

RENOVACION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION EN GASEOSAS POSTOBON  
(ETAPA 2)

LUIS DAVID FLOREZ MUÑOZ

EZEQUIEL PEREZ MEJIA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2016

RENOVACION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION EN GASEOSAS POSTOBON  
(ETAPA 2)

LUIS DAVID FLOREZ MUÑOZ

EZEQUIEL PEREZ MEJIA

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electricista

ASESOR INTERNO

JORTIN VARGAS

Ingeniero Electricista

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2016

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del jurado

**Medellín, fecha**

## Agradecimientos

Primero y antes que nada, queremos dar gracias a Dios, a nuestras familias que sacrificaron parte de su tiempo para apoyarnos con este proceso.

Agradecemos a nuestros profesores por su disposición y ayuda brindada, especialmente a Jortin Vargas, que con su gran conocimiento aportaron en nuestro aprendizaje que nos servirá en nuestro desempeño profesional y personal.

Agradecemos al ingeniero Johany Villegas por su gran apoyo en la parte técnica y desarrollo profesional al grupo de trabajo.

## Contenido

Justificación .....	7
Introducción .....	8
Objetivos .....	11
Objetivo General .....	11
Objetivos específicos .....	11
Marco Teórico .....	12
Refrigeración industrial .....	12
Métodos de refrigeración .....	12
Refrigeración con amoniaco.....	13
Beneficios del amoniaco .....	14
Instrumentación industrial.....	15
Medidores de presión .....	17
Transductores de presión.....	17
Transductores de presión con salida en voltios .....	17
Transductores de presión con salida milivoltios.....	18
Transductores de presión con salida 4-20 mA .....	19
HMI (interfaz hombre-máquina) .....	20
Funciones de un Software HMI.....	20
Control en arranque de motores .....	21

Arrancadores electrónicos .....	22
Autómatas programables.....	24
Flexibilidad.....	26
Metodología .....	27
Análisis y Resultados.....	29
Funcionamiento del nuevo sistema.....	37
Conclusiones .....	40
Recomendaciones .....	41
Bibliografía .....	42
Anexos .....	45

## **Justificación**

Esta propuesta expone la solución para el dilema de las pérdidas extensas de tiempo a causa de fallas en el sistema de refrigeración. Postobon S.A. ve en la implementación del sistema de control automático para su sistema de refrigeración, la posibilidad de ser más eficiente y eficaz en la cadena productiva, como consecuencia de contar con equipos modernos y fáciles de operar.

Este proyecto se realizó para automatizar el sistema de refrigeración en la empresa gaseosas Posada Tobón (Postobon S.A) sede bello- Antioquia. Reemplazando los equipos de control y monitoreo de las señales de campo por equipos modernos de alta calidad junto a un cambio completo del cableado de control y potencia., la instalación de arrancadores electrónicos en tableros completamente nuevos con pilotos para observación del estado de los equipos logrando así una reacción inmediata ante daños que se presenten y por último el tablero principal de control donde se ubicara el PLC como mando principal de todo el proceso. Todo esto en pasos muy específicos para lograr un montaje con la finalidad deseada.

Al finalizar con el montaje se cuenta con un sistema totalmente reestructurado y funcional con todas las características del anterior pero optimizadas, solucionando las situaciones que antes se presentaban y causaban altas pérdidas de eficiencia puesto que es más estable, confiable, simple de operar y de entender para el personal técnico.

## Introducción

La refrigeración es un proceso necesario para la producción de bebidas gaseosas no alcohólicas y en la industria colombiana para este sector existen aproximadamente 77 organizaciones que se enfocan en el medio de envasado de este tipo de alimentos, de las cuales el 100% usan como refrigerante el amoníaco por sus características ambientales y económicas.

En Antioquia se encuentra el 26% de las empresas dedicadas a la producción de bebidas gaseosas no alcohólicas, entre las cuales hay plantas productoras nacionales y multinacionales. De donde se destaca una empresa local llamada Postobon, la cual tiene a nivel nacional el 60% de participación en el mercado.

El presente proyecto trata de la renovación en el sistema de refrigeración, cambiando los elementos de medida y control, encargados de monitorear todas las variables que intervienen en el proceso de compresión. Todo esto acompañado de un nuevo diseño de los algoritmos programados en el autómata, lo cual se traduce en una mejor operación en los tiempos de funcionamiento de los equipos, facilitando el diagnóstico ante un desperfecto y reduciendo los tiempos perdidos y de esta manera alcanzando la eficiencia de producción.

Actualmente la planta cuenta con una eficiencia de producción del 72% y tiene como objetivo llegar al 80%; estándar que no ha sido alcanzado satisfactoriamente. En el presente la planta cuenta con maquinaria deteriorada, obsoleta e ineficiente, causa principal de no lograr la meta. Entre los procesos que se dan en sincronía tenemos el sistema de compresores de refrigeración cuya instrumentación y equipos de control alrededor de ellos no son capaces de respaldar o dar una respuesta óptima luego de superar su vida útil desde su montaje hace un poco más de 30 años. El sistema ante daños o averías que se presenten causan tiempos de paro extensos, hasta de un turno completo de 8 horas por la complejidad del sistema.

Para el proceso de refrigeración en la industria moderna existen tratamientos donde es preciso trabajar con gases a elevadas presiones, en este caso con el amoníaco como refrigerante industrial por medio de compresores alternativos o de pistón (Lopez Sanchez, 2013).

Un tema de relevancia son todos los accesorios que funcionan para mantener bajo control y monitoreo todas las variables que intervienen en el proceso de compresión como presiones, temperaturas, refrigeración interna y carga del fluido dentro del compresor que en conjunto forman todo el sistema de refrigeración las cuales son objeto de estudio para esta reforma puesto que son una tecnología del pasado y todo el sistema eléctrico se encuentra en lógica cableada que no es más que una red de dispositivos como termostatos, selectores, presostatos, relés, interruptores, contactores entre otros; que trabajando en secuencia a través de sus tipos de contactos la forman con condiciones de trabajo propias de un proceso: muy útiles para instalaciones sencillas puesto que al aumentar su tamaño la complejidad se hace mayor y en consecuencia también lo es su mantenimiento. (Mateos Martin, 2002)

Otra situación es el tipo de arranque que al ser motores de alta potencia causan interferencias por el tipo de arranque en la red eléctrica los cuales le son penalizados en costos monetarios a la compañía.

En una primera etapa la solución dada para todos estos inconvenientes que son una realidad para la empresa; fue cambiar los tipos de arranque de los motores de estrella-delta a electrónicos específicamente arrancadores suaves, que nos permiten encender y apagar de forma indefinida y a necesidad los compresores sin generar desgaste mecánico y haciendo de la operación del sistema más segura y amigable. Sin embargo aún existían detalles sin concluir como el algoritmo de control realizado y concretado en esta nueva fase que responde satisfactoriamente ante las necesidades y demandas del sistema, el nuevo tipo de arranque para mitigar el desgaste por esfuerzos dinámicos junto a una moderna instrumentación para monitorear en tiempo real las variables que influyen en el sistema.

