by temperature conditions in cold rooms, as well as work schedules that the system operates; Thus in day mode are four operation options and night mode with two. Besides automation fan operation in cooling tower block support for night time is included, it will work only when the water temperature is not adequate, offsetting in this way the noise from continuous operation at night

Index Terms— automatización, refrigeración de Freón, torre de enfriamiento

D. Guachi, es Técnico Docente en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de La Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: roberto.guachi@epn.edu.ec).

N. Sotomayor, es Profesor principal T/C adscrito al Departamento de Automatización y Control Industrial de La Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: nelson.sotomayor@epn.edu.ec).

I. INTRODUCCIÓN

La automatización de procesos industriales proporciona independencia y confiabilidad en una industria. Hoy en día, el nivel de competitividad de una industria es relevante en determinar su buena o mala participación en el mercado, buscando dichas empresas certificaciones nacionales e internacionales que avalúen la calidad de sus productos.

Es así, que con base en los objetivos de Escuela Politécnica Nacional y como parte de la formación profesional, proyectos que involucran la automatización de procesos industriales han sido presentados anteriormente como proyectos de titulación aplicados a distintas industrias de nuestro país. Sin embargo, es necesario señalar que debido a los innumerables procesos industriales, cada proyecto enfrenta retos distintos, requerimientos específicos y aplicaciones puntuales.

Para lograr la autonomía e independencia de un sistema, se parte del hecho de conocer claramente su funcionamiento. Dentro de este contexto, la comunicación con el personal es muy importante, debido a que son ellos quienes supervisarán el desempeño y constituyen una gran fuente de información frente a cualquier duda que se presente.

Un sistema de refrigeración consta de elementos cuya interacción permite el intercambio de calor, cumpliendo un ciclo ya sea de evaporación o condensación. Para ello, se emplea equipos que facilitan esta labor, cuyo funcionamiento debe ser controlado con la finalidad de cumplir con el respectivo proceso.

Finalmente, dicho proceso debe ser mostrado al operador, quien verifica el correcto funcionamiento del mismo. Hoy en día, la tendencia en cuanto a automatización de procesos es la implementación de HMI's (Human Machine Interface), debido a las múltiples funciones que estas pueden presentar, con un entorno amigable y sobre todo comprensible para el operador, el cual permita realizar una evaluación del sistema para determinar si cumple o no con las consideraciones de diseño

previamente establecidas, y si se debe efectuar o no ajustes y calibraciones.

II. FUNDAMENTO TEORICOS

La propuesta planteada exige conocimientos sólidos en distintas áreas de Ingeniería en Electrónica, conocimientos fundamentales en Sistemas de Control, Control Industrial e Instrumentación Industrial son necesarios. Así también, toma un rol importante el conocimiento de instalaciones eléctricas. Al ser un proyecto dedicado para la industria de producción privada del país, la propuesta parte de un análisis exhaustivo de los distintos beneficios de contar con el sistema de automatización, presentado inicialmente en un proyecto y evaluado por la gerencia de Fabrilacteos Cía. Ltda. Por esta razón, conocimientos en Formulación y Evaluación de Proyectos son de vital importancia.

Considerando todos los aspectos tanto técnicos como económicos la propuesta de proyecto se define como multidisciplinaria en las distintas áreas ya mencionadas. Partiendo de todos los conocimientos teóricos para implementar un automatismo en una planta de producción real.

III. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Un sistema de refrigeración es aquel que permite conservar una temperatura adecuada conforme la aplicación lo requiera, generalmente se emplea en aplicaciones tales como: conservación de alimentos, confort ambiental y últimamente, con el avance de la tecnología, para control de temperatura en equipos.

El ciclo de refrigeración consta de los siguientes elementos:

A. Compresión

Proceso de reducción de volumen de un cuerpo mediante la aplicación de presión, para este proceso se emplea un compresor.

El compresor es una máquina cuya función consiste en entregar energía a un fluido compresible mediante la aplicación de presión, de modo que adquiera energía cinética y la suficiente presión para poder fluir. [1]

B. Condensación

La condensación no es nada más que el cambio de la materia desde el estado gaseoso al estado líquido ocasionado generalmente por una reducción de temperatura; es decir, la densidad de dicha materia se incrementa a medida en que esta se enfría. La condensación es la responsable de que existan las nubes, así como de las gotas de agua que se forman fuera de un vaso con bebida fría en un día caluroso. Para este procedimiento se emplea un condensador.

El condensador es un intercambiador de calor cuya función es pretender que el fluido que circula cambie de estado gaseoso a estado líquido, mediante el empleo de otro medio refrigerante. [2]

C. Expansión

La expansión es una característica de los gases. Al incrementar la temperatura de un gas las partículas que lo componen incrementan su energía y tienden a moverse con mayor facilidad, por tal razón su volumen es superior a que cuando su temperatura era menor. Para este proceso se emplea la válvula de expansión.

La válvula de expansión generalmente controla el líquido refrigerante que se inyecta al evaporador. [2]

D. Evaporación

El evaporador es un intercambiador de calor donde se produce la transferencia térmica entre el ambiente a refrigerar y el líquido refrigerante que circula en él.

