

Desarrollo de un Sistema de monitoreo y control de nivel de aceite de los tanques de almacenamiento para la planta de Teyuna Foods sas en Barranquilla

(noviembre de 2023)

Carlos Marcelo Rueda Gómez, Juan Luis Jaimes Roza, ingenieros, Facultad de ingeniería mecatrónica, Universidad Santo Tomas Bucaramanga, Colombia, carlos.rueda@ustabuca.edu.co, juan.jaimes05@ustabuca.edu.co

Resumen - En la ciudad de Barranquilla, la empresa Teyuna Foods SAS requiere construir una planta nueva para elaboración de productos alimenticios (pasabocas). Uno de los procesos importantes es conocer y controlar la cantidad de aceite de cocina que se tiene disponible en los tanques de almacenamiento. En este proyecto se desarrolla un sistema de monitoreo y control para el nivel de aceite que se encuentra almacenado en los dos tanques principales de la planta. Para realizar este control, el sistema cuenta con un controlador lógico programable (PLC), transmisores de nivel y caudal de aceite y una interfaz gráfica donde se tiene información del nivel actual de los tanques, el caudal de salida de aceite de los tanques hacia el proceso, además de una operación controlada y segura de las bombas para evitar derrames o daños en los equipos por operar con bajo nivel de aceite en los tanques.

Palabras claves: Automatización, caudal de aceite, control de nivel, monitoreo, visualización.

Development of system for monitoring and controlling the oil level of the storage tanks for the Teyuna Foods SAS plant in Barranquilla

Abstract - In the city of Barranquilla, the company Teyuna Foods SAS needs to construct a new plant for the production of food products (snacks). One of the crucial processes is to understand and control the quantity of cooking oil available in

the storage tanks. In this project, a monitoring and control system is being developed for the oil level stored in the two main tanks of the plant. To carry out this control, the system features a Programmable Logic Controller (PLC), oil level and flow transmitters, and a graphical interface providing information on the current tank levels, the oil outflow rate from the tanks to the process, as well as a controlled and safe operation of the pumps to prevent spills or equipment damage caused by operating with a low oil level in the tanks.

Keywords: Automation, oil flow, level control, monitoring, visualization

I. INTRODUCCIÓN

La elaboración de pasabocas y snacks es un negocio que ha venido creciendo en Colombia, lo cual ha aumentado el interés por emprender en este campo de la industria y/o por mejorar o ampliar algunas de las plantas existentes dedicadas a la producción de estos productos.

Realizar este tipo de procesos de forma manual, sin ningún tipo de ayuda tecnológica que controle las variables y equipos que intervienen durante todo el desarrollo del producto, hace que se puedan presentar situaciones de riesgo que afectan la producción y la salud de los operadores. Además, se tiene poco control de las cantidades de material utilizadas durante los procesos de producción.

La automatización de procesos tiene un papel muy importante en la seguridad de los procesos, en el rendimiento de los equipos y en la calidad de los productos. Por esta razón siempre se debe tener en cuenta la implementación de sistemas automatizados en la construcción de nuevas plantas o en la remodelación de estas.

II. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

A Para este proyecto se realiza una selección de los equipos de medición, visualización y control, teniendo en cuenta parámetros como el tipo de variable a medir, los rangos

Artículo científico presentado como opción de grado para optar por el título de Especialista en Automatización Industrial.

Carlos Marcelo Rueda Gómez. Autor, Ingeniero electrónico de Universidad Industrial de Santander, correo: marceloru_go@hotmail.com

Juan Luis Jaimes Roza Autor, Ingeniero electrónico de la Universidad Santo Tomas.

Kelly Johanna Niño Sandoval directora, Ingeniera Mecatrónica Especialista en automatización industrial, Universidad Santo Tomas, Grupo de investigación en aplicaciones mecatrónicas GRAM de la universidad Santo Tomas, Bucaramanga.

de medida, tipo de señal de salida de los transmisores, disponibilidad comercial y precio.

A. Controlador lógico programable (PLC)

Para la selección del PLC se considera una marca reconocida y con disponibilidad de productos que puedan ofrecer tiempos de entrega cortos, no mayor a 15 días, teniendo en cuenta que a futuro se pueda necesitar para mantenimiento o para ampliación del sistema. Además, por experiencia con la marca en otros proyectos ejecutados con la empresa Buster Ingeniería SAS se decide utilizar un PLC de la marca Siemens de la referencia S7- 1200. En la Figura 1 se puede observar las diferentes CPU disponibles para el PLS S7-1200.

Para este proyecto se decide utilizar la CPU 1214C considerando una ampliación del sistema más adelante que nos permita conectar más módulos de entradas y salidas análogas o digitales, sin aumentar demasiado los costos del proyecto. Además, el PLC S7-1200 con la CPU 1214C es comercialmente fácil de encontrar con tiempo de entrega menor a 15 días.

Figura 1. CPU disponibles para PLC S7-1200

Características	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Variantes	DC/DC/DC, AC/DC/relé, DC/DC/relé	DC/DC/DC, AC/DC/relé, DC/DC/relé	DC/DC/DC, AC/DC/relé, DC/DC/relé	DC/DC/DC, AC/DC/relé, DC/DC/relé	DC/DC/DC
Memoria de trabajo, integrada	50 kbytes	75 kbytes	100 kbytes	125 kbytes	150 kbytes
Memoria de carga integrada	1 Mbyte	2 Mbytes	4 Mbytes	4 Mbytes	4 Mbytes
Tarjeta de memoria	SIMATIC Memory Card (opcional)				
Entradas/salidas digitales integradas	8/4	8/8	14/10	14/10	14/10
Entradas analógicas integradas	2	2	2	2	2
Salidas analógicas integradas	0	0	0	2	2
Memoria imagen del proceso	1024 bytes para entradas, 1024 bytes para salidas				
Ampliación mediante Signal Board	máx. 1	máx. 1	máx. 1	máx. 1	máx. 1
Ampliación mediante Signal Modules	no	máx. 2	máx. 8	máx. 8	máx. 8
Ampliación con módulos de comunicación	máx. 3	máx. 3	máx. 3	máx. 3	máx. 3

B. Módulo de entradas análogas SM1231

Para la conexión de los transmisores de nivel y caudal que se van a utilizar en el sistema de monitores y control se requiere agregar al PLC un módulo de entradas analógicas. El módulo que se utiliza en este proyecto es el SM1231 referencia 6ES7 231-4HD32-0XB0 el cual tiene 4 entradas analógicas con la opción de leer una señal de entrada de 0-10 V o una señal de 4-20 mA.