Un aspecto relevante y para tener en cuenta es que el número de elementos finales instalados fueron considerablemente menores a los actuales. Por mencionar algunas de ejemplo serian 7 selectores los antiguos y 0 los actuales, 6 pulsadores antiguos y solo 1 actual, 18 contactores de potencia y 6 actuales, 6 displays para visualizar corriente y 0 actualmente, 6 horómetros antiguos y 0 actualmente. Finalmente el inventario se redujo considerablemente lo cual es un aspecto en economía pues el número de piezas en desgaste es menor.

Luego de concluir todo esta reforma se vio reflejada en la confiabilidad y estabilidad de un sistema más simple y funcional con exactamente las mismas características operacionales pero optimizadas.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Automatizar el sistema de refrigeración de gaseosas posada Tobón (Postobon S.A bello).

### **Objetivos específicos**

- Emplear elementos de instrumentación actuales para control y monitoreo de las variables en los compresores.
- Diseñar planos eléctricos para control del sistema de refrigeración.
- Desarrollar un nuevo algoritmo de control para el autómata.
- Modernizar el sistema eléctrico de lógica cableada a programable (PLC) junto a pantalla táctil de operación.

## **Marco Teórico**

### **Refrigeración industrial**

Se entiende por sistemas de refrigeración industrial los sistemas destinados a disminuir el calor de un fluido por intercambio calorífico con un refrigerante para reducir su temperatura a la temperatura ambiente. (Ecodes, 1992)

### **Métodos de refrigeración**

Los sistemas de refrigeración industrial suelen estar clasificados según su concepción y el refrigerante empleado:

\* Sistemas con refrigeración por aire / sistemas con refrigeración por agua.

\* Sistemas abiertos / sistemas cerrados. En los sistemas abiertos, el refrigerante o el fluido a enfriar está en contacto directo con el medio ambiente. En los sistemas cerrados, el refrigerante o el fluido del proceso fluyen a través de tubos o serpentines y no está en contacto directo con el medio ambiente

Sistemas directos / sistemas indirectos. En un sistema directo hay un solo intercambiador de calor donde el refrigerante enfría el fluido del proceso. En un sistema indirecto existe al menos dos intercambiadores de calor y un circuito secundario de refrigeración entre el proceso y el primer refrigerante. (Ecodes, 1992)

## **Refrigeración con amoníaco**

Un sistema de refrigeración se basa en un tipo de gas refrigerante, que se ejecuta constantemente a través del sistema para reunir y dispersar el calor. Estos gases están compuestos de diferentes sustancias, la mayoría de los refrigerantes domésticos son en realidad una mezcla sintética diseñada para la eficiencia, pero la versión a base de amoníaco sólo tiene que utilizar el amoníaco. Cualquiera que sea el tipo de gas, éste pasa a través de diversos dispositivos, incluyendo un compresor, condensador, dispositivo de expansión y un evaporador. (Jacquard, 1998).

Si bien no será muy usual que te encuentres un sistema a base de amoníaco dentro de una casa (amoníaco es una sustancia muy tóxica y los refrigeradores son muy caros), éstos se utilizan en las fábricas que necesitan grandes dispositivos de refrigeración que puedan enfriar sustancias muy rápidamente.

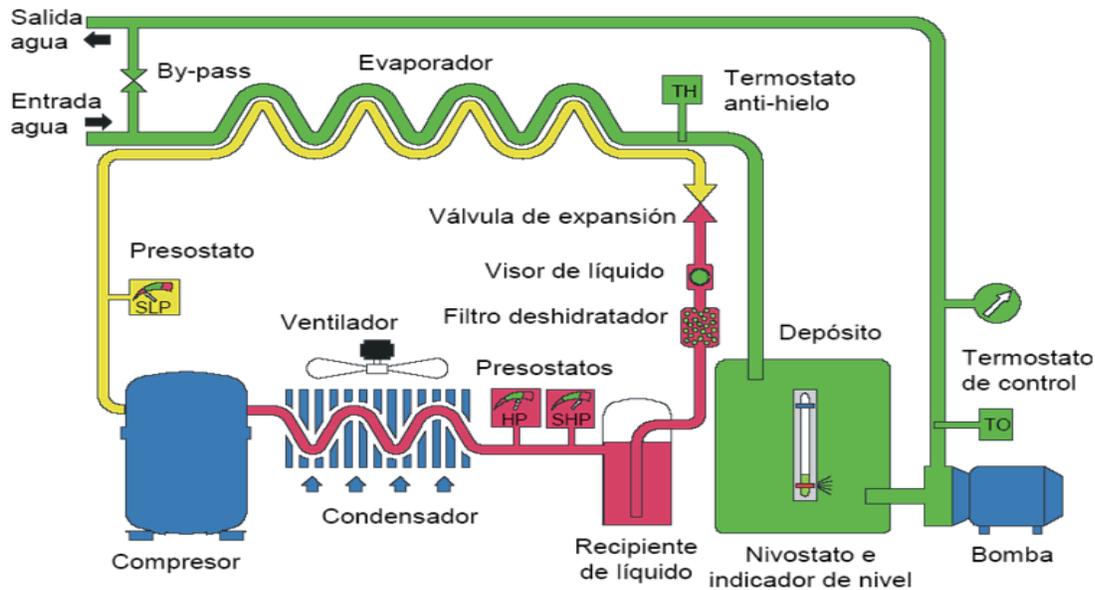
Cada parte de un refrigerador está diseñado para cambiar el estado del gas de alguna forma. Al cambiar el estado del gas, el sistema también cambia su temperatura y la cantidad de calor que lleva. El compresor, por ejemplo, hace que el gas se caliente y aumente su presión, lo que le permite mantener grandes cantidades de calor. El condensador cambia el gas a un líquido, permitiendo que se pierda parte de su calor en el proceso, mientras que el dispositivo de expansión convierte el líquido nuevamente en un gas frío, liberando la mayor parte del calor que contenía. El evaporador enfría el gas en un vapor frío que está listo para ser distribuido a través del sistema. Así es como todos los refrigeradores eliminan el calor de sus compartimentos y lo dispersan.

## Beneficios del amoniaco

Los refrigeradores a base de amoníaco no necesitan recombinar constantemente los aceites en sus sistemas para funcionar correctamente, de modo que los aceites son rápidamente drenados en lugar de disolverse de nuevo en el gas. Los sistemas de amoníaco también son capaces de hacer frente a la colección accidental de agua en algunas tuberías, algo con que los sistemas de hidrocarburos no pueden trabajar. El agua todavía tendrá que ser drenada, pero el amoníaco puede funcionar incluso con el agua presente. Por supuesto, estos factores positivos también vienen con algunos inconvenientes. El amoníaco es un producto químico muy cáustico y los sistemas de amoníaco deben estar hechos de acero o níquel. No se pueden usar tuberías de cobre ni basadas en cobre. (Rubio Marquez, 2015)

La figura a continuación muestra el ciclo del amoniaco como refrigerante en la industria junto a las partes que lo componen.

