

Diseño e implementación de sistemas automatizados para el proceso de producción de dulce de membrillo de la empresa Watt's

Juan carlos florez triana
Universidad Santo Tomás, Colombia
Email: juan.florez@essi.com.co

Resumen—En pleno siglo XXI la eficiencia de cualquier empresa dedicada a la transformación de materias primas, está ligada al coeficiente OEE (Overall Equipment Effectiveness o Efectividad total de los equipos). Este índice de eficiencia aumenta significativamente cuando la línea de producción es automatizada. En este trabajo se presenta el desarrollo desde el punto de vista eléctrico y de programación de PLC (Programmable Logic Controller o Controlador Lógico Programable) de un proyecto de automatización, el cual será dedicado para el envasado y posterior empaque de pulpa de Membrillo (Familia de la pera común). Este proyecto se da gracias al ofrecimiento de una solución por parte de ESSi (Empresa de Soluciones y Servicios de Innovación) a la problemática de eficiencia productiva que presenta la reconocida empresa chilena Watt's.

Keywords: Motion control- Rockwell, OEE, Studio 5000, Factory talk view, Accionamientos Neumáticos, Control PID..

I. INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se realiza la documentación del desarrollo del proyecto de automatización encargado de la transformación de pulpa de fruta de la empresa chilena watt's. Este proyecto se ejecutó bajo la calidad de equipos y técnicas de programación rockwell. La estructura se divide en 2 partes. La primera tiene que ver con la envasadora, esta máquina se encarga de recibir la materia prima en estado líquido con aproximadamente 85°C y realizar la posterior dosificación en cualquiera de sus 3 posibles presentaciones (250gr, 500gr y 1000 gr) con sus sellados y fechado correspondiente, esta máquina debe garantizar una eficiencia de 35 unidades por minuto. Esta envasadora se complementa con un final de línea que se divide en 2 partes, la primera se encarga de empaque las unidades recién envasadas que se encuentran aun en estado líquido, en canastillas plásticas para su posterior almacenamiento en cuartos fríos. Posteriormente y estando ya reposado el producto, pasa a la segunda línea de producción, la cual se encarga de empaque las unidades ya solidificadas en cajas de cartón con su adecuada etiqueta y respectivo sellado.

II. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

Debido a la poca eficiencia de la línea de producción en términos de cantidad de producto procesado y condiciones higiénicas necesarias para obtener un producto de alta calidad para su posterior exportación, se llega a la necesidad de implementar nuevas tecnologías que sean capaces de ofrecer

servicios que garanticen un mejor desempeño en las líneas de envasado y empaque del producto final; es por esto por lo que desde la empresa ESSi (Empresa de soluciones, servicios e innovación) se da a conocer una propuesta para implementarla en la línea de producción, con el fin de optimizar en gran medida el envasado y empaque del producto final. Al implementar esta solución se garantiza un envasado de hasta 35 unidades por minuto en cualquiera de sus 3 presentaciones de membrillo; además se garantiza de igual forma un empaque en cajas de cartón de alrededor de 4 cajas por minuto de 12 unidades del producto cada una, listas para su comercialización.

El proyecto se desarrolló haciendo uso de tecnología Rockwell, ya que esta marca ofrece gran robustez, alto nivel de desempeño, técnicas de control avanzadas y una poca complejidad al momento de la programación (studio 5000 V. 33 y Factory talk view V. 12). Por otro lado Rockwell cuenta con un gran portafolio de productos, facilitando la unificación de marca en todos los equipos a utilizar (Controladores lógico programables, variadores de frecuencia, servo controladores, sensores y protecciones).

III. MARCO DE REFERENCIA

III-A. Comprensión de la línea de producción

Antes de iniciar cualquier proyecto independiente del tema a tratar, se tiene que realizar una investigación acorde a las necesidades que presenta el cliente; en este caso se llegó a un consenso mutuo respecto a las soluciones a implementar en el proyecto Watt's.

Envasadora: La línea de producción produce 3 presentaciones de membrillo. Se desea un ciclaje de 35 unidades por minuto para la presentación de 250 y 500 gr. Y de aproximadamente 31 para la presentación de 1000gr. Esta máquina debe estar en la capacidad de realizar un fechado continuo en cada unidad envasada, y garantizar una calidad de bolsa de un 100 %. Tal y como maneja actualmente la fábrica de Watt's.

La envasadora que se plantea en la solución, se compone de un sistema de desarrollo y pre-desarrollo (Ejes rotativos encargados de desenvolver la megabobina de plástico), Cuenta

con un sistema de separación de moldes conformado por un par de ejes encargados del movimiento rotativo de 2 tornillos sin fin, un sistema de mordazas (sistemas neumáticos encargados de realizar el sello y corte respectivo en la bolsa con ayuda de calor). Cuenta con un sistema de 4 bandas transportadoras, encargadas del movimiento continuo de los moldes entrantes a la envasadora (el proceso de envasado se realiza dosificando el producto dentro de la bolsa mientras esta se encuentra insertada en un molde hecho a la medida de la presentación para esto se implementa un eje con actuador lineal).

Debe contar con la capacidad de realizar CIP (Cleaning in place o limpieza en sitio en español) por lo que se añade un nuevo eje capaz de mantener una presión ideal para desprender los residuos del producto que queden alojados en las tuberías de acero inoxidable. También debe contar con 2 ejes dedicados a la dosificación en los moldes y al transporte de la pulpa desde el recipiente de preparación del cliente hacia el tanque principal de almacenamiento ubicado en la parte superior de la envasadora (Tanque de balance). En las próximas secciones de este documento se realizará una explicación mas exhaustiva de todos los sistemas anteriormente mencionados.

Final de linea: Final de linea: El final de linea se divide en 2 partes: (Linea de empaque y linea de envasado).La linea de envasado es la encargada de recibir los moldes recién dosificados para posteriormente empacarlos en canastillas o cestillos plásticos. con un numero determinado dependiendo de la presentación.

Esta linea de envasado se conforma de 5 bandas transportadoras, un sistema de encajonado (Encajonador) que está conformado por un eje y un actuador lineal; este equipo se encarga de ordenar sistemáticamente los moldes que surte la envasadora, un sistema de desapilado de canastillas (Desapilador) el cual se alimenta con al rededor de 4 columnas de canastillas de alrededor de 5 unidades cada una para posteriormente desapilar de forma individual al sistema de encajonado; este sistema se conforma de un eje con la suficiente potencia para soportar el peso total de las columnas.

Por otro lado, la linea de empaque tiene como finalidad empacar las unidades de membrillo ya en estado sólido, en cajas de cartón (12 unidades por caja). La linea de empaque incluye una encartonadora, esta se encarga de armar y dar forma a cajas de cartón (se alimenta de cajas de cartón sin cinta y planas tal y como se observa en la figura 33).

Cuenta con 4 ejes para bandas transportadora y con un pick and place (Recoger y ubicar en español) con 2 grados de libertad, siendo necesario 2 ejes. En esta linea se incorpora un sistema de etiquetado para dar un registro sistemático de la producción.

Por otro lado como es de esperarse, los distintos accionamientos implementados en el proyecto son de

naturaleza neumática; se omitirá la contextualización detallada de estos en el desarrollo del documento, debido a que no es la finalidad del estudio.

III-B. Selección de instrumentación

Para la selección adecuada de instrumentos y equipos necesarios para el proyecto fue necesaria una investigación proactiva, teniendo las ventajas y desventajas de distintas marcas que actualmente rigen el mercado, tales como Rockwell, Siemens, Schneider, Ifm, Phoenix Contact, Honeywall, SMC, entre otros.

Los criterios de evaluación que se tuvieron presentes al momento de la selección fueron:

- Costo
- Asistencia técnica
- Documentación
- Practicidad

Evaluando la lista de marcas mencionada anteriormente, resaltaron 3 de estas: Siemens, Festo y Rockwell, Siendo Rockwell la más conveniente para la implementación de un porcentaje amplio de la instrumentación del proyecto; debido a este proveedor tiene la capacidad de ofrecer una amplia gama de productos que incluyen desde protecciones eléctricas, variadores de velocidad, Servomotores de alta precisión, PLC's de alta eficiencia, sensores de alta precisión y una gran documentación en su página oficial y por ultimo y no menos importante ESSI S.A.S cuenta con asistencia personalizada. Por otro lado si se evalúa el factor costo, esta marca representa un poco de desventaja respecto a las otras dos, pero resulta importante recalcar que la calidad de un equipo se refleja generalmente en su costo.

Por último, en lo que respecta a la selección de actuadores neumáticos y una solución adicional del proyecto la cual tuvo una implementación de 2 servo motores, se contó con la participación de la marca Festo. Esto se debe a la gran eficiencia en todos los productos de naturaleza neumática de su portafolio en comparación a los productos de referencia SMC.

A continuación en la tabla I se dará a conocer parte de la la instrumentación relacionada a los ejes mencionados anteriormente.

Tabla I: Listado de Drive's utilizados en el proyecto.

Clasificación- Drive's	Cantidad
Power flex 527- 25C-D1P4N104	13
Power flex 527- 25C-D2P3N104	3
Power flex 527- 25C-D4P0N104	1
Power flex 527- 25C-D017N104	2
Kinetix 5500 - 2198-H008-ERS	1
Kinetix 5500 - 2198-H015-ERS	4
CMMT-AS-C2-3A-EP-S1	2

En la tabla II se darán a conocer la clasificación de los motores y servo motores implementados.

Tabla II: Listado de motores y servo motores utilizados en el proyecto

Clasificación- Drive's	Cantidad
Motor de 1/2 Hp	13
Motor de 3/4 Hp	3
Motor de 2 Hp	1
Motor de 10 Hp	2
Servo Motor VPL-B0633T-PJ12AA	1
Servo Motor VPL-B0633T-PJ14AA	1
Servo Motor VPL-B0752E-C	1
Servo Motor VPL-B0633M-PJ12AA	1
Servo Motor VPL-A0753E-CJ14AA	1
Servo Motor EMMT-AS-60-S-LS-RSB	2

III-C. Arquitectura de comunicación

La arquitectura de comunicación en un proyecto de automatización es un factor influyente en la eficiencia del mismo. Existen distintas arquitecturas tales como anillo, estrella, Árbol, malla, Bus, doble anillo y mixta. Cabe recalcar que en este proyecto implementará protocolo Ethernet/Ip.

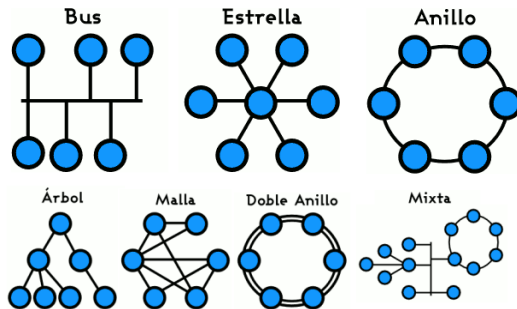


Figura 1: Topologías de comunicación.

■ Topología Anillo/Doble anillo:

La topología anillo o doble anillo tiene la particularidad de implementar redundancia de envío de paquetes de datos, ya que cada dispositivo interactúa como un repetidor siendo un receptor y emisor de información mediante 2 lazos de independientes, de tal modo que en caso de desconexión indeseada de algún lazo de la red, la información llegaría al dispositivo remitente directamente por el segundo lazo en funcionamiento. Esta topología tiene una posible desventaja, la cual es el eco de la información ya que podrían quedar paquetes de información vagando por la red sin ser recibidos adecuadamente.

- **Topología Árbol:** La topología tipo árbol se caracteriza difiere enormemente respecto a la topología anillo/doble anillo. En esta topología se contemplan distintos nodos de transmisión, Organizados de forma jerárquica; garantizando así un tráfico de datos menos saturada. Sin embargo esta topología es poco robusta debido a que si el tramo de red entre el dispositivo maestro y los nodos centralizados se interrumpe, la comunicación colapsaría

por toda la rama en cuestión.

- **Topología Bus:** Esta topología es una de las mas robustas, debido a que no existen jerarquías o repetidores intermedios entre emisor y receptor. En caso de que un dispositivo falle, no se afectaría el funcionamiento de la red en general. Las desventajas de esta topología es que queda sujeta a ecos de paquetes de información no entregados y que el costo de cableado es elevado, porque se tiene que realizar una conexión independiente entre dispositivo y el bus de campo principal.
- **Topología Estrella:** La topología tipo estrella contempla un nodo central quien tiene que ser capaz de transmitir todos los paquetes de información a todas sus ramas de red, e incluso al mismo dispositivo emisor. La principal desventaja recae en el hecho a la vulnerabilidad de la red ante ataques, además y la mas critica, el flujo de datos hacia el nodo central es elevado haciendo la red sea limitada en el numero de ramas.
- **Topología Malla:** La topología malla se relaciona enormemente con la topología anterior, ya que se sigue el mismo patrón de conexión pero con una gran diferencia, no existe como tal un nodo centralizado, si no por el contrario múltiples nodos pueden hacer el papel de nodo central e interconectar al mismo tiempo mas de una vez con cualquier otra rama. Esta topología es una de las mas robustas, por contar con múltiples ramas dirigidas a un solo nodo, y es de esperarse que el flujo de datos es bastante elevado.
- **Topología Mixta:** Esta topología implementa todas las topologías mencionadas anteriormente, su eso depende de la aplicación deseada. Resultan un poco costosas debido a que se hace necesario aplicar dispositivos capaces de interconectar varias topologías al mismo tiempo y garantizar una eficiencia en el tránsito de datos.

En este proyecto se implementó la topología en anillo, porque su costo es bajo y permite hacer redundancia entre los dispositivos a utilizar. Por otro lado, se puede afirmar que dicha topología es la mas viable ya que los variadores de Powe Flex 527 mencionados anteriormente ofrecen 2 puertos de conexión Ethernet/IP, facilitando aun mas el cableado y la programación sin la necesidad de añadir módulos extras de comunicación, como se pudiese presentado en el caso de haber implementado variadores Power Flex 525. Ahora bien en lo que respecta a las posibles fallas de la red, se puede garantizar una conexión adecuada en toda la red y en caso de caída de 2 ramas distintas de conexión, no existirían mayores consecuencias ya que por funcionamiento la máquina en cuestión desactivaría su funcionamiento, gracias a su tecnología, garantizando una parada inmediata de cualquier tipo de eje, bien sea motor o servo motor.