Figura 2. Módulo de entradas analógicas SM1231 referencia 6ES7 231-4HD32-0XB0

6ES7231-4HD32-0XB0



SIMATIC S7-1200, Analog input, SM 1231, 4 AI, +/-10 V, +/-5 V, +/-2.5 V, or 0-20 mA/4-20 mA, 12 bit+sign (13 bit ADC)	
List Price	➤ Mostrar precios
Precio de cliente	➤ Mostrar precios
Hoja de datos en PDF	for Download
Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...)	➤ Download

C. Transmisor de nivel

La medición del nivel de aceite se va a realizar en dos tanques de almacenamiento los cuales reciben el aceite de cocina que provee el proceso de producción de la planta. Los tanques tienen forma de cilindro y las medidas son: altura $h = 5$ metros y diámetro $d = 2.5$ metros.

Para realizar la medición del nivel del tanque se proponen dos opciones de sensor teniendo en cuenta la disponibilidad ofrecida por los proveedores.

La primera opción es un transmisor de nivel radar, este transmisor tiene un tiempo de entrega de 5 a 6 semanas y tiene un costo de 4'600.000 + IVA como se puede apreciar en el anexo.

Figura 3. Transmisor de nivel radar, SITRANS RL100



La segunda opción ofrecida por los proveedores es un transmisor de presión piezoresistivo. Este transmisor tiene un tiempo de envío de 2 semana y tiene un costo de 3'346.275 +IVA

Figura 4. Transmisor de presión, CERABAR PMP23

Por el tiempo de entrega y el precio del equipo se escoge el transmisor de presión para realizar la medición del nivel de aceite de los tanques.

Una vez escogido este tipo de transmisor se debe tener en cuenta la densidad del aceite y la temperatura de trabajo para escoger el rango de medida del transmisor y la temperatura de operación de este. El líquido es aceite de cocina que llega a la planta a una temperatura máxima de 70°C y que tiene una densidad aproximada de $\rho = 920 \frac{kg}{m^3}$. Por lo tanto, la presión máxima que se va a tener en el fondo del tanque es de

$$P_{max} = \rho gh \text{ donde:}$$

P_{max} =Pa presión en el fondo del tanque (Pascales)

$$\rho = 920 \frac{kg}{m^3} \text{ densidad del líquido}$$

$$g = 9.807 \frac{m}{s^2} \text{ aceleración gravitacional de la tierra}$$

$$P_{max} = 45112.2 \text{ Pa} = 0.451 \text{ bar}$$

Este transmisor de presión cumple con los parámetros para la medición de nivel del tanque.

Figura 5. Transmisor de presión utilizado para medir nivel del tanque**Figura 6.** Rango de temperatura para el transmisor de presión
Ta <85°C -10< Tp <100°C

-40 <

**Figura 7.** Rango de presión del transmisor (-1 a 1 bar)

D. Transmisor de caudal

Para realizar la medición del caudal de aceite se revisan inicialmente las bombas a utilizar en el proyecto las cuales son suministradas por el cliente. Las bombas que se van a utilizar se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Estas bombas tienen una potencia de 0.9 kW y una corriente nominal de 2.8A para su operación a 220v. El caudal que entregan estas bombas es de 20 – 80 l/min, caudal que determina la escogencia del transmisor de flujo.

Figura 8. Bombas de aceite del proyecto

La única opción disponible por los proveedores encontrada en ese momento es un transmisor de caudal con válvula de retención y pantalla en acero inoxidable que se ajusta a la tubería instalada es el SBY257 de la marca IFM.

Debido al tiempo de entrega se decide comprar inmediatamente. Para que alcance a llegar para la instalación del sistema.

Figura 9. Transmisor de caudal SBY257 IFM



Se escoge un cofre metálico con medidas 120x80x30 cm, con protección IP 54 e IK05, protección al ingreso de polvo y agua y protección mecánica respectivamente.

Figura 11. Grado de protección IP

NIVEL	Primer Dígito (Entrada de cuerpos sólidos)	Segundo Dígito (Entrada de agua)
0	Sin protección	Sin protección
1	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 50mm.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5mm³ por minuto).
2	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 12,5mm.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5mm³ por minuto). Dicha prueba se realizará 4 veces a razón de una por cada giro de 195 tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 2,5mm.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60º a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 800-100 kN/m² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 1mm.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 800-100 kN/m² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Protegido contra la entrada de polvo (la cantidad que entra no interfiere con el funcionamiento del dispositivo).	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión 30 kN/m² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
6	Totalmente protegido contra la entrada de polvo.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión 100 kN/m² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7		El equipo debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.
8		El equipo debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.

Figura 12. Grado de protección IK

Grado IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Alterra impacto (cm)	-	7.5	10	17.5	25	35	50	70	100	150	200
Peso (gr)	-	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000	100000	200000
Energía (J)	-	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50

III. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE POTENCIA Y COFRE

A. Cofre metálico para instalación del PLC

Para la elección del cofre metálico donde se va a ensamblar todos los equipos de potencia el PLC y la interfaz gráfica (HMI) se tiene en cuenta el lugar de instalación, la cantidad de elementos que se van a instalar para dejar espacio suficiente para agregar otros equipos y el tiempo de entrega rápido.