Figura 2. Refrigeración con amoniaco



Fuente: <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2009/03/refrigeracion-con-amoniaco/>

## **Instrumentación industrial**

En las últimas décadas se ha seguido la tendencia de automatizar de manera progresiva procesos productivos de todo tipo. Esto para mejorar la productividad de la empresa, las condiciones de trabajo del personal, la disponibilidad de los productos y simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera de conocimientos técnicos previos para la manipulación del proceso productivo, entre otros. Esta tendencia ha sido y sigue siendo posible gracias al constante desarrollo y eficiencia productiva de la tecnología empleada. (Campos Chavez, 2008).

El control de los primeros procesos industriales se basó en la habilidad de los operadores (control manual). En los años siguientes, la aparición de los controladores locales permitió al operador manejar varios lazos de control, pero subsistía aún el problema de recolección de datos. Los controladores locales son aún muy útiles, así como también resistentes y simples. Sin embargo, debido a que están directamente relacionados con el proceso y por lo tanto están diseminados a través de toda la planta, obviamente hace que el realizar mantenimiento y ajustes en dichos instrumentos demande mucho tiempo. (Carr, 1991)

El desarrollo de los dispositivos de control operados neumáticamente marcó un mayor avance en el control de procesos. Aquí las variables pueden ser convertidas en señales neumáticas y transmitidas a controladores remotos. Utilizando algunos mecanismos complejos, un controlador neumático realizaba simples cálculos basados en una señal de referencia (set point) y la variable del proceso era manipulada y ajustada por el elemento final de control. La ventaja estaba en que el operador podía controlar una serie de procesos desde una sala de control y realizar los cambios necesarios en forma sencilla. Sin embargo, las limitaciones radicaban en la lentitud de la respuesta del sistema de control ante cambios rápidos y frecuentes como también a su inadecuada aplicación en situaciones en que los instrumentos estén demasiado alejados (pérdidas). (Campos Chavez, 2008)

Alrededor de los 60, los dispositivos electrónicos aparecieron como alternativa de reemplazo a los controladores neumáticos. Los controladores electrónicos para un lazo cerrado, son rápidos, precisos y fáciles de integrar en pequeños lazos interactivos; sin embargo, la mejora en cuanto a operación con respecto a los neumáticos era relativamente pequeña y además la recopilación de datos, aún no muy fácil de manejar. (Kaplan, Wiktorowicz, Liptak, 1994)

Algún tiempo después de la aparición de los sistemas de control electrónicos analógicos, el desarrollo de los microprocesadores permitió el surgimiento de los transmisores y controladores digitales, así como de los controladores lógicos programables (PLC), además, de sistemas especializados como por ejemplo, las máquinas de control numérico computarizado (CNC). (Quezada, Florez, Quezada Aguilar, 2014)

Teniendo presente todos los conceptos históricos anteriores es posible tener una mejor idea del término instrumentación análoga pues es una rúbrica que es casi demasiado amplia. Para el uso práctico. Incluye cualquier tipo sensores o de transductores que se necesitan para detectar algún parámetro físico, la Circuitería de entrada necesaria para adquirir la señal, el procesamiento de la señal o Circuitos de acondicionamiento de señal necesarios para manipular la señal, como aquellos independientemente de los dispositivos de visualización o de almacenamiento de datos para presentar el resultado. El tipo de señales analógicas estandarizadas son del tipo corriente (0-20ma)-(4-20ma) y voltaje (0-10v)-(0-5v) todo esto en intensidad y tensión directa. El estímulo físico que se detecta en un sistema instrumental ya sea la temperatura, el desplazamiento, flujo, resistencia eléctrica, presión, potencial eléctrico, o cualquiera de una serie de otros parámetros físicos son llevados a un centro de procesamiento principal donde se ejecuta un ciclo de funcionamiento del sistema al que se le aplica según condiciones propias. (Carr, 1991).

## **Medidores de presión**

La presión se define como fuerza ejercida sobre una superficie por unidad de área. En ingeniería, el término presión se restringe generalmente a la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área de la superficie que lo encierra. (kwai, 2015)

Existen muchos dispositivos para medir la presión y según el tipo de accionamiento se clasifican en mecánicos y eléctricos, siendo este último el seleccionado para la renovación del sistema de refrigeración.

## **Transductores de presión**

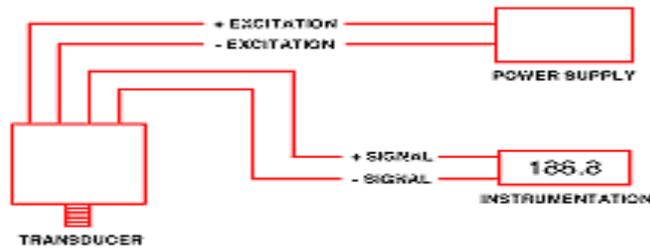
Se considera un transductor como aquel dispositivo que es capaz de convertir magnitudes físicas tales como presión, temperatura, velocidad, peso, caudal, conductividad entre otros para este caso la variable de presión en señales eléctricas que luego a través de un autómatas recibe un tratamiento especial para manipular estas señales y controlar otras. (Engineering, 2003)

Existen varias topologías de conexión según el tipo de señal eléctrica entregada por el transductor en milivoltios, voltios o miliamperios que veremos a continuación.

## **Transductores de presión con salida en voltios**

Los transductores de salida de tensión incluyen un acondicionamiento de señal integral que proporciona una salida mucho más alta que un transductor de milivoltios. La salida normalmente es de 0-5V o 0-10Vcc. Aunque depende del modelo, la salida del transductor normalmente no es una función directa de la excitación. Esto significa que los suministros de energía no regulados son a menudo suficientes siempre que caiga dentro de un rango de tensión especificado. Debido a que tienen una salida de nivel superior, estos transductores no son tan susceptibles al ruido eléctrico como los sensores milivoltios y por lo tanto pueden ser utilizados en muchos más ambientes industriales. (Salazar, 2014)

Figura 3. Esquema de conexión.

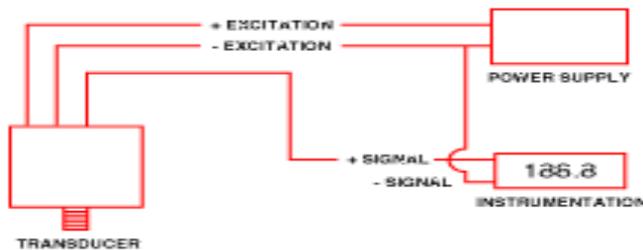


Fuente: <http://es.omega.com/prodinfo/transductores-de-presion.html>

### Transductores de presión con salida milivoltios

Los transductores con salida en milivoltios son normalmente los sensores de presión más económicos. Su falta de electrónica en el acondicionamiento de la señal integrada significa que tienden a trabajar a temperaturas más altas que los modelos amplificados. La salida del transductor milivoltios es nominalmente alrededor de 30mV a escala completa. La salida real es directamente proporcional a la entrada del transductor de presión o tensión de excitación. Si la excitación fluctúa, la salida va a cambiar también. Debido a esta dependencia en el nivel de excitación, se sugieren las fuentes de alimentación reguladas para utilización con los transductores de milivoltios. Debido a que la señal de salida es tan baja, el transductor no debe estar ubicado en un entorno con mucho ruido eléctrico. Las distancias entre el transductor, la pantalla y/o la instrumentación también deben ser relativamente cortas. (sensing.es, 2013)