III-D. Arquitectura de programación

Implementación de norma ISA-88 - Colaboración Rockwell.

■ Norma ISA-88:

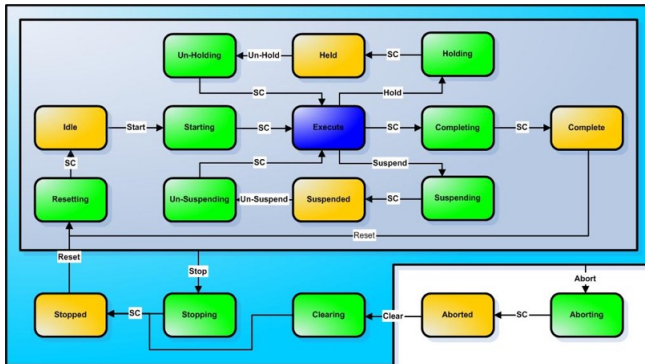


Figura 2: Estados Norma ISA-88.



Figura 3: Clasificación de Estados Norma ISA-88..

La norma de la ISA-88 es una estandarización global de la metodología de programación y/o implementación de módulos de programación. Creada en 1945 en pittsburgh establece una forma particular de programar proyectos de automatización. Su finalidad principal es garantizar una total transparencia de comunicación entre operario y máquina, haciendo uso de recursos gráficos bastante intuitivos. Por otro lado gracias a su estructura organizada permite que todo tipo de programador con la suficiente experiencia comprenda de forma rápida cualquier tipo de código ajeno a su autoría.

La norma ISA-88 establece una serie de jerarquías, (Maestro y esclavos), Unit Module y Equipment Module respectivamente. Esta clasificación de jerárquicas permite contar con una sola estructura de mando y múltiples subestructuras de ejecución. Por ejemplo, si un Unit Module genera la orden de iniciar la producción de una máquina, los respectivos Equipment Module ejecutan las rutinas sistematizadas que gestionan y/o garantizan las condiciones necesarias para que la máquina entre en la rutina de producción.

Ahora bien, teniendo clara la idea generalizada de esta norma, veremos mas a fondo como se ejecutan las decisiones. Además de contar con las jerarquías mencionadas; se incluyen 2 conceptos importante como lo son, el modo de ejecución de la máquina y el estado de la máquina. El modo de ejecución de la máquina hace referencia a la finalidad de funcionamiento de la

máquina. por ejemplo, si una máquina se encuentra en modo producción, su finalidad es funcionar con todas las condiciones que garanticen la elaboración del producto final. Si el modo de la máquina es modo manual, su finalidad es dar una disposición plena al operario de manipular y poner en funcionamiento de forma modular cualquier subsistema de la máquina. Además, si el modo es mantenimiento permite realizar modificaciones mas a fondo de los posibles parámetros de la máquina, para garantizar que la máquina entre en estado de ejecución controlada con el fin de verificar resultados de mantenimientos preventivos o predictivos. Por otro lado, los estados de ejecución hacen referencia a las condiciones que debe tomar la máquina al momento de realizar algún tipo de acción. Por ejemplo, si se desea que la máquina realice las condiciones necesarias para entrar en modo producción, esta primero debiera limpiar cualquier tipo de fallas y posteriormente inicializar los distintos accionamientos o comandos de control motion. El estado de la máquina se clasifica en 17 posibilidades tal y como se observa en la figura 2.

Tabla III: Acciones de estados de Norma ISA-88.

Estado	Manifestación de la máquina
Abortando	Deteniendo todo tipo de accionamientos por presencia de fallas de funcionamiento o parada de emergencia.
Abortado	Se encuentra en reposo y con fallas
Limpiando	Se limpian fallas en drive's
Deteniendo	Se encuentra deteniendo por detención consciente del operario.
Detenido	Se encuentra en reposo y sin fallas
Restableciendo	Se encuentra restableciendo condiciones ideales
Listo	Se restablecieron condiciones ideales.
Iniciando	Se inicia rutina para entrar a modo producción
Ejecutando	Se encuentra en pleno funcionamiento
Reteniendo Retenido Suspendiendo Suspendido	Se inicia una rutina con la cual se busca un funcionamiento por debajo del funcionamiento pleno de la máquina
Liberando Liberando suspensión	Se entra nuevamente al funcionamiento pleno de la máquina
Completando Completado	Se ejecuta una rutina cíclica de producción y no producción, que por lo general depende de algun evento en particular.

Complementando la teoría anterior, la norma manipula y/o controla las distintas interfaces hombre máquina. Como lo son las pantallas gráfica e indicadores lumínicos comúnmente llamados balizas, estas últimas bajo premisas bien contempladas como se puede observar en la tabla IV.

Tabla IV: Comportamiento de balizas con estados de Norma ISA-88.

Indicador	Sólido	Parpadeo 0.6 Hz 1:1	Parpadeo 2.1 Hz 1:1
Rojo	Detenido	Abortado	Abortando Deteniendo Limpiando
Amarillo	Retenido Completado	–	Reteniendo Completando
Azul	Modo Producción	Poco material de producción	Sin material de producción
Verde	Ejecutando	Listo Suspendido	Reestableciendo Liberando Iniciando Suspendiendo Des - suspensión
Alarma sonora	Comando audible	Comando audible	Comando audible

- **Software de elaboración de norma ISA-88:** En la elaboración inicial de los códigos de programación del proyecto, se implementa software especializado en la creación de plantillas de la norma ISA-88 tanto para lenguaje de PLC (Studio 5000 v. 33) como para interfaz gráfica (Factory Talk View v-12).

Application Code Manager, es una aplicación perteneciente a Rockwell Automation, con la cual se pueden generar plantillas de la norma ISA-88 y también ofrece la posibilidad de incluir librerías relacionadas a aplicaciones particulares, como por ejemplo librerías de control de temperatura, o posicionamiento de servomotores.

Mas adelante se tratarán mas a fondo la variedad de herramientas que ofrece esta aplicación.

- **Libreria raM_Opr_ISATR880002_2015:**

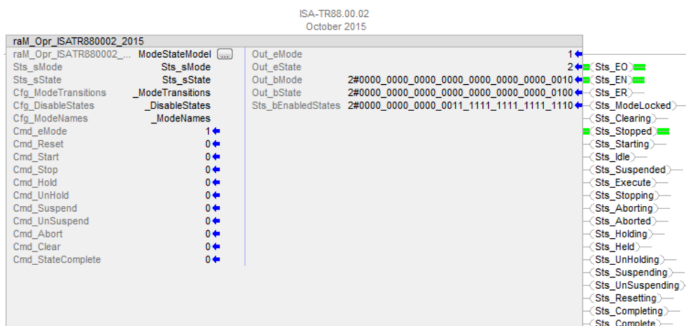


Figura 4: Libreria raM_Opr_ISATR880002_2015.

La librería de la figura anterior es la encargada de gestionar la ejecución de la norma ISA-88, se puede observar que cuenta con exactamente 17 estados, los mencionados en la tabla III.

Su funcionamiento es un poco complejo ya que continuamente este bloque debe realizar comparaciones entre todos los Equipment Module que le corresponden al Unit Module en cuestión. En la siguiente figura se observa un poco mas transparente el concepto de comparación que se mencionó.

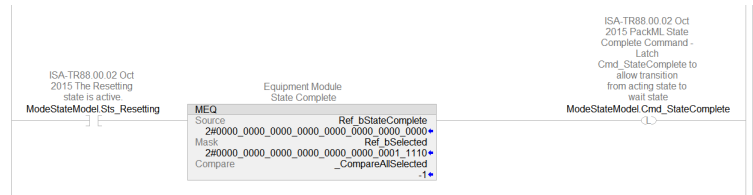


Figura 5: Libreria raM_Opr_ISATR880002.

En esta línea de código se observa que la norma realiza una máscara de comparación (bloque MEQ Mask Equal To) de las respectivas respuestas que obtiene de todos los Equipment Module; de modo que si la máquina se encuentra en estado de inicialización y se recibe un bit en “1” de todos los Equipment Module quiere decir que estos ya culminaron la rutina de inicialización y se puede proceder al siguiente estado; de otro modo se toma la decisión de abortar la máquina ya que no se garantizaron las condiciones ideales de arranque.

III-E. Librería de OEE

Overall Equipment Effectiveness o Efectividad total de los Equipos, es un coeficiente que plasma la eficiencia de una máquina y/o línea de producción; este coeficiente se calcula teniendo en cuenta los estados de la norma ISA-88 y algunos parámetros relacionados a la calidad del producto final.

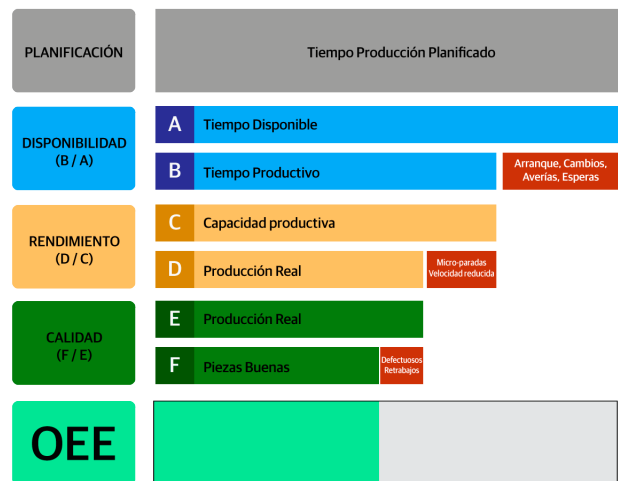


Figura 6: Factores de OEE.

Siendo el OEE como la multiplicación directa entre la disponibilidad, rendimiento y calidad de la producción. Ahora bien Rockwell automation facilita la librería RAPID_Interface_AOI con la que fácilmente se puede encontrar este importante coeficiente.

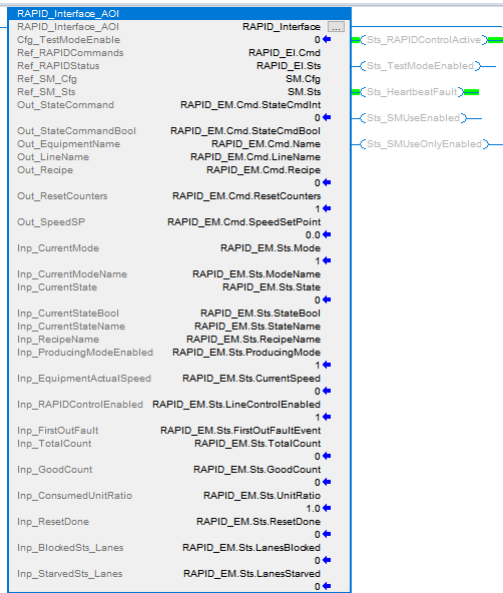


Figura 7: Librería RAPID_Interface_AOI.

III-F. Librerías de control de movimiento

Control Motion - Rockwell Automation.

Como se había mencionado anteriormente, en este proyecto se implementó tecnología rockwell, por lo cual se emplearon librerías de control de movimiento tanto para los servomotores controlados por el drive Kinetix 5500 como para los motores inductivos, controlados por el drive Power Flex 527, Por otro lado, y no menos importante, cabe resaltar que se usaron librerías que gestionan la norma ISA-88.

■ Librería Axis_VFD:

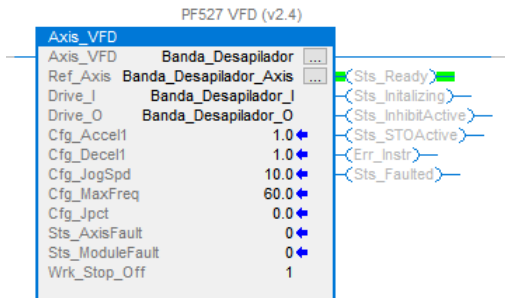


Figura 8: Librería PF527 VFD (V2.4).

La librería que se muestra en la figura anterior es la encargada de emular la programación de un variador

Power Flex 525 haciendo uso de un variador Power Flex 527. Tiene como entradas el eje virtual creado en Studio 5000 (que a su vez se conecta con el eje real) y como salidas las 2 estructuras de variables I/O del variador, permitiendo una programación sencilla del variador.

Estas 2 estructuras están conformada por las variables mas importantes que se tienen presentes en la programación mas sencilla de una banda transportadora. Como son por ejemplo las ordenes de Start, Stop, ClearFault, FreqCommand (Bit de arranque, parada, limpieza de fallas y valor deseado de frecuencia respectivamente) para la estructura de salida. y Faulted (variador en falla) para la estructura de entrada. Cabe recalcar que esta librería está totalmente creada con comandos puros de control de movimiento tales como MAJ, MSO, MAS entre otros.

Si no se quisiera utilizar esta librería para la programación de este variador, se tendría que usar comandos puros de control de movimiento.

■ Comando MSO:

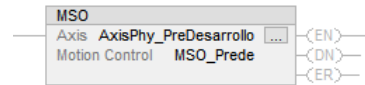


Figura 9: Comando MSO.

La instrucción MSO (Motion Axis On) permite encender un eje virtual que a su vez está conectado al eje real (instanciado en la configuración del variador) de tal modo que habilita el motor.

■ Comando MAS:

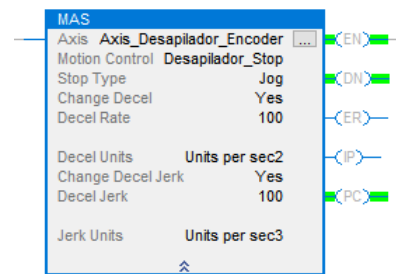


Figura 10: Comando MAS.

La instrucción MAS (Motion Axis Stop), detiene el eje en cuestión, con una desaceleración y una desaceleracion y un jerk determinado.

■ **Comando MAFR:**

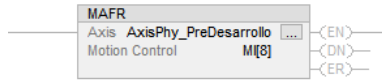


Figura 11: Comando MAFR.