Figura 10. Cofre metálico



B. Contactores

Los contactores se utilizan como etapa de potencia para el arranque de las bombas. Estos reciben la señal de arranque del PLC enviada por el PLC y permiten el paso de corriente para cada bomba.

Para escoger estos dispositivos se tiene en cuenta la corriente nominal del motor. En este caso tenemos 2 motores de 0.9 kW cada uno y los contactores seleccionados son los 3RT2025-1AN20.

Figura 13. Contactores



C. Guarda motores

Estos dispositivos brindan una protección a sobrecargas y corto circuitos para la conexión de los motores. Se debe seleccionar un rango de corriente cercano a la corriente nominal del motor para poder ajustar al momento de entrar en operación. El valor de corriente en el cual se ajustan los guardamotores en este proyecto es de 2.8 – 4 A

Figura 14. Guarda motores



D. Cableado

El cableado interno del tablero se escoge teniendo en cuenta la corriente a la cual va a trabajar cada circuito, para la potencia de las bombas se instala un cable de cobre calibre #10 AWG el cual soporta hasta 30A. Este cableado comprende desde la protección principal del tablero hasta el barraje y desde el barraje hasta la bornera de conexión para las bombas, pasando por el contactor y guardamotor de cada bomba.

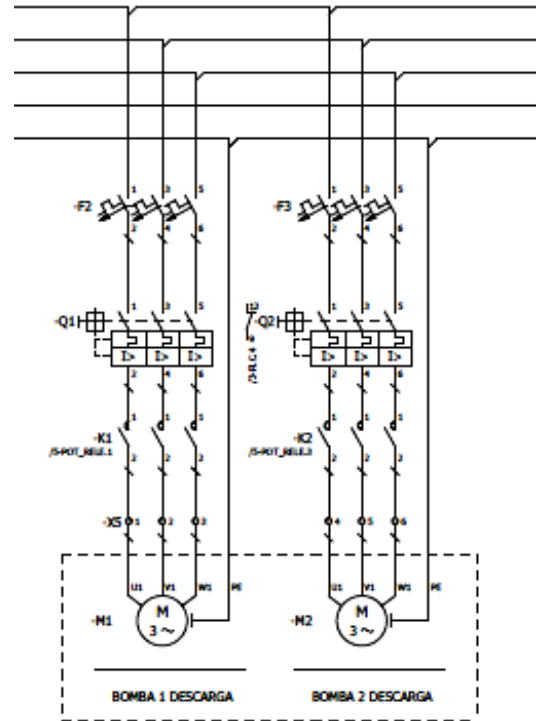
IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

A. Elaboración de los planos del tablero eléctrico

Para la elaboración de los planos se utiliza el programa EPLAN en una versión de prueba por 15 días. Se realiza el esquema multifilar de conexión para la potencia de las bombas y para la conexión de todas las señales de control a través de unos relés con bobina de 24v

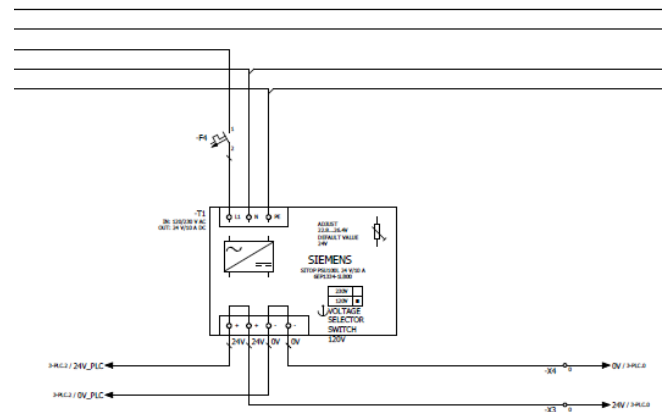
- **Diagrama de conexión de las bombas:** Para el arranque de las bombas se realiza una conexión para arranque directo utilizando una protección termomagnética, un contactor y un guardamotor para cada una como se aprecia en la Figura 15.

Figura 15. Conexión de potencia de las bombas



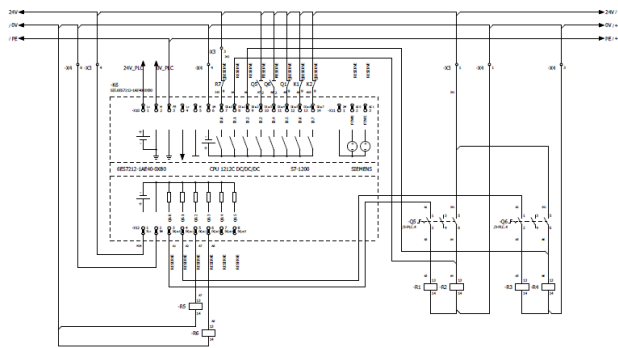
- **Diagrama de conexión de la fuente de 24v:** La fuente de alimentación para el PLC funciona con un voltaje de operación de 110v y se conecta como se muestra en la fig. El voltaje de salida de 24V se utiliza para energizar el PLC y para energizar unas borneras de conexión para tomar el voltaje para los transmisores de nivel y caudal.