Al efectuarse dicha transferencia térmica el líquido refrigerante se evapora debido a que absorbe el calor del medio y al mismo tiempo se enfría, ayudando además a combatir la humedad que existe para evitar la emisión de pequeñas partículas de agua cristalizadas por la baja temperatura. La recirculación del aire que ingresa y sale del evaporador se efectúa mediante ventiladores, permitiendo así homogeneizar el enfriamiento del ambiente. [2]

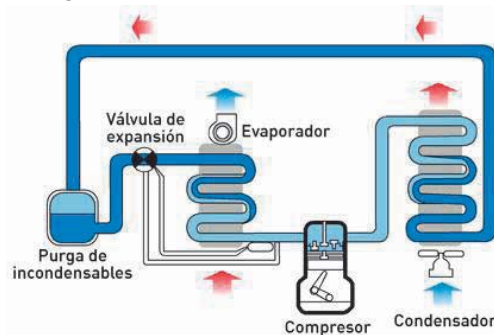


Fig. 1 Ciclo de refrigeración

IV. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

La automatización del proceso de refrigeración de los cuartos fríos con que cuenta la empresa Fabrilacteos Cía. Ltda., está directamente ligada con la necesidad de garantizar el buen estado de los productos elaborados a más de contribuir con la optimización en la operación de los componentes del sistema. El control del sistema por personal de la fábrica en base a horarios de trabajo y condiciones de temperatura está sujeto a posibles errores o descuidos lo que sin duda trae grandes problemas al tomar en cuenta la gran cantidad de productos que son almacenados en los tres cuartos fríos.

A. Problemas actuales

Los siguientes problemas con el control del sistema de refrigeración han hecho que la necesidad de la automatización crezca:

- En varias ocasiones el personal encargado ha olvidado accionar los controles del sistema lo que ha producido que el helado almacenado se encuentre blando y en ocasiones se pierda varios productos.
- En horas de despacho y según condiciones de temperatura el personal tiene que acercarse a activar o desactivar los elementos del sistema de refrigeración lo que supone un control muy simple y poco efectivo para mantener la temperatura del cuarto en valores deseados.
- En horario nocturno los guardias de seguridad son los encargados de activar o desactivar los componentes para lo cual es necesario capacitar a cada guardia sobre el procedimiento que debe realizar durante la noche, es importante notar que dentro sus actividades normales ellos no están sujetos a operar componentes de la fábrica debido a que son miembros de una empresa independiente.
- Personal de la fábrica debe acudir en fines de semana o feriados únicamente para encender o apagar el sistema de refrigeración.

Los datos de temperatura son registrados diariamente por parte de la Jefatura de Control de Calidad de la empresa como parte del programa de Buenas Prácticas de Manufactura que lleva la empresa, estos valores son tomados de manera imprecisa lo que supone un problema al momento de analizar y presentar curvas de comportamiento; a más de esto los fines de semana y feriados no se tiene los valores de temperatura de los cuartos fríos.

B. Posibles soluciones

La solución que se presenta a los problemas en el control del sistema de refrigeración es la automatización del mismo, mediante el uso de un PLC que se programa bajo las condiciones de operación establecidas por la empresa, condiciones en horarios de trabajo y comportamiento de temperatura en cada uno de los cuartos. Para determinar el comportamiento de temperatura es necesaria la instalación de sensores localizados en puntos estratégicos de los cuartos fríos. Todos los componentes del sistema de refrigeración serán controlados desde un tablero principal y con la ayuda de tableros auxiliares diseñados e instalados en los lugares remotos de la planta.

Este sistema automático consta de un HMI desde el cual el usuario puede acceder al mando de los componentes en modo manual, a la configuración de modo automático y al monitoreo del sistema.

Se plantea la aplicación de un sistema automático flexible que consta de distintas opciones de trabajo para el modo de operación diurno y nocturno capaz de brindar las facilidades necesarias en caso de que la empresa requiera mover sus instalaciones y operar de distinta forma a la que comúnmente opera.

C. Ventajas de la automatización del proceso

La automatización del proceso brinda múltiples ventajas, entre las que principalmente se puede citar:

C.1 Control y Monitoreo de temperatura en cuartos fríos.

- Tiempos de accionamiento precisos de los sistemas de refrigeración (noche, día y operaciones especiales).
- Evitar recurrir a la empresa en días u horas no usuales, únicamente para encender o apagar los sistemas de refrigeración.
- Optimización en la operación de los actuadores refrigerantes.
- Registro preciso de los valores de temperatura de los cuartos fríos.

C.2 Sistema de Comando y Monitoreo centralizado

- Accionamiento de todos los interruptores dispersos en la planta desde una estación central.
- Monitoreo y control en tiempo real y manejo de registro histórico de todos los elementos y componentes del sistema.

C.3 Económicas y Comerciales

- Reducir la probabilidad de error humano, como es el olvido de encender o apagar manualmente el sistema en horas o circunstancias establecidas.
- Evitar productos blandos y la pérdida de textura en el helado, promoviendo la confianza y fiabilidad del cliente.

Se considera que los costos que involucran la implementación del sistema son mínimos en comparación con los que conllevaría la pérdida de todo el producto por encontrarse fuera de los límites de la temperatura adecuada.

V. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ACTUAL

A continuación se detalla los principales componentes y características del sistema de refrigeración que se encuentra instalado en la fábrica con el propósito de mantener la temperatura de sus productos a una temperatura adecuada.