Figura 4. Esquema de conexión

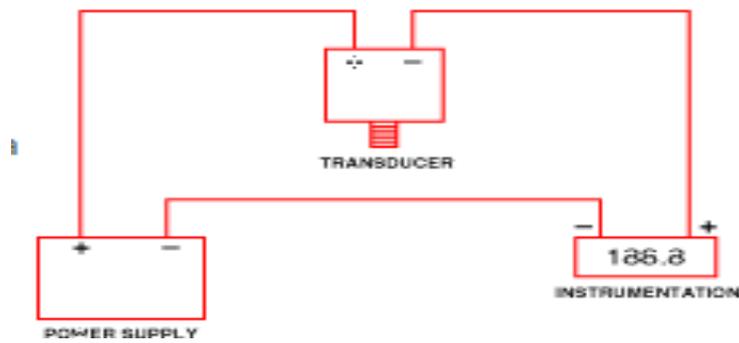


Fuente: <http://es.omega.com/prodinfo/transductores-de-presion.html>

## Transductores de presión con salida 4-20 mA

Estos tipos de transductores son conocidos también como transmisores de presión. Dado que una señal de 4-20mA está menos afectada por el ruido eléctrico y la resistencia en los cables de señal, estos transductores se utilizan mejor cuando la señal debe ser transmitida a largas distancias. No es raro utilizar estos sensores en aplicaciones donde el cable debe ser de 500 metros o más. (Campos Chavez, 2008)

Figura 5. Esquema de conexión



Fuente: <http://es.omega.com/prodinfo/transductores-de-presion.html>

## **HMI (interfaz hombre-máquina)**

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI (en adelante HMI) o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. (Siemens, 2015)

### **Funciones de un Software HMI**

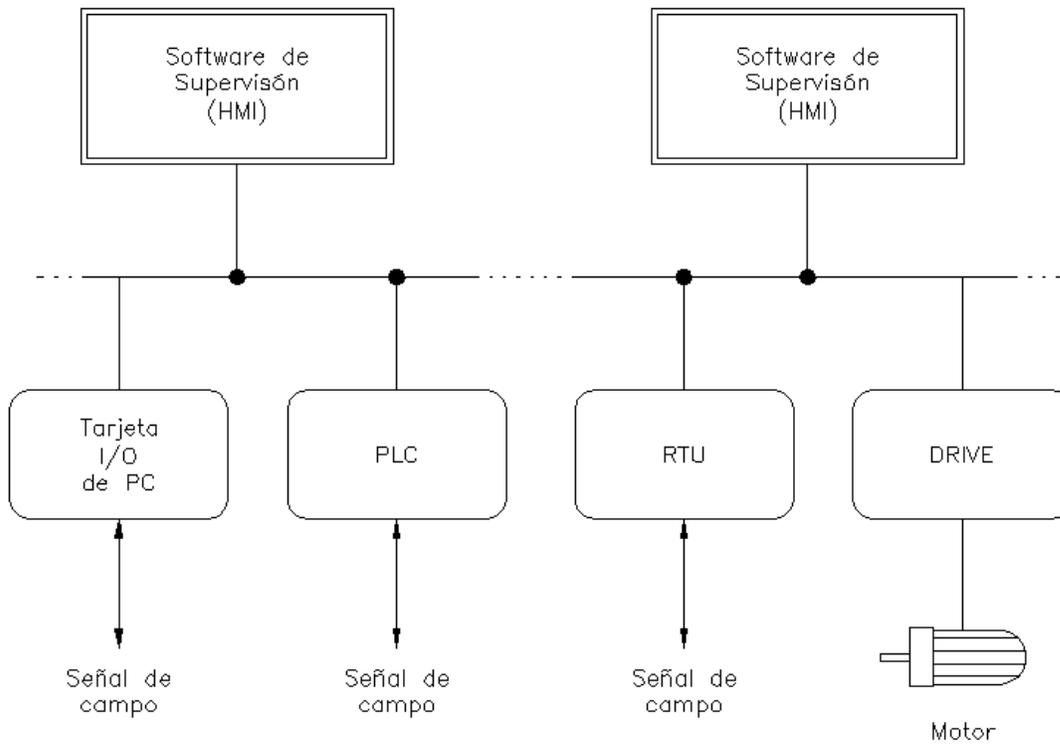
**Monitoreo.** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

**Supervisión.** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

**Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre- establecidos.

**Control.** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema. (Quilmes, 2015)

Figura 6. Esquema de funcionamiento de una HMI



Fuente: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>

### Control en arranque de motores

Desde la invención de las máquinas de inducción eléctrica hace ya dos siglos lo primero fue una competencia entre las de tipo AC y DC sobresaliendo la primera por su fácil construcción y mantenimiento sin embargo la mayoría de dilemas con la calidad de energía en esta primera generación se descuidan pues no era un tema de urgencia en el siglo pasado. Hoy día la mayoría de los motores industriales de un HP de potencia en adelante son máquinas de inducción trifásicas. (Austin Hughes, 2013).

En el campo de la ingeniería eléctrica la calidad de energía en una red es clave a la hora de analizar circunstancias tales como niveles de tensión, corriente y sobretodo el tipo de señal sinusoidal que estas variables generan puesto que estas son el centro de estudio para esta ciencia. Las alteraciones de la onda sinusoidal significan que existe ruido o un armónico (frecuencias diferentes a la base de 60 Hz) eléctrico en la red lo cual tiene un impacto negativo como multas económicas para cualquier que lo genere ya que estos causan daños permanente en equipos sensibles como lo son los electrónicos o pérdida total del sistema siendo este la peor posible. El ruido eléctrico es provocado según sea el tipo de cargas para citar el caso actual al arranque de motores de grandes potencias. Varios fenómenos que afectan el consumo de energía, el nivel de ruido y la fiabilidad de compresores están asociados con efectos transitorios que se producen durante la puesta en marcha y paro del compresor. Para analizar el comportamiento del compresor y el esfuerzo físico al estar sometido el equipo en tales transitorios es necesario saber que para vencer la inercia el motor en ese pequeño laxo de tiempo la corriente se incrementa en un nivel de hasta 10 veces la nominal o trabajo causando interferencias en la red sin embargo el control de fase realizado por arrancadores electrónicos es una salida bastante sólida y cómoda utilizada mayormente en la industria por su fiabilidad y confianza al ser equipos de alta calidad (Link, Deschamps, 2011).