Figura 16. Diagrama de conexión de la fuente de alimentación 24V DC



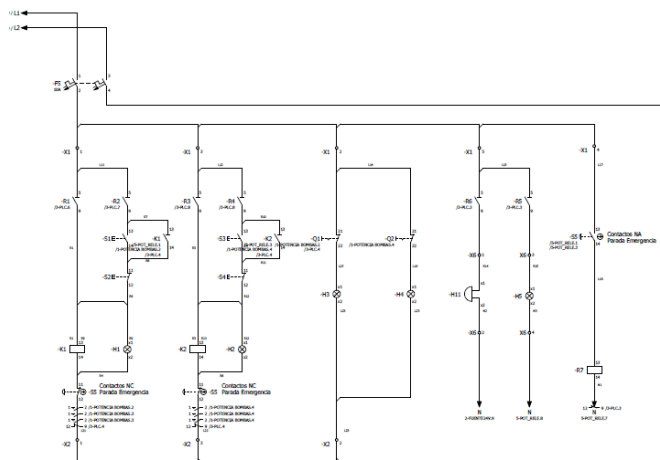
- **Diagrama de conexión del PLC:** La conexión del PLC se realiza a un voltaje de 24V y todas las señales de entrada y salida trabajan a 24V, por lo cual se utilizan relés adicionales a las salidas para conectar energizar cargas a 110v o 220v como los contactores y las indicaciones luminosas del tablero.

Figura 17 Diagrama de conexión del PLC



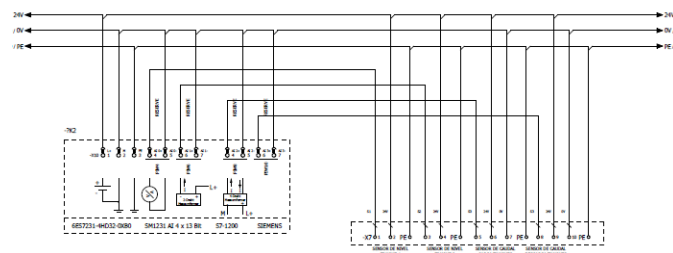
- **Diagrama de conexión de los relés de accionamiento:** El diseño utiliza 6 relés con bobina de 24v para las salidas del PLC utilizadas para la activación manual o automática de las bombas y para la activación de una alarma sonora y luminosa en los tanques. También tiene un relé con bobina a 110v para acoplar la señal de la parada de emergencia y llevarla a una de las entradas del plc. Estos relés se utilizan con el fin de proteger las entradas y salidas del plc y poder acoplar las señales de control a los voltajes que se necesitan.

Figura 18 Diagrama de conexión de los relés



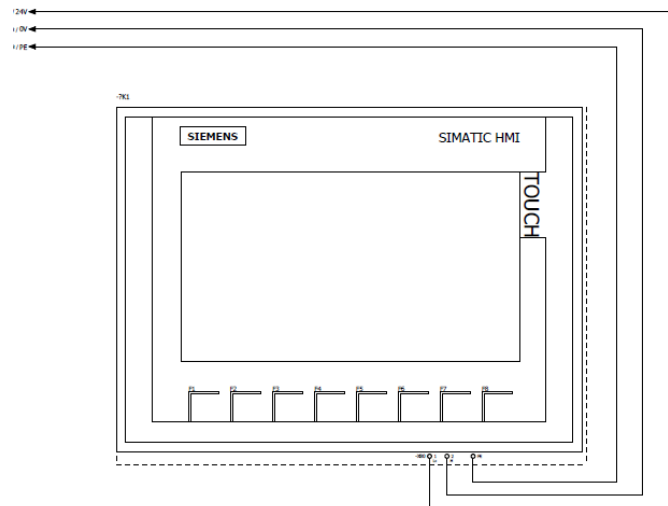
- **Diagrama de conexión del módulo de entradas analógicas:** Este módulo se conecta según lo indicado en la hoja de datos y se verifica la conexión para los transmisores de nivel y caudal.

Figura 19 Diagrama de conexión del módulo de entradas analógicas



- **Diagrama de conexión de la HMI:** La conexión de la pantalla para la interfaz gráfica se realiza teniendo en cuenta la hoja de datos.

Figura 20. Diagrama de conexión de la HMI KPP700 Siemens



B. Ensamble del tablero eléctrico

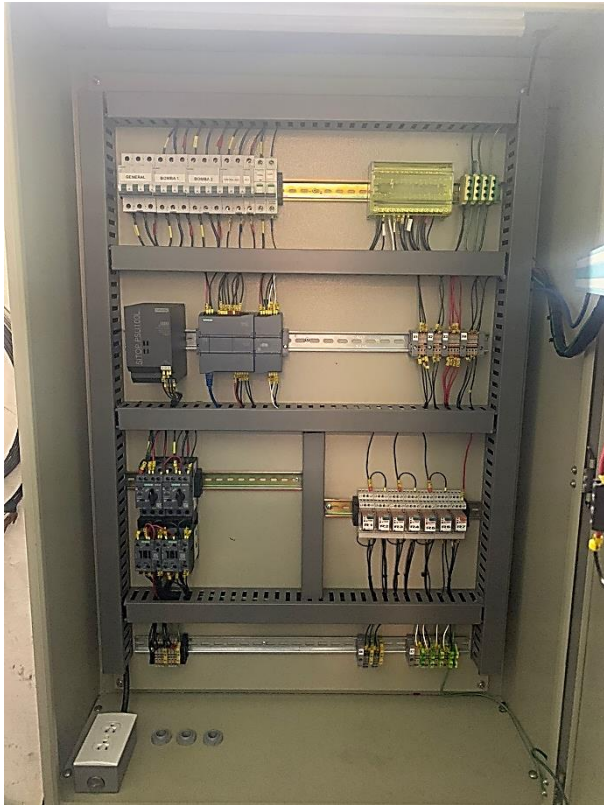
Para inicial el ensamble del tablero inicialmente se realiza la compra del cofre metálico de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se le hacen las perforaciones para ubicar la pantalla, las indicaciones luminosas, botones de encendido y apagado, los selectores de automático manual y l aparada de emergencia. Este trabajo mecánico se realiza en las instalaciones de la empresa Buster Ingeniería.