A. Cuartos Fríos

Fabrilacteos Cía. Ltda. Cuenta con tres cuartos fríos para almacenamiento de sus productos terminados. Dentro de estos cuartos la temperatura debe mantenerse en un rango de -28°C a -35°C con la finalidad de que el producto llegue en buenas condiciones a sus puntos de distribución. Las dimensiones de los cuartos fríos son:

TABLA I
DIMENSIONES DE CUARTOS FRÍOS

Cuarto frío	Largo	Ancho	Alto
Grande	17.30 m	9.20 m	3.30 m
Mediano	12.30 m	9.60 m	3.30 m
Pequeño	7.70 m	9.60 m	3.30 m

B. Componentes del Sistema

El sistema de refrigeración con que cuenta la planta y propósito de la automatización consta de dos bloques de enfriamiento:

- Central de refrigeración
- Bloque de apoyo

Estos dos sistemas se encargan de mantener a una temperatura adecuada los cuartos fríos de la planta. Tanto la central como el bloque de apoyo trabajan bajo el principio de evaporación de un refrigerante, en este caso freón en un circuito cerrado; cumpliendo las fases de compresión, condensación, expansión y evaporación.

En el esquema de la Fig.2 se presenta la operación del sistema de refrigeración conformado por los dos subsistemas de enfriamiento de los cuartos fríos.

B.1 Central de refrigeración

La central de refrigeración de la fábrica es denominada así debido a las grandes dimensiones y a las características de los componentes que la constituyen.

En la central de refrigeración los tres compresores se encuentran alimentando una sola línea común para el enfriamiento, recibe todo el refrigerante en estado gaseoso hacia un solo pulmón y alimenta en freón a alta presión hacia un solo condensador

Una característica adicional del sistema de operación de los tres compresores es que dos de ellos se encuentran instalados para la operación normal según la demanda requerida y uno como reserva del sistema. Sus componentes y características principales son:

- Tres compresores de 100 HP destinados para la etapa de compresión.

- Un condensador que recibe el gas a alta presión proveniente de los tres compresores y el empleado para la condensación del freón es por agua que recircula por el condensador hacia la torre de enfriamiento.
- Todo el freón en fase líquido se dirige hacia un tanque común para posteriormente dirigirse hacia las válvulas de expansión de cada uno de los cuartos.
- Existe una válvula de expansión destinada para cuarto frío.
- En el cuarto frío grande se localizan tres evaporadores, en el mediano dos evaporadores al igual que en el cuarto pequeño.

En la Fig. 3 se indica la operación de la central de refrigeración:

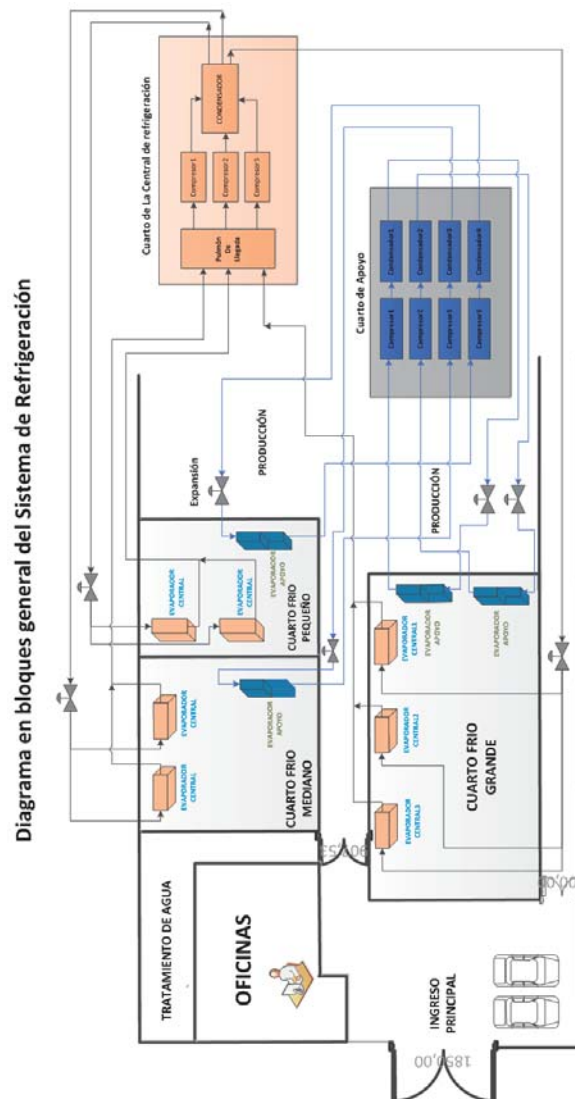


Fig. 2 Diagrama general del sistema de refrigeración

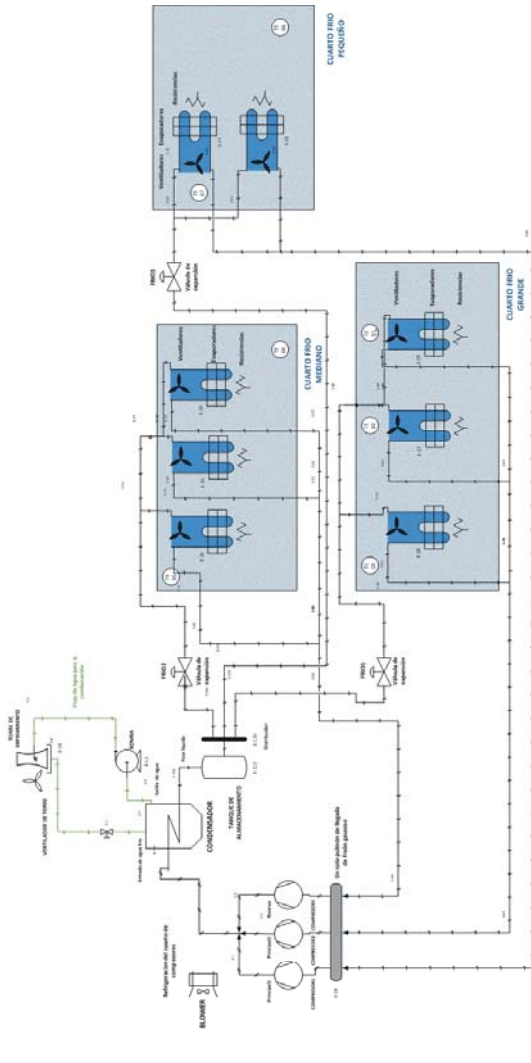


Fig. 3 Diagrama de operación de la central de refrigeración

B.2 El bloque de apoyo

Sus componentes y características adicionales son:

- Cuatro compresores de 10 HP, dos destinado para la refrigeración del cuarto grande, uno para el cuarto mediano y uno para el cuarto pequeño.
- Cuentan con un condensador independiente para cada línea de refrigeración.
- Las dos líneas de refrigeración del cuarto grande son independientes pese a que se dirigen hacia un mismo cuarto.
- La circulación de agua hacia la torre de enfriamiento en la etapa de condensación fluye por una sola tubería que proviene de todos los condensadores localizados en el bloque de apoyo.

- Existe un evaporador para cada línea de refrigeración, es decir dos evaporadores en el cuarto grande, uno en el cuarto mediano y uno en el cuarto pequeño.

En la siguiente figura se indica la operación del bloque de apoyo:

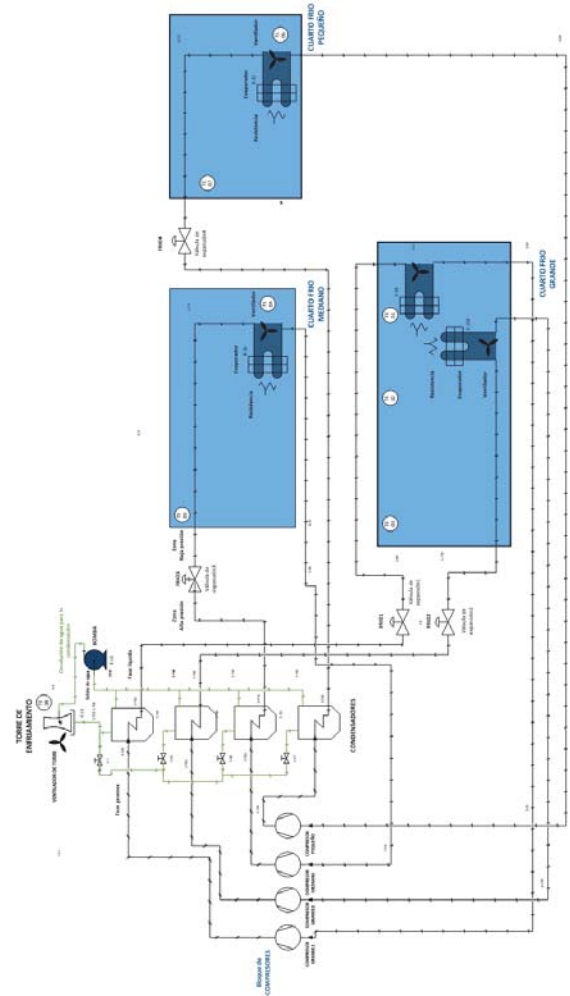


Fig. 4 Diagrama de operación del bloque de apoyo

VI. COMPONENTES PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Los principales componentes que se emplea para la automatización del sistema de refrigeración son:

A. Sensor de Temperatura

RTD (Resistance Temperature Detector), también conocido como termoresistencia, es un dispositivo que basa su funcionamiento en la variación de la resistencia de un conductor frente a la variación de la temperatura.

La variación de resistencia está dada por la siguiente expresión:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Dónde:

R_0 , resistencia inicial del elemento
 α , coeficiente de temperatura del conductor
 ΔT : Variación de temperatura

Empleando un bloque de acondicionamiento de señal la variación de resistencia es comúnmente expresada en variación de voltaje, así también existen módulos industriales que incluyen el acondicionamiento de la señal.

Los materiales más utilizados para la elaboración de este tipo de sensor son el níquel, el platino y el cobre. [3]

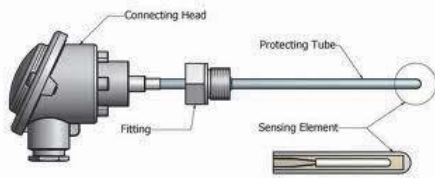


Fig. 5 PT-100 Siemens (RTD)

B. Relé Industrial

Es un dispositivo que actúa como interruptor electromecánico que permite activar o desactivar señales para el control de otros componentes, está compuesto por los contactos principales y los contactos de excitación, los contactos de excitación reciben la señal de control que mediante un efecto electromagnético conmutan los contactos de una posición a otra, los contactos principales están diseñados para soportar corrientes más altas al ser industriales.