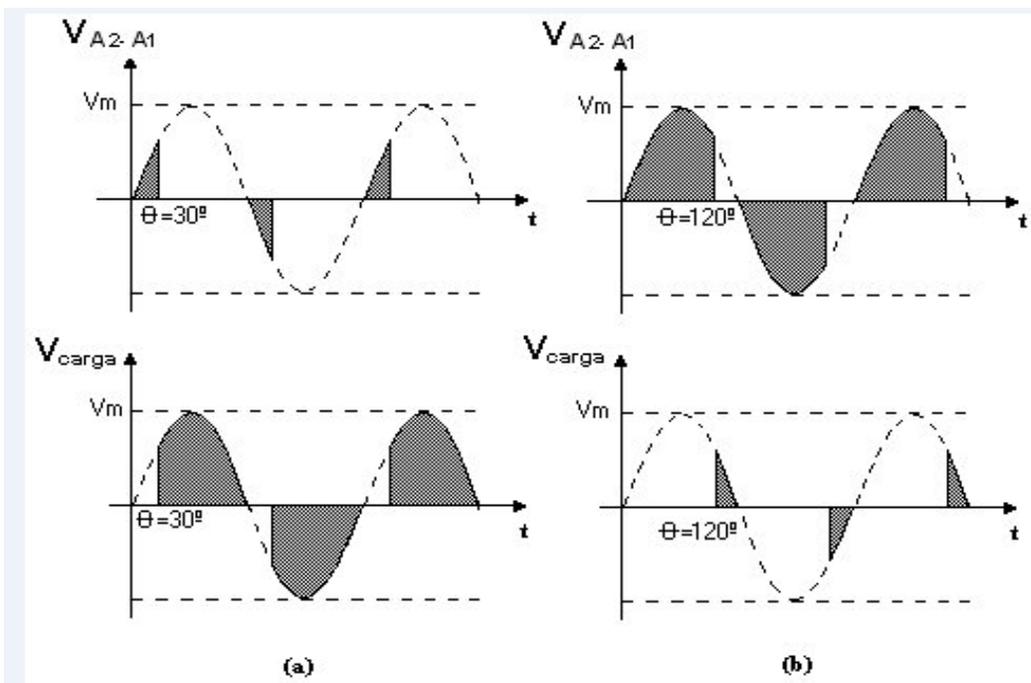
### **Arrancadores electrónicos**

Tradicionalmente se usaban sistemas de arranque convencionales entre lo que se destacan los arranques a tensión reducida como estrella-delta, con resistencias en serie al estator, autotransformador entre otros sin embargo los arranques electrónicos de control de fase también llamados arrancadores suaves son equipos utilizados en el momento de encendidos de motores de altas potencias para manipular los tiempos de aceleración y desaceleración controlando de esta manera las corrientes iniciales pues es en este preciso instante donde las maquinas sufren grandes esfuerzos mecánicos perjudiciales para su correcto funcionamiento y deterioro de su vida útil acortándola. (industrial, 2013)

La mayoría de los arrancadores suaves están hechos de interruptores de estado sólido conocidos como rectificadores controlados de silicio, o SCR's. Tienen un trabajo simple: regular el voltaje de manera que el motor recibe primero una oleada de baja tensión, que va ascendiendo hasta que el motor empieza a girar, ahorrando en el desgaste y a menudo colaborando a que los componentes electrónicos duren más tiempo. Los interruptores se encienden en sucesión rápida para dejar pasar más y más voltaje.

Los arrancadores suaves varían para las diferentes fases. Una unidad de una sola fase controla la torsión de arranque pero no afecta realmente a la cantidad de corriente, lo que hace difícil ayudar a los motores con ciclo frecuente. Los arrancadores de dos fases ofrecen más protección pero típicamente se utilizan con un interruptor térmico para ayudar a proteger el motor. Los arrancadores trifásicos controlan las tres fases del motor común y ofrecen una protección mucho más completa. (Link, Deschamps, 2011)

Figura 7. Muestra el principio de funcionamiento del control de fase



Fuente: [http://www.ehowenespanol.com/funciona-arrancador-suave-sobre\\_124527/](http://www.ehowenespanol.com/funciona-arrancador-suave-sobre_124527/)

Básicamente consiste en la manipulación a través de swiches electrónicos de alta velocidad la amplitud de la señal de voltaje en el tiempo desde cero hasta su valor nominal (armelles, 2015)

### **Autómatas programables**

El sistema basado en relevadores, tenía un tiempo de vida limitado y se necesitaba un sistema de mantenimiento muy estricto. El alambrado de muchos relevadores en un sistema muy grande era muy complicado; si había una falla, la detección del error era muy tediosa y lenta. (Véliz, 2015)

La historia de los PLC se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relevadores, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional. (Prieto, 2007)

La habilidad de comunicación entre ellos apareció aproximadamente en el año 1973. El primer sistema que lo hacía fue el Modbus de Modicon. Los PLC's podían incluso estar alejados de la maquinaria que controlaban, pero la falta de estandarización debido al constante cambio en la tecnología hizo que esta comunicación se tornara difícil. (Modiconplc, 2016)

En los años 80 se intentó estandarizar la comunicación entre PLCs con el protocolo de automatización de manufactura de la General Motors (MAP). En esos tiempos el tamaño del PLC se redujo, su programación se realizaba mediante computadoras personales (PC) en vez de terminales dedicadas sólo a ese propósito.

En los años 90 se introdujeron nuevos protocolos y se mejoraron algunos anteriores. El estándar IEC 1131-3 intentó combinar los lenguajes de programación de los PLC en un solo estándar internacional. Ahora se tienen PLC's que se programan en función de diagrama de bloques, listas de instrucciones, lenguaje C, etc. Al mismo tiempo. También se ha dado el caso en que computadoras personales (PC) han reemplazado a los PLC's, como ejemplo, la compañía original que diseñó el primer PLC (MODICON) ahora crea sistemas de control basados en PC. (Véliz, 2015)

En la industria, numerosos sistemas de manufactura y procesos continuos requieren máquinas y/o plantas productivas típicamente controladas mediante algoritmos generados en *controladores lógicos programables* (Quezada, Florez, Quezada Aguilar, 2014). La única consideración de importancia en cualquier sistema de controles es conseguir que la variable de proceso esté bajo control eficaz y fiable. Cuando las opciones de control están disponibles, varios factores pueden ser tomados en consideración en la fabricación de una implementación decisiva. Algunos de estos factores son coste, versatilidad, flexibilidad y capacidad de expansión. (erhsa, 2015)

Las ideas asociadas con el coste se analizan en primer lugar porque esto es por lo general la primera cuestión que los usuarios deben tener en cuenta para la selección de una tecnología de control. En la mayoría de los casos, dos cosas deben ser conocidas inicialmente sobre un problema; están los resultados deseados y el presupuesto disponible para solucionar el problema. (Véliz, 2015)

La capacidad de múltiples funciones de un PLC permite la lógica de control en la toma de decisiones, una versatilidad rara vez es posible con otros sistemas. La capacidad de combinar lógica discreta y lógica analógica es una poderosa herramienta para el ingeniero de controles. Control de los parámetros de puesta en marcha críticos, como la temperatura y la presión, puede ser precisamente pre-programada para cada puesta en marcha paso a paso. (control, 2014)