La instrucción MAFR (Motion Axis Fault Reset) permite limpiar las fallas presentes en el variado, sin importar si estas fallas se clasifican como tipo eléctrica, sobre esfuerzos físicos, o errores de comandos de programación.

■ **Comando MAJ:**

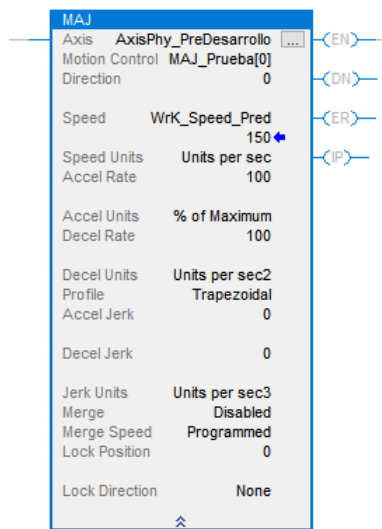


Figura 12: Comando MAJ.

Este comando permite poner en funcionamiento cualquier tipo de eje que cuente con un Drive que soporte Control Motion de rockwell. Como se puede apreciar en la figura anterior las entradas que recibe este comando son el eje virtual al que se le aplicará el comando, datos de aceleración, desaceleración, jerk, perfil de movimiento y dirección de movimiento.

Se pueden observar en promedio 4 salidas presentes en los comandos de movimientos, las cuales son EN, DN, ER, IP. Estos bits se usan para determinar el estado en el que se encuentre la ejecución del bloque; siendo EN el bit de Enable (Se establece en 1 cuando el bloque se encuentra energizado); el bit DN de Done (se establece en 1 cuando la instrucción se ejecutó correctamente), el bit ER de Error (Se establece en 1 cuando la ejecución de la instrucción se realizó con errores), el bit IP de In Process (Se establece en 1 cuando la instrucción se encuentra en pleno proceso de ejecución), y por

último el observamos el bit PC de Process complete(Se establece en 1 cuando la ejecución de la instrucción culminó satisfactoriamente).

■ **Librería de Kinetix 5500:**

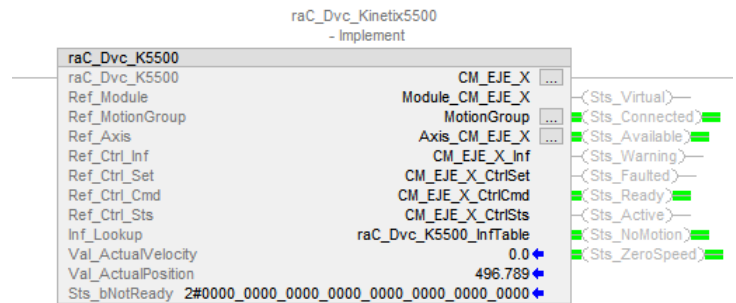


Figura 13: Librería raC_Dvc_K5500.

La librería raC_Dvc_K5500 está dedicada al control de los servo drive's de la referencia Kinetix 5500. Con esta librería se gestionan aspectos relacionados a los estados y comportamientos deseados en el servo motor, tanto desde la panel view o Interfaz Hombre máquina como desde código de Studio 5000.

Para su correcta puesta en marcha basta con crear las variables que el bloque solicita y lógicamente instanciando el eje que se quiera controlar en este ejemplo se trataría del eje nombrado como Module_CM_EJE_X.

A continuación se observa el faceplate (Interfaz gráfica) de la librería. Se puede observar que de forma manual se puede encender el eje y ponerlo en movimiento; sin ningún tipo de complejidad, algo bastante práctico al momento de calibrar las posiciones del Pick and Place ya que esta se debe realizar con movimiento sutiles y bastante controlados.

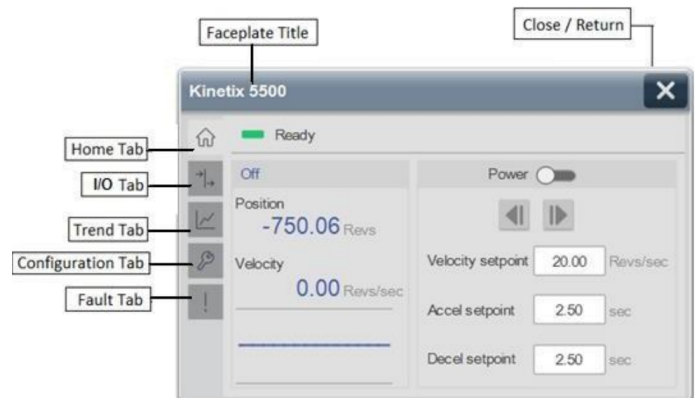


Figura 14: Librería raC_Dvc_K5500..

■ **Librería de Kinetix 5500 - Home por sensor:**

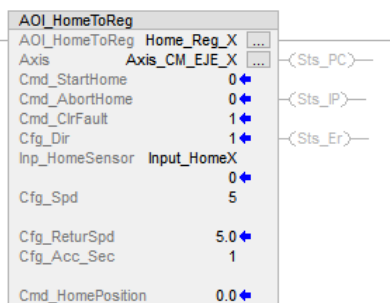


Figura 15: Librería AOI_HomeToReg.

La librería AOI_HomeToReg se encarga de referenciar el eje que se instancia en su parámetro Axis por medio de un sensor magnético (el eje se pone funcionamiento en busca del sensor Home o punto cero). Su funcionamiento es sencillo, ejecuta el comando MAJ que se mencionó anteriormente, con una dirección definida en el parámetro Cmd_Dir y una velocidad y aceleración definidas en los parámetros Cfg_Spd y Cfg_Acc_Sec respectivamente. Justo después de haber encontrado el sensor de Home (El sensor fuerza el bit de Input_HomeX al detectar un imán incrustado en el actuador del eje) el eje se detiene y añade un Offset (una pequeña distancia respecto al sensor) dicha distancia se halla moviendo el eje en sentido contrario al sensor. Posteriormente se ejecuta el comando de MAH para tener una referencia de posición igual a cero y se culmina la tarea de Home.

■ **Librería de Kinetix 5500 - Home por torque:**

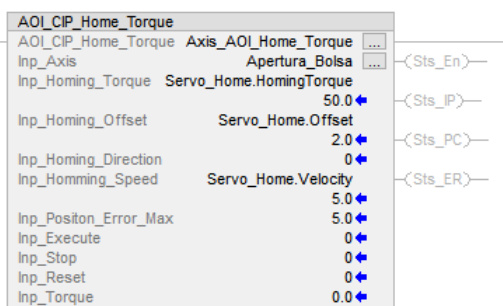


Figura 16: Librería AOI_CIP_Home_Torque.

La librería AOI_CIP_Home_Torque realiza la misma función que la librería anterior, pero a diferencia de esta es que no utiliza un sensor o alguna señal externa como referencia de parada.

El funcionamiento es similar, el eje realiza un movimiento lento definiendo la velocidad según el

parámetro Inp_Homming_Speed, en una dirección definida por el parámetro Inp_Homming_Direction. Justo cuando el eje note un aumento significativo en el valor de su torque (mayor o igual al parámetro definido por Inp_Homming_Torque), este se detendrá y aplicará un movimiento con la misma velocidad inicial tanto como el parámetro Inp_Homming_Offset lo determine.

Por ultimo cabe recalcar que las instrucciones de Inp_Execute, Inp_Stop e Inp_Reset son bits utilizados para Ejecutar el bloque, detener la búsqueda de Home y limpiar las fallas del bloque respectivamente. Por último, el parámetro Inp_Torque muestra el torque el eje se encuentra aplicando.

■ **Librería de Kinetix 5500 - MACM:**

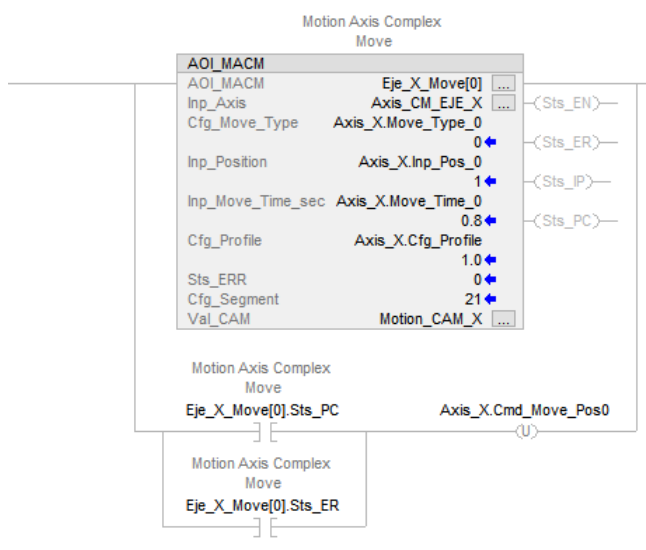


Figura 17: Librería AOI_MACM.

La librería MACM (Motion Axis Complex Move) es la encargada del correcto funcionamiento de los servo motores de los sistemas de Pick and place y encajonador.

El parámetro Inp_Position es la posición en la que se desee posicionar el eje en cuestión; Además el parámetro Inp_Move_Time_Sec hace referencia al tiempo en el que se requiere el movimiento; debe tenerse en cuenta que si ese tiempo es muy pequeño, la ejecución será limitada ya que se la velocidad del servomotor es inversamente proporcional a este tiempo. Se observa que el bloque hace uso de un perfil de movimiento definido en el parámetro Val_CAM, este se puede observar a continuación.

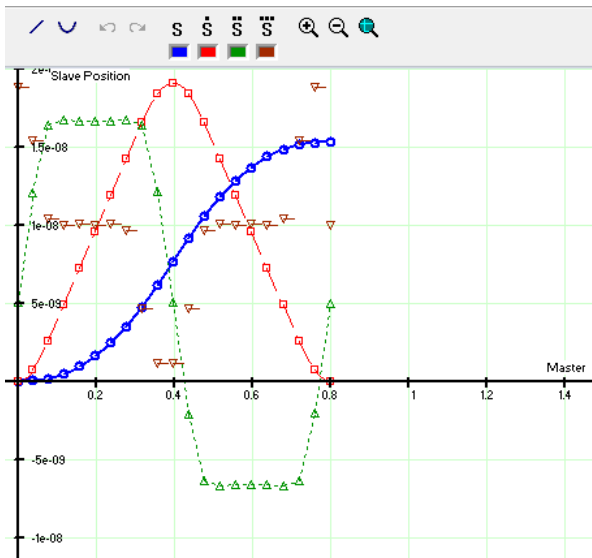


Figura 18: Perfil de movimiento librería MAC.

Este perfil de movimiento es básicamente una función de posición, velocidad, aceleración y jerk en términos de la posición de un eje maestro (virtual), quien controla a los ejes reales.

Control de movimiento - FESTO.

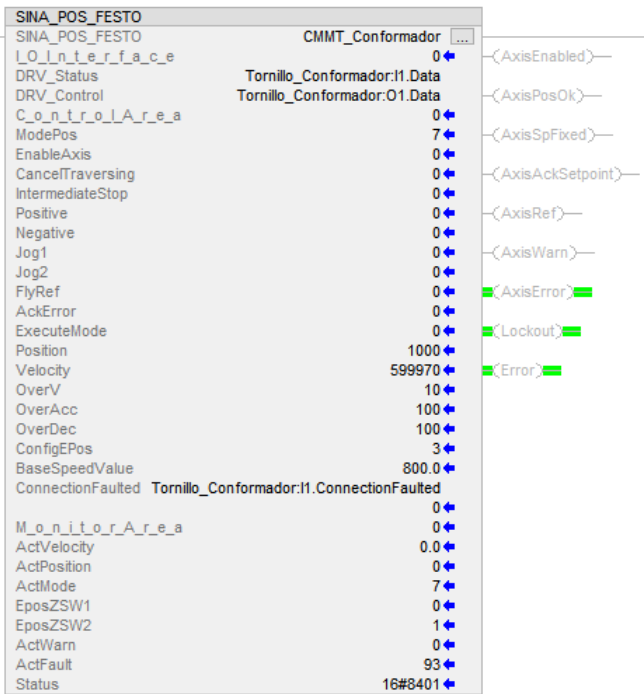


Figura 19: Librería SINA_POS_FESTO.

En la arquitectura de la envasadora se implementaron 2 servo motores de marca Festo como ya se había mencionado anteriormente; para esto se hace necesaria la comunicación entre el drive Festo y el PLC de referencia Rockwell, esta

comunicación se logra gracias a este bloque de programación debido a la no compatibilidad de ambos equipos. Este bloque genera 2 estructuras de datos tipo INT de 12 bits (una estructura de entrada y otra de salida).

Este bloque permite manejar el servo motor con distintos tipos de funcionamiento, como búsqueda de referencia por comando o por configuración, movimientos con posiciones relativas o absolutas y por ultimo movimiento tipo jog.

Previamente a la programación de estos equipos, se debe realizar una configuración adecuada del drive en el software Festo Automation Suite, se tratará mas a fondo en la muestra de resultados.

III-G. Librería de control de temperatura

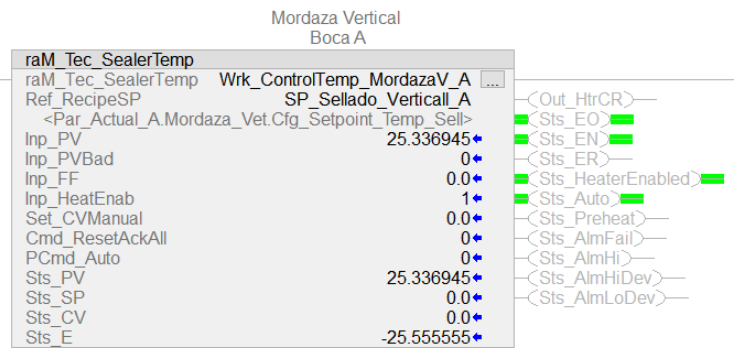


Figura 20: Librería raM_Tec_SealerTemp.