Figura 21. Tablero eléctrico



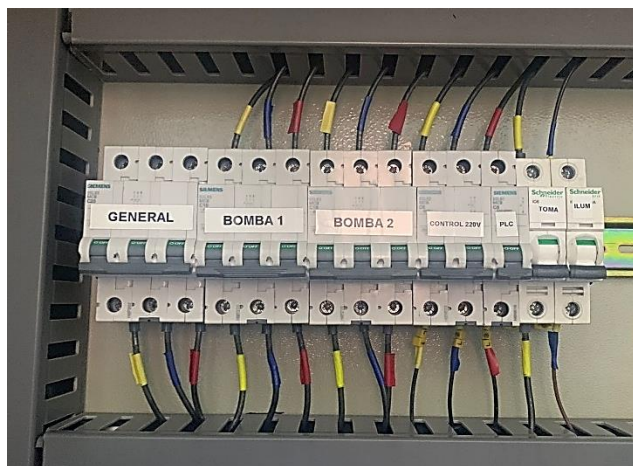
Luego se retira el doble fondo del tablero y se hace la mejor distribución de los elementos del tablero, de tal manera que se aproveche el espacio y dejando los elementos de control a un lado y los equipos de potencia en otro.

Figura 22. Distribución y ensamble de los elementos en el tablero



La acometida principal llega a una protección de 20A y de ahí se energiza el barraje principal de 100A. De ese barraje se distribuye para las otras protecciones que son las de las dos bombas, una protección para todo el control a 220v, una protección para la fuente de 24V, una protección para la toma de servicio y una protección para la iluminación del tablero.

Figura 23. Protecciones termomagnéticas



En el siguiente espacio en el tablero se ubicó el PLC y el módulo de entradas analógicas, dejando espacio para una posible adición de más módulos para una ampliación del sistema.

Figura 24. Ubicación del PLC, módulo de entradas analógicas y borneras auxiliares de 110v y 24v



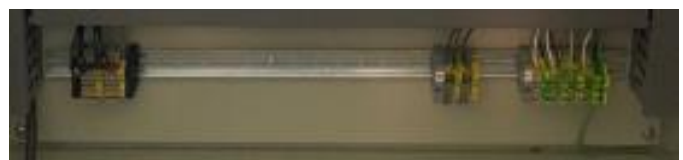
Mas abajo en el tablero se ubican los contactores, guardamotores y los relés de accionamiento. También dejando un espacio para adicionar elementos en caso de alguna ampliación futura.

Figura 25. Ubicación contactores, guardamotores y relés



Finalmente, en la parte inferior del tablero se dejan unas borneras para la conexión de las bombas, para conectar las señales luminosas y sonoras y para la conexión de los transmisores de nivel y caudal de izquierda a derecha respectivamente.

Figura 26. Borneras de conexión

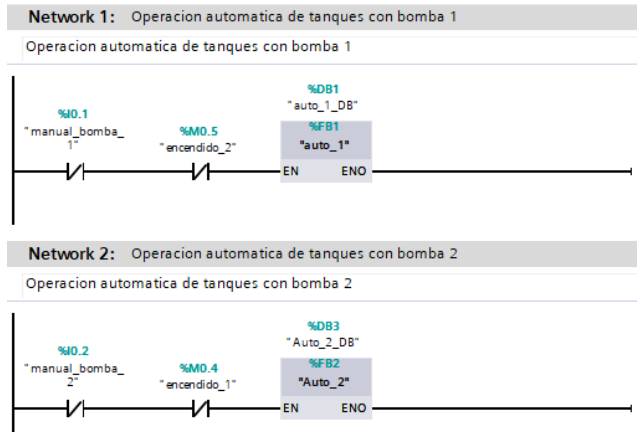


C. Programación del PLC

El objetivo del sistema de monitoreo y control es poder observar en tiempo real la cantidad de aceite contenida en los tanques de almacenamiento y poder controlar de forma automática el encendido y apagado de las bombas teniendo como referencia para protección el nivel alto (por encima del 80% de la capacidad del tanque) y el nivel bajo (por debajo del 5% del nivel del tanque) para detener las bombas y generar una alarma visual y sonora.

- **Modo de operación automática:** inicialmente se crean dos bloques de función para generar la secuencia automática de cada una de las bombas de descarga de aceite de los tanques. Estas bombas no deben funcionar al tiempo y una bomba es respaldo de la otra por esta razón se realiza un código que no permita que las dos bombas se enciendan al mismo tiempo como se ve en la Figura 27.

Figura 27. Activación del modo automático de cada bomba



Dentro de los bloques de función se agrega el código que controla el encendido y apagado de cada una de las bombas, teniendo en cuenta los niveles altos y bajos, los botones de start y stop y la parada de emergencia.

Figura 28. Automático bomba 1

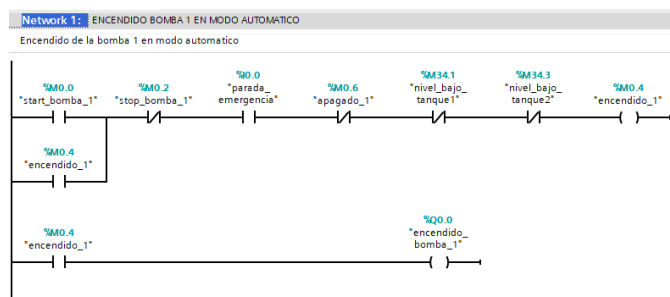
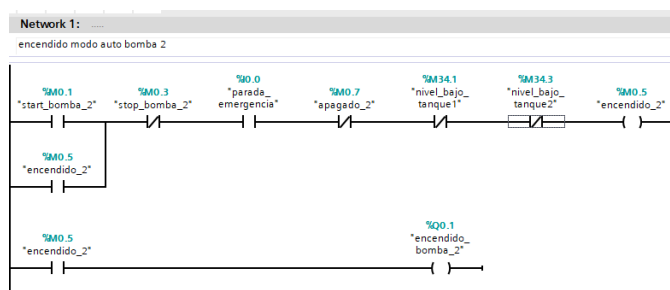