Las principales consideraciones a tomar en cuenta son:

- Voltaje de Activación
- Corriente máxima que soportan los contactos
- Voltaje máximo que soportan los terminales en circuito abierto
- Número de contactos del relé. [4]

C. El PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo electrónico utilizado generalmente para aplicaciones de Automatización Industrial con la finalidad de controlar la lógica de funcionamiento de plantas, máquinas y procesos industriales, con la capacidad de recibir, procesar y emitir señales analógicas y digitales. [5]

El PLC que se emplea es el SIEMENS S7-1200 CPU 1214C.

D. Touch-screen

Para el diseño de la Interfaz Hombre – Máquina se ha utilizado una TouchScreen KTP600 Basic Color de Siemens, debido a la garantía que presentan estos productos, así como la clara compatibilidad con el PLC.

Este producto permite una programación con Software Libre (TIA PORTAL), cuya plataforma dispone del software WinCC Basic que permite su configuración y diseño.



Fig. 6 KTP600 Basic color PN, tomado de [6]

VII. ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS

A. Entradas

El sistema contará con la entrada de señales de 3 hilos correspondientes a 8 sensores de temperatura PT100, de modo que se obtenga la medida de temperatura dentro de los cuartos fríos de almacenamiento de helados, estas suman siete; además, de un octavo sensor de temperatura localizado en la torre de enfriamiento del bloque de apoyo, con la finalidad de proporcionar el valor de temperatura del agua que circula a través de los condensadores.

Adicionalmente, el HMI (Interfaz Hombre Máquina), con comunicación tipo Ethernet, emite señales de control hacia nuestro controlador, tanto en modo manual como automático, por tal motivo también forman parte de nuestras entradas al sistema.

Finalmente, todas estas señales de entrada serán consideradas en el sistema de control a implementar.

B. Sistema de Control

El sistema de control recibe las entradas, las analiza, procesa y en función a la lógica programada, emite las salidas correspondientes. El sistema de control en sí, es el programa desarrollado dentro del controlador o PLC.

C. Salidas

Existen 23 salidas físicas del PLC que actuarán sobre relés de control y estos finalmente sobre los equipos de potencia instalados en la planta, estos son: compresores, ventiladores, bombas, evaporadores, válvulas, balizas de

alarma, etc.; y así aislar eléctricamente nuestro controlador, logrando así un sistema óptimo y seguro.

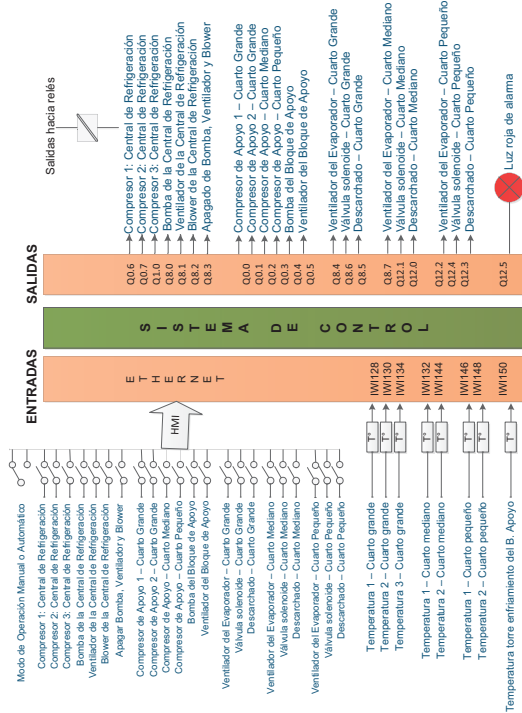


Fig. 7 Diagrama de entradas y salidas del sistema

VIII. LÓGICA DE CONTROL

El sistema de control automático de refrigeración consta de lo siguiente:

- Modo manual
- Modo automático
- Monitoreo del sistema

Dentro del mando automático se involucra el control de temperatura de agua de la torre de enfriamiento, del bloque de apoyo a más del control sobre compresores, evaporadores, bomba, etc.

A. Modo Manual

Bajo la operación del sistema en mando manual, cada uno de los elementos de control puede ser activado y desactivado según se requiera, para esto se cuenta con accionamientos en el HMI que manejan cada variable tanto de la central de refrigeración, como del bloque apoyo.

Este tipo de acciones serán muy útiles cuando se realicen labores de mantenimiento o por circunstancias de producción, se necesite activar o desactivar elementos específicos. El control manual opera de manera similar al sistema que la planta tenía antes de la automatización.

B. Modo automático

La operación automática del sistema está ligada directamente a las siguientes consideraciones:

- Horario de trabajo de equipos
- Temperatura en los cuartos fríos
- Prioridad de operación de los bloques de refrigeración
- Temperatura del agua para el caso de la torre de enfriamiento del bloque de apoyo

El horario de trabajo de los equipos se establece de la siguiente manera:

- Modo de operación diurna
- Modo de operación nocturna

B.1 Modo de operación diurna

Para la operación en este horario se establece la hora de inicio y la hora de finalización. Ajustando los dos límites del rango, así también la empresa plantea las siguientes condiciones:

- El bloque de apoyo puede trabajar en horario diurno o nocturno sin restricciones.
- La central de refrigeración por el momento puede operar solo en horario diurno, en nocturno no puede operar ni como principal ni como ayuda debido al alto ruido que produce su funcionamiento.