Esta librería se encarga de ejecutar un control PID capaz de garantizar una determinada temperatura en las mordazas de la envasadora. Este control es de lazo cerrado, donde se cuenta con una RTD-PT100 como realimentación y un relé de estado sólido como actuador, el cual se encarga de alimentar una resistencia de 120 Ohm con 220 Vac. Como se observa en la figura 21.

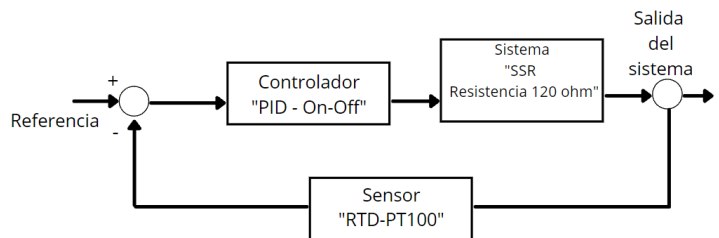


Figura 21: Lazo cerrado de control de temperatura.

La sintonización del controlador PID se realiza implementando el método de Ziegler-Nichols. Este consiste en graficar la respuesta al escalón del sistema para obtener una función de transferencia bastante aproximada, se omitirá

la teoría relacionada a este método debido a que no es la finalidad del estudio.

En la figura 22 se observa un ejemplo de la respuesta al escalón de un sistema de mordaza, teniendo la curva S que caracteriza el sistema, se calculan algunos parámetros de dicha curva, como por ejemplo, el tiempo muerto del sistema, la pendiente de la recta que la curva presenta en su transición, máximo sobrepico entre otros.

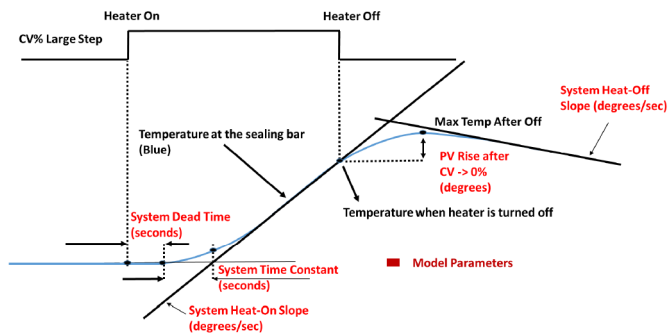


Figura 22: Respuesta al escalón de sistema mordazas “Curva S”.

Posterior al cálculo de estos parámetros, se deben introducir manualmente en la interfaz presente en la panel view tal y como se observa en la figura 23.

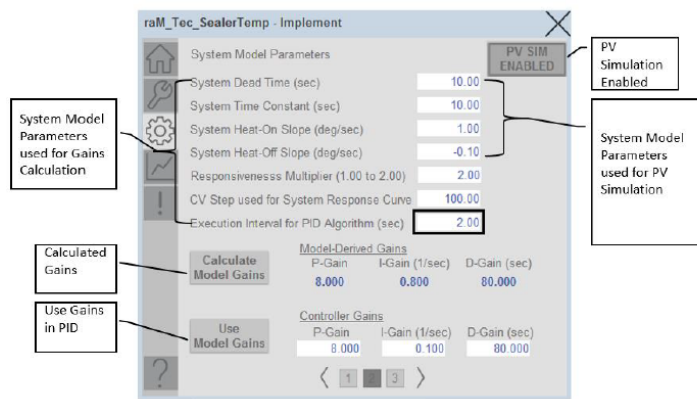


Figura 23: Interfaz de librería raM_Tec_SealerTemp.

La librería de la figura 20 calcula de forma automática el modelo según los parámetros introducidos en ella. Teniendo ya sintonizado el sistema, el controlador PID manipula el ciclo útil del voltaje RMS que alimenta a la resistencia de calentamiento, garantizando un control de temperatura pleno bajo una referencia en particular.

III-H. Programación y/o configuración de equipos de terceros

■ Traza eléctrica de calentamiento Raychen 4010i:

Una traza de calentamiento es básicamente un sistema conformado por una resistencia eléctrica (de un tamaño

considerable) controlada por un PLC. Es comúnmente utilizado en tuberías que se encuentran bajo temperaturas extremadamente bajas; de tal modo que se hace necesario calentar el chasis metálico para garantizar así que el fluido no alcance su punto de congelamiento.

Las condiciones de temperatura en Santiago de Chile son considerables, ya que se tienen registros de temperaturas por debajo de los 0 °C. Es por esto que es de suma importancia garantizar que el tanque de balance de la envasadora se encontrará bajo unas condiciones óptimas de temperatura, evitando que el producto adquiera cualquier tipo de grumo o en su defecto alcance su punto de congelamiento.

El sistema de traza se enrolla en forma de espiral al rededor del tanque y posteriormente se encapsula en una chaquetilla metálica con un recubrimiento capaz de mantener una temperatura constante, independientemente de la temperatura exterior al tanque. Este sistema se controla mediante control On/Off (con uso de contactor) con un PLC marca Raychen.



Figura 24: PLC nVent RAYCHEM Elexant 4010i.



Figura 25: Módulo de comunicación Modbus 5069-Serial.

El PLC de la figura 24 cuenta con el protocolo de comunicación Modbus RTU, de modo que se hace necesario implementar un módulo de comunicación para interconectar este sistema figura 25, con el PLC Rockwell Compact Logix L320 ERM que controla la

envasadora, este módulo es de referencia 5069-Serial.

■ **Etiquetadora y fechador DOMINO:**



Figura 26: Etiquetadora Domino Serie M230i.



Figura 27: Fechador Domino V20i.

Estos dos equipos son los encargados en etiquetar y fechar el producto resultante de la línea de producción. El fechador se implementa en la envasadora, este imprime datos relacionados con el lote, fecha de fabricación y/o fecha de vencimiento del producto; sobre el plástico del producto que se esté envasando. Esta impresión se realiza por transferencia térmica. Por otro lado la etiquetadora aplica la impresión con la misma técnica pero esta vez no sobre la superficie del producto sino en una etiqueta adherente, y con asistencia neumática la adhiere a la caja de 12 unidades del producto ya solidificado.

Ambos equipos deben ser configurados y adaptados al proceso en cuestión. Estos equipos se comunican con señales digitales hacia un controlador maestro, con el uso de estas señales se tienen la posibilidad de conocer el estado de cada equipo, y a su vez se pueden forzar a detenerse o iniciar su correcto funcionamiento.



Figura 28: Selladora vertical.

Este equipo se encarga de realizar el sellado horizontal superior, justo a la salida de la envasadora (parte izquierda de la figura 41). Su sellado es continuo, está conformada por una banda de teflón a una temperatura aproximadamente de 170 °C

y un juego de rodillos que garantizan una presión ideal, con la finalidad de crear un sellado hermético. No existe ningún control desde el PLC maestro hacia este equipo, debido a que todos sus sistemas son analógicos.



Figura 29: Encartonadora GPK-30H15.

Este equipo es el encargado de armar cajas de cartón con su respectivo encintado inferior; este modelo cuenta con un PLC marca Siemens 1200 Smart. Y una pantalla HMI Siemens de 7 pulgadas. El funcionamiento del equipo es totalmente independiente a la línea de producción, y no es posible la edición del código fuente.

■ **Encintadora:**

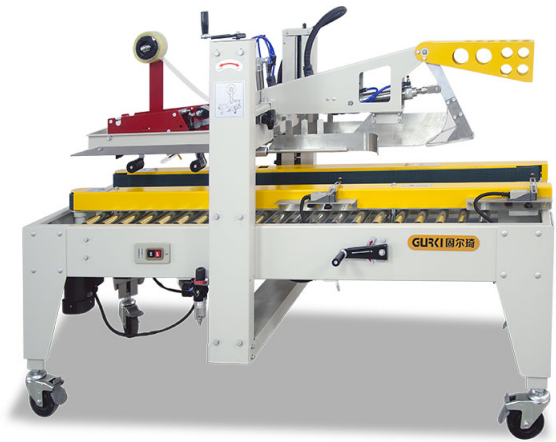


Figura 30: Encintadora GPC-30L .

Este equipo se encarga de cerrar la caja resultante del final de línea de la zona de empaque, cada caja cuenta con 12 unidades del producto para las tres presentaciones. Su funcionamiento es totalmente analógico con ayuda de finales de carrera y actuadores neumáticos.

III-I. *Conexiones Eléctricas*

Conexión Kinetix 5500.

■ **Conexión trifásica - 380 Vac:**

N° de cat. de variador (STO cableada)	N° de cat. de variador (STO conectada en red)	Tamaño de estructura	Voltaje de entrada	Salida de potencia en régimen permanente kW	Corriente de salida en régimen permanente A 0-pico
2198-H003-ERS	2198-H003-ERS2	1	195...264 V valor eficaz, monofásico 195...264 V valor eficaz, trifásico 324...528 V valor eficaz, trifásico	0.2 kW	1.4
2198-H008-ERS	2198-H008-ERS2			0.3 kW	
				0.6 kW	
2198-H015-ERS	2198-H015-ERS2	2	195...264 V valor eficaz, trifásico 324...528 V valor eficaz, trifásico	0.5 kW	3.5
2198-H025-ERS	2198-H025-ERS2			0.8 kW	
				1.6 kW	
2198-H040-ERS	2198-H040-ERS2	3	195...264 V valor eficaz, trifásico 324...528 V valor eficaz, trifásico	1.0 kW	7.1
2198-H070-ERS	2198-H070-ERS2			1.5 kW	
				3.2 kW	
2198-H040-ERS	2198-H040-ERS2	2	195...264 V valor eficaz, trifásico 324...528 V valor eficaz, trifásico	2.4 kW	11.3
2198-H025-ERS	2198-H025-ERS2			5.1 kW	
2198-H040-ERS	2198-H040-ERS2	3	195...264 V valor eficaz, trifásico 324...528 V valor eficaz, trifásico	4.0 kW	18.4
2198-H070-ERS	2198-H070-ERS2			8.3 kW	
2198-H070-ERS	2198-H070-ERS2	3		7.0 kW	32.5
				14.6 kW	

Figura 31: Tabla catálogos de variadores Kinetix 5500.

Existe una gran variedad de drive's (controladores en español) de la referencia Kinetix 5500. estos controladores son especialmente diseñados para una gran variedad de servo motores, que en el caso de las aplicaciones de este proyecto son en su totalidad servo

motores de referencia VPL (Permanent magnet - Low Inertia) los cuales se clasifican dependiendo de las Rpm de funcionamiento, tamaño de acople, alimentación eléctrica, resolución de su encoder, funcionamiento con o sin freno, entre otras características primordiales únicas para cada aplicación. Teniendo clara la clasificación y selección de los servo motores, se tiene que proceder a la selección del drive, que generalmente se selecciona dependiendo de la potencia del servo motor, por ejemplo, en el caso del Kinetix 5500 referencia H015 se seleccionaría si la potencia del servo motor es de al rededor de 3.2 Kw o 4.2 Hp, en el caso de la referencia H08 se selecciona en el caso en el que la potencia sea de al rededor de 1.6 Kw o 2.1 HP tal y como se puede apreciar en la figura 31. Por otro lado se observan las distintas posibilidades de conexión de los variadores Kinetix 5500, en el caso de la esta aplicación se cuenta con una alimentación eléctrica trifásica de 380 Vac a 50Hz, de modo que es posible conectar dicho variadores en la forma trifásica, ofreciendo así su máxima capacidad de potencia que en el caso de la referencia 2198-H015-ERS es de 3.2 kW.

En la mayoría de los casos en los que se implementan servo controladores se hace necesaria una corrección de la alimentación del controlador, esta no es obligatoria pero casi siempre es indispensable, debido a que la alimentación de entrada puede presentar fluctuaciones o ruidos indeseados provenientes de otros procesos que dependen de la misma red de alimentación, produciendo movimientos imprecisos y/o vibraciones bastante evidentes en el servo motor. Es por esto que todos los servo controladores son alimentados por un filtro de la referencia 20SD2198-DB08-F tal y como se muestra en la figura 32.

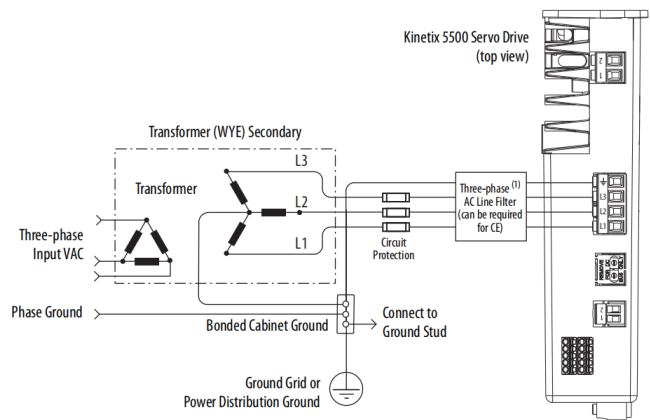


Figura 32: Alimentación trifásica-380 Vac de Kinetix 5500.

El filtro de alimentación del servo drive juega un papel importante en el funcionamiento pleno del servo motor, debido a que si este filtro no logra aportar la potencia

adecuada, el servo motor podría funcionar con fallas relacionadas a la alimentación, una falla bastante común es la de velocidad excesiva o picos altos de corriente. La primera se presenta cuando se aplica un perfil de movimiento con una aceleración elevada (dentro del rango optimo del servo motor) este eje pedirá una corriente instantánea alta, si esta corriente no puede ser ofrecida por el drive, el drive interpreta esto como una velocidad excesiva cuando realmente está relacionada de forma directa con la fuente de alimentación.

■ **Conexión monofásica - 220 [Vac]:**

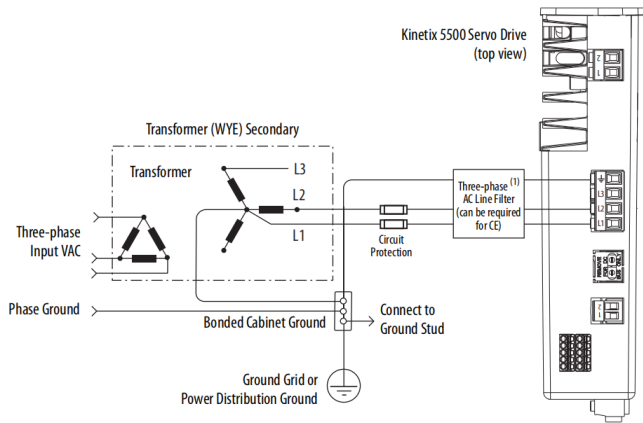


Figura 33: Alimentación monofásica-220 Vac de Kinetix 5500.