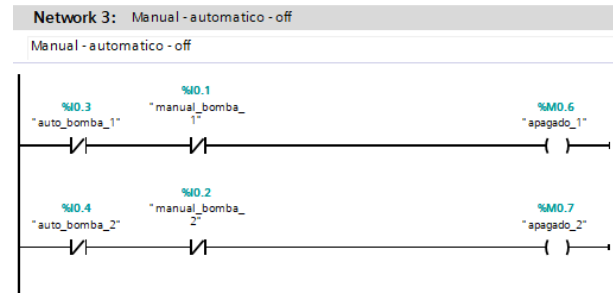
Figura 29. Automático bomba 2



- **Modo de operación apagado:** El sistema debe indicar en cual modo de operación se encuentra, es decir debe mostrar en la interfaz gráfica si el selector

se encuentra en automático, en manual o en apagado, por esta razón se agrega una línea de código para detectar el apagado el cual me deshabilita los modos de operación automáticos de ambas bombas.

Figura 30. Señal de modo de operación apagado



- **Modo de operación manual:** El modo de operación manual que se incluyó en este sistema es totalmente independiente del PLC, es decir, cuando se opera el sistema en modo manual los ordenes de encendido y apagado depende solo del operador y se deben realizar con los botones que se encuentran en la puerta del tablero. En este modo de operación se puede observar el nivel del tanque y el caudal que están entregando las bombas, pero no se tiene ningún control para proteger las bombas por nivel bajo.

- **Lectura de los transmisores de nivel y caudal:** Para la lectura de los transmisores de nivel y caudal lo primero que se debe realizar es verificar la configuración de los puertos del módulo análogo. Para los transmisores que se compraron para el proyecto, todas las entradas de este módulo deberían estar configuradas para recibir una señal de 4-20 mA, pero hasta la fecha no se ha podido instalar ni probar el tablero en su lugar de instalación final, por lo cual se decide configurar para realizar unas pruebas de funcionamiento en el laboratorio, utilizando los bancos de pruebas existentes en el aula de clase.

Los Transmisores utilizados para realizar las pruebas son los mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** por lo cual las entradas del módulo análogo deben estar configuradas para recibir una señal de 0 – 10v

Figura 31. Sonda de nivel del tanque de agua del laboratorio



Figura 32. Trasmisor de nivel por ultrasonido



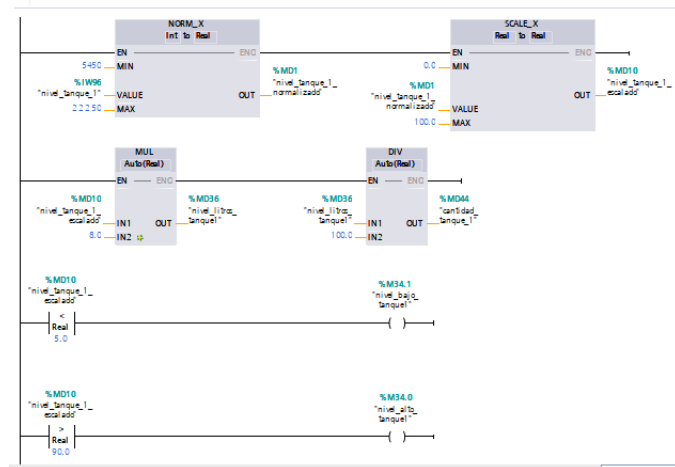
Figura 33. Transmisores de caudal



El código para la lectura de las señales de estos transmisores de nivel de 0 – 10v se muestra en la Figura 34. Con el código se realiza un normalizado y luego un escalado de la señal con lo cual podemos obtener que porcentaje de 0 a 100% tiene el tanque.

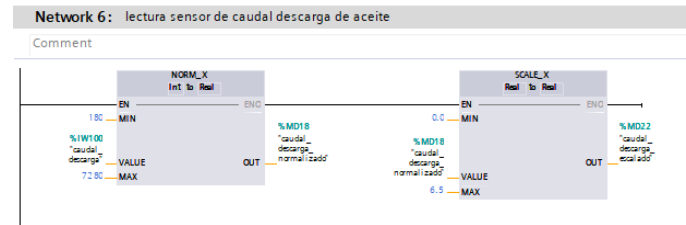
Luego realizamos una multiplicación por un factor de 8 y dividimos en 100 porque el tanque de agua que utilizamos tiene una capacidad de 8 litros y quedemos pasar ese porcentaje a litros almacenados en el tanque. Finalmente se realiza una comparación para determinar cuando hay un nivel bajo en el tanque y cuando un nivel alto.

Figura 34. Lectura de los transmisores de nivel



Para la lectura de los transmisores de caudal se realizan unas pruebas inicialmente para verificar el caudal máximo aproximado que están entregando las bombas y con esos datos escalamos el valor de la señal para obtener el caudal de agua.

Figura 35. Lectura de la señal de caudal



- **Interfaz gráfica HMI:** La interfaz gráfica de este proyecto cuenta con solo una pantalla donde se puede observar los datos del nivel del tanque, el caudal que están entregando las bombas, el modo de operación del sistema, los botones de encendido y apagado para cada bomba y señales de alerta por parada de emergencia, nivel alto o bajo del tanque y falla de las protecciones de los motores.