B.2 Modo de operación Nocturna

El horario de trabajo nocturno de los equipos será el complemento del trabajo diurno comprendido en un periodo de 24 horas. Las restricciones que se deben tomar para operar en este horario son:

- La central de refrigeración por el momento no puede operar en la noche pero se deben considerar la opción de operar en la noche en caso de que la planta sea trasladada a un lugar donde el ruido que produzca su operación no pueda molestar al vecindario.
- EL bloque de apoyo podrá trabajar sin problema en modo nocturno.

B.3 Condiciones de temperatura

La temperatura se debe establecer en un rango de -28 a -35 grados centígrados para garantizar el buen estado del producto. Mediante lazo de histéresis el control acciona los bloques de central y apoyo dependiendo de los valores de temperatura, de la condición de operación, y del horario de trabajo.

A continuación se presenta el esquema de los rangos de temperatura en los lazos de histéresis para las condiciones de accionamiento por temperatura.

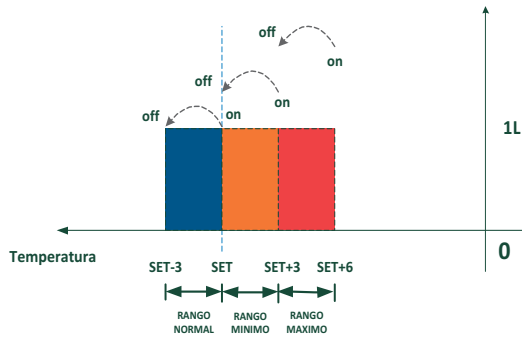


Fig. 8 Rangos de temperatura para el control por histéresis

C. Prioridades de operación

Es muy importante que se consideren opciones en el programa que permitan priorizar el accionamiento de los bloques de apoyo y de central de refrigeración en distintas condiciones de funcionamiento, por lo que se debe considerar lo siguiente:

- Actualmente la planta sigue trabajando con un bloque principal de Amoniaco que en los próximos meses podría ser retirado del sistema.
- El bloque de amoniaco puede operar únicamente en horario diurno debido al ruido que produce su funcionamiento.
- La planta podría ser trasladada a otro sector donde su operación no se limite al horario de trabajo.

Entonces en la prioridad de operación se establece que la central y el bloque de apoyo pueden trabajar como bloque principal o como bloque de ayuda cuando no se cuente con el bloque de amoniaco. Para el caso actual de trabajo los dos bloques constituyen ayuda pero el programa está diseñado para cambiar la prioridad de accionamiento de dichas ayudas.

Considerando todas estas condiciones el programa cuenta con las siguientes opciones para la operación de los elementos:

En horario diurno:

- a. Central – Apoyo

La central de refrigeración trabaja como principal y opera en el rango de temperatura normal, en caso de que el cuarto no necesite frío debido a que su temperatura es menor al rango normal la central no tendrá razón de operar. El bloque de apoyo ayuda a la operación de la central en caso de que esta no abastezca para enfriar los cuartos fríos y operará en el rango de temperatura mínima.

- b. Apoyo – Central

El bloque de apoyo trabaja como principal y opera en el rango de temperatura normal, en caso de que el cuarto no necesite frío debido a que su temperatura es menor al rango normal el bloque de apoyo no tendrá razón de operar. La

central de refrigeración ayuda a la operación del bloque de apoyo en caso de que este no pueda enfriar los cuartos fríos y operará en el rango de temperatura mínima.

- c. Amoniaco – Apoyo – Central

En este modo tanto la central de refrigeración, como el bloque de apoyo, ayudan al enfriamiento de los cuartos fríos que efectúa el bloque de Amoniaco como principal, en caso de que el amoniaco no abastezca para enfriar los cuartos fríos, en primer lugar ingresará el bloque de apoyo dentro del rango de temperatura mínima, y en caso de que esto no sea suficiente en segundo lugar ingresará la central de refrigeración, dentro del rango de temperatura máxima; para ayudar al enfriamiento de los cuartos.

- d. Amoniaco – Central – Apoyo

En este modo tanto la central de refrigeración, como el bloque de apoyo ayudan al enfriamiento de los cuartos fríos que efectúa el bloque de Amoniaco como principal, en caso de que el amoniaco no pueda enfriar los cuartos fríos, en primer lugar ingresará la central dentro del rango de temperatura mínima, y en caso de que esto no sea suficiente en segundo lugar ingresará el Bloque de apoyo dentro del rango de temperatura máxima; para ayudar al enfriamiento de los cuartos.

En modo nocturno:

- a- Central – Apoyo
- b- Apoyo – Central

En cada uno de estos modos el sistema operará de la siguiente manera:

- a. Central – Apoyo

La central de refrigeración trabaja como principal y opera en el rango de temperatura normal, en caso de que el cuarto no necesite frío debido a que su temperatura es menor al rango normal la central no tendrá razón de operar. El bloque de apoyo ayuda a la operación de la central en caso de que esta no pueda enfriar los cuartos fríos y operará en el rango de temperatura mínima.

- b. Apoyo – Central

El bloque de apoyo trabaja como principal y opera en el rango de temperatura normal, en caso de que el cuarto no necesite frío debido a que su temperatura es menor al rango normal el bloque de apoyo no tendrá razón de operar. La central de refrigeración ayuda a la operación del bloque de apoyo en caso de que este no pueda enfriar los cuartos fríos y operará en el rango de temperatura mínima.

