



Automatización del proceso de extracción de hojuelas vegetales para la producción de Parafina

Moya Paredes, Fabián Alberto y Bolaños Paredes, Diego Francisco

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Electrónica y Automatización, Mención Redes Industriales

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización,

Mención Redes Industriales

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo Ph.D.

3 de enero del 2022

Latacunga



Tesis_Automatización Parafina (1).pdf

Scanned on: 1:8 January 7, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1060
Words with Minor Changes	207
Paraphrased Words	125
Ommited Words	0

David Rivas Firmado digitalmente por David Rivas



Website | Education | Businesses



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“Automatización del proceso de extracción de hojuelas vegetales para la producción de Parafina”** fue realizado por los señores **Bolaños Paredes, Diego Francisco** y **Moya Paredes, Fabián Alberto** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 07 de febrero de 2022



Ing. DAVID RAIMUNDO RIVAS LALALEO PhD
Director

C.C.: 1802445302



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad de autoría

Nosotros **Bolaños Paredes, Diego Francisco** con cédula de ciudadanía 100336644-8 y **Moya Paredes, Fabián Alberto** con cédula de ciudadanía 131336951-2, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Automatización del proceso de extracción de hojuelas vegetales para la producción de Parafina”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 07 de febrero de 2022

Bolaños Paredes, Diego Francisco

C.C.: 100336644-8

Moya Paredes, Fabián Alberto

C.C.: 131336951-2



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de posgrados

Autorización de publicación

Nosotros **Bolaños Paredes, Diego Francisco** con cédula de ciudadanía 100336644-8 y **Moya Paredes, Fabián Alberto** con cédula de ciudadanía 131336951-2, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Automatización del proceso de extracción de hojuelas vegetales para la producción de Parafina”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 07 de febrero de 2022



.....
Bolaños Paredes, Diego Francisco

C.C.: 100336644-8



.....
Moya Paredes, Fabián Alberto

C.C.: 131336951-2

DEDICATORIA

De manera muy especial a mis Padres Hilda y Vinicio por la enseñanza de buenos valores a través de mi vida, a mis hermanos Lucía, Alberto y Vinicio ya que ellos han sido un ejemplo de dedicación, responsabilidad y superación, finalmente a mis sobrinas Zarái y Raphaela por llenar de alegría y cariño esta etapa de mi formación profesional.

Diego

En especial a mis padres Guido y Rocío por el apoyo que me brindan para cumplir cada una de mis metas personales, profesionales y laborales a pesar de las dificultades que se presentan. A todos mis amigos y compañeros de trabajo que formaron parte durante todo el camino a seguir para cumplir este nuevo logro profesional.

Fabián

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la salud, fortaleza y dedicación para permitir culminar nuestras metas profesionales, a nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional entregado a lo largo de nuestra vida, al Ing. David Rivas por los consejos, compromiso y enseñanzas compartidas para el desarrollo del proyecto, a la empresa La Fabril S.A. y sus directivos por el patrocinio y las facilidades brindadas para implementar el proyecto en sus instalaciones.

Muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Certificado de COPYLEAKS	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Tabla de contenido	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
Glosario de acrónimos	xvi
Resumen	xvii
Abstract.....	xviii
Capítulo I Definición de proyecto	19
Antecedentes.....	19
Problema	20
Justificación	21
Objetivos	22
<i>Objetivo general</i>	22
<i>Objetivos específicos</i>	22
Producción de hojuelas de parafina	23
Controlador Lógico Programable	24

Pantalla Táctil	24
Redes industriales	25
Válvulas electroneumáticas	25
Capítulo II Diseño y selección de componentes	26
Introducción	26
Análisis financiero para la selección de las periferias del PLC.	28
PLC S7-1200	28
PLC Siemens S7-1500.....	29
Siemens TP 1500 Comfort.....	30
ET 200 SP	31
Electroválvulas CPX Festo	32
Red Profibus	33
Ethernet Industrial	34
Válvula de asiento inclinado	36
Medidor de Peso Mettler Toledo	36
Capítulo III Programación e implementación	38
Configuración de la red industrial	38
<i>Red Ethernet Industrial.....</i>	<i>38</i>
<i>Red PROFIBUS.....</i>	<i>39</i>
Parámetros de instrumentación	40
Configuración de sensores analógicos	40
Configuración de salidas analógicas	40

Configuración Objeto Tecnológico PID, temperatura y nivel.	41
Automatización de la elaboración de hojuelas	41
Algoritmo control tanques almacenamiento TP-30 y TP-31.....	42
Algoritmo de control automático en Tanque de Hojuelas	43
Algoritmo de control de Rodillos y Bandejas de Calentamiento	45
Proceso de producción de hojuelas.....	48
Algoritmo de control de Sistema de Pesaje	49
Diseño de pantallas HMI.....	50
<i>Proceso Parafina</i>	51
<i>Tanques</i>	52
<i>Rodillos</i>	54
<i>Tornillos y bandas</i>	55
<i>Gráficas</i>	56
<i>Configuración Sensores</i>	57
Algoritmo de la herramienta de medición de Tiempo, Velocidad y Calidad (TVC)	57
<i>Pantallas de la herramienta TVC</i>	58
Implementación mecánica.....	63
Implementación eléctrica	68
Sintonización de PID PLC S7-1200	73
Capítulo IV Pruebas y resultados	74
Calibración y puesta en Marcha de actuadores y sensores.....	74
Pruebas PID de Nivel	76

Pruebas PID de temperatura	76
Pruebas de recolección de datos de producción del TVC.....	77
Análisis de resultados de la Producción antes y después de la automatización.	78
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	83
Conclusiones.....	83
Recomendaciones	84
Bibliografía	86
Anexos	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Lista de IP configuradas en equipos industriales.</i>	38
Tabla 2. <i>Direcciones Profibus</i>	39
Tabla 3. <i>Comparación de producción antes y después de la automatización</i>	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Proceso de Producción de Parafina</i>	23
Figura 2. <i>PLC S7-1200</i>	29
Figura 3. <i>PLC S7-1500</i>	30
Figura 4. <i>TP 1500 Comfort</i>	31
Figura 5. <i>ET 200 SP</i>	32
Figura 6. <i>CPX Festo</i>	33
Figura 7. <i>Red Ethernet</i>	35
Figura 8. <i>Válvula de asiento inclinado</i>	36
Figura 9. <i>Indicador de Peso Mettler Toledo</i>	36
Figura 10. <i>Esquema de conexión de la red</i>	39
Figura 11. <i>Diagrama de bloques de producción de hojuelas de Parafina</i>	41
Figura 12. <i>Diagrama de flujo de los Tanques TP-30 y TP-31</i>	42
Figura 13. <i>Diagrama de flujo del bloque de Tanque de Hojuelas</i>	44
Figura 14. <i>Diagrama de flujo del bloque de Rodillos</i>	46
Figura 15. <i>Diagrama de flujo del bloque de Bandejas de Calentamiento</i>	47
Figura 16. <i>Diagrama de flujo del proceso de elaboración de hojuelas</i>	48
Figura 17. <i>Diagrama de flujo del bloque Sistema de Pesaje</i>	50
Figura 18. <i>Vista general proceso elaboración de hojuelas</i>	52
Figura 19. <i>Pantalla Tanques: parametrización y visualización de variables</i>	53
Figura 20. <i>Colores en válvulas de simple efecto</i>	53
Figura 21. <i>Pantalla Rodillos: parametrización y visualización de variables</i>	54
Figura 22. <i>Parámetros de trabajo de Rodillo</i>	55
Figura 23. <i>Pantalla Tornillos y bandas: parametrización y visualización de variables</i>	55
Figura 24. <i>Pantalla Gráficas: visualización de históricos de variables controladas</i>	56

Figura 25. <i>Pantalla Configuración Sensores: parametrización URV y LRV de sensores</i>	57
Figura 26. <i>Pantalla Sistema de Control de Planta</i>	58
Figura 27. <i>Pantalla Registro de Eventos</i>	60
Figura 28. <i>Pantalla Producción</i>	62
Figura 29. <i>Válvulas</i>	63
Figura 30. <i>Bandejas de calentamiento</i>	64
Figura 31. <i>Sistema de enfriamiento de Rodillo</i>	65
Figura 32. <i>Distribuidor de vapor</i>	65
Figura 33. <i>Distribuidor de aire comprimido para válvulas proporcionales</i>	66
Figura 34. <i>Tanque de Hojuelas</i>	67
Figura 35. <i>Válvulas de simple efecto</i>	67
Figura 36. <i>Nueva escalera, área de válvulas y distribuidores</i>	68
Figura 37. <i>Tablero de control</i>	69
Figura 38. <i>Tablero de Control, conexión de antradas y salidas.</i>	70
Figura 39. <i>Tablero de fuerza de Rodillos.</i>	70
Figura 40. <i>Tablero de fuerza Chiller 2 y Rodillo 3</i>	71
Figura 41. <i>Sistema de pesaje</i>	72
Figura 42. <i>Pantalla HMI de la Planta Parafina</i>	72
Figura 43. <i>Prueba de funcionamiento de válvulas</i>	74
Figura 44. <i>Ingreso de URV, LRV de sensores y RPM de motores</i>	75
Figura 45. <i>Configuración de parámetros de trabajo de Rodillos</i>	75
Figura 46. <i>Comportamiento de PID de Nivel</i>	76
Figura 47. <i>Pruebas del PID de temperatura</i>	77
Figura 48. <i>Pantalla Falta de Asignación de Personal</i>	77
Figura 49. <i>Pantalla Producción de Parafina en Marcha</i>	78
Figura 50. <i>Datos de Producción</i>	79

Figura 51. <i>Porcentaje del incremento en la velocidad de producción</i>	80
Figura 52. <i>Clasificación de la Utilización de la Planta de Lunes a Viernes</i>	81
Figura 53. <i>Porcentaje de Utilización de la Planta Incluyendo Fines de Semana</i>	81
Figura 54. <i>Porcentajes de tiempo, velocidad y calidad</i>	82
Figura 55. <i>Gráficos de Datos de la producción</i>	82

Glosario de acrónimos

CI ControlNet Internacional

HMI Interfaz Hombre Máquina.

IEA Asociación Industrial Ethernet

LRV (Low Range Value) es el valor de rango inferior de la variable

ODVA Asociación Abierta de vendedores de Dispositivos de Red

PLC Controlador Lógico Programable.

P&ID Diagrama de Tuberías e Instrumentación.

PV (Process Value) es la variable del proceso.

TVC Tiempo, Velocidad y Calidad

UAn Utilidad en el año

UMe Utilidad mensual

URV (Up Range Value) es el valor de rango superior de la variable

Use Utilidad semanal

UTr Utilidad en el Turno

Resumen

Las hojuelas vegetales son un producto derivado de la extracción de aceite de palma utilizado principalmente en la industria alimenticia y cosmética como materia prima para la elaboración de velas, ceras y otros productos. En la empresa patrocinadora de este proyecto existe un proceso de producción de hojuelas vegetales operado de manera manual, que depende demasiado del trabajo físico y pericia de los operadores para su ejecución que es carente de sistemas de comunicación y adquisición de datos para análisis de producción, por lo que en este proyecto se va a automatizar todo el proceso mediante la implementación de algoritmos de control automático compilados en controladores lógicos programables, que mediante lazos de control, los cuales van a realizar el uso óptimo de los distintos actuadores y elementos de instrumentación para prolongar su vida útil de manera eficaz, además se van a implementar diferentes protocolos de comunicación industrial para el monitoreo y tabulación de datos de producción en tiempo real, con la finalidad de llevar un manejo adecuado del historial de producción, así mismo se prevé mejorar las condiciones de trabajo de los operadores de la planta, mejorar la calidad del producto manteniendo una producción estandarizada y a futuro reducir costos de operación.

Palabras clave: parafina, automatización, comunicaciones industriales, controladores lógicos programables.

Abstract

The Vegetable flakes are a product derived from the extraction of the palm, used mainly for the production of candles and waxes. In the company there is a process for the production of vegetable flakes operated manually and lacking communication systems and data acquisition, so in this project the entire process will be automated through the use of automatic control algorithms compiled in controllers. Programmable logics, through which the different actuators and instrumentation elements will be controlled, in addition to implementing industrial communication protocols for monitoring and tabulating production data in real time, in order to improve working conditions of plant operators, improve the quality of the final product and reduce operating costs.

Keywords: parafina, automatization, industrials communications, programable logic control.

Capítulo I

Definición del proyecto

En el presente capítulo se tratan temas relacionados con la motivación y la justificación para el desarrollo del mencionado proyecto, los conceptos del proceso de la elaboración de las hojuelas de parafina y definiciones de automatización industrial.

Antecedentes

Las hojuelas vegetales son un derivado de la palma la cual se utiliza como base para la elaboración de ceras. En la antigüedad la cera era extraída del tallo de la planta colocado en una vasija de barro, que se sometía a calor. Posteriormente se le colocaba colorante para la utilización en fines ornamentales (Romhan,1992), en esta época no existía la electricidad siendo la cera el principal combustible para la iluminación durante las noches. En la época de la colonia con la llegada de los españoles se la utilizaba para la elaboración de velas. Durante la segunda guerra mundial se le dio diferentes usos a la cera; se aplicaba en las telas de carpas para protección contra los mosquitos, incluso para proteger ciertas partes de aviones. Con el paso de los años y la llegada de la era industrial, los métodos de extracción de la cera sufren cambios muy significativos, debido a que se realizan procesos para producir grandes volúmenes cubriendo la demanda de consumo a gran escala. La utilización de calderos, sistemas eléctricos, mecánicos y neumáticos permiten que la producción de la cera aumente exponencialmente cubriendo la demanda (Acuña, J. 1990)., al mismo tiempo la producción de hojuelas vegetales ha aumentado en un promedio de 20% anual en los últimos 3 años, pero los procesos se realizan de forma empírica teniendo retrocesos que generan altos costos de producción. Es así como en la actualidad, todavía existen varios procesos industriales que se desarrollan mediante el trabajo manual de operadores.

Con la automatización se busca sustituir la toma de decisiones de los seres humanos y las actividades manuales con la implementación de equipos y sistemas lógicos de programación. En

efecto la automatización industrial ha encontrado cada vez mayor aceptación por parte de los diferentes tipos de industria, debido a sus enormes beneficios en el proceso de fabricación, como el incremento de la productividad, la calidad, la flexibilidad y la seguridad, mientras más complejo sea el proceso más ventajas existirán con en la implementación de un sistema automatizado (Benavente, García, Pastor, Luna, & Nolasco 2000). Al mismo tiempo, la automatización reduce el error relacionado con el ser humano. Además, las máquinas no tienen ningún tipo de agotamiento, dando como resultado productos estandarizados de calidad uniforme, incluso fabricándolos en distintos momentos.

Problema

Actualmente para la elaboración de hojuelas el operador se encarga de verificar y controlar las temperaturas correctas del producto para evitar que se solidifique o tenga humedad que es la presencia de condensado; abriendo y cerrando válvulas manualmente trasladándose desde el tanque de almacenamiento de materia prima hasta el área de llenado y paletizado, esto implica distancias largas y subir y bajar escaleras hasta 4 niveles, mientras que los ayudantes de línea, por lo general es personal que trabajan en otras área de producción, llenan las hojuelas en cajas o sacos. Se debe controlar dos variables de temperatura, la de calentamiento para mantener líquida la parafina desde los tanques de almacenamiento hasta que lleguen a los rodillos, donde son controlados su temperatura de enfriamiento para solidificar la parafina y por medio de una cuchilla desprenderla del rodillo generando las hojuelas.

En la producción de hojuelas vegetales, los operadores están sometidos a largas jornadas de trabajo con tareas repetitivas, lo que genera fatiga y agotamiento que pueden provocar diferentes trastornos y malestares que se presentan en períodos a mediano y largo plazo, como son los trastornos musculo-esqueléticos que representan una de las principales patologías presentes en el ámbito laboral. Se ha observado que en todas las actividades que predominan estos tipos de demandas físicas. En general, destacan los movimientos repetitivos de manos o brazos en las ramas

de industria manufacturera y construcción, ambos 67,4%. (Palacios C. 2015)., además se hace necesario resaltar que la producción de hojuelas vegetales en la actualidad se la realiza de manera empírica mediante labores manuales que requieren una vasta experiencia por parte del operador y es necesario un alto número de trabajadores, motivo por el cual se hace difícil garantizar la calidad y estandarización del producto terminado. (Fernández M. 2011). Adicional a esto, los actuadores, válvulas y demás accionamientos instalados en la producción de hojuelas vegetales, son instrumentos que requieren de ciertos cuidados y condiciones de operación para asegurar un buen rendimiento y alargar su vida útil, ya que una mala operación por parte de algún trabajador, podría generar desgaste o un mal funcionamiento. Si bien es cierto que los datos de producción deben ser tabulados para ser analizados, si se los realiza de manera manual podrían generarse informes erróneos o poco confiables de la producción real, que ocasionarían problemas y pérdidas en la rentabilidad de la empresa. La adquisición de datos es el proceso que involucra la recopilación de información de una forma automatizada a partir de fuentes de medición análogas y digitales como sensores. En la adquisición de datos se utiliza una combinación de hardware de medición y software con apoyo de un Computador Personal (PC) para proporcionar un sistema de medición flexible y definido por el usuario. (Deza, J. P., Yuen, R. T., & Lizama, E. R. 2007).

Aunando esta situación, la empresa se ve en la necesidad de automatizar la producción de hojuelas vegetales e implementar protocolos de comunicación para adquirir información en tiempo real de la producción y datos del proceso.

Justificación

La automatización industrial permite mejorar la productividad, la calidad de los productos y las condiciones de trabajo de los obreros y operadores, además de obtener mayor eficiencia en el manejo de materiales (Acuña, J. 1990). Con la finalidad de solventar los problemas descritos, el presente proyecto se enfocará en automatizar el proceso de extracción de hojuelas vegetales derivadas de la palma para la producción de parafina e

implementar protocolos de comunicación industrial, de esta manera se pretende disminuir los costos de producción y mejorar las condiciones de trabajo de los operadores, de la misma manera la automatización ayudará a estandarizar y homologar los procesos de producción con normas para facilitar el ingreso en mercados internacionales. Una vez implementada la automatización, se tomarán muestras detalladas de la producción y se realizará un monitoreo constante del proceso en tiempo real. Finalmente se evaluará los diferentes datos para realizar un análisis de las ventajas de la automatización.