El kinetix 5500 permite una alimentación monofásica, pero como es de esperarse la potencia que puede ofrecer se reduce en gran medida. En una aplicación en la que se requiera esta conexión puede aplicarse. Por ejemplo cuando se cuenta con un servo motor que se alimente a 220 Vac o algo similar, este tipo de conexión sería de gran ayuda.

Conexión de control.

■ **Conexión de salidas digitales:**

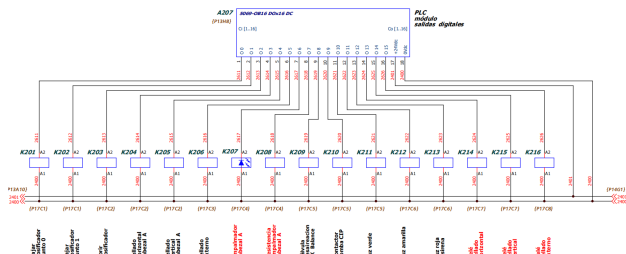


Figura 34: Relés de interfaz.

Con el fin de proteger eléctricamente los sistemas de control respecto a los sistemas de potencia, se

implementan relés de interfaz, los cuales aíslan las señales de control y las señales de potencia. En el caso de la figura anterior se observa que cada relé controla una salida en específico, permitiendo la protección plena del controlador.

■ **Conexión de entradas analógicas**

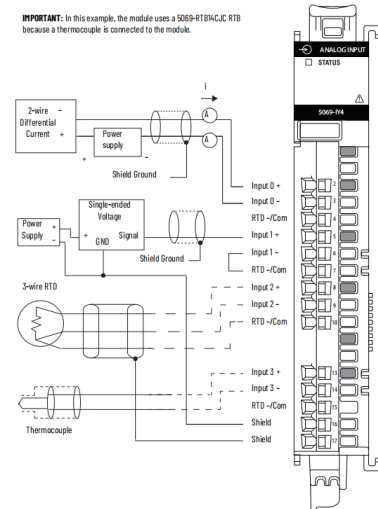


Figura 35: Conexiones módulo analógico 5069-IY4.

En este proyecto se implementan dos módulos de entradas de señales analógicas de la referencia mencionada, este módulo permite utilizar distintos tipos de sensores tanto RTD como termocuplas y/o sensores de 2 hilos con señales de 4-20 mA, 0-5 V, 0-10V.

Cuando se quiere utilizar este módulo solo para lectura de RTD, se hace necesaria la implementación de bornas de referencia 5069-RTB14CJC-SPRING las cuales cuentan con termistores embebidos los cuales permiten una corrección de la variable medida, ahora bien si se desea utilizar distintas naturalezas de señales tal y como se muestra en la figura anterior, se hace necesaria la instalación de bornas de referencia 5069-RTB18-SPRING las cuales no tienen termistores embebidos, es por esto que en algunos casos se hace casi obligatoria la implementación de un termistor externo si se desea medir temperaturas, en este caso un termistor de referencia NTC10K resulta suficiente.

- **Conexión de relés de estado sólido**

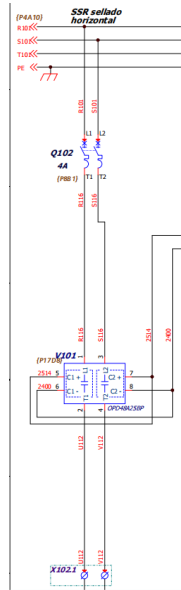


Figura 36: Conexión SSR - OPD48A25BP.

El control PID de temperatura de las mordazas encargadas del respectivo sellado de la bolsa (sistema de envasadora), se aplica mediante un SSR y una salida digital proveniente del PLC tal y como se mencionó anteriormente. Resulta de gran importancia la seguridad magneto-térmica ya que estas resistencias ofrecen una posibilidad latente de corto circuito (a pesar de la gran calidad de la resistencia, estas tienen una vida útil, cuando esta se termina; el filamento resistivo se funde creando un camino cerrado con una resistencia nula, elevando enormemente la corriente de paso).

III-J. Estándares de seguridad

Este proyecto se realizó teniendo presente varios escenarios de posibles daños físicos hacia el operario o colaboradores que manipulen la línea de producción.

- **Seguridad de envasadora:**

La envasadora presenta como toda máquina de la industria, fuentes de riesgos eléctricos, mecánicos, de altas temperaturas y riesgos químicos. Por estos motivos es que desde la programación se tuvieron en cuenta aspectos de seguridad bastante avanzados, como por ejemplo filtros de seguridad con la implementación de sensores de nivel (en el caso del tanque de almacenamiento principal), técnicas de control de nivel en el caso del funcionamiento de las bombas del CIP (debido a la presencia de sustancias químicas corrosivas), sensores inductivos en las puerta frontales de la máquina (para detener la envasadora en caso de apertura en plena producción) y por ultimo el control PID en para las mordazas de los respectivos sellados.

Por parte del diseño de la estructura de la máquina, se garantiza una estructura de los tanques con altos estándares de soldadura (en el caso de los tanques de ácido y soda cáustica pertenecientes al CIP) y guardas de seguridad en cualquier pieza en movimiento, para evitar atrapamientos peligrosos para el operario (como lo son los tornillos sin fin ubicados en la parte frontal de la máquina, zona de color azul de la figura 37).

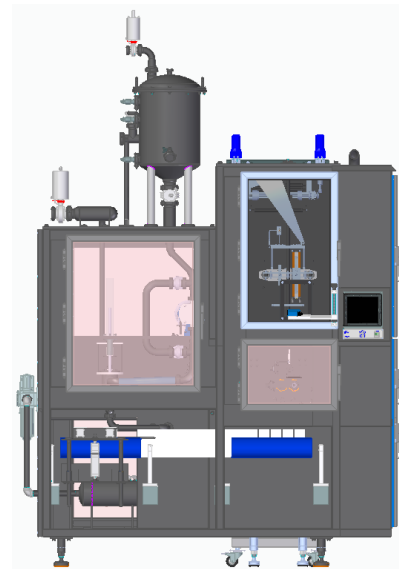


Figura 37: Vista frontal envasadora versión 1.

Por parte del diseño del tablero, se garantizaron unas correctas puestas a tierra, correctos aislamientos de la potencia del tablero y redundancia en los botones tipo hongo de paros de emergencia (agilizando el proceso de paradas de emergencia en caso de algún suceso imprevisto), instalando 2 de estos uno en la parte frontal y posterior de la máquina. El correcto marquillaje del tablero también juega un papel importante en la seguridad del personal a cargo del mantenimiento a futuro, ya que teniendo a la mano los planos eléctricos, encontrarán de una forma precisa cualquier tipo de conexión sin quedar sujetos a una búsqueda exhaustiva e imprecisa de algún tipo de cable bien sea de control o potencia.

- **Seguridad de final de línea:** En el final de línea de este proyecto se tuvieron en cuenta paros de emergencia descentralizados a lo largo de todos los subsistemas que lo conforman, por ejemplo en los subsistemas tales como Pick and Place, Encajonador y desapilador. Por otro lado se añadieron guardas de seguridad en accionamientos que presentaran altos riesgos de atrapamientos o altos impactos mecánicos.

IV. RESULTADOS

IV-A. Envasadora

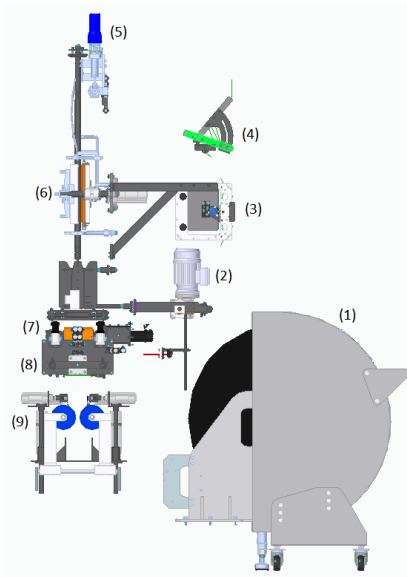


Figura 38: Vista lateral derecha envasadora.

La envasadora está dividida en 2 zonas (conformado de bolsa y dosificado) en el conformado de bolsa se realizan las tareas necesarias para generar las bolsas selladas con un respectivo sellado y tamaño adecuado y en la zona de dosificado se realiza la debida dosificación del producto con el uso de una bomba lobular.

■ Conformador:

El sistema conformador está compuesto por un sistema de pre-desarrollo (2), desarrollo (7) y mordazas (6 - 8). La bobina de plástico de un peso de 25 a 120 Kg (1) se desembobina gracias a la acción del motor del pre-desarrollo, la película desembobinada recorre el trayecto hacia la parte frontal de la envasadora por acción del desarrollo, en este trayecto se encuentra ubicado el fechador (3) y posteriormente un sistema de rodillos llamado balancín (4).

El sistema balancín es de gran importancia para el sistema conformador ya que este debe estar en completa sincronía con la acción del desarrollo, proveyendo plástico suficiente con la ayuda del motor del pre-desarrollo. La posición ideal del balancín (zona de color verde de (4)) es el centro de la pieza (4) si esto no se cumple, el conformador funcionará incorrectamente bien sea por escasos de plástico (balancín arriba) o por exceso de plástico (balancín abajo).

El sistema de desarrollo hala el plástico en la parte frontal de la envasadora, este implementa un servo motor gobernado por una leva virtual manipulado por un eje virtual que gira cíclicamente des 0 hasta 360 grados a

una velocidad definida por el ciclaje de funcionamiento de la máquina. En la siguiente figura se observa el comportamiento que debe realizar el eje físico respecto al virtual.

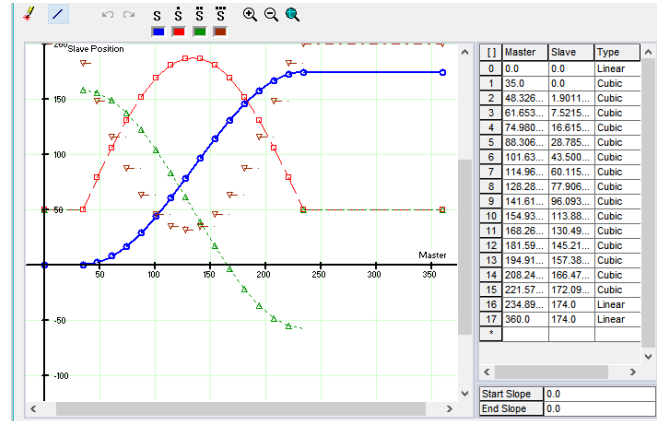


Figura 39: Perfil de movimiento sistema desarrollo.

Siendo la posición, la velocidad, la aceleración, el jerk. En la figura se aprecia que el eje real debe realizar un movimiento sutil de velocidad y aceleración entre cada ciclo de 0 a 360° del eje virtual. Con esta se garantiza que las bolsas resultantes cuenten con un tamaño unificado. Ahora bien la bolsa cuenta con una caratula con una descripción gráfica de presentación del producto que comúnmente es llamada arte, este arte debe ser alineado respecto al corte de la cuchilla para garantizar que todas las bolsas se creen correctamente, para esto se tiene en cuenta una referencia gráfica que se encuentra impresa en el plástico llamada taca.

Esta taca es leída cíclicamente con la ayuda de un sensor fotoeléctrico y su señal es dirigida directamente al drive del desarrollo (para tener una respuesta rápida). Este bit de taca es utilizado para generar un registro de posición del servo, con el fin de poder realizar una corrección de longitud y posición del arte en un rango definido.

Funciona de la siguiente manera, este registro mantiene la posición del servo justo cuando se lee la taca del plástico, posterior a esto se calcula un ajuste dentro de un rango considerable de al rededor de ± 5 mm y se envía la orden al eje real de moverse este valor y al eje virtual de moverse dicho valor (con instrucción MAM) para encontrar así un equilibrio perfecto (la corrección acercándose a cero). Esta corrección es necesaria porque el deslizamiento del plástico no es ideal y varía en todo momento.

■ **Dosificado:**



Figura 40: Vista frontal dosificado.

El sistema de dosificado está compuesto por un juego de válvulas de normalidad cerrada, actuadores neumáticos, una bomba lobular y un sensor de presión.

Por seguridad para evitar sobre presiones el tanque de balance tiene una válvula de aireación (1); y para evitar rebose del producto del tanque se implementan 2 sensores vibrónicos de nivel (nivel alto y nivel de seguridad). La válvula (2) realiza el corte de de entrada del producto hacia la bomba lobular (5). Esta bomba lobular cuenta con un baypass (3-4) para evitar sobrepresiones en el dosificador debido a obstrucciones o posibles averías de funcionamiento de la boquilla de dosificado (7). La estructura de dosificado se suspende en el actuador de doble efecto (6) el cual permite facilitar el dosificado en las 3 presentaciones que manejará la envasadora.

La bomba lobular es manipulada por un motor de 2 Hp, esta ofrece una alta precisión en el volumen dosificado; inicialmente se esperaba que con este equipo se tuviese una dosificación bastante exacta con un margen de error de ± 3 gramos. Posterior a una ardua secuencia de pruebas se concluye en que la bomba lobular no es la mejor opción para garantizar la repetibilidad del dosificado, esto se debe a que presuriza enormemente la tubería haciendo que la presión juegue en contra en el proceso de dosificado.



Figura 41: Bomba dosificadora lobular.

Se plantea un plan alternativo para la dosificación en cual consiste en una dosificación inducida por presión inyectada dentro del tanque de balance, esto se realiza con el uso de un control de presión con una válvula reguladora y un control de nivel de producto con un sensor de nivel tipo radar.



Figura 42: PPE - 3 - 1 - 1/8 - 6 - 420 - EIT.