Figura 36. Interface grafica

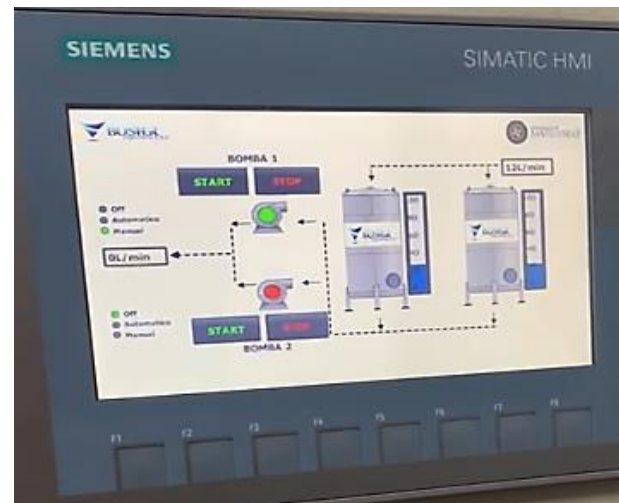


Figura 37. Falla de los guardamotores de las bombas

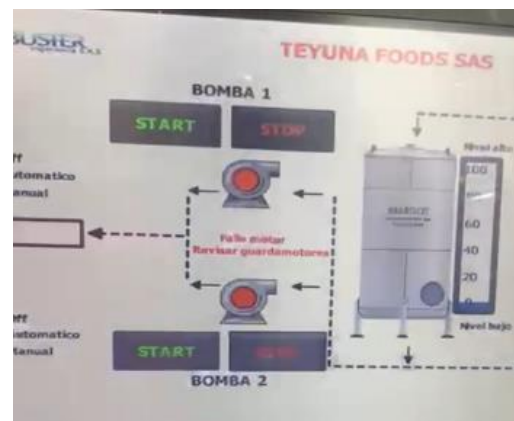


Figura 38. Parada de emergencia activada



V. PRUEBAS DEL SISTEMA

Una vez cumplidos los objetivos del proyecto y como se mencionó anteriormente que el tablero hasta la fecha no se ha podido instalar en su lugar definitivo en la planta de Teyuna Food en Barranquilla, se decide realizar las pruebas de funcionamiento del sistema utilizando uno de los bancos de prueba del laboratorio de automatización de la universidad. Estos bancos cuentan con dos tanques de almacenamiento de agua donde se tienen medidores de nivel por sonda y por ultrasonido, además, se tiene bombas y transmisores de caudal en cada una de las líneas de llegada y salida de los tanques. La instrumentación mencionada es suficiente para realizar las pruebas de funcionamiento del tablero y del sistema de monitores y control en general.

A. Conexión de los instrumentos de medición al tablero

Se revisan las hojas de datos de cada uno de los transmisores instalados en el banco de pruebas con el fin de verificar la forma de conexión de estos a las entradas analógicas. Se encontró que los bancos de pruebas están conectados de tal manera que todos los sensores y transmisores entregan una señal de 0-10v como resultado de las lecturas de nivel o de caudal. Se configuran las entradas del módulo análogo para recibir la señal de 0-10v y se conectan directamente las salidas de los transmisores del banco de pruebas a las entradas del módulo analógico del PLC, teniendo la precaución realizar la conexión con la polaridad correcta.

Figura 39. Conexión del banco de pruebas con el tablero



B. Calibración de los equipos

Una vez conectados los instrumentos de medición de caudal y nivel se proceden a realizar unas pruebas para poder calibrar los equipos y ajustar los valores en los bloques de normalizado y escalado del programa para obtener una medición acorde a las dimensiones del tanque de agua y del flujo que entregan las bombas.

Primero se mide el tanque de almacenamiento y se obtiene que la capacidad máxima de almacenamiento es de 9 litros. Para realizar las pruebas se decide trabajar con un máximo de 8 litros. Teniendo estos datos se revisan los valores leídos por el PLC cuando el tanque se encuentra vacío y cuando contiene los 8 litros para ajustar estos datos en el bloque de normalización.

Figura 40. Normalización transmisor de nivel por sonda

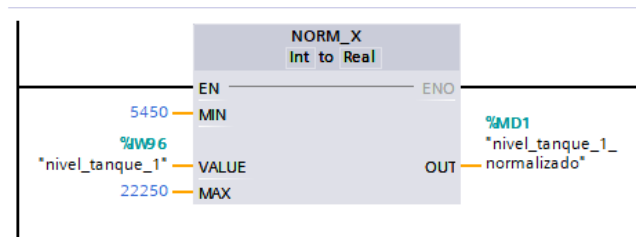
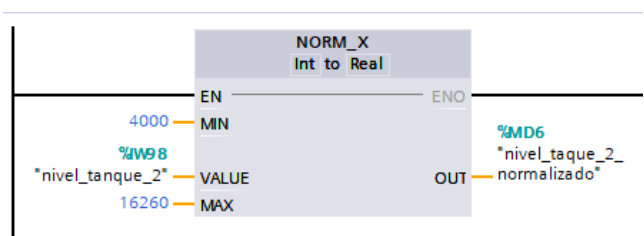


Figura 41. Normalización del transmisor de nivel por ultra sonido



Para los transmisores de caudal se realiza el mismo proceso tomando el valor leído cuando el caudal es cero y cuando el caudal es máximo y se ajustan los valores del bloque de normalización.