En la última década el uso de los controladores lógicos programables (PLC) ha sido una excelente opción para dificultades que existía con los antiguos controles eléctricos. Un controlador lógico programable (PLC) es una computadora de uso industrial pues esta unidad basada en ordenador endurecido que realiza discreto o continuo funciones de control en una variedad de la planta de procesamiento y entornos de fábrica. Originalmente concebido como el reemplazo del relé en equipos para la industria del automóvil, el PLC ahora se encuentra en prácticamente todo tipo de industria imaginable produciéndose en todo el mundo como equipo autónomo, práctico y versátil para sistemas de control (Dhir, 2004)

### **Flexibilidad**

Como el proceso va en línea y se refina, el equipo de control debe ser fácilmente reconfigurado para adaptarse a tales modificaciones. Debido a que un dispositivo común realiza múltiples funciones en una planta, un menor número de piezas de repuesto son necesarias, y el lenguaje de programación es sencillo. Además, la naturaleza digital y de auto-diagnóstico son capacidades fuertes para una justificación adicional para el PLC. Capacidad de expansión si el proceso crece, es inevitable que las mejoras aun sistema lleguen y sin ningún inconveniente pueden ser añadidas. (logicbus, 2015)

La versatilidad ofrecida por los autómatas para el proyecto fue definitiva pues poder organizar todas las variables que existen en el sistema y agruparlas para su procesamiento y uso final resulta muy relevante a la hora de optimizar el proceso de refrigeración con tecnología moderna y dejando de lado la lógica cableada que ante grandes desarrollos no es útil. Otro aspecto para tener en presente es el conocimiento adquirido por la manipulación de estas tecnologías vanguardistas que a quien este en contacto con ellas puede crecer en este ámbito de la ingeniería para los sistemas de control programados.

## **Metodología**

Esta reforma del sistema de automatización, fue realizada en la planta de Gaseosas Posada Tobón (Postobon S.A) sede Bello, en el área de equipos auxiliares al que pertenece el sistema de refrigeración.

El primer paso consistió en realizar una investigación con los proveedores de las marcas Danfoss y Siemens, acerca de los posibles dispositivos a implementar. Estas marcas son las empleadas tradicionalmente en la planta para sistemas de automatización. Ambos proveedores realizaron la respectiva visita a la planta para escuchar las necesidades del proyecto y posteriormente, nos indicaron los elementos recomendados para la ejecución del mismo teniendo en cuenta los sistemas de potencia, automatización, instrumentación y control.

Al tiempo se hace un inventario de los materiales adicionales como cables de control, cables de potencia, dispositivos de maniobra y tableros en acero inoxidable que serán utilizados como contenedores de los elementos de control y potencia, realizando un listado en una hoja de cálculo en Excel y solicitando estos elementos a la división de compras de la compañía a través de un software de gestión llamado SAP. (sap-se, 2015)

Se realizó un inventario de entradas y salidas tanto digitales como análogas que requiere el sistema para su funcionamiento, levantando información de los intercambios de señales con los equipos de procesamiento de bebidas y luego de contemplar todas las condiciones se procede con el diseño de los algoritmos de control para programar el autómata. Al mismo tiempo se diseñan los planos eléctricos para los circuitos periféricos que irán en lógica cableada, empleando el software de diseño AutoCAD Eléctrico. (latinoamerica, 2016)

Al contar con todos los elementos necesarios para llevar a cabo el proyecto y teniendo el diseño de los planos eléctricos, se inicia con el proceso de armado de tableros, el cual consistió en instalar el arrancador suave y los demás elementos de maniobra y control al interior del tablero, luego se continuo con la conexión de estos mismos siguiendo los planos eléctricos diseñados anteriormente, este proceso se repitió en 6 ocasiones para cumplir con la totalidad de los equipos. Mientras un equipo de trabajo realizaba las tareas anteriormente mencionadas, otro equipo trabajó en la instalación de las nuevas bandejas porta cables, las cajas de recolección de señales, cables de potencia y control. En el momento que se tuvo todas estas tareas terminadas se inició con la desinstalación de los antiguos tableros.

Se inició con la desinstalación del cableado de control como también de los elementos de monitoreo y control de la máquina, verificando siempre ausencia de tensión en las líneas. Se realizó el respectivo montaje de todos estos dispositivos totalmente nuevos junto al cableado desde el tablero de control principal a una caja auxiliar donde se concentró la conexión y retorno de estas señales. Paralelo a esto se estuvo trabajando con el nuevo tablero de control donde se asentara el PLC, fuentes de alimentación, relés para las salidas digitales, transformadores, borneras y protecciones para todos los circuitos.

Luego de tener ubicados los tableros en sus respectivos lugares, se inició con la interconexión entre los tableros de potencia con el tablero de control. Al concluir todo el montaje de la estructura física fue momento de iniciar pruebas de funcionamiento y respuesta de los equipos ante situaciones que se le simularon para realizar las respectivas correcciones y finalmente la puesta en marcha. Luego de tener el sistema en funcionamiento y trabajar en línea se realiza monitoreo y se hacen ajustes para dar un mejor rendimiento.

## Análisis y Resultados

El sistema de refrigeración de bebidas carbonatadas de la planta de Postobon sede Bello, fue renovado con nuevos sistemas de medición, cableado, hardware y software.

Partiendo de la visita realizada por los proveedores Danfoss y Siemens, descrita en el apéndice de la metodología en el párrafo dos, se seleccionaron los materiales y equipos adecuados para la reforma del sistema de refrigeración. De esta visita se obtuvo el siguiente listado:

<i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>Proveedor</i>	<i>Uso final</i>
<i>Materiales</i>			
Encauchetado 22x18 AWG	200	centelsa	Interconexión de tableros de control
Cable N°2 AWG, tipo soldador	72	centelsa	Conexión entre arrancador-motor
Cable vehículo 22AWG	500	centelsa	Cableado para señales de control
Tablero eléctrico 1,50x1,50 m acero inoxidable	6	tabsucol	Tableros para instalar arrancador suave.
Tablero control 2x1,50 acero inoxidable	1	tabsucol	Tablero principal de control. (PLC)
CPU PLC	1	siemens	Controlador principal
Módulos digitales PLC	10	siemens	Receptor de señales de campo
Módulos analógicos PLC	2	siemens	Receptor de señales de campo
Software PLC	1	siemens	Programación de algoritmos
Resistencia 350W/240V	6	surtindustria	Calentar aceite del compresor.
Relés (interfase)	160	colsein	interfase para que el plc no soporte la carga
PT-100	6	Danfoss	Emisor de señal

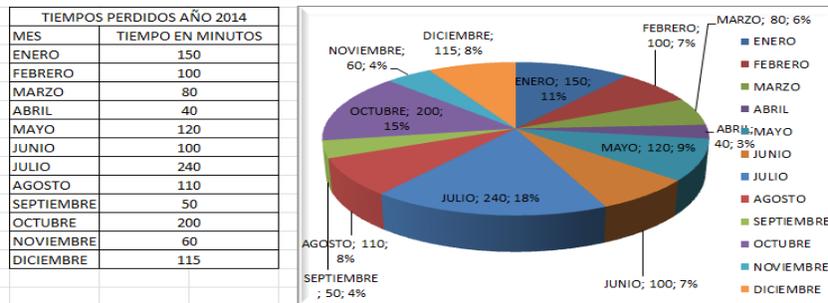
			de temperatura.
Transductores de presión	13	Danfoss	Emisor de señal de presión.
Arrancadores suaves 100HP	6	Danfoss	control accionamiento motor
Transmisor de presión de alta Danffoss	6	Danfoss	Emisor de señal de presión
Electroválvula de ½"	6	Danfoss	Control de flujo de agua para refrigeración del equipo
Bandeja portacables 20x15 cm	20	equielect	Soportar las líneas que interconectan los equipos
Terminales	100	equielect	Adecuar la terminación del cable para una buena conexión.
Borneras	250	colsein	Conectar las señales de campo con el tablero
HMI SIEMENS (pantalla táctil)	1	siemens	Interfase humano-maquina

Al tener identificados con claridad los materiales necesarios anteriormente mencionados se realizó la solicitud de pedido a la división de compras, donde fueron atendidas satisfactoriamente las necesidades del proyecto consiguiendo los elementos indicados con sus referencias exactas.