Objetivos

Objetivo general

Automatizar el proceso de producción de hojuelas vegetales, para reducir los gastos operativos del proceso.

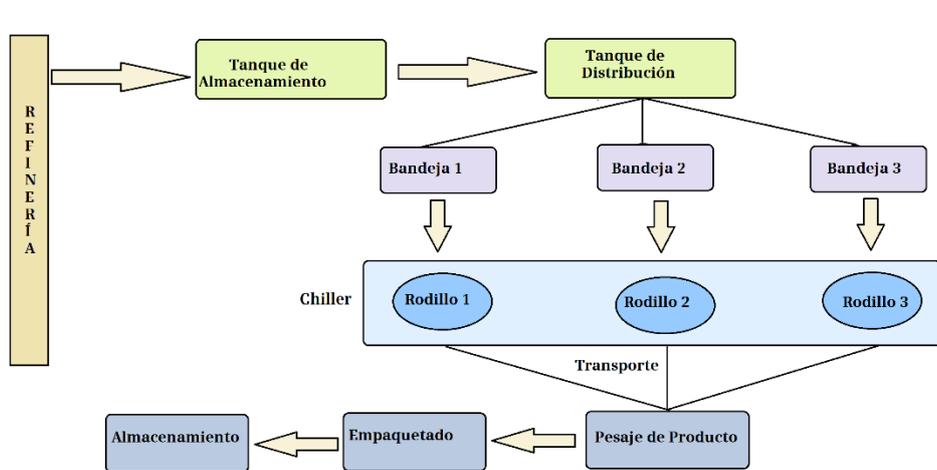
Objetivos específicos

- Identificar el flujo y los parámetros correctos del proceso de producción de hojuelas vegetales.
- Dimensionar los controladores y actuadores para la implementación del sistema de automatización para la producción de hojuelas.
- Diseñar y programar el algoritmo de control para los sistemas eléctricos y neumáticos de las líneas de producción de hojuelas.
- Diseñar una Interface Hombre Máquina (HMI) interactivo e intuitivo con el operador; para el control y parametrización de variables del sistema automático.
- Implementar un algoritmo para realizar reportes de tiempos; de productividad, paradas por fallas y producción total.

Producción de hojuelas de parafina

Figura 1.

Proceso de Producción de Parafina



El aceite de parafina debe mantenerse siempre a una temperatura entre 40°C a 60°C para evitar que se solidifique en las tuberías y tanques de almacenamiento; para esto las tuberías constan de venas de calentamiento con vapor, los tanques poseen serpentín y chaquetas con ingreso de vapor controladas por válvulas proporcionales para mantener una temperatura constante.

Como se muestra en la Figura 1, el aceite de parafina proveniente de la planta de preparación, se deposita en un tanque con calentamiento para evitar que el producto se solidifique, posteriormente por medio de gravedad se descarga a bandejas, el producto se adhiere a rodillos que giran a una velocidad constante, cada rodillo se encuentra a una temperatura promedio de 13°C, este cambio térmico hace que el producto se solidifique en la superficie del rodillo.

Para remover el producto sólido se utiliza unas cuchillas, desprendiendo el producto formando las hojuelas, se depositan en un transportador de tornillo que las desplazan hasta la parte de envasado donde el operador llena manualmente en cartones o sacos.

Controlador Lógico Programable

Es un dispositivo electrónico similar a una computadora de tamaño compacto y con un nivel de robustez que le permite funcionar en entornos industriales donde existen ruidos eléctricos, vibraciones y otros factores propios de una planta o proceso. Dependiendo del modelo y marca tiene la capacidad de almacenar y ejecutar varios programas para el control y automatización por medio de entradas y salidas, analógicas y digitales (Jorge Cartagena, 2004). Puesto que en la industria hay diversos tipos de requerimientos para diferentes aplicaciones, los controladores lógicos programables (PLC) se clasifican de acuerdo a su número de entradas, salidas (E/S) y de acuerdo a su estructura. Por tal motivo todos los PLC que cuenten un número de entradas y salidas igual o menor a 64 se los considera micro PLC, cuando tienen menos de 256 entradas y salidas se los considera mini PLC y si tienen entre 256 y 1024 E/S se los considera PLC medianos, y finalmente a los PLC de más de 1024 E/S se los considera grandes. En cuanto a su estructura los PLC pueden ser compactos o modulares, se los llama compactos cuando todas sus partes se encuentran en la misma caja, compartimiento o chasis, generalmente son más económicos y de menor tamaño, una de sus desventajas es que se les pueden conectar pocos módulos de expansión. Los PLC modulares por otro lado se les puede armar en un bastidor sobre la cual se le instala la Unidad central de procesamiento (CPU), los módulos de E/S y módulos de comunicación si fuera necesario. (Jorge Cartagena, 2004)

Pantalla Táctil

En una planta industrial es necesario que los operadores cuenten con la mayor información en tiempo real con interfaces gráficas e intuitivas en pantallas relativamente sencillas de manipular para ejecutar acciones de supervisión y control de un proceso. Empleando un HMI, un operador puede visualizar diagramas, botones, indicadores, alarmas y otros elementos presentes en las operaciones de control, por esta razón a través de los años las pantallas han ido evolucionando de ser simplemente monitores a mejorar sus prestaciones con mejores resoluciones, capacidad de almacenamiento, sensibilidad, comunicación, etc. Por consiguiente, en la actualidad se utilizan

paneles táctiles, también conocidos por su nombre en inglés como Touch Panel que brindan muchas ventajas al momento de diseñar un HMI. (Shneiderman, 1991)

Redes industriales

Las redes de comunicación Industrial son una parte indispensable en la arquitectura de sistemas de automatización que han ido evolucionando a través de los años por medio de diversos protocolos que facilitan enviar, transmitir datos, ejecutar órdenes, mejorar la calidad de los procesos, permite el uso de dispositivos inteligentes, mejora de flujo de datos, la distribución, monitoreo y flexibilidad para conectar varios dispositivos. En la actualidad existen gran cantidad de protocolos de redes industriales, cada uno creado con diferente propósito y especificaciones de acuerdo a la necesidad y magnitud del proceso como son, velocidad de transmisión, número de dispositivos, distancia máxima de transmisión, medio de transmisión. En consecuencia, los tipos de red más implementas en la industria debido a su capacidad de eficiencia en ambientes industriales hostiles y a su estandarización universal son, Profinet, Ethernet Industrial, Profibus, As-i. (Alonso, 2013)

Válvulas electroneumáticas

Son Válvulas que mediante una señal eléctrica enviada desde el PLC realizan la apertura y cierre del paso en aire comprimido para transformar fuerzas y movimientos para el accionamiento de actuadores neumáticos utilizados en la industria para una gran cantidad de aplicaciones, la conexión de las válvulas es por medio de una línea calibrada a una presión constante por medio de un regulador de presión instalado en campo. La instalación de las válvulas se la realiza por medio de mangueras que van directamente conectadas al actuador. (Vázquez, 2013)

Capítulo II

Diseño y selección de componentes

En este capítulo se procede a realizar el diseño, tanto de la parte eléctrica como de la parte mecánica para la automatización, además mediante un análisis de los requerimientos técnicos y tomando en cuenta las posibilidades económicas, estándares, políticas de trabajo de la empresa y el stock de repuestos existente en la misma, se elabora la selección y dimensionamiento de dispositivos, sensores y actuadores que se van a instalar para el control automático del proceso.

Introducción

La empresa donde se implementa el proyecto, tiene estándares de los procesos de automatización, por lo que provee para el proyecto dispositivos electrónicos, actuadores y sensores de marcas específicas, por tal motivo la selección para el diseño se lo que se realiza tomando en cuenta las licencias de software y las marcas disponibles en el stock de la empresa. Es por ello que se realiza una revisión de los parámetros, característica y requerimientos físicos de la planta con el fin de seleccionar los dispositivos idóneos para iniciar el diseño de la automatización. En primer lugar, se verifica la tensión de los tableros eléctricos ya instalado que es un voltaje trifásico de 220 VAC. Así mismo haciendo una revisión del diagrama P&ID se observa que en el proceso se deben implementar varios instrumentos de medición analógica, 13 en total. Adicional a esto se tiene el control de válvulas y variadores de frecuencia para motores que serían actuadores analógicos, 12 en total. Además, se implementarán lazos de control que son de tipo PID para tener un control fino de los procesos, se tiene en cuenta que van a ser 10 lazos de control, 9 temperatura y 1 de nivel. Tomando en cuenta todos estos requerimientos y estudiando los controladores disponibles en el stock de la empresa se estima utilizar un PLC que satisfaga las necesidades para realizar el control.

Una vez hecho un análisis de las características de la planta, se tienen los siguientes parámetros necesarios para automatizar el proceso.

- **Voltajes que se usan en el tablero:**
 - Tablero de potencia, 220 voltios trifásico.
 - Tablero de control: 24 Voltios DC.
 - 0 a 10 Vdc para control de variadores de frecuencia.
 - 4 a 20 mA para control de actuadores, válvulas proporcionales.
- **Número de entradas/salidas digitales:**
 - Entradas digitales: 24 (ET-200), 18 verificadores de posición (CPV).
 - Salidas digitales: 22 (ET-200), 9 electroválvulas (CPV)
- **Número de entradas análogas: 14, y 1 por comunicación**
 - Sensores de temperatura: 12
 - Sensor de nivel: 1
 - Sensor de Caudal: 1
 - Sensor de Peso: 1, se envía por comunicación (Profibus)
- **Número de salidas análogas: 17**
 - Salida Corriente 4-20 mA: 10
 - Salida Voltaje 0-10 Vdc: 7
- **Cantidad de válvulas proporcionales: 10 de 4-20 mA**
- **Cantidad de válvulas 3/2, y verificadores de posición:**
 - Válvulas: 10 monoestables
 - Electroválvulas 3/2: 9
- **Rangos de temperaturas del proceso: Rodillos, bandeja y tanque de almacenamiento.**
 - Tanque de almacenamiento y preparación: 70°C
 - Rodillos: 9°C a 15°C
 - Bandejas: 55°C a 60°C
- **Datos de presión de aire: Presión de aire en tanques pulmón hasta 8 bares de presión.**

Luego de establecer los rangos de operación de la planta, los requerimientos del proceso y en base a las marcas de los dispositivos para implementar la automatización provistos por la empresa como son Siemens, Festo y Bukert. Se procede a seleccionar los PLC de la línea S7 1200 y S7 1500.

Análisis financiero para la selección de las periferias del PLC.

El PLC Siemens S7 1500 el cual va a controlar y albergar todos los algoritmos y periferias de control del proceso, se realiza un estudio económico para determinar los módulos a utilizar teniendo presente los datos anteriores de las cantidades de entradas, salidas digitales y análogas, se tiene dos alternativas de módulos. El primero es utilizar el PLC S7 1500 y todos los módulos de expansión del mismo modelo S7 1500 y la segunda alternativa es utilizar sólo PLC S7 1500 y módulos descentralizados de ET 200 SP. De acuerdo a los valores del mercado local que se encuentran en el Anexo 2; en la Tabla 1 tenemos un costo de \$12,254.00 utilizando periferias del CPU S7 1500 mientras que en la Tabla 2 con un costo de \$7,410.00 usando periferias ET 200 SP, por lo tanto, se determina realizar la automatización utilizando PLC S7 1500 más el módulo de expansión ET 200 SP.

PLC S7-1200

La gama S7-1200 abarca distintos controladores lógicos programables que pueden utilizarse para numerosas tareas. Gracias a su diseño compacto, bajo costo y amplia gama de instrucciones, los PLC S7-1200 son idóneos para controlar una gran variedad de aplicaciones. Los modelos S7-1200 y el software de programación STEP 7 basado en Windows ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar las tareas de automatización.

El controlador S7-1200, ilustrado en la Figura 2, ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una

fuentes de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación.

Figura 2.

PLC S7-1200



Nota. Tomado de (Siemens, Controlador programable S7-1200, 2018)

La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232. (Siemens, Controlador programable S7-1200, 2018)

PLC Siemens S7-1500

La Figura 3 muestra El SIMATIC S7-1500, que es el perfeccionamiento de los sistemas de automatización SIMATIC S7-300 y S7-400. Mediante la integración de numerosas características de rendimiento, el sistema de automatización S7-1500 ofrece al usuario una excelente manejabilidad y el máximo rendimiento. Las nuevas características de rendimiento son:

- Mayor rendimiento del sistema
- Funcionalidad Motion Control integrada

- PROFINET IO IRT
- Pantalla integrada para el manejo y diagnóstico a pie de máquina
- Innovaciones de lenguaje STEP 7 manteniendo las funciones probadas
- Campo de aplicación

Figura 3.

PLC S7-1500



Nota. Tomado de (Siemens, SIMATIC S7-1500, 2013)

El sistema de automatización S7-1500 ofrece la flexibilidad y el rendimiento necesarios para el elevado ancho de banda de aplicaciones de control de la construcción de instalaciones y máquinas. La estructura escalable permite adaptar el controlador a las exigencias a pie de proceso. El sistema de automatización S7-1500 está homologado para el tipo de protección IP20 y para el montaje en un armario eléctrico. Configuración e instalación. El sistema de automatización S7-1500 se monta en un perfil de soporte y puede estar compuesto de un máximo de 32 módulos. Los módulos se conectan entre sí mediante conectores U. (Siemens, SIMATIC S7-1500, 2013).

Siemens TP 1500 Comfort

Es una pantalla diseñada para el manejo de interfaces en entornos de control industrial, donde se requiere el uso de HMI para que los operadores de planta puedan trabajar con pantallas y menús intuitivos y fáciles de ejecutar. (Siemens, Controlador programable S7-1200, 2018)

En la Figura 4, se muestra la pantalla TP1500 COMFORT tiene una carcasa resistente de aluminio con una protección IP6 y funciona con una alimentación de 24 VDC, tiene un tamaño de 15 pulgadas que presenta una gran ventaja para representar diagramas de procesos con una alta resolución de 1280x 800 píxeles con más de 16 millones de colores, dentro de la parte de comunicación posee puertos de conexión MPI/Profibus-DP y RS-485 para configurar protocolos Profinet y Ethernet respectivamente, la memoria para datos de usuario es de 24 MB y el software utilizado para configurar y programar la pantalla es WinCC Comfort V14 SP1 con HSP (Siemens, SIMATIC HMI, 2019).

Figura 4.

TP 1500 Comfort



Nota. Tomado de (Siemens, SIMATIC HMI, 2019)

ET 200 SP

Como muestra la Figura 5, el ET 200 SP es un Potente sistema de periferia escalable y altamente flexible que permite conectar las señales del proceso a un controlador de nivel superior con un bus de campo con funciones de seguridad integradas, que se adaptan a distintas aplicaciones con la ventaja de facilitar la configuración en un sistema y su diseño, para un uso rentable y confiable a largo plazo. Es una solución para los requerimientos en los procesos de automatización

por su fácil implementación y uso, además de su fiabilidad y seguridad en funcionamiento continuo.

(Siemens, TIA and ET 200SP – efficient interaction between all components, 2018).

Figura 5.

ET 200 SP



Nota. Tomado de (Siemens, TIA and ET 200SP – efficient interaction between all components, 2018)

Las ventajas más destacadas de este dispositivo son:

- Libre elección de la técnica de conexión PROFINET mediante adaptador de bus.
- No se necesitan herramientas para el cableado debido a la tecnología push-in.
- Accesibilidad mejorada del cableado gracias a una nueva disposición de los contactos NC de resorte y la apertura del conductor asociada.
- Disposición extremadamente clara gracias a etiquetas de colores y placas de etiquetado de referencia y tiras de etiquetado.

Funciones de diagnóstico específicas del canal. (Siemens, TIA and ET 200SP – efficient interaction between all components, 2018)

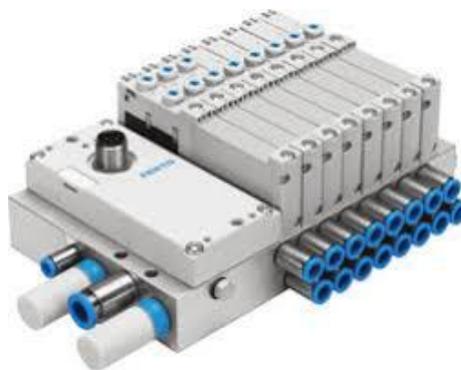
Electroválvulas CPX Festo

En la automatización de procesos se necesitan controlar actuadores neumáticos que requieren de aire a presiones determinadas para funcionar, es por ello que en este proceso se va a emplear una válvula electroneumática que mediante señales eléctricas enviadas desde el controlador activa o desactiva el paso de aire hacia los actuadores, dicho esto para la automatización del proceso de fabricación de hojuelas de parafina vegetal se implementa el punto de intersección

de un terminal CPX mostrado en la Figura 6, con la conexión del bus de campo es el nodo de bus CPX que asume las siguientes funciones: Conexión del terminal al bus de campo correspondiente. Control de transferencia de datos desde y hasta el módulo enchufable del bus de campo de su sistema de mando. Acceso de lectura y escritura (dependiendo del nodo de bus CPX) a los parámetros y datos de diagnóstico relevantes (acceso a los datos y parámetros internos). Control interno del terminal. Los nodos de bus CPX establecen la conexión con determinados buses de campo, transmiten señales de control a los módulos CPX conectados y supervisan su disponibilidad para funcionar. Los ajustes básicos para la comunicación del bus de campo se pueden ajustar generalmente mediante interruptores DIL directamente en el nodo de bus CPX. (Festo, 2009).

Figura 6.

CPX Festo



Nota. Tomado de (Festo, 2009)

Red Profibus

PROFIBUS es un estándar de comunicación para buses de campo que emplea protocolos de comunicación industrial que se implementan en la capa 2 del modelo OSI. El control de acceso al medio o MAC se basa en el principio de comunicación Maestro – Esclavo (estación activa - estación pasiva), y entre Maestros mediante Token passing, siendo el Maestro clase I un controlador (típicamente, un PLC), la clase 2 un sistema de monitoreo o configuración (PC o panel HMI). Un esclavo DP es un dispositivo periférico que se encarga de reunir la información de entrada y enviar

dicha información como salida al controlador (maestro clase 1) ante su pedido; pueden ser tanto señales simples como dispositivos inteligentes.