Figura 42. Normalización del transmisor de caudal 1

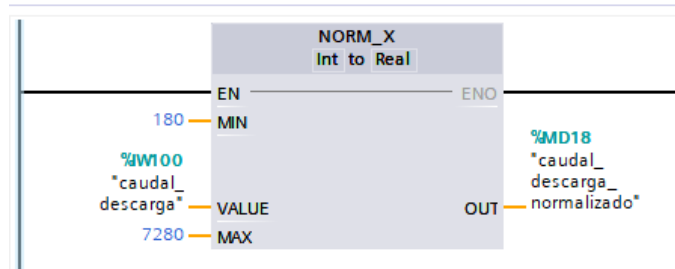
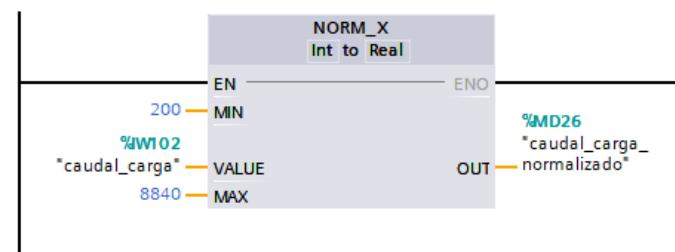


Figura 43. Normalización del transmisor de caudal 2



Por último, se realiza un ajuste en la conexión de los contactores para energizar las bombas del módulo de pruebas, las bombas del módulo trabajan con 24v y no con 220v trifásico como están conectados en el tablero. Para esto, se desconectan las 3 fases de los contactores y se alimenta por una de las fases con 24v para que se activen las bombas cuando el sistema active el contactor correspondiente.

C. Pruebas de funcionamiento del sistema de control

Finalmente, con todos los instrumentos conectados y los ajustes de calibración realizados se procede a poner en funcionamiento del sistema. Se realizan pruebas en modo Manual y automático para verificar que todo el tablero funcione correctamente. Se verifica que muestre el encendido y las fallas tanto en la pantalla como en los pilotos instalados en la puerta del tablero. Se prueba verifica que indique correctamente el nivel de agua en los tanques y el flujo que entrega cada bomba. Para esto se tiene unas medidas en el tanque de almacenamiento y se lleva un registro de tiempo para comprobar la cantidad de agua que sale o ingresa al tanque en determinado tiempo y comparar con los datos de caudal y nivel mostrados en la pantalla.

Figura 44. Prueba de bombas en modo manual



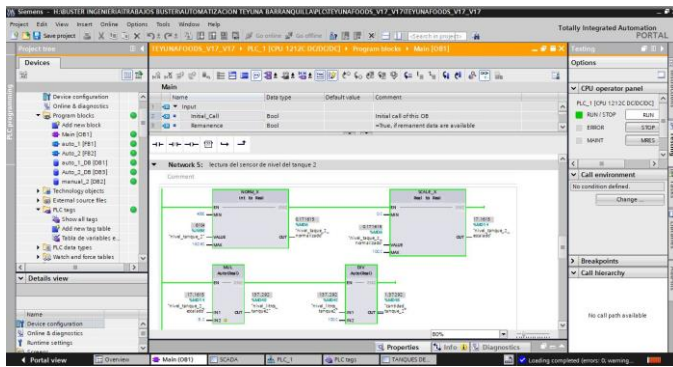
Figura 45. Bomba 1 operando con caudal de 6L/min, bomba 2 apagada



Figura 46. Bomba 2 operando en modo automático caudal de 7L/min



Figura 47. Vista del PLC en tiempo real desde el tia portal



VI. CONCLUSIONES

1. Para la selección de los equipos a utilizar en este proyecto se tuvo en cuenta principalmente quienes son los proveedores y que disponibilidad tienen de cada equipo, porque esto podía generar atrasos en la ejecución del proyectos e incumplimientos con los tiempos de entrega.
2. Si se quiere medir dos tanques que se llenan al mismo tiempo utilizando 2 equipos redundantes, se deben utilizar el mismo principio de medición en ambos sensores para evitar diferencias notorias en la medición que puedan generar incertidumbre en los datos mostrados como se pudo apreciar en la medición de nivel por ultrasonido y por sonda de nivel en las pruebas realizadas en el laboratorio.
3. Se debe escoger muy bien el rango de operación de los instrumentos para tener una mejor resolución en la medición de las variables. En el caso de tener dos sensores midiendo la misma variable, el rango en ambos equipos debe ser el mismo para evitar datos con diferentes valores.
4. El tamaño escogido para el tablero es suficiente y permitió una buena distribución de los equipos y el cableado. Además, quedo una buena reserva para una posible ampliación del sistema mas adelante.
5. Es importante utilizar canaletas con dimensiones amplias para que no dificulten el cableado y conexión de los equipos en el tablero.
6. El desarrollo de una interfaz gráfica que muestre la información de manera clara y organizada es primordial para la correcta operación del sistema. Es importante que no se muestre demasiada información en la pantalla que pueda resultar en confusiones por parte del operador. Si se tiene mucha información para mostrar, es preferible utilizar varias ventanas de visualización.
7. Es importante que el personal que va a operar el sistema de monitoreo y control conozca el proceso y entienda los datos mostrados en la interfaz gráfica, de esta manera se garantiza el correcto funcionamiento de todos los equipos.
8. La utilización de bloques de función y de organización

son necesarios al momento de realizar el código de programación, porque de esta manera se obtiene un resultado organizado, fácil de entender y que permita agregar código para una ampliación de la programación de manera más ordenada sin afectar el código actual.

9. En este proyecto se ponen en práctica los conocimientos multidisciplinarios adquiridos en el transcurso de la especialización en automatización industrial, demostrando que se generan las bases necesarias para la ejecución de proyectos de automatización y control para la industria colombiana.

REFERENCIAS

- [1] Hojas de datos de los equipos siemens como plc, guarda motores, contactores
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10045649?tree=CatalogTree>
- [2] Hoja de datos del caudalímetro SBY257
<https://www.ifm.com/es/es/product/SBY257>
- [3] Hoja de datos de transmisor de presión carebar pmp23
<https://www.co.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/transductor-presion-absoluta-relativa?t.tabId=product-overview>