El equipo de la figura anterior ofrece la capacidad para regular la presión de aire comprimido que se le aplica al tanque hermético, se controla con la señal de 4 a 20mA proveniente del PLC, cuyo valor depende de un controlador PID.

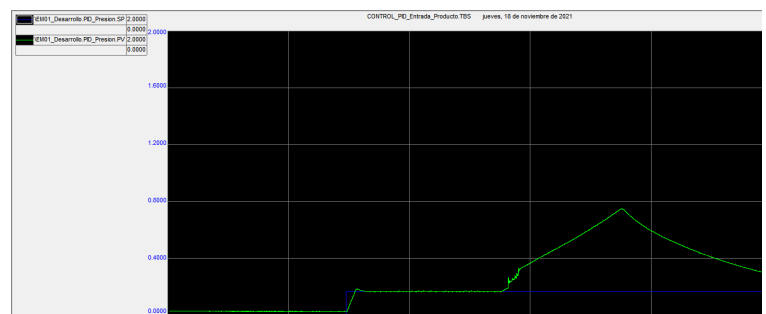


Figura 43: Respuesta de PID- Control de presión.

En la figura 43 se observa la respuesta del control de presión, es bastante óptimo pero se ve afectado enormemente al momento de realizar el ingreso de producto mediante una bomba hacia el tanque de balance, esta es la naturaleza propia del controlador de la figura 42. Es por esto que se decide complementar este controlador con una válvula solenoide acoplada directamente al flujo de salida de aire del tanque de

balance, para aumentar significativamente la velocidad del controlador al momento de recibir perturbaciones de entrada. Es de esperarse que el aire que ingresa al tanque debe presentar un tratamiento adecuado para evitar introducir materia sólida o micro-biológicos peligrosos para el cuerpo humano, es por esto que se implementa un filtro de material sólidos de 5 μm y un filtro de olores de carbón activado.

Tabla V: Ganancias de control PID - Presión tanque de balance.

Ganancias del controlador	Valor
Ganancia Proporcional	200
Ganancia Integral	80 [1/Seg]
Ganancia Derivativa	120 [Seg]

Por otro lado se decide implementar un control de nivel para así garantizar por completo que la dosificación será la deseada. Para realizar este control se implementa un sensor de nivel tipo radar, debido a que existirán condiciones extremas del ambiente como lo son la temperatura, presencia de químicos en el lavado CIP, vapores del producto y adherencias del mismo en el sensor.



Figura 44: Sensor tipo radar VegaPlus 64 .

Este sensor se ubica en la parte superior del tanque el cual mide aproximadamente 500 mm de los cuales se desea que el nivel se encuentre desde la parte inferior del tanque justo donde inicia la forma cónica y finalice en la parte superior justo en la unión de la parte cilíndrica y la tapa abovedada como se observa en la figura 40. se contará con los 3 sensores vibrónicos de referencia LMT102-Ifm para corroborar posibles escenarios donde el sensor tipo radar falle. Se garantiza la calibración de los sensores vibrónicos por medio de IO-Link para omitir posibles falsas alarmas provocadas por la adherencia del producto justo cuando este empieza a enfriarse o solidificarse, ya que a pesar de la existencia de la traza eléctrica, al no existir contacto directo o indirecto con la pared del tanque cualquier residuo inicia

su etapa de enfriamiento.

El control de nivel de lazo cerrado se realizara manipulando la frecuencia de la bomba encargada de descargar el producto en el tanque de balance por medio de un variador de frecuencia de 10 Hp. Es de esperarse que si cualquiera de los dos controles (presión y nivel) se suspende en plena producción, el peso de las bolsas dosificadas empezará a decaer; es por esto que se analiza el escenario en donde se desee finalizar la producción (se deshabilita el control de nivel para empezar a vaciar totalmente el tanque de balance), siendo necesario un control de presión mucho mas agresivo ya que la columna de producto empezara a reducirse bajando así la presión de dosificado, cosa que puede solucionarse con tan solo aumentar la referencia o set point de control PID de presión.

- **Sistema de tornillos sin fin:** Los sistemas de conformado y dosificado están conectados por una banda de 0.5 Hp y esta cuenta con 2 sistemas de tornillos sin fin, responsables de la separación y giro de los moldes vacíos.

Estos sistemas de tornillos cuentan con 2 diseños distintos, uno de ellos está pensado para realizar la separación de los moldes y el giro de los moldes separados, para la posterior recepción de la bolsa vacía (producida en la zona de conformado). Por otro lado el diseño del tornillo de la zona de dosificado está pensado en la separación del molde (ya con bolsa) para realizar el dosificado con la ayuda de un sistema complejo de actuadores neumáticos y un sistema servo asistido que se pueden observar a continuación.

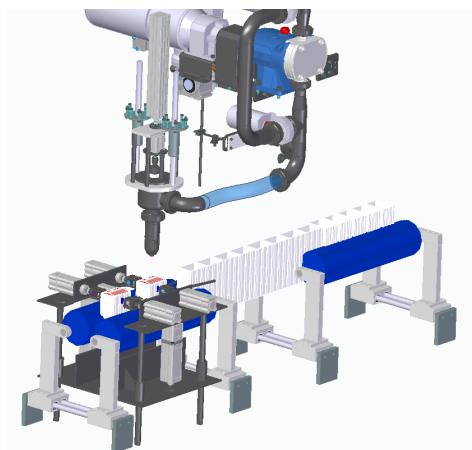


Figura 45: Vista frontal Zona de dosificado.

La secuencia de dosificado inicia cuando el molde con la bolsa vacía llega a la parte inferior del dosificador, en donde un sistema de actuadores lo eleva cierta distancia para que posteriormente un sistema de ventosas actue para con el fin de abrir la bolsa, permitiendo así un

espacio suficientemente amplio para lograr introducir el dosificador (6), abrir la boquilla (7) y energizar la bomba lobular (5) por cierto tiempo dependiendo de la cantidad en gramos a dosificar.

Cabe recalcar que estos dos tornillos tienen que estar completamente sincronizados con los cabezales de conformado y dosificado, esto se logra gracias a la implementación de un eje virtual.

Este eje virtual se comporta como si fuese un reloj sincronizado, su funcionamiento es simple. Se trata de un objeto tipo control motion el cual gira a una velocidad determinada por el ciclaje de la máquina, es decir si se desean 35 bolsas por minuto este eje virtual dará una vuelta (360°) en exactamente 1.7142 segundos. Teniendo claro el funcionamiento de este eje virtual se puede aplicar a cualquier proceso de la envasadora en donde sea necesaria una sincronía parametrizable al ciclaje de la envasadora.

La sincronía de los dos procesos presentes en la envasadora (conformado y dosificado) se realizó ordenando de forma jerárquica el funcionamiento de los sistemas modulares (tornillo sin fin de conformado, tornillo sin fin de dosificado, sistema de dosificación, sistema de desarrollo).

La jerarquía principal la tiene el sistema de desarrollo debido a que este garantiza el ciclaje de la envasadora, aportando bolsas a la línea de dosificado; por ende el sistema de tornillo sin fin que se encuentra justo debajo de él tiene que interactuar como un esclavo, esto se traduce principalmente en que el tornillo se moverá exactamente 360° si y solo si el servo del desarrollo se encuentra activo y la mordaza vertical realiza un ciclo de sellado.

El movimiento del tornillo debe ser de alta precisión y a su vez debe ser síncrono con un pequeño sistema de dos actuadores neumáticos que se encuentran justo en la entrada, estos garantizan la entrada de los moldes de forma individual hacia el tornillo, debido a que si estos ingresan de forma imprecisa serían destruidos por las estrías o como se conocen comúnmente gavilanes del tornillo. Este proceso de entrada de moldes se realiza con acciones paralelas, es decir cuando el tornillo se detiene en espera de la caída de bolsa (al rededor de 500 ms) del sistema de desarrollo, en ese mismo instante se hace ingresar un nuevo molde; garantizando una continuidad transparente de la línea de envasado, esto es posible gracias al correcto diseño de los tornillos.

En el sistema de dosificado, se repite el mismo principio pero esta vez existen más acciones que se realizan consecutivamente (movimiento de tornillo, dosificado,

presellado de bolsa, liberación de bolsa). El proceso se realiza cuando el tornillo de dosificación realiza un giro de 360° posterior a ello se hace una apertura de la bolsa con la ayuda de ventosas para realizar una elevación de alrededor de 15 [mm] de dicha bolsa con la intención de sacarla de su molde y así bajar el dosificador, encender la bomba lobular, abrir el dosificador, dosificar, presellar y finalmente soltar la bolsa. Como se puede apreciar existen al rededor de 6 procesos distintos que requieren físicamente tiempos de ejecución, por este motivo se hacen necesarias técnicas avanzadas de programación.

El funcionamiento se realiza teniendo como maestro el eje virtual del sistema de desarrollo, cabe recalcar que este eje funciona como si fuese un reloj de alta precisión. El tornillo ejecuta una vuelta si y solo si el eje virtual se encuentra en una posición de 300° (anticipando el ciclo de dosificado) descontando así tiempos de retraso, dejando un 100 % del tiempo de cada ciclo solo al sistema de apertura de bolsa, dosificado y presellado. Ahora bien estos últimos 3 se ejecutan de forma consecutiva teniendo pausas controladas por el mismo eje virtual, pero lógicamente respetando un tiempo prudente de dosificación ya que físicamente este proceso requiere un tiempo prudente debido a la naturaleza viscosa del producto.

Ahora bien ambos sistemas de forma independiente funcionan correctamente, pero estos deben funcionar de forma complementaria unidos por una misma banda transportadora, para complementarlos se aplican pequeños retrasos de modo que sean despreciables para la sincronía total pero importantes para el funcionamiento continuo de toda la línea.

- **Control de Temperatura:** La efectividad de sellado de la bolsa de producto depende directamente de 3 factores importantes, los cuales son la presión de sellado, tiempo de sellado y temperatura de sellado. Este último depende directamente del control PID que se mencionó anteriormente. Por medio de ensayo y error se dedujo que para el sellado vertical la temperatura ideal es de 170°C y para el horizontal es de 160°C.

Al momento de generar la sintonización del controlador se usaron los datos de la tabla VI provenientes de la curva S del sistema tal y como se había mencionado anteriormente, obteniéndose las ganancias del controlador de la tabla VII.

Tabla VI: Tabla de parámetros de modelado control PID Mordaza Vertical.

Parámetros del modelo	Valor
Tiempo Muerto del Sistema	14 [Seg]
Tiempo Constante del Sistema	10 [Seg]
Pendiente Positiva del Sistema	1.65 [Grados/Seg]
Pendiente Negativa del Sistema	-0.02 [Grados/Seg]
Multiplificador de capacidad de respuesta	2
CV Usado para hallar la curva	100 %
Intervalo de Ejecución de PID	0.07 [Seg]

Tabla VII: Ganancias de control PID Mordaza Vertical.

Ganancias del controlador	Valor
Ganancia Proporcional	7.066
Ganancia Integral	0.052 [1/Seg]
Ganancia Derivativa	42 [Seg]

■ **CIP:**

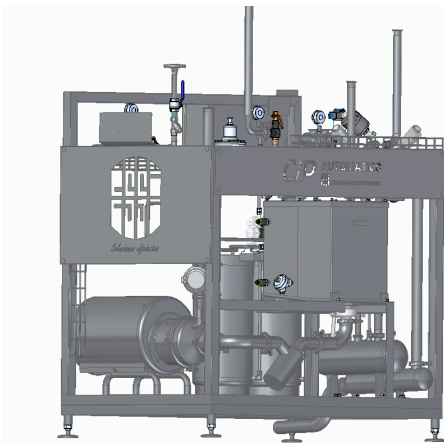


Figura 46: CIP envasadora.

El proceso de lavado CIP consta de las siguientes etapas:

Primer enjuague: Es un enjuague que produce la eliminación de todo residuo que pueda ser desplazado por la acción mecánica con agua, con el fin de optimizar el uso del producto limpiador en la siguiente etapa. Se realiza con agua a temperatura ambiente hasta la eliminación de los residuos gruesos.

Lavado con soda (alcalino): Elimina totalmente la suciedad depositada sobre las superficies, con el fin de dejarlas perfectamente limpias. Se efectúa con una

solución acuosa de un producto limpiador adecuado (comúnmente se utiliza soda cáustica), a temperatura, concentración y tiempo determinados. Además, requiere de la acción turbulenta del líquido para producir el efecto de remoción.

Segundo enjuague: Elimina la materia activa del producto utilizado en el lavado alcalino, para evitar la inhibición parcial o total del producto a utilizar en el lavado ácido. Se realiza con agua a temperatura ambiente, hasta que la misma sea neutra (pH 7) o no reaccione con el indicador de alcalinidad (fenolftaleína).

Limpieza con ácido: El limpiador ácido más común utilizado para eliminar el “sarro”, es el ácido nítrico, catalogado como ácido fuerte y peligroso en su manipulación. Cuenta como ventaja su bajo precio y su poder protector contra la corrosión del acero inoxidable.

Tercer enjuague: Elimina los residuos desprendidos por la acción del lavado ácido. Se realiza con agua a temperatura ambiente, hasta que la misma sea neutra (pH 7), lo que garantiza que las partes internas de la máquina que tienen contacto con el producto han quedado libres de impurezas y de soluciones químicas.

■ **Reporte OEE:**

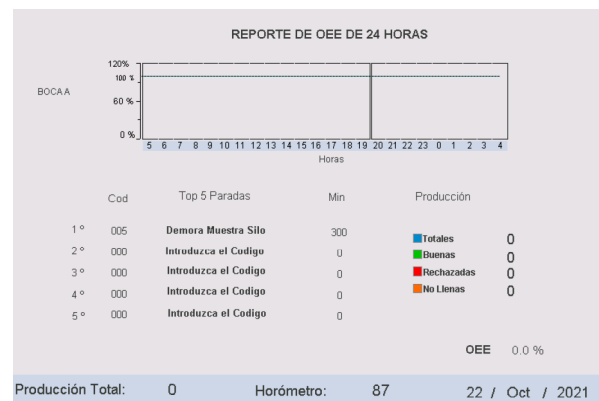


Figura 47: Reporte OEE.