De este modo, podríamos pensar en una red PROFIBUS DP en la cual un PLC es uno de los maestros, mientras que otro puede ser una PC en la cual corre una aplicación SCADA. Los esclavos pueden ser instrumentos de campo, estaciones remotas, islas de válvulas, posicionadores, PLCs, switchgears, drives, transmisores HART, etc. El controlador central (maestro) puede leer cíclicamente la información de entrada de sus esclavos, y escribir también en forma cíclica la información de los campos de salida de los mismos. El tiempo de ciclo de bus en una configuración extensa de 512 bits de señales de input/output promedio 1ms en 12Mbit/seg de velocidad de transferencia. Las funciones de diagnóstico garantizan que aun a 12Mbits/segundo haya un constante monitoreo y seguridad de la información transmitida. (James Powell, 2009)

A continuación, se describen algunas de las características más sobresalientes de las redes PROFIBUS:

- La misma topología, protocolo y estructura de red.
- Adaptación a diferentes velocidades de transmisión, desde 9,6Kbits/seg hasta 12Mbits/seg,
- Enorme capacidad de procesamiento de diagnóstico.
- Adaptación a diferentes medios como fibra óptica (para largas distancias o ambientes con perturbaciones), cable de cobre en RS 485 o para entornos Ex (con riesgos de explosión) donde se requiere enviar la energía por el mismo cable de señal.
- Reconfiguración online sin caída del maestro y reemplazo con energía.
- Independiente de marca: cualquier componente de cualquier marca puede hablar con otro que adhiera al estándar PROFIBUS.

Ethernet Industrial

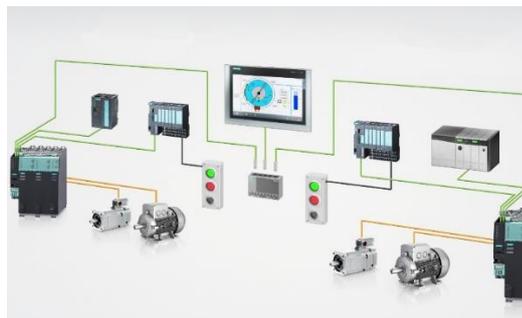
En la Figura 7 se muestra el esquema de una red ethernet industrial, que es un estándar de red de comunicación con la capacidad de gestionar grandes cantidades de datos a velocidades de

10Mbps a 100Mbps y hasta 1500 bytes por paquete, en la industria se la emplea por su relativamente fácil configuración, operación y ampliación, además es compatible con la mayoría de conmutadores switch Ethernet. Esta tecnología se utiliza con ordenadores personales, robots, dispositivos y adaptadores de entrada /salida, PLC y otros dispositivos de uso industrial. La especificación está respaldada por la Industrial Ethernet Association (IEA), ControlNet International (CI) y la Open DeviceNet Vendor Association (ODVA).

Recientemente se ha convertido en la tendencia más utilizada en el movimiento de datos en aplicaciones industriales en la planta de producción. Sin embargo, la planta de producción es un entorno muy diferente al doméstico y al de la oficina. Por su lado, las aplicaciones de fábrica también presentan muchas necesidades diferentes a las aplicaciones comerciales. Debido a su fiabilidad, rendimiento e interoperabilidad inherentes, Ethernet se ha infiltrado en la planta de producción como el protocolo de comunicación preferido para los sistemas de automatización y control. En los últimos años, Ethernet Industrial ha superado la cuota de mercado de los protocolos de bus de campo tradicionales que normalmente requieren múltiples opciones de cableado. (Industria, 2021).

Figura 7.

Red Ethernet



Nota. Tomado de (InfoPLC, 2021)

Válvula de asiento inclinado

La válvula de asiento inclinado se la emplea en procesos industriales por su fiabilidad y robustez, generalmente es instalada en procesos de calderos y de control de temperaturas, en su interior se compone de un accionamiento por émbolo neumático y de un cuerpo de válvula de 2 vías, como se indica en la Figura 8. En función de la temperatura de operación, el accionamiento está disponible en dos materiales distintos como son los polímeros PA (Poliamida) y PPS (Polisulfuro de Fetileno). La obturación del husillo autoajutable, de eficacia probada, garantiza una gran estanqueidad. El cuerpo de válvula de 2/2 vías, que facilita el flujo, está fabricado de bronce industrial o de acero inoxidable de fundición de precisión y permite obtener altos valores de flujo. Estas robustas válvulas sin mantenimiento pueden equiparse con un surtido de accesorios completo para la indicación de posición, la limitación de carrera o el accionamiento manual de emergencia. (Bukert, 2018).

Figura 8.

Válvula de asiento inclinado



Nota. Tomado de (Bukert, 2018)

Medidor de Peso Mettler Toledo

Una vez elaboradas las hojuelas de parafina vegetal, se necesita pesar el producto de manera exacta para su empaque y almacenamiento, en el stock de la empresa existe el indicador de peso Mettler Toledo que es un dispositivo electrónico utilizado en balanzas, plataformas y tolvas

industriales. En la Figura 9 se muestra el indicador de peso, que consiste en una estructura electrónica que permite transformar la señal análoga del sensor de carga a una señal digital, la cual es procesada internamente y permite mostrar en tiempo real a través de una pantalla LCD o LED el peso. (Myake, 2020).

Figura 9.

Indicador de Peso Mettler Toledo



Nota. Tomado de (Toledo, 2021)

Capítulo III

Programación e implementación

El presente capítulo describe el proceso que se sigue para el desarrollo de algoritmos de programación de todos los equipos implementados en la planta de Parafina, lazos de control PID con el fin de lograr la automatización de todo el proceso de producción, así también del desarrollo de una interfaz HMI de fácil uso e intuitiva para la operación de equipos.

Configuración de la red industrial

En el capítulo anterior se describe todos los elementos a utilizar en la automatización los cuales usan protocolos de comunicación para la interacción con el PLC. Dentro de los protocolos de comunicación implementados tenemos Ethernet y Profibus. Los dispositivos que conforman la red Ethernet son los PLC Siemens S7 1200, S7 1500 y la pantalla HMI Comfort 1500; y en la red Profibus se encuentran las periferias ET 200 SP, la isla de electroválvulas CPV-16 y el indicador de peso Mettler Toledo. En el Anexo 3 se describe las instrucciones para agregar los drivers (archivos GSD) de los equipos externos de la marca Siemens, como lo son las electroválvulas de marca Festo y el indicador de peso.

Red Ethernet Industrial

Tabla 1.

Lista de IP configuradas en equipos industriales.

Hardware	IP	Máscara de Subred	Puerta de Enlace
HMI_Parafina	172.25.27.202	255.255.255.0	172.25.27.1
PLC_Parafina	172.25.27.201	255.255.255.0	172.25.27.1
PLC_Chiller2	172.25.27.203	255.255.255.0	172.25.27.1

El procedimiento para la configuración de toda la red industrial se detalla en el Anexo 3.1, obteniendo la lista de direcciones de todos los equipos que utilizan este tipo de protocolo de comunicación mostrado en la Tabla 1.

Red PROFIBUS

Las instrucciones seguidas para la configuración de los equipos que utilizan este protocolo de comunicación se encuentran en el Anexo 3.2, al finar se obtiene la siguiente lista de direcciones mostradas en la Tabla 2.

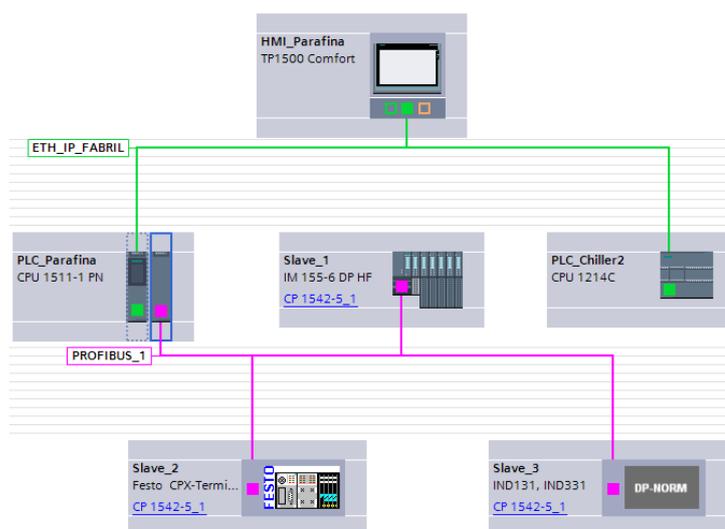
Tabla 2.

Direcciones Profibus

Hardware	Dirección
PLC Parafina	2
ET 200 SP	3
Festo CPX-Terminal	4
Indicador IND331	5

Figura 10.

Esquema de conexión de la red



Al terminar todas las configuraciones de la red en el TIA Portal la distribución final se muestra en la Figura 10. Siendo de color verde la Red Ethernet Industrial y de color lila la Red Profibus.

Parámetros de instrumentación

Todos los instrumentos de medición analógica usados en el proyecto emiten señal de 4mA a 20mA, la cual se conecta a una entrada analógica de la ET 200 SP, cada sensor tiene un rango de trabajo Lower Range Value (LRV) y Upper Range Value (URV) de la magnitud física medida. Los valores de rango de trabajo son dependientes del sensor y del tipo de trabajo a realizar por lo que se crea una base de datos (DB por sus siglas en inglés) que almacene esta información y a la vez que sea modificable por el personal de mantenimiento en caso de ser necesario. El procedimiento se muestra en el Anexo 9.

Configuración de sensores analógicos

En el desarrollo de todo el proyecto se utilizan sensores con diferentes rangos de trabajo, debido a que se va a repetir la misma programación se crea una función para ser llamada usando los parámetros de configuración de acuerdo a la ubicación en la planta de producción. El rango de trabajo de todos los sensores utilizados es de 4mA a 20mA que corresponde al LRV y URV respectivamente, la escala de la variable medida depende de lo que se mida y del sensor. En el Anexo 10 se describe el procedimiento realizado para la configuración y lectura de los sensores analógicos.

Configuración de salidas analógicas

Las salidas analógicas al igual que las entradas se debe realizar la normalización y el escalamiento, adicional se realiza el mismo procedimiento para escalar la salida analógica en el valor de corriente estándar, este procedimiento se lo efectúa para mostrar en pantalla el valor de corriente del actuador. Los actuadores conectados a las salidas analógicas son varios motores y

válvulas proporcionales, se opta por crear funciones específicas, una para motores y otra para válvulas, los actuadores de motores su control se lo realiza de 0Vdc a 10Vdc, mientras que las válvulas se lo realizan de 4mA a 20mA, las diferencias de programación se las describe en el Anexo 11.1 y Anexo 11.2.

Configuración Objeto Tecnológico PID, temperatura y nivel.

En el proceso de producción de hojuelas de Parafina los rodillos, bandejas de calentamiento y los tanques de almacenamiento deben mantener una temperatura constante para que el producto cumpla con los estándares de calidad, por lo que se usan lazos de control PID manteniendo las variables del proceso en las condiciones de trabajo óptimo. El controlador S7 1500 incorpora módulos PID de diferentes tipos de variables físicas, en el Anexo 12 se describe el procedimiento para configurar los lazos de temperatura.

Para controlar la variable nivel del tanque y mantenerlo de forma constante con la misma cantidad de producto el tipo de controlador seleccionar es Nivel (Length por su traducción en inglés), se usa el control de nivel para que el flujo de producto sea constante en los rodillos permitiendo que el espesor de la hojuela no varíe. El proceso se lo detalla en el Anexo 13.

Automatización de la elaboración de hojuelas

Figura 11.

Diagrama de bloques de producción de hojuelas de Parafina



Una vez declarados los tags, las entradas y salidas; tanto digitales como análogas enumeradas desde el Anexo 4 al Anexo 8 basados en los planos P&ID con toda la instrumentación y

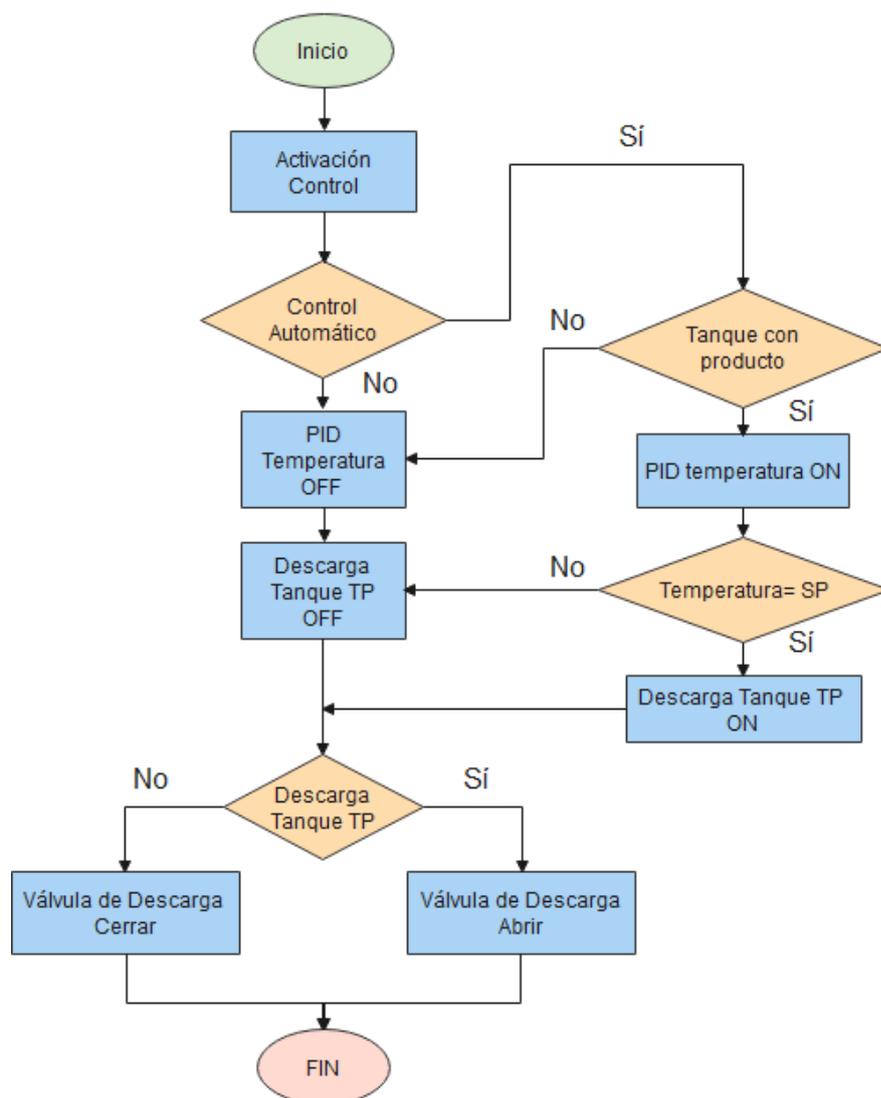
actuadores el proceso de elaboración de hojuelas se lo divide en 4 subprocesos de control y automatización, cada uno tiene sus propios procesos independientes y periféricas. En los siguientes apartados se describe el diagrama de flujo de cada bloque de forma más descriptiva y detallada.

Algoritmo de control tanques almacenamiento TP-30 y TP-31

El proceso de control en los tanques de almacenamiento contiene varias condiciones para confirmar que el producto está en buenas condiciones para la descarga y posterior producción. El desarrollo de la programación de este bloque se lo detalla en el Anexo 14. A continuación se describen las condiciones que debe cumplirse en los tanques de almacenamiento.

Figura 12.

Diagrama de flujo de los Tanques TP-30 y TP-31



- Paso 1: Activar el Control Automático en los tanques TP-30 y TP-31.
- Paso 2: Verifica si el control Automático está activo.
- Paso 3: Verifica si el tanque tiene producto, al tener producto se Activa el control PID de temperatura del tanque.
- Paso 4: Verifica si la temperatura del producto en el tanque es igual a la seteada, al cumplirse esta condición acciona la variable para Descarga de Tanque TP.
- En caso que el Paso 2, Paso 3 y Paso 4 sean negativas Desactiva el control de PID de Temperatura del tanque y la variable de Descarga de Tanque TP pasa a estado de apagado.
- Paso 5: Verifica el estado de la variable Descarga de Tanque, si está activa se abre la Válvula de Descarga caso contrario la mantiene cerrada.

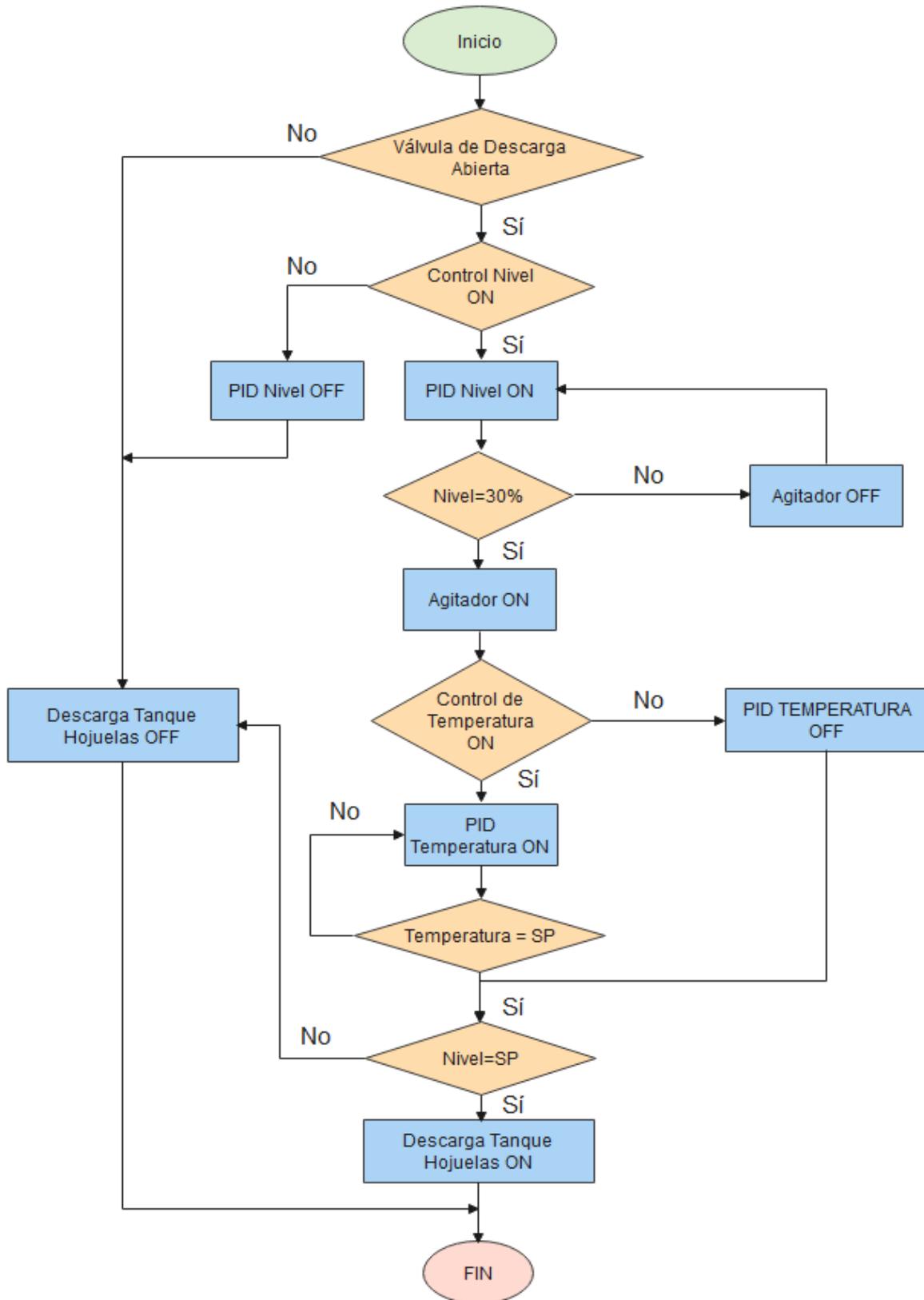
Al descargar el producto desde los tanques TP-30 y TP-31 se puede seguir al siguiente bloque del proceso, el Tanque de Preparación de Hojuelas, como se muestra en la Figura 12.