Como se citó anteriormente en el apéndice de la metodología en el párrafo cuatro, los planos eléctricos fueron terminados satisfactoriamente y estarán presentes en los anexos, dando evidencia de los resultados alcanzados.

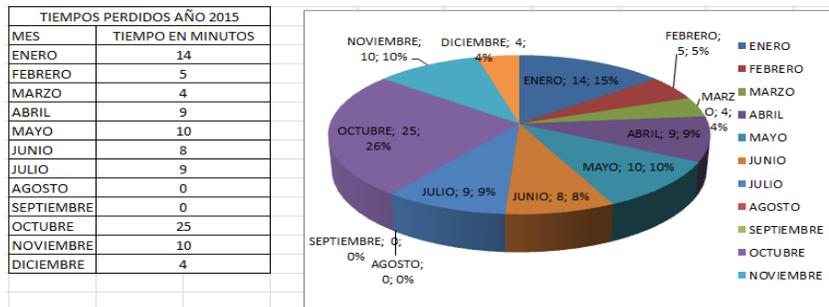
Con el diseño de los nuevos algoritmos de programación del autómata se obtuvo un sistema mucho más sencillo, que facilitaba el diagnóstico ante fallas que ocurrieran, disminuyendo los tiempos perdidos de producción y aumentando la productividad. Las gráficas a continuación muestran el comportamiento del sistema de refrigeración antes y después de la reforma reflejado en los tiempos perdidos en una disminución considerable tomados en las tablas como totales y representados en porcentajes en las gráficas.

Figura 17. Tiempos perdidos antes de la reforma al sistema



Fuente: elaboración propia

Figura 18. Tiempos perdidos luego de la reforma al sistema.



Fuente: elaboración propia

A continuación se mostrara los resultados más representativos en el proyecto realizando un paralelo de las tecnologías que se tenían y las nuevas implementadas que ayudaran a las simplicidad del sistema llevando a un entendimiento completo y detallado del sistema de refrigeración lo que se traduce en tiempos de respuesta rápidos y eficaces con una breve descripción de su funcionamiento. Con estos nuevos equipos de instrumentación y con la implementación de un nuevo software se logra una mejor medición de las variables de campo en este caso de presión de aceite y amoniaco tanto en la succión como en la descarga del compresor. De esta manera el monitoreo y control permanente lleva a una manipulación más precisa de los tiempos de encendido y apagado de las maquinas optimizando su consumo energético y vida útil.

Figura 9. Antigua instrumentación



fuelle. Elaboración propia.

La anterior imagen nos muestra los presostatos que eran encargados de dar la señal de alta presión tanto de amoniaco como de aceite. Estos tenían un inconveniente y era que su señal consistía en una digital que no toma todos los rangos posibles y su variación en el tiempo para un mejor monitoreo y control.

Fuente: elaboración propia Figura 10. Nueva instrumentación



Fuente: elaboración propia

Con los nuevos elementos de control con medición análoga se es capaz de captar cada instante en tiempo real la variación de las presiones y temperaturas del sistema para una manipulación mas precisa.

Con los nuevos sistemas de arrancadores suaves los altos picos de corrientes de llevan a cero disminuyendo los esfuerzos mecánicos que estos ocasionaban. Esto en términos mecánicos pero en el sistema eléctrico la complejidad de la lógica cableada queda atrás y ante situaciones que se llegasen a presentar sería más simple hallar los daños.

Figura 11. Antiguo sistema de arranque estrella-delta y cableado.



Fuente: elaboración propia

Con el sistema de lógica cableada que tenían estos tipos de arranque no se lograba controlar por completo los picos de corriente. A parte que se generaba un alto desgaste en los elementos de maniobra por su alto número de operaciones.

Figura 12. Nuevo sistema de arranque y cableado.



Fuente: elaboración propia

Al poder manipular el arranque de los equipos con estos dispositivos, se logra eliminar los picos de corriente generados por arranques ya que este dispositivo permite realizarlo por medio de una rampa de tiempo manipulable hasta alcanzar sus condiciones nominales.

Al tratarse de un nuevo sistema totalmente optimizado que incluye el tratamiento de señales continuas (análogas) se cambia completamente todo el tablero principal de control organizándolo de tal manera que sea entendible reconociendo el papel de cada elemento y pronta intervención ante fallas.

Figura 13. Antiguo tablero de control.



Fuente: elaboración propia.

Este era el tablero principal de control, el cual contiene un plc con sus respectivas interfaces (reles) para proteger las salidas del plc.

Figura 14. Nuevo tablero principal



Fuente: elaboración propia

Anteriormente se hizo mención de la aplicación de señales continuas o analógicas para una mejor precisión de la medición para las variables a controlar. Entonces se optó por cambiar el HMI pues al anterior era complejo en su operación y presentaba desgaste en sus botones junto a una cantidad innecesaria de ellos para este nuevo proyecto. Finalmente el nuevo HMI funciona sin inconvenientes presentando todas las variables de los equipos manipulables y de visualización.

Figura 15. Antiguo HMI



Fuente: elaboración propia.

Antigua pantalla HMI para visualización y manipulación de las variables del sistema. Se cambió porque esta poseía muchos mandos los cuales no tenían ninguna función y para esta aplicación se buscó una más simple y adaptable para el programa. De esta forma utilizar la retirada en otras máquinas que poseen esta misma HMI.

Figura 16. Nuevo HMI



Fuente: elaboración propia

Esta es la nueva pantalla, físicamente no tiene ventajas, pero en la programación que tiene podemos monitorear todas las variables que intervienen en el proceso, y su punto fuerte es la función de diagnóstico, la cual orienta al personal técnico ante alguna falla que se presente.

### **Funcionamiento del nuevo sistema**

este nuevo sistema de control fue diseñado basado en corregir los errores que tenía o presentaba el anterior sistema, como se mencionó anteriormente en el apéndice de la introducción.

Este nuevo algoritmo de control tiene como base el monitoreo constante de todas las variables que intervienen en el proceso de refrigeración, teniendo presente que para iniciar su operación el sistema requiere una confirmación desde la línea de producción indicando que necesita refrigeración para la bebida.