El reporte OEE consiste en la generación de un archivo PDF que guarda la estadística de producción tanto de unidades producidas y/o rechazadas como de la cantidad de horas perdidas a causa de paradas indeseadas; estas últimas se clasifican en un listado ordenado de códigos. Este archivo se almacena en la panel view junto con un archivo de extensión .csv el cual contiene datos relacionados a la traza de calentamiento del tanque de balance. Estos archivos pueden ser accedidos por medio de USB, servidor Web o servidor FTP. La opción más segura es por medio del servidor FTP debido a que el ingreso de memorias USB podrían ocasionar daños irreparables en la pantalla.

a causa de posibles softwares maliciosos. El servidor FTP puede ser accedido por conexión alámbrica o inalámbrica con la implementación de cable ethernet o router respectivamente, Resulta bastante práctico ya que existen herramientas que facilitan la gestión de este servidor, como lo es FileZila.

■ **Red de comunicación:**

Tabla VIII: Tabla de direcciones IP.

Equipo	Dirección IP
PLC	192.168.5.100
Predesarrollo	192.168.5.104
Bomba CIP	192.168.5.106
Bomba producto	192.168.5.107
Banda Entrada	192.168.5.108
Banda salida	192.168.5.109
Banda intermedia salida	192.168.5.111
Tornillo conformado	192.168.5.112
Tornillo dosificado	192.168.5.113
ETAP	192.168.5.114
Apertura de bolsa	192.168.5.115

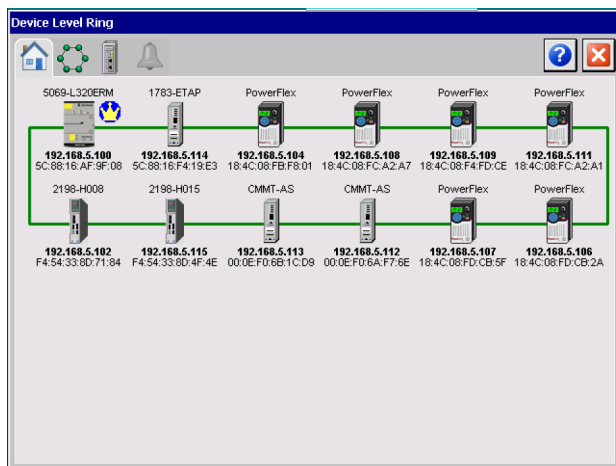


Figura 48: Red de comunicación.

En la figura 48 se observa la red de comunicación de la envasadora, que al igual que en el final de línea es de topología anillo; en el caso de la envasadora se evidencia que no aparece un objeto relacionado a la panel view, en lugar de esta aparece un objeto llamado 1783- ETAP, esto se debe a que la panel view que se tuvo disponible no contaba con doble puerto Ethernet, así que fue necesaria la adición de un ETAP el cual es un switch de 3 puertos siendo 1 de entrada y 2 de salida (garantizando así la topología anillo); teniendo clara esta idea ese ETAP funciona como un supervisor de la pantalla y es por esto que no se evidencia el objeto panel view.

■ **Tablero de Control:**

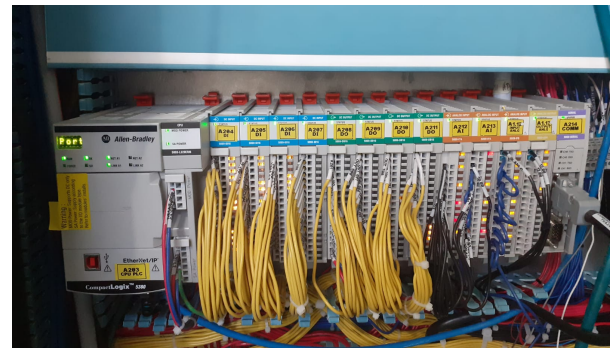


Figura 49: PLC 5069-L320ERM.

En la figura 49 se observa el controlador con los 13 módulos los cuales se ordenan de izquierda a derecha de la siguiente manera: Módulos de entradas digitales, Módulos de salidas digitales, Módulos de entradas analógicas, Módulos de salidas analógicas y por último módulo de comunicación Modbus.

Desde la programación se monitorea constantemente el estado de cada uno de los módulos instalados en el PLC, en caso de que alguno de estos arroje una falla antes de una desconexión repentina, inmediatamente se emitirá una falla a la panel view y se detendrá la producción de la máquina. Ahora bien en caso de presentarse una falla eléctrica el sistema de control estará respaldado exclusivamente por una UPS para garantizar que las rutinas de ejecución no se vean afectadas, por lo contrario se busca que el PLC siga en pleno funcionamiento y sea el mismo quien reconozca la ausencia de energía (notará la ausencia de los distintos drive's), ejecutando con normalidad la rutina de finalización.

- **Interfaz gráfica principal:**



Figura 50: Pantalla principal envasadora.

En la pantalla principal de la envasadora al igual que en las del final de línea, se buscó encapsular los parámetros mas importantes relacionados con algún proceso de la envasadora. Por ejemplo se dió prioridad a los controladores de temperatura de los 5 puntos calientes de la máquina, se muestra de forma explícita las alarmas relacionadas a sensor de fin de rollo, fechador, balancín, apertura de puerta, temperatura y nivel de producto del tanque de balance y presión de la tubería de dosificación. Por otro lado se da a conocer la estadística de producción del OEE de la máquina y el estado en el que se encuentra (los mencionados en la norma ISA-88).

En la figura anterior se puede apreciar un indicador de color rojo en la parte lateral derecha llamado M. Supervisor Activo. Este indicador confirma que el modo de supervisor se encuentra activado, esto con la finalidad de ofrecer accesibilidad al operario a sistemas críticos o de alto riesgo para el, en presencia de un experto. Este modo solo podrá ser activado si el usuario tiene los permisos suficientes en este caso los usuarios OEM y Supervisor.

Como es de conocimiento, la envasadora cuenta con un amplio número de válvulas On/Off, estas válvulas por cuestión de seguridad tienen incorporados sensores inductivos para determinar el estado de cierre de la válvula, siendo efectiva la respuesta de parada ante fallas neumáticas de las mismas. A continuación se observa el panel que muestra de forma explícita el estado de varias condiciones y/o subsistemas indispensables para el correcto funcionamiento de la envasadora.



Figura 51: Check list envasadora.

Entre estas condiciones se observan los estados en los que se encuentran todas las válvulas importantes en el proceso de producción, el estado de funcionamiento de la traza eléctrica, el estado del sistema de desarrollo, predesarrollo y por ultimo el estado de funcionamiento del fechador.

IV-B. Final de línea- Línea Envasado

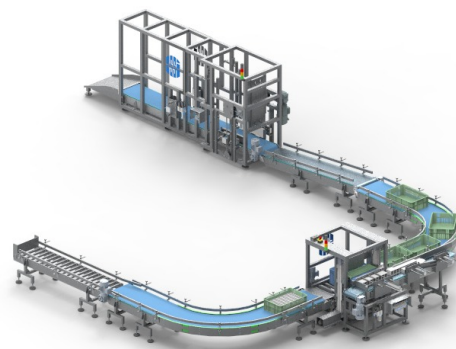


Figura 52: Final de línea - Línea envasado.

- **Desapilador:** El desapilador es el sistema encargado de tomar columnas apiladas de canastillas con la finalidad de desapilarlas de forma individual. Está compuesto por una banda transportadora, un eje que se encarga de ascender y descender el sujetador de canastillas compuesto por un sistema de frenos neumáticos y por ultimo por un par de frenos uno de estos de tipo compuerta. La programación de este sistema se realizó posicionando el sujetador mediante dos sensores inductivos ubicados en los toques físicos del recorrido del sistema sujetador. La eficiencia de este sistema es de 4 canastillas o cestillos por minuto, suficiente para suplir constantemente el funcionamiento de la línea.

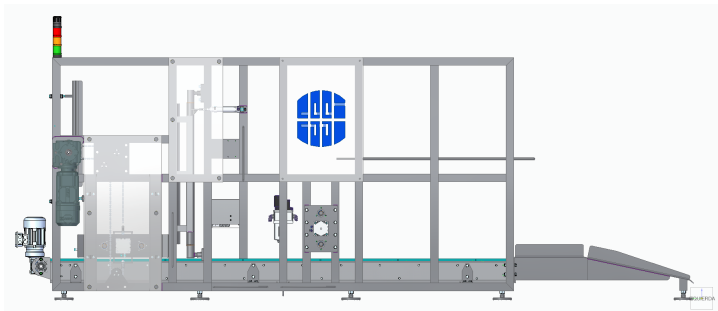


Figura 53: Vista lateral desapilador.

- Encajonador:** El sistema encajonador es el encargado de introducir los moldes con el producto recién envasado. Este sistema implementa un sistema de volteo para ubicar la canastilla en posición vertical para posteriormente empujar los moldes (que con anterioridad son acostados o posicionados de forma horizontal) con un actuador neumático, la posición de la canastilla que permite añadir sin ningún inconveniente las distintas filas, se manipula por medio de un eje servo asistido. La eficiencia del encajonador es de 70 moldes por minuto.

La eficiencia de este equipo queda sujeta a varios aspectos relacionados a la integridad de la canastilla que ingresa, porque si esta se encuentra en condiciones precarias (rota en alguna parte de su estructura), el funcionamiento del encajonador se ve entorpecido necesitando asistencia del operario para liberar dicha canastilla.

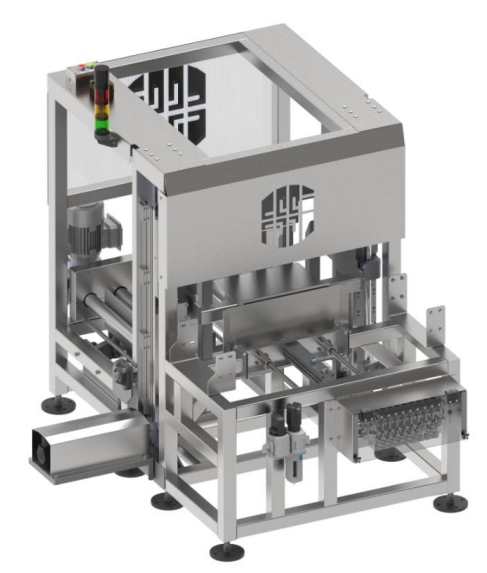


Figura 54: Vista frontal encajonador.

IV-C. Final de línea - Línea Empaque

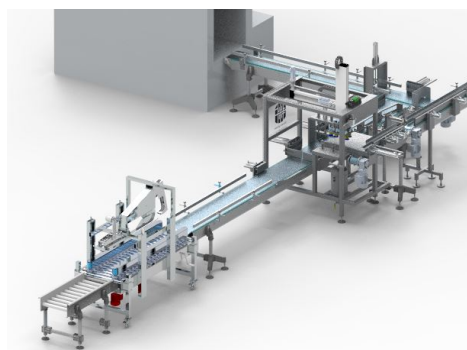


Figura 55: Final de línea - Línea empaque.

En la figura anterior se observa la línea de empaque, la cual está conformada por 4 bandas transportadora, una encartonadora, una encintadora y un Pick and Place, este último se puede observar a continuación.

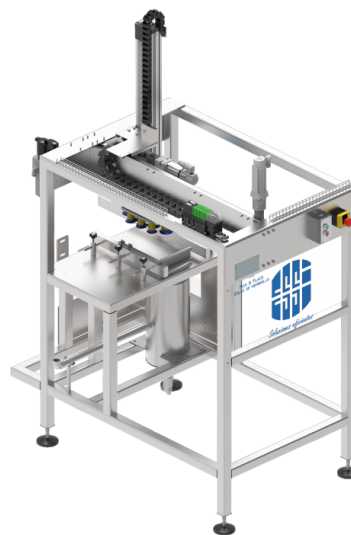


Figura 56: Pick and Place.

Este equipo implementa un sistema de ventosas que están conectadas a un generador de vacío de referencia Piab, esta unidad de vacío funciona gracias al efecto venturi, se aplica un vacío de aproximadamente -50 kPa, lo suficiente como para garantizar la integridad del producto, como se puede apreciar en la figura anterior.

La eficiencia de producción de la línea depende directamente de este equipo siendo de aproximadamente 4 cajas por minuto de a 12 unidades cada una, presenta una eficiencia baja debido a la delicadeza del producto.



(a) Retraído (b) Accionado

Figura 57: Empujador de producto.

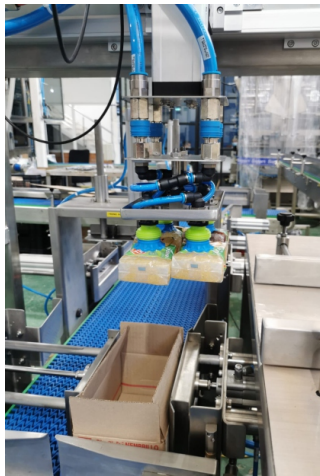


Figura 58: Pick and Place en funcionamiento.

La ejecución de la línea se debe realizar desde la HMI ubicada en el tablero eléctrico.

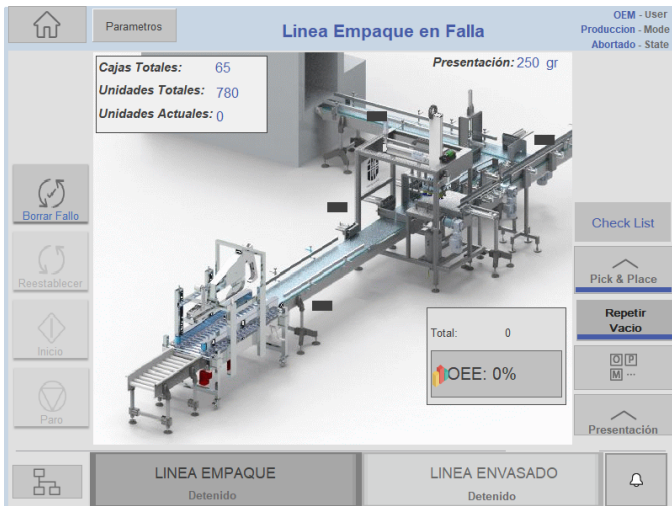


Figura 59: Pantalla Línea Empaque.