Algoritmo de control automático en Tanque de Hojuelas

En el bloque del Tanque de Hojuelas (variable Tnk_Hjl) se realizan diferentes tipos de control, nivel y temperatura, para dar paso a la descarga de producto a las diferentes líneas de producción. En el diagrama de flujo de la Figura 13 se describe paso a paso el proceso que tiene la automatización del tanque de hojuelas una vez que está lista la descarga desde el tanque TP-30 o TP-31. El desarrollo de la programación de este bloque se lo detalla en el Anexo 15. A continuación se describe el diagrama de flujo.

Figura 13.

Diagrama de flujo del bloque de Tanque de Hojuelas



En la figura 13 se indican los pasos que sigue el diagrama de flujo del bloque del tanque de hojuelas que son los siguientes:

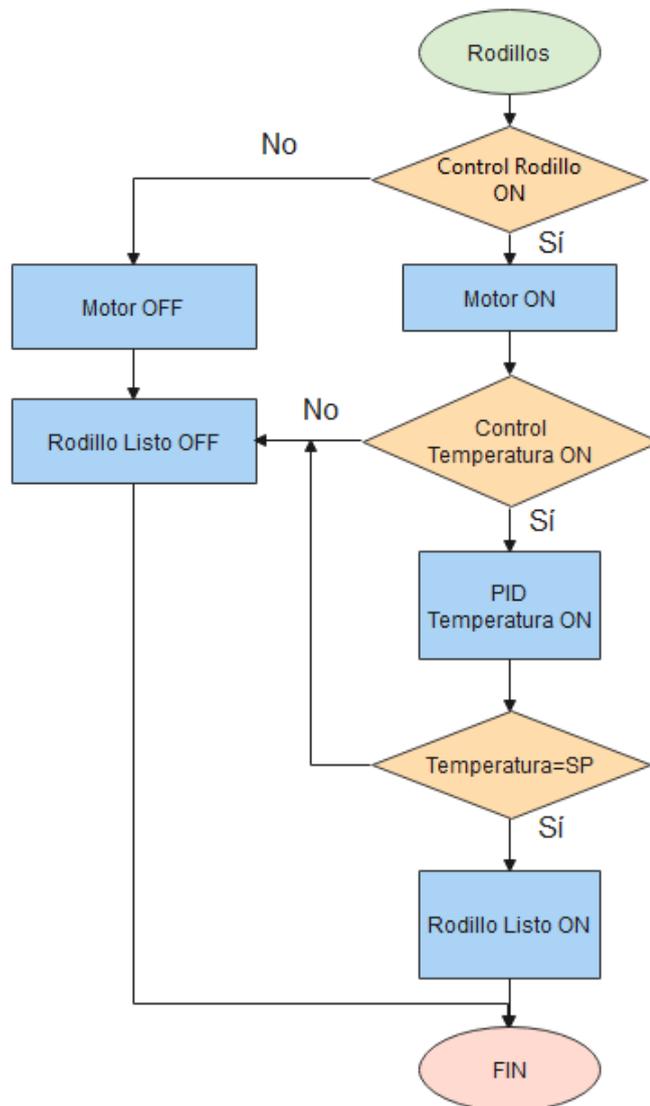
- Paso 1: Verifica si la Válvula de Descarga en Tanque TP está abierta.
- Paso 2: Verifica si el Control de Nivel está activado, si es afirmativo se acciona el PID de Nivel, caso contrario el control PID de Nivel se mantiene desactivado.
- Paso 3: Verifica si el nivel en Tanque de Hojuela es mayor e igual a 30%, si es afirmativo se enciende el motor de agitación, caso contrario lo mantiene apagado.
- Paso 4: Verifica si el Control de Temperatura está activado, si es afirmativo se acciona el PID de Temperatura, caso contrario lo deja desactivado.
- Paso 5: Verifica si la temperatura es igual a la del set point de trabajo, en caso de ser así se mantiene realizando el control de temperatura hasta alcanzar el set point de proceso.
- Paso 6: Verifica si el Nivel ha llegado al set point requerido, si es afirmativo activa la variable Descarga de Tanque Hojuelas.
- En caso que el Paso 1 y Paso 6 sean negativos se desactiva la variable Descarga de Tanque de Hojuela.

Algoritmo de control de Rodillos y Bandejas de Calentamiento

El control de los rodillos donde se forman las hojuelas para su funcionamiento consta de la rotación del rodillo y de un proceso de control de temperatura de enfriamiento para solidificar la parafina y poder formar las hojuelas. Los parámetros de funcionamiento de temperatura y velocidad de rotación son configurados por el operador de acuerdo al producto a procesar. En el diagrama de flujo de la Figura 14 se muestra la secuencia que debe seguir este bloque para la ejecución de la automatización de la producción de las hojuelas. En el Anexo 16 se describe el desarrollo de programación para el control de los rodillos.

Figura 14.

Diagrama de flujo del bloque de Rodillos

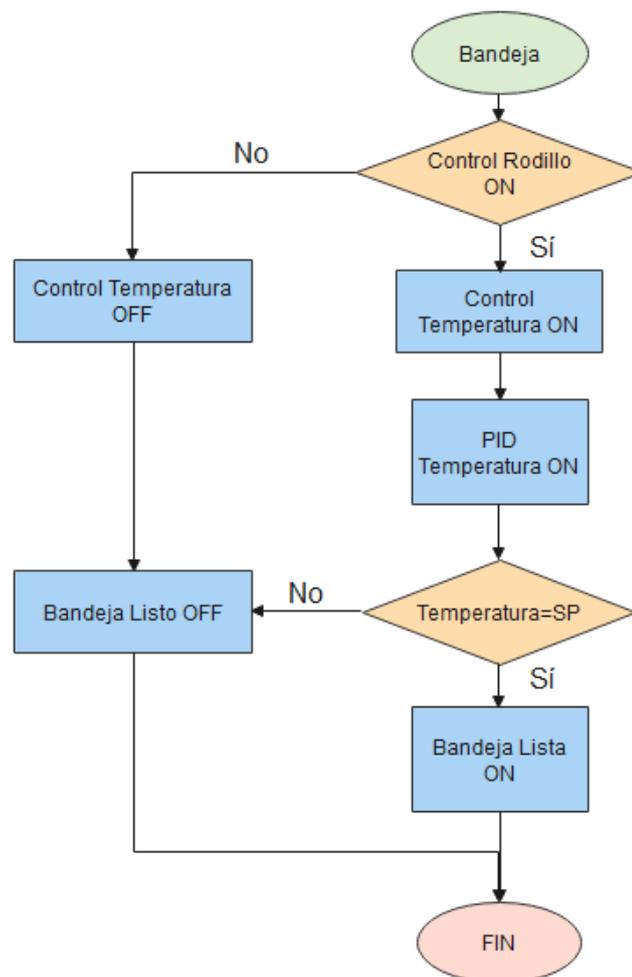


- Paso 1: Verifica si el Control de Rodillos está activado, de ser afirmativo se enciende el Motor de rotación del rodillo. En caso de que sea negativo se mantiene apagado el Motor
- Paso 2: Verifica que el Control de Temperatura esté encendido, en caso de que sea positivo se enciende el PID de Temperatura.
- Paso 3: Verifica si la Temperatura es igual a la del set point, si es afirmativo se activa la variable Rodillo Listo.
- En caso que el Paso 2 y Paso 3 sean negativos se desactiva la variable Rodillo Listo.

Las bandejas de calentamiento mantienen la parafina en una temperatura correcta de trabajo que depende de la variación del producto que se está procesando. En la Figura 15 se describe el proceso que ejecutan las bandejas de calentamiento. En el Anexo 17 se detalla la programación que ejecuta la automatización de las bandejas.

Figura 15.

Diagrama de flujo del bloque de Bandejas de Calentamiento

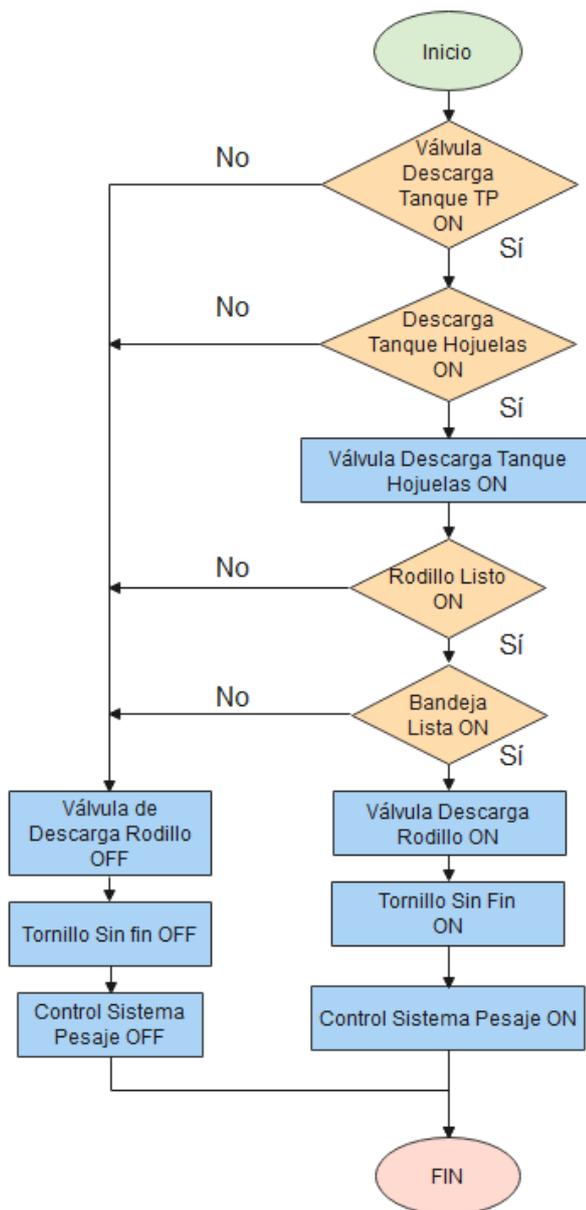


- Paso 1: Verifica si el Control de Rodillos está activado, de ser afirmativo se enciende el Control de Temperatura de las bandejas. En caso que sea negativo se desactiva el Control de Temperatura de la bandeja.
- Paso 2: Se enciende el PID de Temperatura de la bandeja.
- Paso 3: Verifica si la Temperatura es igual a la del set point, al ser iguales se activa la variable Bandeja Lista, caso contrario la variable se mantiene en estado apagado.

Proceso de producción de hojuelas

Figura 16.

Diagrama de flujo del proceso de elaboración de hojuelas



Con los tres bloques detallados anteriormente ya se pueden elaborar las hojuelas, en la Figura 16 se describe el proceso que se debe cumplir para su fabricación. En el diagrama de flujo de la Figura 16 se detallan las condiciones que se deben cumplir de los bloques anteriores para la producción de hojuelas y habilitar el sistema de pesaje para el llenado en contenedores. En el Anexo 18 se detalla el procedimiento para el desarrollo de la programación en el software TIA Portal.

A continuación, se describe el diagrama de flujo.

- Paso 1: Verifica si la Válvula Descarga Tanque TP está activada.
- Paso 2: Verifica si la variable Descarga Tanque Hojuelas está activada, si es afirmativo se abre la Válvula Descarga Tanque Hojuelas.
- Paso 3: Verifica si la variable Rodillo Listo está activa.
- Paso 4: Verifica si está accionada la variable Bandeja Lista.
- En caso de cumplirse todas las condiciones anteriores se accionan los siguientes actuadores: Válvula Descarga Rodillo, Tornillo Sin Fin y Control Sistema Pesajes.
- En caso de que las condiciones del Pasos 1 al Paso 4 no se cumplan se mantienen desactivadas los siguientes actuadores: Válvula Descarga Rodillo, Tornillo Sin Fin y Control Sistema Pesajes.

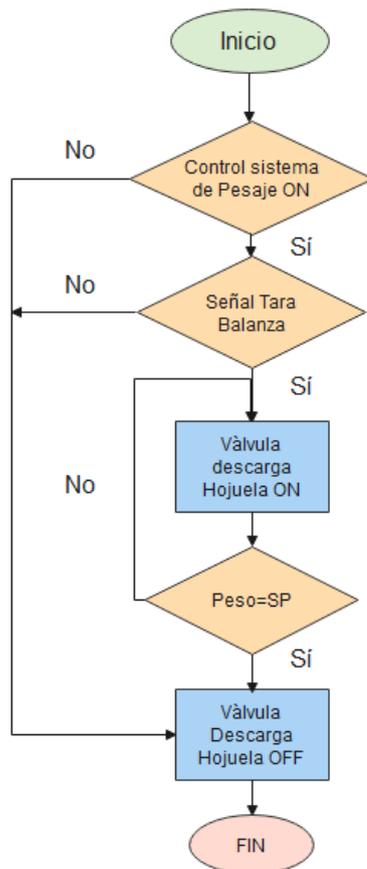
Algoritmo de control de Sistema de Pesaje

Una vez que el proceso de producción de hojuelas está en marcha, las hojuelas se las depositan en cartones o sacos según sea el producto. Para el control de peso se tiene una balanza que interactúa con el PLC para controlar la apertura y cerrado de la válvula de la compuerta de llenado. En el diagrama de flujo de la Figura 17 se describe el proceso que realiza para el control de peso al momento de llenar los contenedores de producto. En el Anexo 19 se describe la programación en el software TIA Portal.

- Paso 1: Verifica si el Control Sistema de Pesaje está activo.
- Paso 2: Verifica que la Señal Tara Balanza está activa, de ser positivo abre la Válvula de Descarga de Hojuelas.
- Paso 3: Verifica si el peso en la Balanza es igual al deseado para la presentación que se está realizando, si es afirmativo cierra la Válvula de Descarga de Hojuelas.
- En caso que el Paso 1 y Paso 2 sean negativos se mantiene cerrada la Válvula de Descarga de Hojuelas.

Figura 17.

Diagrama de flujo del bloque Sistema de Pesaje



Diseño de pantallas HMI

Para el diseño de las pantallas en el HMI se toma como referencia los planos P&ID finales con todos los elementos de automatización instalados e identificados. El uso de los colores para cada pantalla se ha usado colores de tonalidad suave para evitar sobre carga visual siguiendo los lineamientos y estándares de la empresa auspiciante ya que se encuentra en proceso de homologación de todos sus sistemas SCADA y equipos de automatización. Todos los pasos y procedimientos para el desarrollo, edición de propiedades y seteo de variables se los detalla en el Anexo 22.

Se han diseñado varias pantallas separadas en grupos para una mejor identificación las cuales se las describirán detalladamente en los siguientes temas.

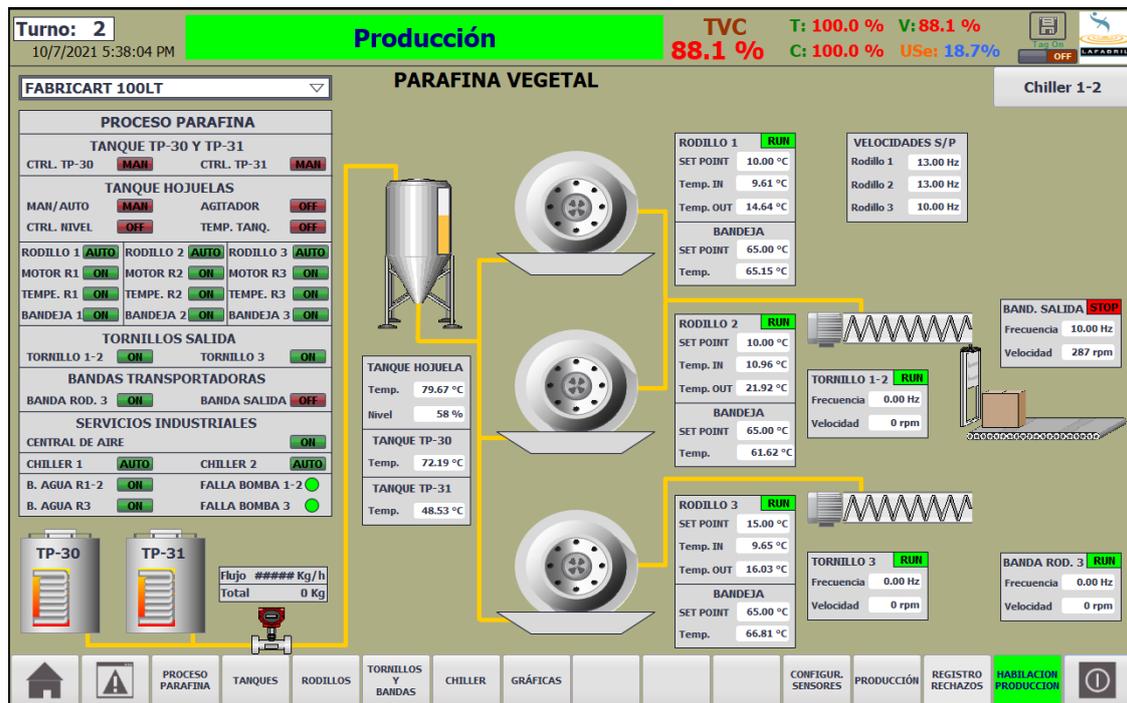
- **Proceso Parafina:** es una vista general del proceso de elaboración de hojuelas donde se muestra indicadores numéricos de todos los sensores y parámetros de funcionamiento de la planta. En la Figura 18 se muestra la pantalla en funcionamiento.
- **Tanques:** se muestra al detalle los tanques de recepción y de preparación incluyendo toda la instrumentación y actuadores que mantienen el producto en condiciones óptimas para la producción, así también para la circulación del producto.
- **Rodillos:** se visualiza de forma detallada la parametrización y funcionamiento de las tres líneas de producción de hojuelas; las que están constituidas por rodillo laminador, bandeja de calentamiento y recirculación de agua fría.
- **Tornillos y bandas:** muestra el funcionamiento de la parte final de los rodillos, visualizando los tornillos transportadores de producto, compuerta de salida de hojuelas y banda transportadora de producto hacia el área de paletizado.
- **Gráficas:** está diseñada para visualizar históricos de las diferentes variables de temperatura y nivel, mostrando el comportamiento que ha tenido el proceso. Cada variable registra valor de set point, valor de salida del actuador en miliamperios y el valor medido por el sensor.
- **Configuración Sensores:** es una pantalla protegida con contraseña la cual sólo puede acceder el personal de mantenimiento, aquí se configuran las constantes de trabajos de todos los sensores y datos de placa de velocidad de motores eléctricos.