Dada esta señal el sistema inicia su funcionamiento, que dependiendo de la presión que halla en la succión y de los horómetros que posee cada compresor este elegirá cual será el que arranca. Cuando se inicia el proceso de compresión baja la presión en la succión y cuando esta se encuentra dentro la franja establecida (35-40 psi), el sistema le confirma a la maquina mezcladora de bebida que puede iniciar su función, permitiéndonos confiar plenamente que el producto será carbonatado correctamente.

En el control de los compresores el encendido y el apagado depende de la presión de succión y la elección del compresor a encender a los horómetros. Profundizando en el funcionamiento cada compresor tiene cuatro válvulas de admisión de amoniaco, cuando el compresor enciende lo hace con sus cuatro válvulas energizadas lo cual hace que el arranque sea en vacío, es decir sin paso de amoniaco, luego de que transcurran algunos segundos el sistema ira desenergizando las válvulas una a una hasta que en total lo estén todas y por ende el compresor a plena carga, vale recalcar que los compresores irán accionando estas válvulas según la presión de succión, en caso tal de que el compresor a plena carga no consiga bajar la presión de succión el sistema dará la orden para que arranque otro de los compresores y este tendrá el mismo comportamiento. Como también puede suceder que la presión se comporte estable y dentro de la franja de trabajo el compresor operara en vacío durante un tiempo que se puede modificar por medio de una variable HMI, si este tiempo transcurre el compresor se apagara y nuevamente según la presión aumente el sistema indicara que compresor debe arrancar y le dará la orden de start.

Otra de las grandes ventajas que posee este nuevo diseño de control es que todas las fallas que puedan ocurrir; el sistema las mostrara en la pantalla (HMI), orientando al personal técnico en el diagnóstico de los problemas que se puedan generar. Otra ventaja no menos relevante es que a la hora de ocurrir una falla en uno de los compresores el sistema no dejara de operar, simplemente deshabilita el compresor que tiene problemas, sacándolo de servicio e impidiendo que vuelva a operar hasta no reparar la falla que tenga en el momento. Al mismo tiempo el sistema alertara al personal de mantenimiento encendiendo una señalización, para este caso una baliza de color rojo.

Este es el funcionamiento básico del sistema, para profundizar un poco más se anexaran los planos eléctricos del sistema de refrigeración y también el algoritmo del autómata.

## Conclusiones

\*Se logró disminuir el desgaste en los equipos y alargar su vida útil de igual manera para los costos por mantenimiento.

\*Los esfuerzos mecánicos se anularon gracias a la aplicación de los sistemas de encendido y el nuevo algoritmo de programación.

\*Las pruebas realizadas luego de terminar el proyecto nos llevaron a realizar los ajustes necesarios para alcanzar la optimización final de los equipos.

\*Se aminoraron los tiempos perdidos por falla en el sistema de refrigeración en un 70% al año.

\*Las frecuencias de mantenimiento a los equipos se mejoró en un 100% pues antes no se contaba con este conocimiento y tecnología.

## **Recomendaciones**

\*Capacitar a todo el personal tanto de mantenimiento como operativo en el uso adecuado del sistema, las partes que lo componen y su funcionamiento.

\*Teniendo presentes los horómetros en la pantalla HMI por equipo (en total 6 compresores) realizar los respectivos mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos programados para mantener la vida o ciclo de vida útil de estos elementos; es decir Establecer un plan de mantenimiento.

\*el proyecto se realizó enfocado en la parte de compresión del sistema; sin embargo las demás etapas en la refrigeración no se intervinieron y serian fuentes para nuevas reformas o mejoras.

## Bibliografía

- armelles, p. (2015). ¿como funciona un arrancador suave? *ehow en espanol*, 1.
- Austin Hughes, B. D. (2013). Chapter six. Induction Motor- Operation From 50/60 Hz Supply. *Electric Motor and Drives*, 169- 204.
- automation, A. (2015). HMI. *Andritz*, 3-4-5.
- Binaggia Coto, A. (2007). *Manual de operaciones del sistema de refrigeracion de la empresa productos EFE S.A.* Sartenejas, Mexico: Universidad Simon Bolivar.
- Campos Chavez, p. a. (2008, diciembre). *sensores analogicos utilizados en la autmatizacion industrial.* ciudad universitaria rodrigo facio: universitario.
- Carr, J. j. (1991). Analog Instrumentation. *Designer's Handbook of Instrumentation and Control Circuits*, 1-14.
- control, i. y. (2014). programacion de los plc. *funciones de los plc*, 1-2-3.
- Dhir, A. (2004). Chapter 19. Programmable Logic Solutions Enabling Digital Consumer Technology. *The Digital Consumer Technology Handbook*, 516-637.
- Ecodes. (1992). Sistema de refrigeración industrial. *Ecodes*, 1-5.
- Engineering, O. (2003). Transductor de presión. *Omega*, 5-6.
- erhsa. (2015). soluciones flexibles y eficaces. *productos electronicos*, 1-4.

- industrial, a. (2013). arrancadores electronicos. *montajes industriales a baja tension*, 3-4.
- Jacquard, R. (1998). *instalaciones frigorificas tomo 1 fisica aplicada*. MARCOMBO.
- Kaplan, Wiktorowicz, Liptak, C. (1994). Programmable Logic Controllers (PLC). *Process Control (Third Edition)*, 721-749.
- kwai, g. (2015). INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN. *instrumentacion y control*, 1-2.
- latinoamerica, a. (2016). autodesk. *controles electricos*, 1-2.
- Link, Deschamps, R. (2011, septiembre). Numeral Modeling of startup and shutdown transients in reciprocating compressors. *International Journal of Refrigeration*, 1398-1414.
- logicbus. (2015). relevadores programables. *plc de bajo costo*, 1.
- Lopez Sanchez, j. (2013). *riunet.upv.es*. Retrieved junio 09, 2015, from riunet.upv.es: <https://riunet.upv.es/handle/10251/30424>
- Mateos Martin, F. (2002, octubre). *www.isa.uniovi.es*. España: Universidad de Oviedo.
- Modiconplc. (2016). historia plc modicon. *Modicon*, 1.
- Prieto, P. (2007). principios basicos de los PLC. *automatizacion industrial*, 3-4.
- Quezada, Florez, Quezada Aguilar, J. (2014, marzo). Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable \*. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 41-50.

Quilmes, u. n. (2015). funciones del HMI. *automatizacion y control de procesos*, 6-8.

Rubio Marquez, J. (2015). Refrigeración con Amoníaco. *Mundo HVACR*, 3-4.

Salazar, J. M. (2014). TRANSDUCTOR DE PRESIÓN. *prezi*.

sap-se. (2015). gestion empresarial. *consultoria-sap*, 1-2.

sensing.es. (2013). Transductores de presión industriales. *sensing sl*, 1.

Siemens. (2015). HMI. *SIEMENS*, 6-7.

Véliz, B. P. (2015). Controladores programables. *controladores logicos*, 1-2-3.

## **Anexos**

Cd con:

Esta documentación digital y planos eléctricos de conexión al arrancador suave como también programa del PLC.