En la figura anterior se pueden apreciar al lado izquierdo los 4 botones con los que el operario pondrá en funcionamiento la línea, por otro lado en la parte derecha se observan 5 botones que se explicarán a continuación.

Tabla IX: Explicación interfaz.

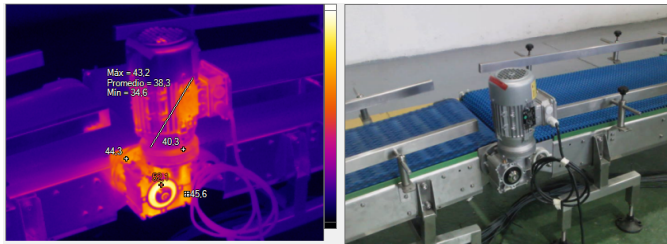
Botón	Función
Check List	Despliega una lista que refleja el estado de todos los subsistemas de la línea de producción.
Pick & Place	Despliega un submenú compuesto por: -Parada de emergencia -Inicio Reestablecer Estos 3 botones se encargan de sacar de la rutina de producción al Pick and Place “en caso de algún percance”, pero con los botones inicio y reestablecer se puede volver a incorporar este equipo en la rutina de producción sin necesidad de detener toda la línea.
Repetir Vacío	Cuando el Pick and Place genera vacío para suspender la matriz de producto y este vacío no se cumple en 2 ocasiones, el equipo entra en modo de suspensión hasta que el operario oprima este botón para así repetir el proceso de succión y proseguir con la producción.
OPM	Como se había mencionado la Norma ISA-88 implementa 3 modos de funcionamiento: -Producción - Manual -Mantenimiento
Presentación	Este botón despliega la lista de las 3 posibles presentaciones: -250gr -500 gr -1000 gr

IV-D. Pruebas Termográficas y vibrónicas

- Pruebas termográficas:** Las pruebas termográficas en un sistema automatizado se hacen necesarias para verificar el correcto funcionamiento de sistemas mecánicos y/o eléctricos; con estas pruebas en el caso de los motores se pueden descartar acomplamientos defectuosos, fallas de montaje o fallas eléctricas dentro de los devanados del mismo. Para realizar el debido estudio de los motores y tableros eléctrico, se pone en pleno funcionamiento la línea a analizar por un tiempo de 5 horas aproximadamente.

Es de esperarse que las mayores temperaturas de un motor se presenten en los rodamientos y en la carcasa. Los rodamientos generan temperaturas altas debido a que todo el movimiento mecánico en el caso de una

banda transportadora se ejecuta entre el rodamiento y la caja reductora del motor, por otro lado la carcasa misma del motor se calentará debido a que existe una pérdida constante de energía proveniente de los devanados.



(a) Vista termográfica

(b) Vista real

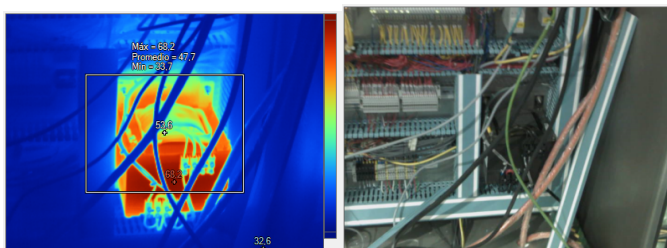
Figura 60: Prueba termográfica de banda transportadora.

Tabla X: Temperaturas de prueba termográfica de banda transportadora.

Temp. Máxima °C	54,8
Temp. Referencia °C	60
Delta de Temp. °C	-5,2

En el caso de la figura anterior se puede concluir que el motor se encuentra dentro de los estándares permitidos por el departamento de calidad. El motor de la figura anterior tiene un tipo de aislamiento clase F (155 °C). Se detectó una condición térmica normal en la carcasa del motor, con una temperatura máxima en eje de reductor de 54,8°C, temperatura de 42,2°C en acople motor-caja y una temperatura aproximada en los devanados de 57,8°C, lo cual no evidencia falla incipiente en su operación de acuerdo con el tipo de aislamiento y carga.

A continuación se observan los resultados de las pruebas termográficas de los tableros, los resultados arrojaron que el transformador del tablero principal se encontraba con una temperatura máxima de 68.2 °C temperatura propia de un transformador de 380 a 220 Vac.



(a) Vista termográfica

(b) Vista real

Figura 61: Prueba termográfica de tablero principal.

Por otro lado en el tablero remoto se persivió tan solo un punto caliente representativo pero que se encuentra

dentro del rango normal de funcionamiento, se trata del Point I/O el cual presentó una temperatura máxima de 47.2°C; debido a que este elemento está dedicado a empaquetar datos desde y hacia el PLC ubicado en el tablero principal.



(a) Vista termográfica

(b) Vista real

Figura 62: Prueba termográfica de tablero remoto.

■ Pruebas vibrónicas:

Las pruebas vibrónicas son indispensables para analizar el comportamiento interno de un motor, facilitando un diagnostico del estado en el que se encuentre el motor, permitiendo así tomar decisiones relacionadas a mantenimiento predictivo o preventivo. A continuación se observa el espectro vibrónico que arroja la bomba encargada de dosificar el producto.

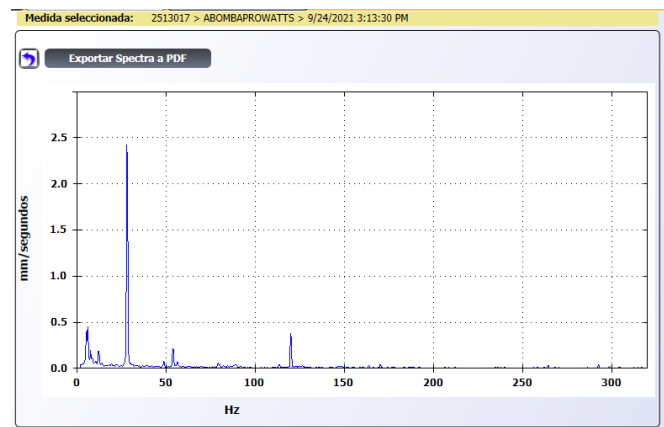


Figura 63: Prueba vibrónica bomba dosificadora.

En la figura anterior se evidencia la principal amplitud hacia la frecuencia de giro a 28 HZ @ 2,328 mm/s, asociado a tipo de montaje, propia de su funcionamiento, no se evidencia daño incipiente en rodamientos. En la caja reductora predomina la amplitud hacia la frecuencia de giro del equipo a 28 HZ, @ 0,592 mm/s, cumpliendo con los estándares definidos por la norma ISO 10816-3.

V. CONCLUSIONES

V-A. Línea Envasado

■ **Funcionamiento:**

La línea de envasado cumplió todas las expectativas de desempeño teniendo en cuenta la eficiencia operativa, la versatilidad de puesta en marcha, la versatilidad de mejoras técnicas de funcionamiento y por último la seguridad hacia el operario.

La eficiencia operativa límite de esta línea de envasado es de alrededor de 75 a 85 moldes por minuto, independientemente de la presentación producida. Por otro lado el cambio de presentación no resulta ser un desafío ya que con tan solo ajustar algunas piezas mecánicas posteriormente seleccionando desde la HMI la presentación adecuada, la línea aplica automáticamente la receta acorde a la presentación a producir, teniendo la posibilidad de que este proceso pueda ser realizado por tan solo un operario.

Si se desea a futuro repotenciar esta línea, resultaría viable sustituir algunos accionamientos neumáticos por servo motores u otros tipo de tecnologías más rápidas.

Por otro lado la línea es bastante amigable con la seguridad del operario, ya que cuenta con 3 botones de paro de emergencia 2 de estos descentralizados dispuestos en distintos sitios de la línea, con la finalidad de detener de forma independiente algunos equipos y no el conjunto en general; permitiendo que se pueda reestablecer de forma rápida la producción sin la necesidad de obtener retrasos significativos que puedan afectar el coeficiente OEE.

- **Seguridad operativa:** Esta línea de producción emplea una alimentación de 380 V a 50 Hz con una potencia máxima consumida de alrededor de 8 kW. cuenta con una correcta puesta a tierra y un protecciones magneto térmicas tanto para la línea de alimentación de los motores como para los sistemas de control como PLC, sistema de comunicación y HMI.

En cuanto a protecciones mecánicas cuenta con guardas en todas las posibles zonas en donde se puedan presentar atrapamientos involuntarios.

V-B. Línea Empaque

■ **Funcionamiento:**

La línea de empaque logró ofrecer una eficiencia de al alrededor de 3 a 4 cajas de 12 unidades del producto por minuto, independientemente de la presentación producida. Al igual que la línea de envasado la versatilidad de cambio de presentación es poco compleja debido a que se realiza ajustando parte mecánicas

como lo son guías laterales y el módulo de ventosas de generación de vacío. Esta línea de producción cuenta con 2 botones de parada de emergencia uno es estos ubicado en el Pick and Place, el cual ofrece la posibilidad de detener de forma temporal la línea sin detener el funcionamiento en conjunto. La alta versatilidad de esta línea permite que pueda ser manipulada por tan solo un operario.

Si se desea repotenciar la línea, sería viable optimizar alguno accionamientos neumáticos o sistemas mecánicos.

- **Seguridad operativa:** Esta línea de producción emplea una alimentación de 380 V a 50 Hz con una potencia máxima consumida de alrededor de 6 kW. cuenta con una correcta puesta a tierra y un protecciones magneto térmicas tanto para la línea de alimentación de los motores como para los sistemas de control como PLC, sistema de comunicación y HMI.

En cuanto a protecciones mecánicas cuenta con guardas en todas las posibles zonas en donde se puedan presentar atrapamientos involuntarios.

V-C. Envasadora

- **Funcionamiento:** La envasadora logró ofrecer una eficiencia de 35 unidades por minuto para presentación de 250 y 500 [g] con una precisión de dosificado por definirse con pruebas en planta, debido a que en la planta de fabricación no se cuenta con las instalaciones adecuadas para mantener una alimentación constante de membrillo (tal solo fue posible producir al alrededor de 40 kg de forma continua).

Se realizaron pruebas de dosificado con la implementación de la bomba lobular, obteniendo malos resultados en la repetibilidad del peso con un margen de ± 17 g. Ahora bien implementando el control de presión se obtuvo un margen de ± 5 g. Debido a la problemática de no tener la capacidad de producir suficiente membrillo en la planta de fabricación, se postergan las pruebas para realizarse en la planta del cliente, se espera implementar de forma conjunta el control de nivel y presión para lograr así un margen de ± 3 g. En la seguridad del sistema existen varias estrategias de seguridad tanto en la programación de la máquina como en el diseño de partes móviles que queden en contacto directo hacia el operario. Las puertas de la máquina son supervisadas constantemente por sensores inductivos para detectar cuando son abiertas en plena producción, permitiendo que el supervisor de la planta configure una parada inmediata de la máquina si es que esta se encuentra produciendo o en suspensión.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme dar a conocer mis capacidades en el área de la automatización, agradezco a toda mi familia por aportar grandes cosas en mi crecimiento personal, agradezco a ESSI por haber puesto ese grano de confianza en mi, a mis compañeros Sebastián pardo, Ricardo calderon, Johan restrepo, Edward sanchez y en general a todo el equipo de diseño, a Yonatan uribe, Miguel fernandez, Pedro nieto, Germán, Oscar reyes, Jeferson pinzón y en general a todo el equipo de montaje, al equipo de mecanizado por haber materializado todo el trabajo de diseño y en general a las personas anónimas que aportaron su granito de arena y todo el esfuerzo para permitir el desarrollo de este gran proyecto. Por otro lado agradezco a mi director David forero y a mi codirector José carreño por darme su apoyo en el desarrollo de mi tesis, por ultimo al departamento de calidad, Cesar mayorga y Angel rios.

REFERENCIAS

- [1]. Rockwell Automation (11/09/21). Ethernet Desig Considerations, Topology Examples. Disponible: <https://n9.cl/mre6f>
- [2]. Rockwell Automation (03/01/20). Machine Builder Libraries FAQ. Disponible: <https://n9.cl/d5fho>
- [3].Sistemas OEE (23/03/16). Calcular OEE Disponible: <https://www.sistemasoe.com/calcular-oe/>
- [4].Gurkipack, E-commerce Carton Erector. Disponible: <https://www.gurkipack.com/product/GPK-30H15.html>
- [5].Domino, Etiquetadora y fechador M230i y M20i. Disponible: <https://www.domino-printing.com/es/products/domino-products.aspx>
- [6]. IFM, Sensor de presion y nivel PI22xx y LMT102. Disponible: <https://www.ifm.com/es/es>
- [7].Catálogo 2198-H015-ERS, Kinetix 5500, Rockwell Automation.
- [8]. CMMT Servo drive commissioning with llen-Bradley PLC trough Ethernet/IP,CMMT Servo Drive, FESTO.
- [9]. Tomás Albesano, “Estándares Globales de programación (ISA-88)”, Rockwell Automation, 01/04/18.
- [10]. Catálogo 5069-IY4, Analog 4-Channel Current/Voltage/RTD/Thermocouple, Rockwell Automation.
- [11]. Catálogo 5069-SERIAL, 5069-SERIAL Module, Rockwell Automation.
- [12]. Catálogo 25C, Power Flex 527, Rockwell Automation.
- [13]. Catálogo 2711P-T4W21D8S, Panel View Plus 7, Rockwell Automation.
- [14]. Catálogo Bomba de lóbulo rotativo SX, Bomba Lobular SX2013, Alfa Laval.
- [15]. Catálogo Elexant 4010i, RAYCHEM.
- [16]. Catálogo piCOMPACT, Generadores de vacio, Piab.
- [17]. Catálogo VPPE - 3 - 1 - 1/8 - 6 - 420 - E1T, Regulador de presión proporcional, FESTO.
- [18]. Catálogo VEGAPLUS64, Sensor tipo radar de dos hilos 4/20 [mA], VEGA.