Proceso Parafina

En la Figura 18 se observa la vista general de la planta de producción de hojuelas, esta pantalla cumple con dos funciones; informativa y operación de la planta de producción de hojuelas. La función informativa cumple con mostrar el valor de medición de todos los instrumentos de medición y set points configurados en cada variable de proceso; y la función de control permite dar marcha o paro a las diferentes estaciones y líneas de producción de las hojuelas. En esta pantalla no se permite ingresar ningún parámetro numérico.

Figura 18.

Vista general proceso elaboración de hojuelas



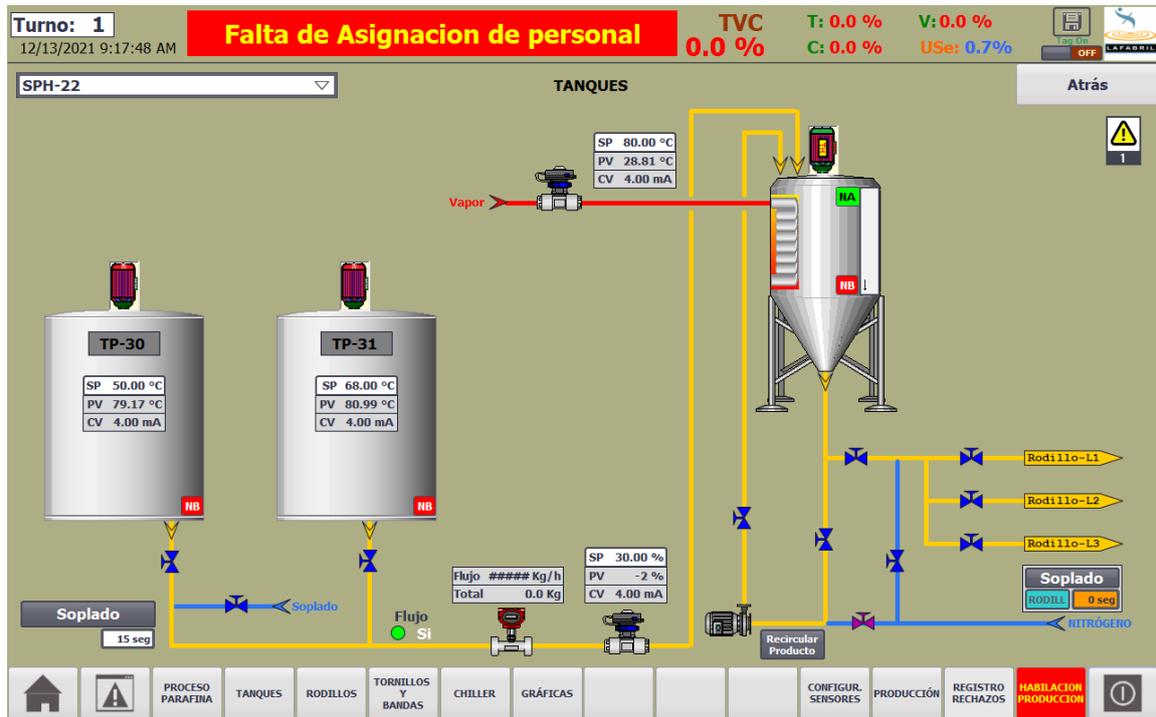
Tanques

En la Figura 19 se visualiza a detalle todas las tuberías, válvulas y los tanques de almacenamiento de producto. Cada tanque tiene elementos de control válvulas de ingreso de vapor las que trabajan de 4 a 20mA que sirven para mantener el producto caliente y motores de agitación para que la transferencia de calor sea homogénea; cada válvula de calentamiento su valor es editable de acuerdo al producto que se está elaborando. Adicional tiene válvulas de simple efecto que permiten la circulación del producto.

Las válvulas de simple efecto al ser seleccionadas se las puede comandar de forma manual o de manera automática que cumple las condiciones del proceso para su apertura o cierre. Los colores que se han utilizado siguiendo los lineamientos y estándares del sistema SCADA de la empresa son los siguientes: verde abierto en modo automático, rojo cerrado en modo automático, amarillo abierto en modo manual, azul cerrado en modo manual y morado parpadeante indica que existe alguna falla en la válvula. En la Figura 20 se muestra un ejemplo de los colores en las válvulas.

Figura 19.

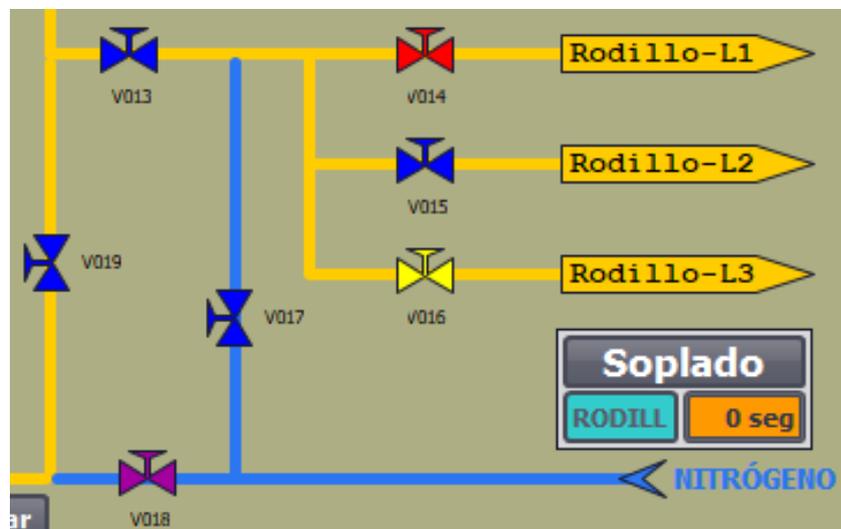
Pantalla Tanques: parametrización y visualización de variables



En la Figura 20, se muestra los distintos colores para la identificación de los diferentes sistemas, para el color de las tuberías se utilizan los siguientes colores estandarizados por la empresa; amarillo para la circulación de producto, azul aire comprimido y nitrógeno, verde circulación de agua y rojo tubería de circulación de vapor.

Figura 20.

Colores en válvulas de simple efecto



Rodillos

En la Figura 21 se representa los rodillos de las tres líneas de producción con todo el sistema de tuberías para la recirculación de agua de chiller, la temperatura interna del rodillo es regulada por válvulas proporcionales que obedecen a los valores seteados de proceso. También se muestran las bandejas de calentamiento de cada rodillo que son calentadas por vapor; adicional de los parámetros de velocidad de rotación de los rodillos. Todos estos parámetros son seteados de acuerdo al producto que se encuentra elaborando. En cada variable se visualiza el valor medido por el sensor y el valor de corriente que está emitiendo el PLC, eliminar las perturbaciones generadas en la variable controlada.

Figura 21.

Pantalla Rodillos: parametrización y visualización de variables

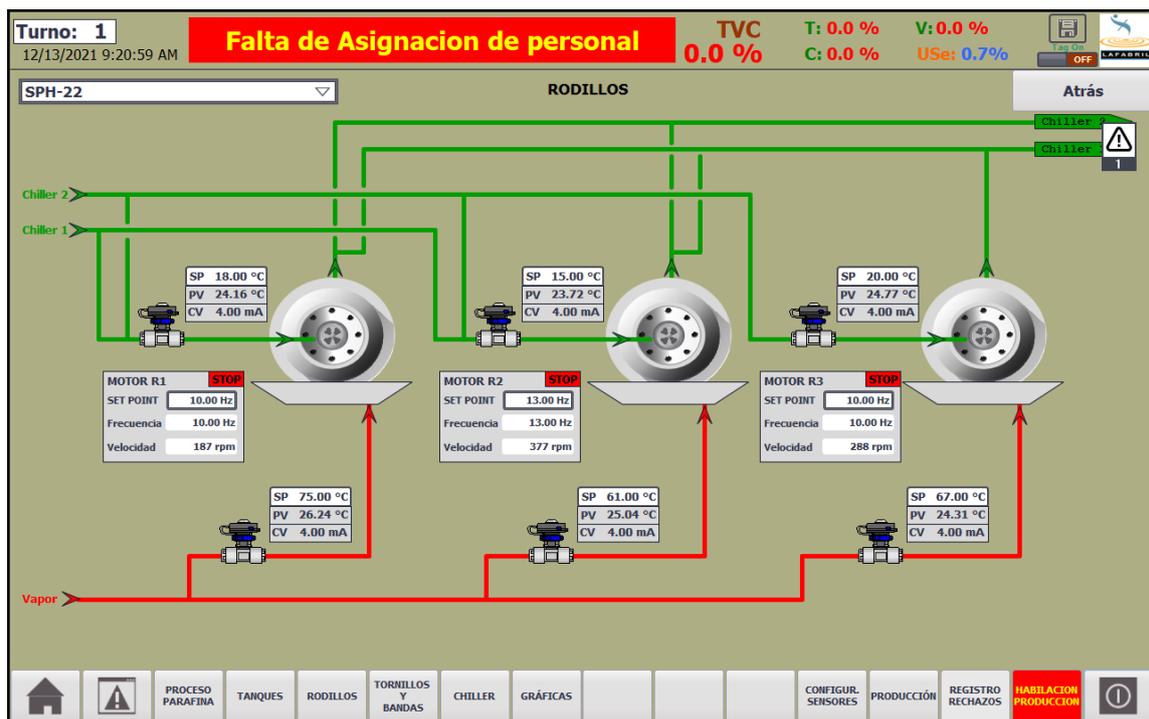
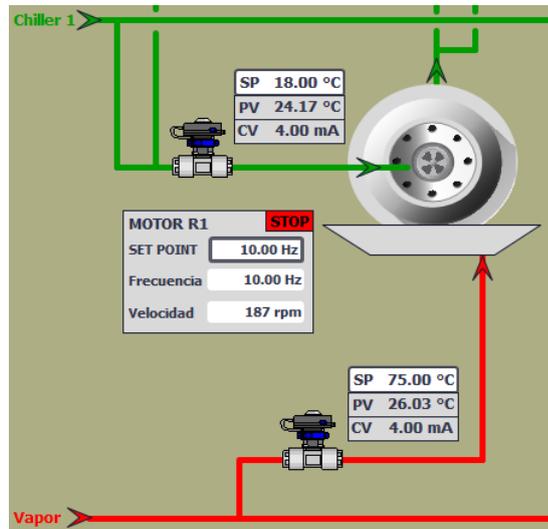


Figura 22.

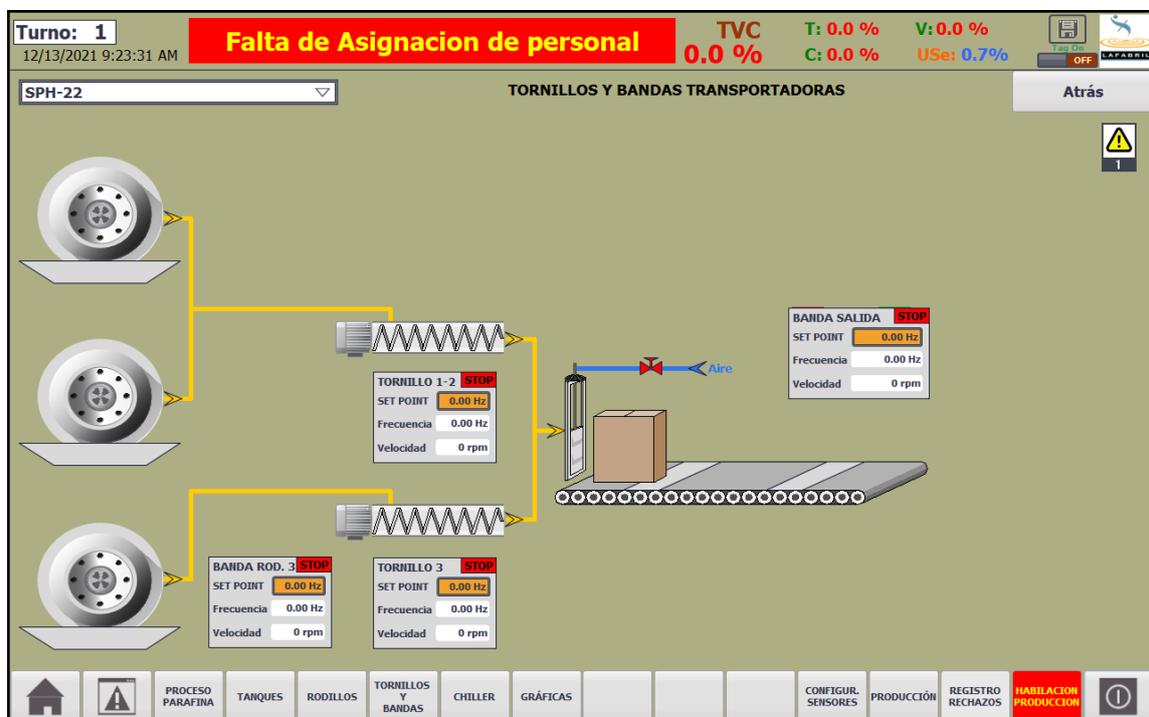
Parámetros de trabajo de Rodillo



Tornillos y bandas

Figura 23.

Pantalla Tornillos y bandas: parametrización y visualización de variables



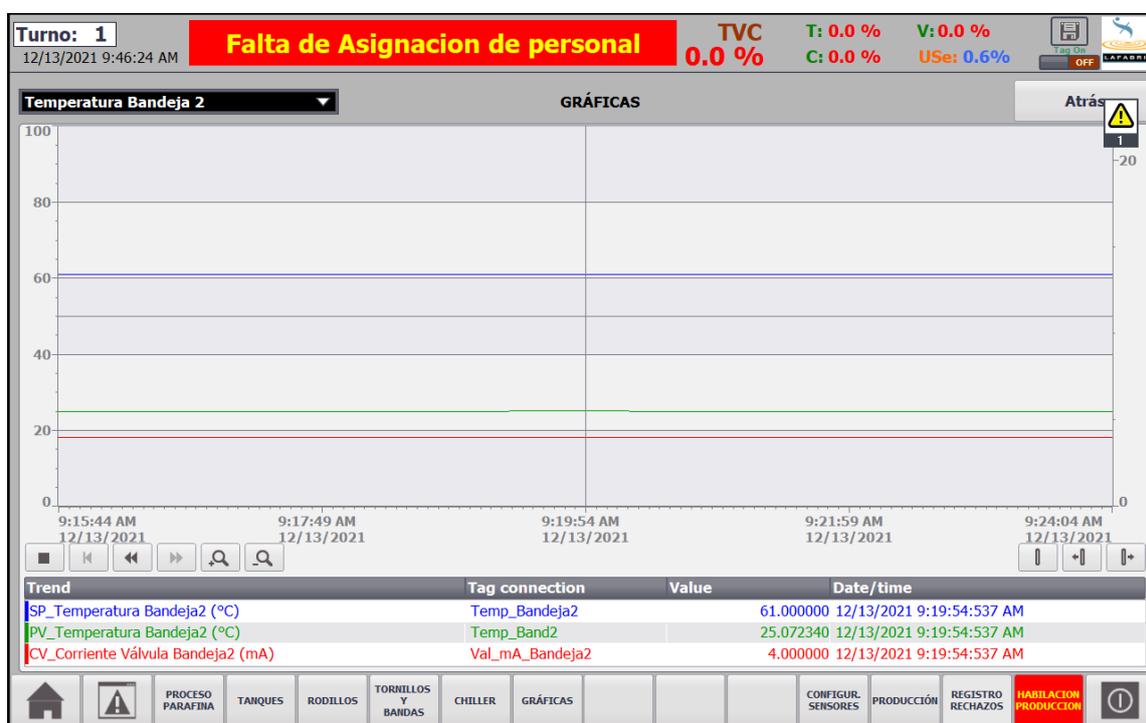
En la Figura 23 están representados los tornillos que mueven las hojuelas de los rodillos hacia la compuerta donde se llenan los contenedores para su paletizado. La velocidad de giro de los

tornillos sin fin y de la banda transportadora se pueden parametrizar según lo requiera el proceso. En cada motor se puede observar la velocidad de trabajo seteada, la velocidad a la cual está girando el motor en Hz y en RPM. La apertura y cierre de la compuerta se usa para el conteo de producción de hojuelas de parafina.

Gráficas

Figura 24.