Para la operación (b) en modo nocturno, la central de refrigeración ayudará al bloque de apoyo a enfriar los cuartos

solo si se requiere, en otro sentido la central no operará como ayuda en la noche.

D. Software para la programación

Para la programación del PLC S7-1200 y del TouchScreen KTP600 Basic Color, se emplea el SOFTWARE TIA V11.0 Basic (Totally Integrated Automation) (Fig. 9), con el complemento Software Update Disk que viene incluido en el PLC al ser adquirido.

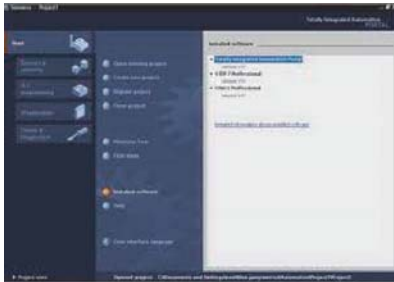


Fig. 9 Entorno TIA PORTAL V11

El software desarrollado en el 2011 por Siemens es una integración del STEP7 que es empleado para la programación del PLC Siemens y del WinCC empleado para la programación del HMI en pantallas táctiles. El software permite programar los dos elementos en un mismo proyecto brindando la facilidad de enlace de variables del proceso y comunicación entre los dos dispositivos (PLC - TouchScreen). Así también en modo Online se puede observar desde la ventana principal de programación el comportamiento de las variables en tiempo real.

Al proyecto desarrollado en TIA Portal se pueden incluir fácilmente dispositivos como módulos de señal analógicas o digitales; módulos de comunicación; todo esto en un mismo proyecto y bajo el mismo interfaz de comunicación. Las direcciones para la comunicación de todos estos elementos son ajustables de manera muy práctica.

Para la aplicación de monitoreo y control desde la PC de jefatura de producción se emplea la aplicación del Servidor Web que ofrece TIA PORTAL.

E. Bloques de programación

El programa de control está formado de manera general por los siguientes bloques de programación:

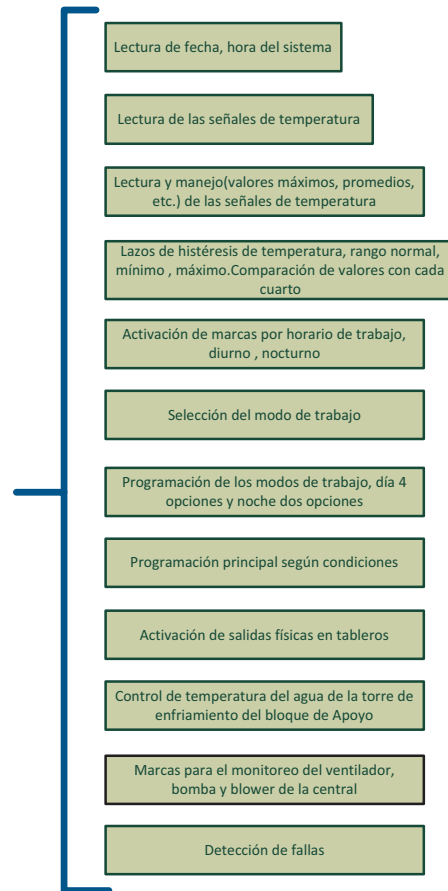


Fig. 10 Bloques de programa del PLC

IX. RESULTADOS

A continuación se presenta las curvas de comportamiento según los datos tomados en horario nocturno y diurno de las temperaturas de los cuartos fríos. Con los ajustes y configuración de algunos elementos del sistema se logró tener en los cuartos fríos la temperatura adecuada para la conservación del producto, y un correcto funcionamiento del sistema de control en condiciones de tiempo y temperatura.

En las figuras se presenta la temperatura expresada en grados Centígrados tomada en distintas muestras cada 10 minutos durante la operación del sistema.