Pantalla Gráficas: visualización de históricos de variables controladas



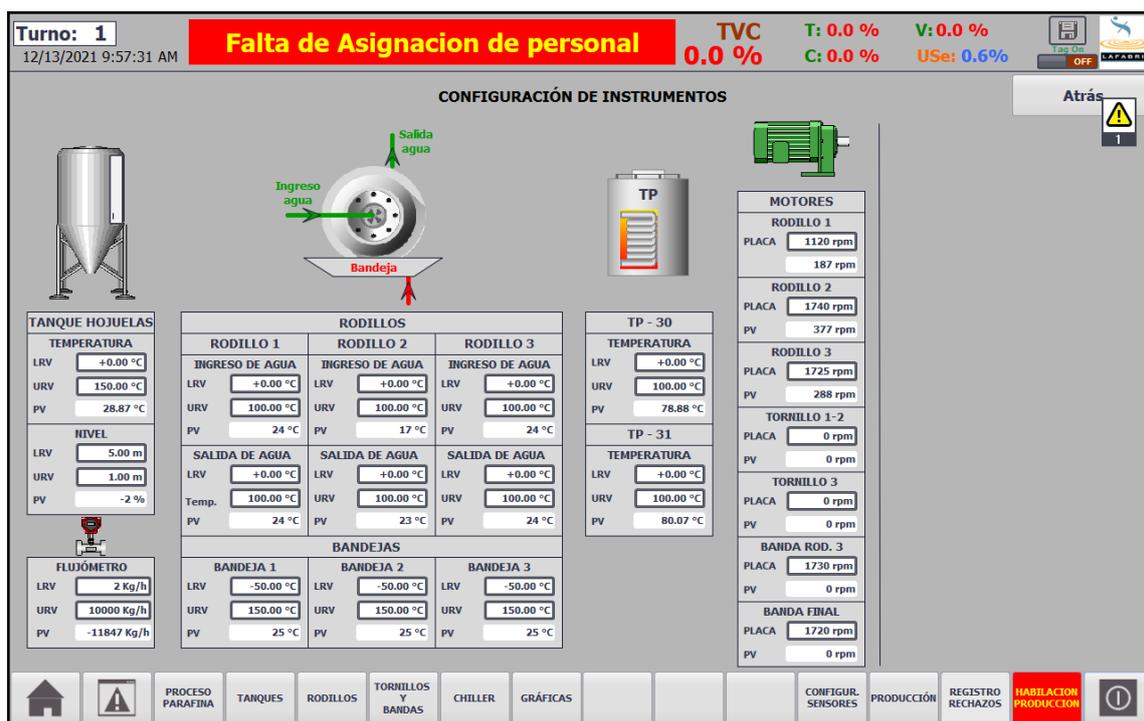
En la Figura 24 se muestra la pantalla de visualización del histórico de los diferentes lazos de control que hay en el proceso de elaboración de hojuelas, en cada variable se registran y visualizan los datos de set point, valor medido por el sensor y el valor de corriente del actuador. En la parte superior se encuentra una lista de texto que permite seleccionar la variable que se desea visualizar, ya sea las de temperatura o de nivel.

Configuración Sensores

La Figura 25 muestra la pantalla para el ingreso de los rangos de trabajado de cada sensor implementa en la automatización, adicional se puede observar el valor que mide el sensor. También se ingresa la velocidad máxima de trabajo de cada motor, que nos permite calcular la velocidad que está girando el motor según la frecuencia de giro seteada por el operador. Esta pantalla se ha diseñado para cuando se tenga que reemplazar un sensor y no se encuentre de las mismas características, se pueda usar el que se tenga disponible y configurar el rango de trabajo por pantalla permitiendo tener los valores reales de medición. A esta pantalla sólo se puede ingresar con contraseña, la cual sólo la puede usar el personal de mantenimiento.

Figura 25.

Pantalla Configuración Sensores: parametrización URV y LRV de sensores



Algoritmo de la herramienta de medición de Tiempo, Velocidad y Calidad (TVC)

La empresa auspiciante ha desarrollado un protocolo estandarizado para medir la eficiencia productiva de cada una de las líneas de producción, identificadas por tres variables Tiempo, Velocidad y Calidad. El producto de las tres variables marca el porcentaje de eficiencia de la línea de

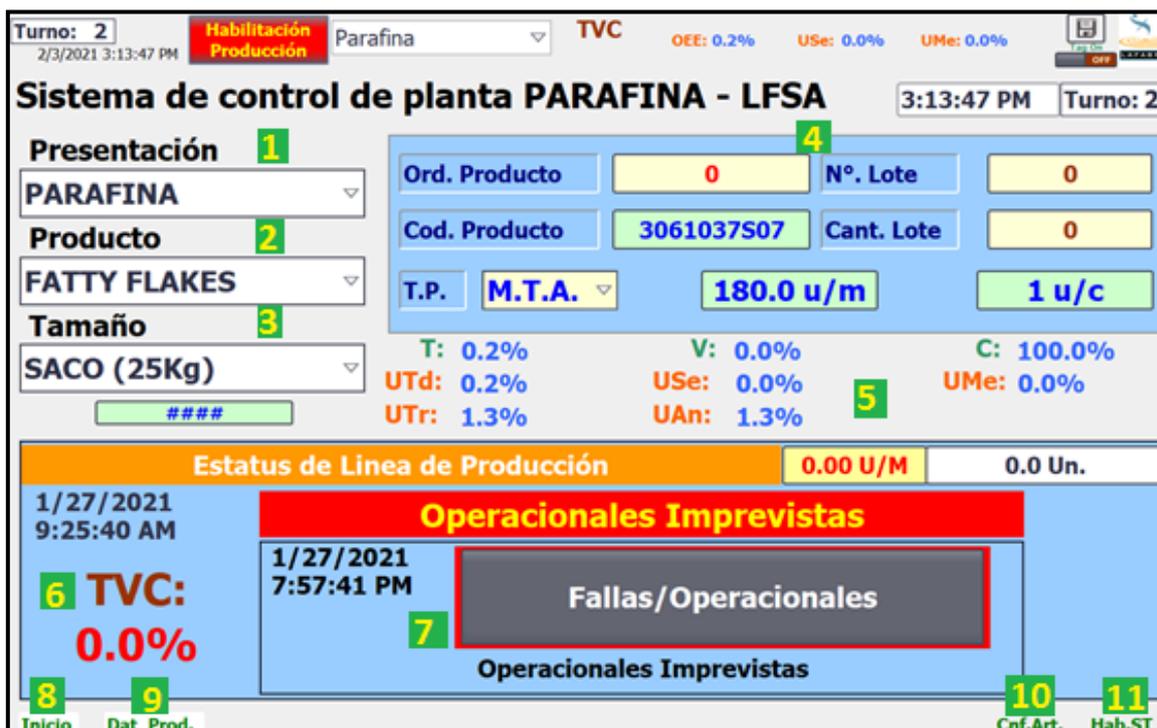
producción por cada artículo que elabora, debido a que cada artículo presenta condiciones diferentes se establecen estándares de TVC únicos por artículo. Este indicador ayuda a los operadores, coordinadores y directivos a medir en tiempo real el rendimiento de la máquina o proceso para tomar acciones correctivas en caso de ser necesario.

La herramienta TVC también sirve para reportar el motivo por el cuál la línea está parada sin producir, ya sea la parada planeada o no. Las cuales se separan en fallas de operaciones y de mantenimiento. Reportar el motivo de la falla ayuda a tener históricos de los eventos frecuentes y tomar mejores decisiones preventivas disminuyendo las paradas por mantenimiento correctivo. Todos los eventos registrados por los operadores mediante el uso de la herramienta TVC son almacenados en una base de datos en la nube. Los datos históricos y los de tiempo real son mostrados en un dashboard por medio de un servidor web. El desarrollo para la implementación del TVC se lo detalla en el Anexo 20.

Pantallas de la herramienta TVC

Figura 26.

Pantalla Sistema de Control de Planta



El desarrollo de las pantallas del TVC tiene un diseño estándar globalizado para toda la empresa, por lo que se deja el desarrollo original y se modifica de acuerdo a las variables de producción del proceso de elaboración de hojuelas de Parafina. Para el reporte del TVC existen tres pantallas bastante diferenciadas.

La pantalla Sistema de Control de Planta es donde se reporta el producto a elaborar y se muestra todos los indicadores del artículo que se está produciendo. En la Figura 26 se muestra el diseño de la pantalla y se describe la función de cada elemento de ella.

1. Se despliega una barra con las presentaciones de los productos.
2. Barra desplegable con diferentes productos.
3. Barra desplegable con el tamaño del producto que puede ser de 25Kg o 15 Kg.
4. Ingreso de número de orden de pedido, número de lote.
5. El código del producto se genera automáticamente al seleccionar la correcta combinación entre la presentación, el tamaño y el producto, si es una combinación incorrecta no se generará ningún código y aparecerá la casilla en color rojo con el mensaje **Error de selección de artículo.**
6. Existen dos tipos de pedidos (T.P.) pueden ser M.T.A. que es producción para almacenamiento de bodega y M.T.O. es un pedido puntual.
7. Información de la producción T, V, C, UTd, UTr, Use, UAn, UMe.
8. Estos valores se calculan en base a los datos de tiempo de producción, velocidad de producción y calidad de producto terminado.
9. Valor del porcentaje del TVC, es el producto del valor entre el tiempo T, la velocidad V y la calidad C.

La siguiente pantalla es Registro de Fallas en donde el operador selecciona el motivo por el cual no se encuentra produciendo la línea, en la Figura 27 se muestra y describe los elementos que existen dentro de la pantalla para el reporte de fallas.

Figura 27.

Pantalla Registro de Eventos



1. **Sistema Hidráulico**

Sin parada definida

2. **Sistema Neumático**

Sin parada definida

Control automático

3. **Sistema Electrónico**

Sin parada definida

Equipo de pesaje

Fallas electro neumático

Fallas de automatización

Equipo de detección de metal

Fallas electrónicas

4. **Sistema Eléctrico**

Sin parada definida

Fallas de motores eléctricos

Distribución / control industrial

Equipo respaldo de energía/

Fallas eléctricas de moldes.

5. **Sistema Mecánico**

Sin parada definida

Falla mecánica del proceso

Equipo transmisión de potencia

Fallas aislamiento industrial

Fallas mecánicas de moldes

Fallas de sistemas de vacío.

6. **Refrigeración**

Sin paradas definida

Climatización

7. **Servicios Internos y Externos**

Sin parada definida,

Falla por servicio eléctrico

Fallas de codificación, fallas por vapor

Fallas de asistencia técnica.

8. **Tuberías y Accesorios**

Sin parada definida

Fluido productos y servicios.

9. **Botón cambio de tipo de evento**

Se utiliza cuando el operador designa un evento diferente o cuando la máquina cambia el estado de operación ya sea por falta de asignación de personal, mantenimientos, fallas en

los diferentes sistemas, que la máquina esté sin parada definida, etc. Para estos eventos es muy importante que el operador sepa identificarlos para seleccionarlos, ya que de estos eventos depende el cálculo preciso del TVC.

Nota: Los eventos detallados en las categorías anteriores son los más comunes, en caso de tener un evento específico del proceso se debe solicitar al departamento de ingeniería para que sea agregado a la lista.

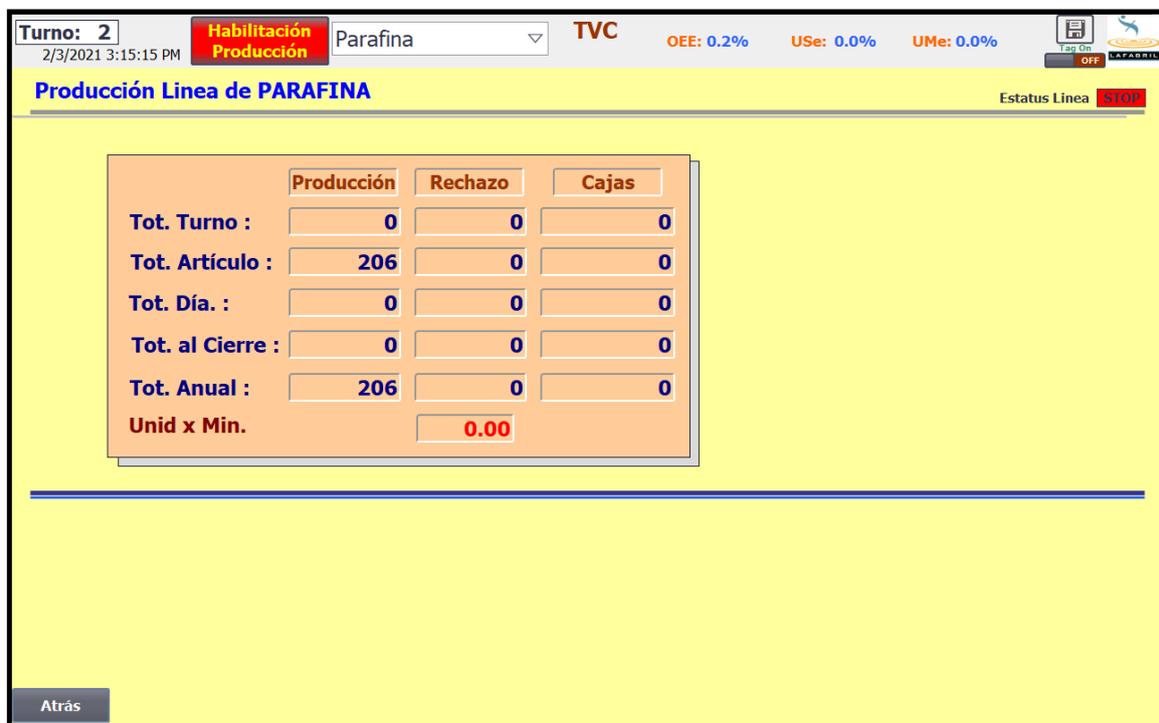
10. Fin de Falla

Registra el tiempo en el cual termina un evento y habilita el estado de producción permitiendo arrancar el proceso o la máquina.

La tercer y última pantalla se muestra los datos de producción realizada por turno, en el día, por artículo, el acumulado de todo el año y la velocidad por minuto a la que se encuentra produciendo. En la Figura 28 se muestra el diseño de la pantalla Producción.

Figura 28.

Pantalla Producción



Implementación mecánica

Todo el proceso de montaje mecánico lo realiza una compañía contratista encargada de realizar todos los trabajos siguiendo todas las normas de seguridad, los trabajos involucrados requieren el uso de herramientas como soldadora, amoladora, taladros, etc.; las que deben ser usadas por personal capacitado y autorizado para su utilización, dentro de los trabajos realizados se realizó la construcción de escaleras, reubicación de válvulas de vapor y válvulas de aire comprimido, reubicación de tuberías de Nitrógeno, montaje de válvulas proporcionales, montaje de sensores de temperatura y nivel, reubicación de tuberías de circulación de producto, reubicación de tuberías de circulación de agua de chiller. A continuación, se describen los trabajos realizados en la implementación mecánica.

Con el dimensionamiento de las válvulas según los requerimientos para la automatización se procede a su montaje mecánico siguiendo los planos P&ID para la ubicación. En la Figura 29 a) se muestra la válvula de salida de producto del tanque TP-31 y de la tubería transporta el producto al tanque de hojuelas, en la Figura 29 b) se observa la implementación de válvula proporcional de la descarga de producto, esta válvula se utiliza para controlar el lazo de Nivel, adicional de un flujómetro para el conteo de producto que se descarga desde los tanques TP-30 y TP-31.

Figura 29.

Válvulas

(a) Descarga de tanque TP-31.



(b) Proporcional y Flujómetro



En la Figura 30 se muestran los elementos de control del lazo de temperatura en las bandejas de calentamiento, a) muestra la válvula proporcional para el ingreso de vapor hacia la bandeja de calentamiento y b) se visualiza el sensor de 4 a 20 mA para medir la temperatura del producto, anteriormente se encontraba un termómetro analógico con el que el operador realizaba el ajuste de temperatura en la bandeja. Este mismo sistema está replicado en las tres líneas de producción de la planta.

Figura 30.

Bandejas de calentamiento

(a) Válvula proporcional ingreso de vapor **(b)** Sensor análogo de temperatura



En la Figura 31 se visualiza los componentes implementados por cada Rodillo, para el control del lazo temperatura de enfriamiento de Rodillo, consta de dos sensores de temperatura uno al ingreso del rodillo y otro a la salida; y la válvula proporcional la cual permite el ingreso de agua proveniente del chiller. El sensor que se usa para el control de temperatura es el que está ubicado a la salida, debido que por este sensor circula el agua que ha hecho el intercambio de temperatura con el producto procesado.

Figura 31.

Sistema de enfriamiento de Rodillo



La Figura 32 muestra el cambio de ubicación de distribuidores de fluidos. En a) se muestra la ubicación anterior del distribuidor de vapor que suministra calor a venas de calentamiento en tuberías y chaquetas de tanques para evitar que el producto se solidifique y genere taponamientos y en b) muestra la nueva ubicación en que se instaló el distribuidor de vapor. La Figura 33 muestra un nuevo distribuidor construido para suministrar aire comprimido a todas las válvulas proporcionales implementadas en la automatización del proceso de parafina.

Figura 32.

Distribuidor de vapor

(a) Posición anterior



(b) Nueva reubicación**Figura 33.**

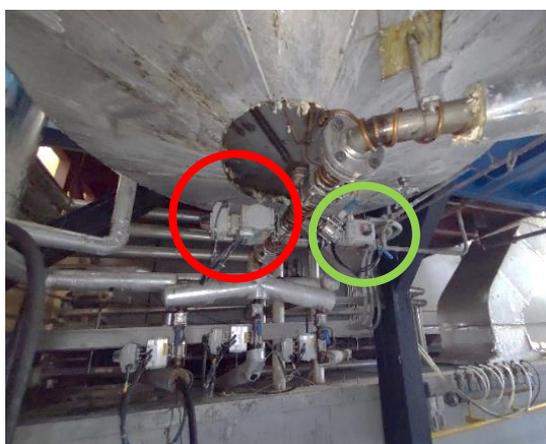
Distribuidor de aire comprimido para válvulas proporcionales



En la Figura 34 se muestra el trabajo final realizado en el Tanque de Hojuelas el cuál consistió en perforación de chaqueta, soldadura de neplo roscado y monje de sensores, a) Sensor de temperatura infrarrojo, montado en la parte superior del tanque, se utiliza este tipo de sensor porque en el interior del tanque se forma nubes de vapor que podrían afectar la medición de temperatura en sensores que utilicen otro principio para medir la temperatura. b) Sensores de switch de nivel en el lateral del tanque que usan para seguridad, se instalan dos uno para Nivel Alto y otro para Nivel Bajo.

Figura 34.*Tanque de Hojuelas***(a)** Sensor de temperatura.**(b)** Switch de nivel alto.

La Figura 35 se muestra la instalación de a) Válvula de descarga desde el Tanque de Hojuelas, enmarcada en el círculo de color rojo y en el de color verde la Válvula de Soplado de Nitrógeno que se utiliza para la limpieza de tuberías en caso de taponamiento o cuando se hace cambio de producto. b) Muestra las Válvulas de descarga a los tres Rodillos de producción, antes de las válvulas electroneumáticas se dejan instaladas válvulas de accionamiento manual que se usan para mantenimiento de la tubería o de las válvulas.

Figura 35.*Válvulas de simple efecto***(a)** Descarga de producto.**(b)** Descarga de producto a los Rodillos.

En la Figura 36 se muestra la nueva escalera que fue construida para mejorar la accesibilidad al área donde se encuentran los distribuidores de vapor, aire comprimido, válvulas de descarga de producto, válvulas de soplado de nitrógeno y en el siguiente nivel al área de chiller. Esta escalera reemplazó una escalera de gato que dificultaba mucho la flexibilidad operativa.

Figura 36.

Nueva escalera, área de válvulas y distribuidores



Implementación eléctrica

Una vez que se tiene dimensionado todo el alcance de la automatización, la programación de los elementos y montado todos los elementos se procede al armado e implementación de la parte eléctrica pasando cables por canaletas, tuberías, electro canal; de todos los sensores, actuadores y de comunicación. Se implementa un solo tablero de control donde se alberga el PLC con la periferia ET200 y el bloque de isla de electroválvulas Festo. En los tableros de fuerza se realiza mantenimiento y reubicación de elementos, cableado nuevo de señales que viene desde el tablero de control. A continuación, se muestra de manera detallada los trabajos eléctricos efectuados en la planta de producción de hojuelas de Parafina.

En la Figura 37 se muestra el desarrollo del montaje del Tablero de Control, en a) se muestra el inicio del montaje de los elementos en el plafón y en b) muestra el acabado final con rotulación y organización de cables de todas las señales de sensores y actuadores. La implementación se realiza de acuerdo a los planos descritos en el Anexo 23.

La Figura 38 muestra una vista más detallada de a) la conexión de las señales de sensores análogos y digitales a la ET 200 SP y b) las conexiones de las salidas de todos los actuadores, adicional en la parte izquierda del tablero se observa los puntos de red Ethernet para la comunicación de los dispositivos industriales y al lado derecho se encuentra la isla de 16 electroválvulas con comunicación Profibus.

La Figura 39 muestra el resultado final del tablero de potencia que controla los Rodillos de enfriamiento, Bandas transportadoras y Tornillos sin fin de toda la planta. En el apartado a) se visualiza una vista general del tablero, b) se aprecia los variadores de frecuencia de los Rodillos 1 y 2; y c) muestra todas las protecciones eléctricas de los distintos motores que hay en la planta de Parafina. Las conexiones detalladas se las encuentra en el Anexo 24.

Figura 37.

Tablero de control

(a) Inicio de implementación.

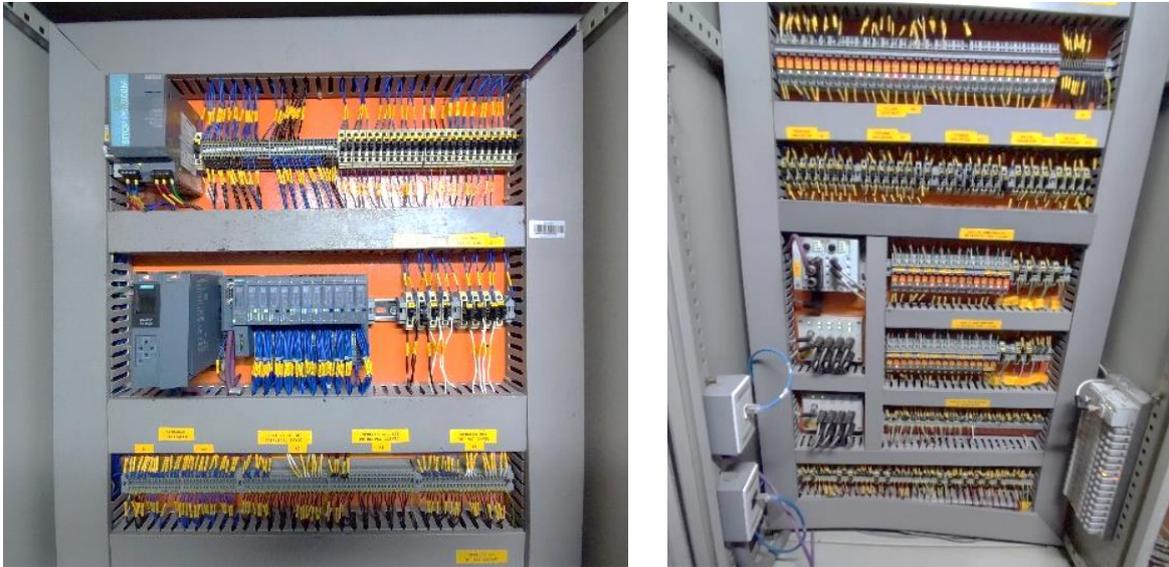
(b) Implementación final.



Figura 38.

Tablero de Control, conexión de entradas y salidas.

(a) Conexión de entradas análogas y digitales. **(b)** Conexión de actuadores digitales y análogos

**Figura 39.**

Tablero de fuerza de Rodillos.

(a) Vista general.



b) Variadores de frecuencia.



c) Protecciones eléctricas de motores



En la Figura 40 se muestra el trabajo final de Tablero de fuerza de Chiller 2 y Rodillo 3, anteriormente constaba de un control eléctrico usando pulsadores y relés para el control. Con la automatización se optimiza espacio en el tablero y se deja mejor organizado. El diagrama eléctrico se lo encuentra adjunto en el Anexo 25.

Figura 40.

Tablero de fuerza Chiller 2 y Rodillo 3



En la Figura 41 se observa el tablero con el indicador de peso Mettler Toledo el cual se reutilizó el tablero eléctrico anterior, que contenía pulsadores y selectores para comandar el

funcionamiento de los rodillos, todos esos botones y luces fueron removidos e implementados en el HMI de la automatización del proceso de elaboración de hojuelas de parafina.

Figura 41.

Sistema de pesaje



Figura 42.

Pantalla HMI de la Planta Parafina



La Figura 42 es muestra la pantalla TP 1500 Comfort instalada y trabajando en el área de producción de hojuelas, se encuentra en un punto estratégico de fácil acceso a los tres rodillos.

Dentro del tablero se encuentran dos puntos de red, el primero que viene desde el PLC S7 1500 hacia el HMI y el segundo punto sale desde la pantalla al PLC S7 1200 de control de chiller.

Sintonización de PID PLC S7-1200

En la industria existen procesos relativamente lentos por lo que no es necesario emplear demasiados recursos en sintonizar dichos procesos, es por ello que los controladores tienen herramientas de autoajuste, que facilitan la sintonización en los lazos de control.

Los métodos de autoajuste se pueden dividir en dos grupos, el primer grupo utiliza respuesta escalonada y el segundo se basa en el método de retransmisión. En los PLC están disponibles ambos métodos, el controlador PLC Siemens S7-1200 puede ser un ejemplo con dos procedimientos de autoajuste; el pre ajuste y el ajuste fino implementados en él. El procedimiento de ajuste previo se basa en la respuesta al escalón, en primer lugar, el controlador se convierte en modo manual y la salida del controlador u se fuerza a un valor establecido por el usuario, en segundo lugar, se observa el valor de la producción de la planta y hasta que alcanza el punto de inflexión. Finalmente, las reglas de ajuste de Chien-Hrones-Reswick se utilizan para calcular los parámetros del controlador. El procedimiento de ajuste fino utiliza el método de relevo desarrollado por Åström y Hägglund, que se basa en el método de ciclo definitivo de Ziegler-Nichols. (Marcin Daniun, 2017).

Capítulo IV

Pruebas y resultados

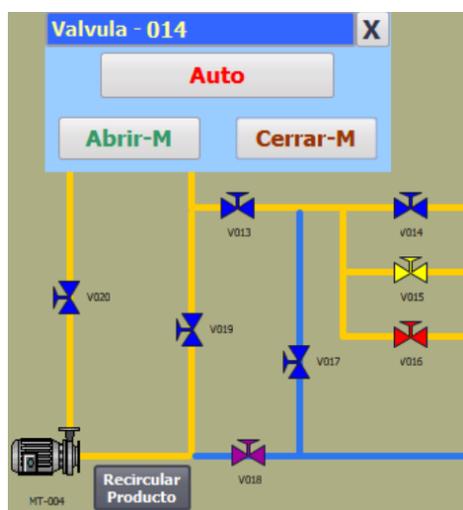
Una vez realizado los diseños e implementación de los algoritmos de control y los protocolos de redes industriales se proceden a ejecutar las pruebas de funcionamiento y comunicación para analizar los datos obtenidos. La fase de pruebas y resultados se la realiza en conjunto con los operadores de la planta separando los distintos procesos para verificar la correcta instalación, calibración de actuadores, sensores y demás equipos instalados para evitar cualquier inconveniente o accidente, a continuación, se realizan pruebas de comunicación, obtención de datos y control automático.

Calibración y puesta en Marcha de actuadores y sensores

A los actuadores se les envía señales de control de manera manual uno por uno y se verifica su correcta implementación, en el caso de existir alguna falla se la soluciona en ese momento antes de avanzar a la siguiente etapa de pruebas, de igual manera a los sensores se les somete a distintos rangos dentro de su espectro de operación para comprobar que envíen la señal correcta al controlador.

Figura 43.

Prueba de funcionamiento de válvulas

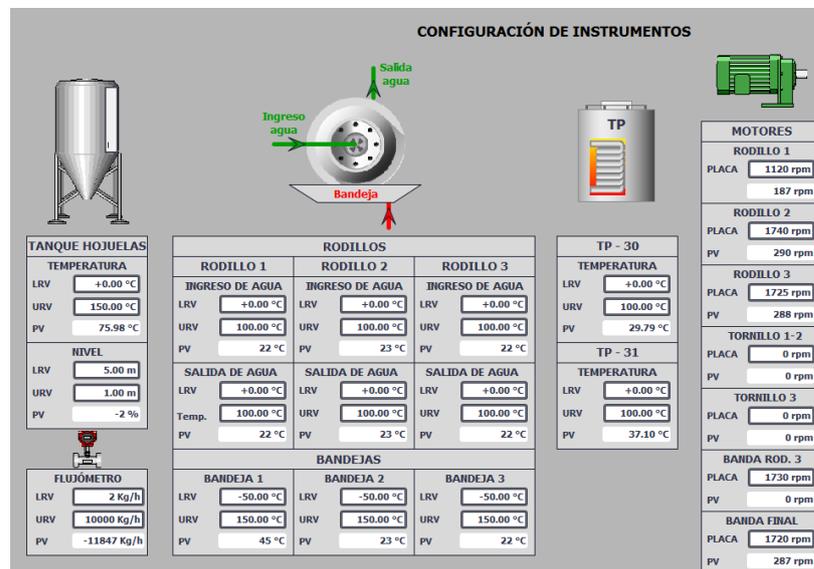


Como se observa en la Figura 43, mediante la manipulación de todos los actuadores en la pantalla de control se verifica el correcto funcionamiento y asignación de etiqueta en la interfaz del HMI de la planta.

Tomando en cuenta las capacidades físicas de operación de la planta, se emplean los datos de placa de los motores, se ingresan datos de operación de los equipos para ejecutar las pruebas de los lazos de control, como se visualiza en la Figura 44.

Figura 44.

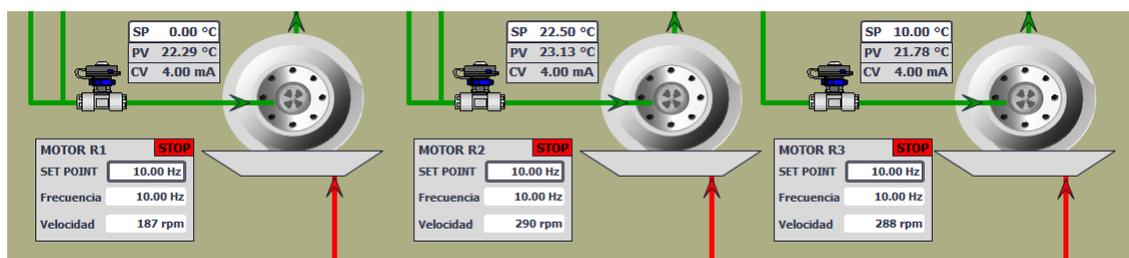
Ingreso de URV, LRV de sensores y RPM de motores



Se ajusta el rango de trabajo en variadores de frecuencia entre 0 y 60 Hz, con ayuda de operadores se ajustan los parámetros de velocidades de motores y de temperaturas de trabajo de Rodillos y Bandejas de Calentamiento.

Figura 45.

Configuración de parámetros de trabajo de Rodillos

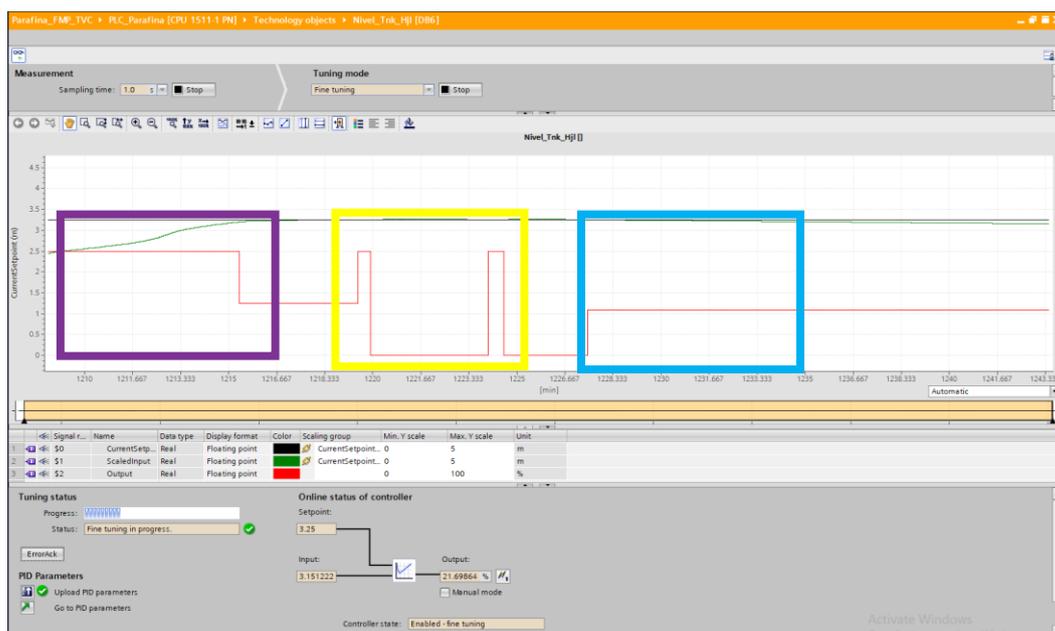


Pruebas PID de Nivel

En la Figura 46 se observa el comportamiento del controlador, que pese a distintas variaciones y perturbaciones siempre se mantiene en el set point, se realiza un arranque con el tanque vacío y tiene una altura aproximada de 5 metros, dentro del cuadro de color morado el comportamiento del actuador para estabilizar la variable hasta llegar al set point tardando 8 minutos, luego para mantener la variable controlada en el cuadro amarillo se observa que el actuador trabaja por un corto tiempo al empezar la descarga de producto hacia los rodillos de producción. Una vez que se mantiene un flujo constante de descarga el actuador se mantiene abierto al mismo porcentaje, como se muestra en el cuadro de color celeste.

Figura 46.

Comportamiento de PID de Nivel



Pruebas PID de temperatura

Se realiza un autoajuste del PID de temperaturas en tanque TP-30 y TP-31 y se observa el comportamiento de las señales al realizar un ajuste fino del PID, en la Figura 47 se puede observar de línea roja la salida de corriente del actuador, la línea negra el Set Point y la línea de color verde representa la señal del sensor que indica el comportamiento de proceso.

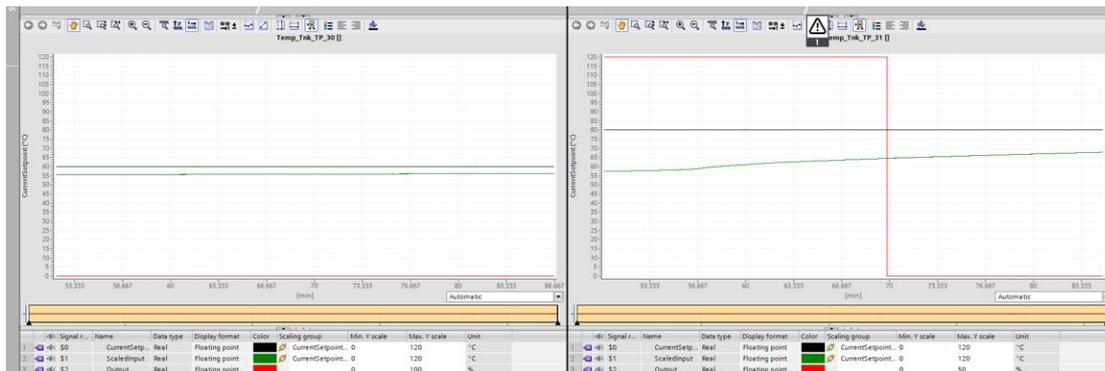
Se hace el mismo procedimiento para todos los controles de temperatura. Se ingresan temperaturas de trabajo según el producto a llenar. Temperaturas de Rodillos, bandejas y tanque de calentamiento.

Figura 47.

Pruebas del PID de temperatura

(a) Temperatura Tanque TP-30

(b) Temperatura Tanque TP-31



Pruebas de recolección de datos de producción del TVC

Pruebas de producción, se ve que la velocidad estándar con la que inicialmente trabajaban es inferior a lo que se produce con la automatización.

Figura 48.

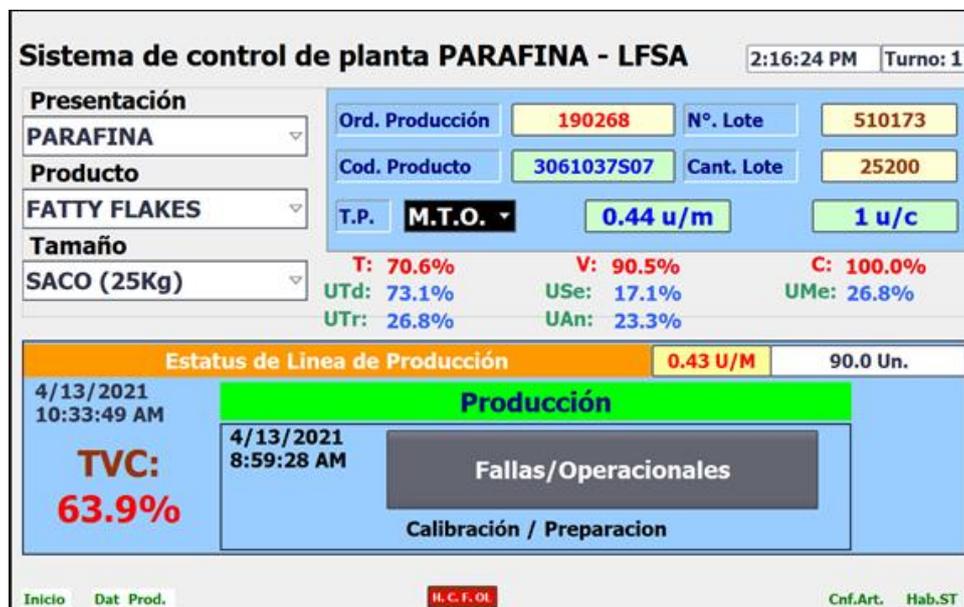
Pantalla Falta de Asignación de Personal



Se hace ajuste de la velocidad estándar obteniendo un dato más exacto demostrando que ha aumentado la producción de producto.

Figura 49.

Pantalla Producción de Parafina en Marcha



Análisis de resultados de la Producción antes y después de la automatización.

Una vez realizadas todas las pruebas y la puesta en marcha de la automatización del proceso, se procede a realizar un análisis de datos de producción, tiempos de fabricación y empaquetado, asignación de personal, calidad del producto y paros no programados en la planta para efectuar una comparación con los datos del proceso anteriores a la automatización. Los datos analizados se tomaron de los valores de producción promedio durante los 6 primeros meses a partir de todas las pruebas de funcionamiento, de la misma manera se tomó datos promedio de producción de los últimos tres años.

A continuación, se tiene en la Tabla 3 los valores y velocidades de producción de las 4 diferentes presentaciones. Antes de los trabajos de automatización, las producciones de 25000 kg se realizaban en 2.4 días adicional a esto se empleaba medio día para la limpieza de maquinaria, tuberías etc. Actualmente 25000 kg se realizan en 2 días, permitiendo terminar hasta 2 pedidos en

los días laborales y de esa manera se fue eliminando la necesidad de emplear las horas extras de fin de semana, así mismo se suprime el reproceso de producto dañado (por exceso de temperatura, control manual por el operador). El reproceso involucra envío de producto dañado a tanques, luego por medio de bombeo se envía a refinería donde se realiza el proceso de desodorización para el reingreso de producto a los tanques del área de llenado. Todo este proceso duraba aproximadamente 24h, además hay que tener en cuenta que se ahorra producto de empaque dañado por el producto en mal estado.

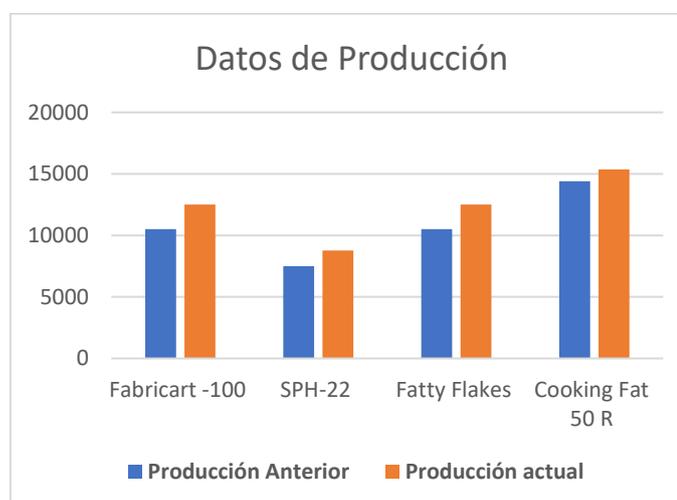
Tabla 3.

Comparación de producción antes y después de la automatización

Artículo	Contenido (Kg)	Velocidad de	Producción	Velocidad de	Producción
		Producción	diaria	Producción	diaria Actual
		Anterior	Anterior	Actual	(Kg/día)
		(Unidades)	(Kg/día)	(Unidades)	
Fabricart-100	25	437.5	10500	500	12500
SPH-22	25	312.5	7500	351	8775
Fatty Flakes	25	437.5	10500	500	12500
Cooking Fat 50 R	15	600	14400	1025	15375

Figura 50.

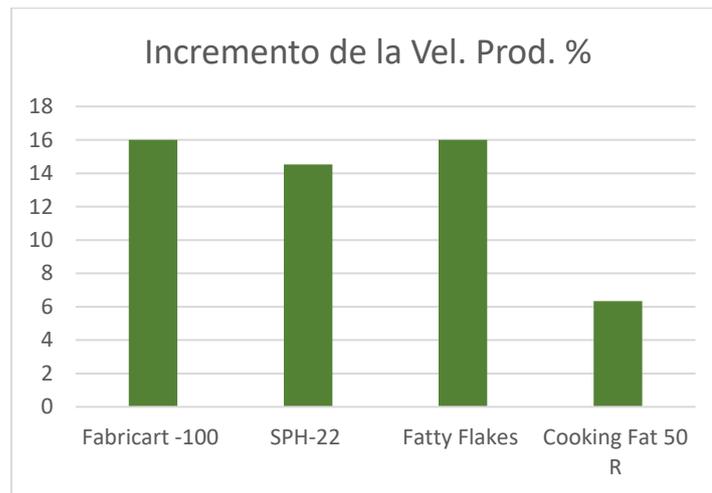
Datos de Producción



Como se puede observar en la Figura 50 y Figura 51, en las 4 presentaciones de las hojuelas vegetales existe un incremento en la velocidad de producción, alcanzando porcentajes de entre un 6,5% a un 16% respectivamente, lo que representa una mejora significativa.

Figura 51.

Porcentaje del incremento en la velocidad de producción

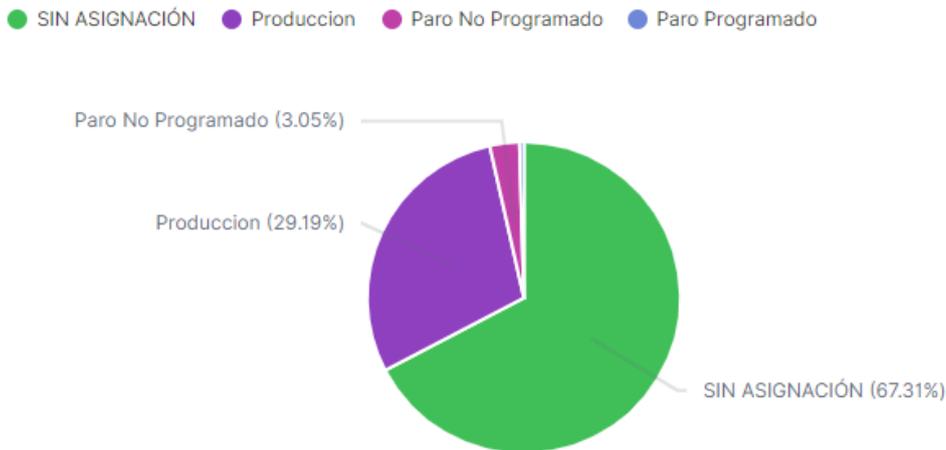


Al producir más en menores plazos, los equipos y servicios como motores, bombas, chiller, consumo de vapor tienen un menor tiempo de trabajo, lo que genera un ahorro de recursos para producción, de igual manera al reducir horas extras de fin de semana, reproceso de producto, tiempo de funcionamiento de las máquinas, el costo de producción de las hojuelas se reduce haciendo que la relación utilidad/rentabilidad sea mayor para la empresa. Otro aspecto que hay que tomar en cuenta es que se evitó la contratación ocasional de más personal que iba a cumplir con las funciones de verificación de temperaturas del proceso de forma periódica.

En la gráfica que se presenta a continuación se muestra el tiempo de uso de la planta en diferentes estados, se observa que el tiempo que la máquina no requiere de personal es del 67.31% a diferencia del proceso antes de la automatización que requería todo el tiempo de personal a diferentes turnos para alcanzar los valores de producción establecidos, dicho de otra manera el proceso requiere de menos recursos para efectuar más producción y de mejor calidad.

Figura 52.

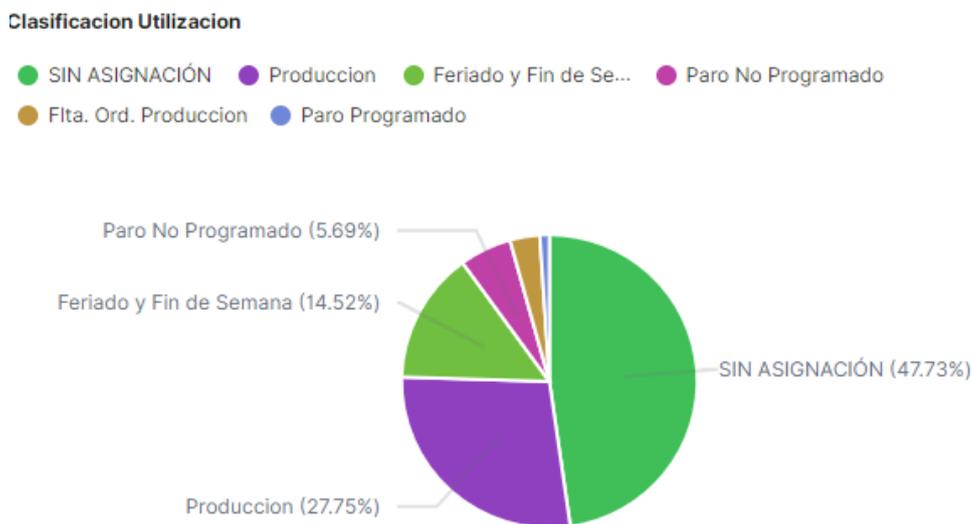
Clasificación de la Utilización de la Planta de Lunes a Viernes



A continuación, se presenta la gráfica de utilización y funcionamiento del proceso indicando los días no laborables, feriados y falta de órdenes de producción en casos que así se lo requiera la empresa.

Figura 53.

Porcentaje de Utilización de la Planta Incluyendo Fines de Semana



En la actualidad la calidad del producto, en base a mediciones de la empresa que contabiliza los rechazos de producto y las presentaciones mal empaquetadas, se puede verificar que en la muestra tomada no hubo rechazo de producto.

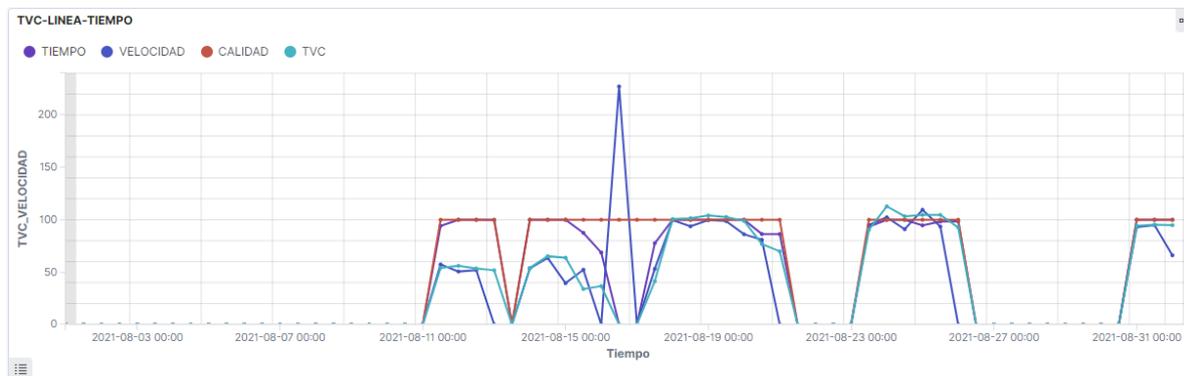
Figura 54.

Porcentajes de tiempo, velocidad y calidad



Figura 55.

Gráficos de Datos de la producción



Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se identificó el flujo de todo el proceso de elaboración de hojuelas de parafina y se determinó que la variable que más relevancia tiene es la temperatura de las diferentes presentaciones del producto necesaria para garantizar su calidad, por lo que se estableció que las temperaturas de elaboración para los diferentes productos son 60 °C para Fabricart-100, SPH-22 50 °C, Fatty Flakes 65 °C y Cooking Fat 50 R 60 °C.
- Mediante la elaboración de un inventario de los requerimientos de la planta para la automatización y tomando en cuenta las características y alcance del proyecto, para la comunicación y procesamiento, se adquieren todos los dispositivos de la marca Siemens como son PLC S7 1200 y S7 1500, HMI TP 1500 Comfort, el sistema de periféricos ET 200 SP y demás diferentes elementos de conexión compatibles que se encuentran en el stock de la empresa que mantienen el estándar y licencias disponibles, de igual forma para la selección y dimensionamiento de válvulas, sensores y otros dispositivos necesarios para el control se utilizan marcas y modelos ya adquiridos por la empresa y además se encuentran dentro del presupuesto asignado para el proyecto.
- Se diseñó e implementó varios algoritmos para automatizar la planta mediante controladores PID de nivel y temperatura que muestran rápidas respuestas ante perturbaciones con tiempos relativamente cortos para las proporciones de los tanques, así mismo los algoritmos de control reducen el tiempo de operación de los actuadores y demás sistemas eléctricos y neumáticos del proceso, disminuyendo los paros por mantenimiento y reparación.
- Las pantallas HMI que contiene todos los comandos y parámetros de funcionamiento de la planta de producción de hojuelas, tienen una configuración amigable con el operador y presentan colores y estándares propios de la empresa utilizados en todos los procesos dentro

de la misma, por lo que todo el diseño se socializó y coordinó con el personal de operación y producción.

- La implementación de la herramienta TVC permite la captura y transmisión de datos en tiempo real de la producción, velocidad de fabricación, diferentes eventos de fallos y alarmas, ya sean de parte del departamento de Mantenimiento u Operacional que se presentan durante toda la elaboración de las hojuelas, además esta herramienta permite establecer nuevos estándares de calidad en la producción para identificar mejoras al proceso y seguir aumentando la eficiencia productiva, asimismo el TVC posibilita ejecutar varios cálculos para la elaboración de reportes e informes de los coordinadores de planta.
- La automatización del proceso de producción de hojuelas de parafina, mejoró las condiciones de trabajo de los operadores ya que se reducen los turnos extra de trabajo en un 33%, además de los tiempos de producción se logró mejorar la velocidad productiva en un 16% y calidad del producto logró alcanzar estándares elevados con un porcentaje menor al 1% de rechazo de material, que basados en los reportes de producción de los primeros 7 meses muestra un incremento en la rentabilidad del proceso y se alcanzaría a recuperar la inversión del proyecto en un plazo menor a 2 años.

Recomendaciones

- Identificar todos los diagramas P&ID del proceso, previo a la selección y dimensionamiento de dispositivos con la finalidad de optimizar recursos y tiempo.
- Al momento de realizar el algoritmo de control de temperatura se debe tomar en cuenta las diferentes recetas de las presentaciones de hojuelas de parafina para garantizar la calidad del producto, programando un intercambio de datos según el producto seleccionado.
- El diseño de los HMI debe socializarse con los diferentes operadores de la planta para tomar en cuenta las sus sugerencias y de esta manera realizar interfaces más simples y amigables con el usuario.

- Realizar un chequeo de todas las líneas de alimentación de refinería existentes, ya que por sus años de uso pueden presentar fisuras o pequeñas grietas que pueden ocasionar problemas en la producción.

Bibliografía

- Acuña, F. (2018). *Fresado CNC*. Latacunga: ESPE.
- Alonso, N. (2013). *Redes de Comunicación Industrial*. Chicago: UNED.
- Bukert. (2018). *Manual de Instrucciones Válvulas Tipo 2000/2002*. Bukert.
- Festo. (2009). *Terminal CPX, Descripción del*. Esslingen: Festo SE.
- Industria, C. d. (2021). *Centro de Información Técnica para la Industria*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-ethernet-industrial/>
- InfoPLC. (2021). *InfoPLC*. Obtenido de <https://www.infopl.net/plus-plus/mercado/item/105282-ethernet-supera-buses-campo>
- Ionos. (15 de agosto de 2018). *www.ionos.es*. Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/#:~:text=Ethernet%20es%20una%20tecnolog%C3%ADa%20para,y%2Fo%20hardware%20entre%20s%C3%AD.&text=Conectados%20en%20una%20re>
- James Powell, H. V. (2009). Un recorrido por PROFIBUS. En H. V. James Powell, *Un recorrido por PROFIBUS*. Ontario: Siemens Milltronics Process.
- Jorge Cartagena, C. P. (2004). Diseño y construcción de un (PLC) Control Lógico. En C. P. Jorge Cartagena, *Diseño y construcción de un (PLC) Control Lógico*. San Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- Marcin Daniun, M. A. (2017). Implementation of PID autotuning procedure in PLC controller. *Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Production Engineering, Nowoursynowska, 1,2.*
- Moreno, M. (2015). Controlador Lógico Programable PLC. En M. Moreno, *Controlador Lógico Programable PLC*. Buenos Aires: Wilde.

Myake. (2020). *Indicador de Peso*. Lima.

Shneiderman, B. (1991). Touch Screens Now Offer Compelling Uses. *Interface*, 93-94.

Siemens. (2013). *SIMATIC S7-1500*. Nuremberg: Siemens AG.

Siemens. (2018). *Controlador programable S7-1200*. NÜRNBERG: Siemens AG.

Siemens. (2018). *TIA and ET 200SP – efficient interaction between all components*. Nürnberg:
Siemens AG.

Siemens. (2019). *SIMATIC HMI*. Nuremberg: Siemens AG.

Toledo, M. (2021). *Mettler Toledo Solutions*. Obtenido de
[https://www.mt.com/int/en/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/Terminals-and-
Controllers.html](https://www.mt.com/int/en/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/Terminals-and-Controllers.html)

Vázquez, G. (2013). *Técnicas y procesos en instalaciones domóticas y automáticas*. Madrid: Ediciones
Paraninfo, SA.

Anexos