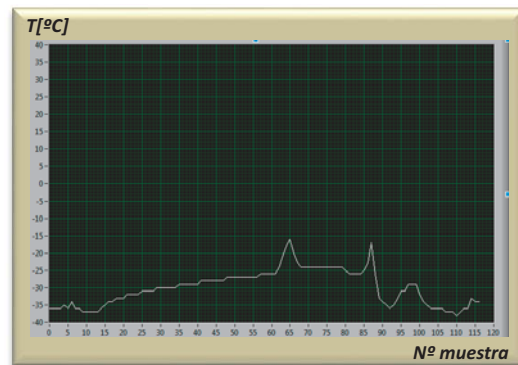


Fig. 11 Curva de temperatura del cuarto frío grande

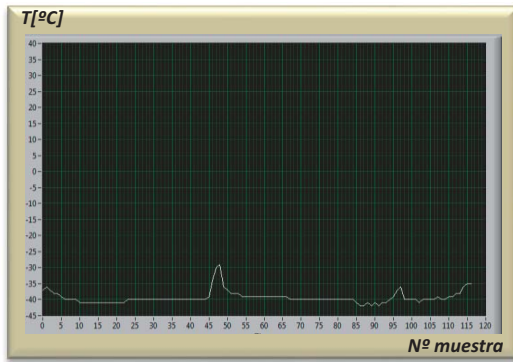


Fig. 12 Curva de temperatura del cuarto frío mediano

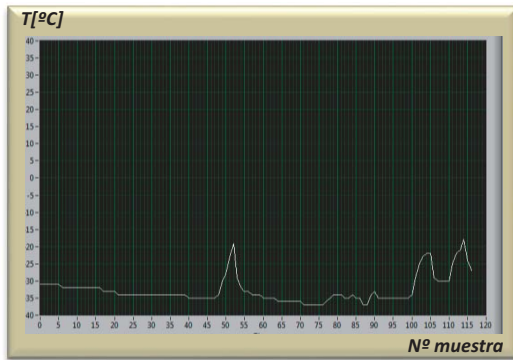


Fig. 13 Curvas de temperatura del cuarto frío pequeño

En las curvas finales se observa que los valores de temperatura en cada uno de los cuartos se encuentran dentro del rango adecuado para la conservación del producto terminado según el valor configurado.

Los picos presentes en las curvas corresponden al proceso de descongelamiento que sufren los evaporadores dentro de los cuartos fríos, proceso indispensable para eliminar la escarcha que se forma en el cuerpo del evaporador. Los picos de menor amplitud corresponden al ingreso de aire caliente que se produce en horas de despacho.

Al compararlas con las curvas iniciales, se observa que la frecuencia de descongelamiento ha disminuido claramente. Además, la amplitud de sus picos sigue siendo la misma; sin embargo, sus puntos iniciales y finales de temperatura están muy por debajo de los iniciales.

X. CONCLUSIONES

Económicamente la implementación de este sistema contribuye notablemente a la empresa por la gran cantidad de productos almacenados en las tres cámaras de refrigeración, por lo que el calentamiento, a causa de un error humano, dañaría totalmente al producto, modificando su diseño y textura, y generando grandes pérdidas a la empresa.

Mediante la implementación del sistema se redujo la necesidad de la operación de los mandos por parte del

personal de la empresa, logrando con esto evitar el error humano y garantizar su correcto funcionamiento cumpliendo condiciones de operación previamente establecidas.

El sistema automático de refrigeración con freón garantiza la buena conservación de los productos terminados, garantizando la confianza por parte de sus distribuidores y a la vez su buena aceptación en el mercado al llegar en óptimo estado al consumidor final.

El sistema contribuye a la optimización de los recursos empleados en la refrigeración de los cuartos fríos ya que una vez que se ha alcanzado la temperatura deseada simplemente los equipos se apagan, y se encienden únicamente cuando sea necesario evaluando el comportamiento de temperatura de manera independiente para cada cuarto.

El software empleado en la programación de la lógica de control brinda grandes facilidades de configuración, programación y comunicación tanto del PLC como el TouchScreen bajo una misma plataforma versátil y amigable.

El PLC S7-1200 CPU 1214C garantiza el correcto funcionamiento del sistema debido a su robustez en aplicaciones industriales, facilidad de programación, expansión y comunicación frente a necesidades requeridas, tomando en cuenta la gran ventaja de ser alimentado con voltaje AC y poseer salidas tipo relé.

La TouchScreen KTP600 es un panel robusto para aplicaciones netamente industriales, con características y funciones que facilitan el desarrollo de HMI's de manera clara y amigable para el operador.

REFERENCIAS

- [1] J. Luis, «La Ciencia es Divertida,» 22 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://lacienciaesdivertida.blogspot.com/2011/12/compression-de-gases.html>.
- [2] M. Coronado, «galeon.com hispavista,» 2011. [En línea]. Available: www.galeon.com/mcoronado/PRACTICAS_I/05PRACTICAS5.pdf
- [3] NIVELISIS, «medirtemperatura.com,» 2011. [En línea]. Available: <http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>.
- [4] M. Sabaca, Automatismos y cuadros eléctricos, McGraw Hill, 2006
- [5] M. A. Laughton y D. J. Warne, Electrical Engineer's Reference book, Newnes, 2003.
- [6] C. d. Productos, «SIEMENS,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/human-machine-interface/simatic-hmi-operator-panels/basic-panels/pages/default.aspx#KTP600%20Basic%20color>.

BIOGRAFÍAS



Darwin Guachi Moposita, nació en el cantón Pillaro, provincia de Tungurahua, el 3 de agosto de 1990. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Superior “Guayaquil” de la ciudad de Ambato, obtenido el título de Bachiller Técnico en Electrónica, 2008. Los estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la especialidad de Ingeniería en Electrónica y Control. Sus áreas de interés son: control industrial, sistemas de control y robótica.



Jonathan Rojas Correa, nació en la ciudad de Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, el 19 junio de 1990. Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Particular Simón Bolívar en la ciudad de Lago Agrio, obteniendo el título de Bachiller Técnico en Comercio y Administración con Especialidad Informática, 2008. Los estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la especialidad de Ingeniería en Electrónica y Control. Sus áreas de interés: el control de procesos industriales, automatización de procesos industriales y sistemas de control.



Nelson Sotomayor, nació en Quito-Ecuador el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006 en la Escuela Politécnica Nacional. En septiembre del 2008 como becario del Gobierno de México y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), participó en el IV Curso Internacional de Robótica Aplicada, en el Centro Nacional de Actualización Docente CNAD ubicado en México DF. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Además es miembro de la subcomisión académica permanente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control. Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial.