

INCIDENCIA DE LA VARIACIÓN DE PESO EN BOLSAS DE LECHE EN
ENVASADORAS ASÉPTICAS OCASIONADO POR SELLADO SERVOASISTIDO
FESTO

Said Ricardo Reyes Pino

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
MAESTRIA EN INGENIERIA
TUNJA, BOYACA
2024

INCIDENCIA DE LA VARIACIÓN DE PESO EN BOLSAS DE LECHE EN
ENVASADORAS ASÉPTICAS OCASIONADO POR SELLADO SERVOASISTIDO
FESTO

PROPONENTE

Said Ricardo Reyes Pino

DIRECTOR

PhD. (c) Camilo Ernesto Pardo Beainy

CODIRECTOR

PhD. William Fabian Chaparro Becerra

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
MAESTRIA EN INGENIERIA
TUNJA, BOYACA
2024

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por permitirme culminar un escalón más en mi formación profesional y académica.

Agradezco a mi familia por la motivación de seguir avanzando en mis estudios.

Agradezco a mi director de tesis, PhD(c) Camilo Pardo, por su paciencia y apoyo en el desarrollo de mi tesis, fueron varios los intentos para consolidar la idea de lo que se quería desarrollar, pero se pudo lograr

A Yessi, por insistir y motivar para conseguir el último peldaño para lograr el título.

Me agradezco a mí mismo por el esfuerzo a lo largo del desarrollo de la tesis, no fue un proceso fácil, donde existieron desaciertos, dudas y desmotivaciones, pero la recompensa más grande es haber consolidado todo el empeño para obtener este proyecto

CARTA DE EXONERACIÓN

A quien interese.

Yo, Said Ricardo Reyes Pino, identificado con cedula de ciudadanía 1098760969 de Bucaramanga, en uso de mis facultades legales, exonero de toda responsabilidad a la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja

Declaro que el desarrollo de esta tesis de maestría es de autoría propio y los aportes sustanciales que fueron citados se encuentran debidamente referenciados.



Said Ricardo Reyes Pino
C.C. 1098760969 de B/manga

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	9
2. Justificación	10
3. Objetivos.....	11
3.1. Objetivo general.....	11
3.2. Objetivos específicos.....	11
4. Planteamiento del Problema.....	12
5. Estado del Arte	13
6. Marco teórico y Conceptual	19
7. Metodología	31
8. Resultados.....	32
8.1. Perturbación por el esterilizador UHT:.....	34
8.2. Nivel tanque balance y descalibración de sensor de nivel	35
8.3. Tubo dosificador.....	35
8.4. Sistema de desarrollo.....	37
8.5. Sistema de sellado horizontal	38
9. Conclusiones	56
10. Referencias	58
11. Anexos	61

Índice de Imágenes

Imagen 1 Intercambiador de calor tubular.	19
Imagen 2 Pirámide de CIM.....	21
Imagen 3 Red de comunicación con protocolo Profinet.	24
Imagen 4 Mecanismo de transformación de movimiento circular en lineal.	26
Imagen 5 Propiedades de rutina	27
Imagen 6 Advertencia de configuración del Add-On Instruction	28
Imagen 7 Tabla de asignación de datos de proceso.	30
Imagen 8 Flujo de proceso de leche UHT	32
Imagen 9 Tanque balance envasadoras asépticas, setpoint	32
Imagen 10 Tanque balance	35
Imagen 11 Sistema dosificador	36
Imagen 12 Medición de varilla y tubo interno del dosificador	36
Imagen 13 Sistema de desarrollo de envasadora	37
Imagen 14 Parámetros de parada variador POWERFLEX 525.....	37
Imagen 15 Sistema de sellado horizontal servoasistido.....	38
Imagen 17 Medición de peso de bolsa de leche recién envasada.	50
Imagen 18 Regulador de servoaccionamiento cmmt-as.	61
Imagen 19 Datos técnicos regulador.	62
Imagen 20 Características Servomotor EMMT-AS, Parte 1.	63
Imagen 21 Características Servomotor EMMT-AS, Parte 2.	64
Imagen 22 Control de peso netos y sellado.	65

Índice de Figuras

Figura 1 Metodología de desarrollo.....	31
Figura 2 Diagrama de estudio ante problemática de variación de peso en envasadora aséptica	34
Figura 3 Comparativa posición actual vs setpoint del servomotor.....	39
Figura 4 Velocidad del servomotor, actual vs setpoint.....	39
Figura 5 Comportamiento de la velocidad respecto a la posición	40
Figura 6 Aceleración del servomotor, real vs setpoint	40
Figura 7 Posición vs corriente de servomotor CMMT	41
Figura 8 Flujograma de la secuencia de operación del envasado.....	43
Figura 9 Diagrama de tiempos de la de rutina a diferentes tiempos	45
Figura 10 Frecuencia 100ms de rutina vs 20ms de RPI.....	45
Figura 11 Comparativo de tiempos de rutina vs tiempo de RPI.....	46
Figura 12 Respuesta de la variación de pesos a 10ms vs 1ms en RPI.....	47
Figura 13 Respuesta de la variación de peso a 10ms vs 1ms en RPI, Cabezal #2	48

Figura 14 Comportamiento de peso con ajuste en rutina y RPI, cliente #1	49
Figura 15 Registro de peso producción, presentación 1000ml.....	49
Figura 16 Peso presentación 900ml de leche deslactosada, cabezal 1	51
Figura 17 Producción en presentación de 900ml de leche deslactosada cabezal 2	52
Figura 18 Peso presentación 1100ml, cabezal 3.....	53
Figura 19 Registro de pesos del cabezal 4, presentación 400ml	54
Figura 20 registro de pesos presentación 1100ml de leche deslactosada, cabezal 2	55

Índice de tablas

Tabla 1 Estado del arte.....	18
Tabla 2 Tipos de tareas y frecuencia de ejecución.	29
Tabla 3 Costos desfase peso	33
Tabla 4 Costo anual.....	33
Tabla 5 Comportamiento de variación prueba inicial ajustes.....	47
Tabla 6 Resultados muestra 1	51
Tabla 7 Resultados muestra 2	52
Tabla 8 Resultados muestra 3	53
Tabla 9 Resultados muestra 4	54
Tabla 10 Resultados muestra 5.....	55

Glosario:

- **Polietileno:** Polímero usado en la fabricación de bolsas plásticas.
- **UHT:** Temperatura ultra alta.
- **Aséptica:** Libre de contaminantes
- **Sistema de desarrollo:** Sistema que permite el arrastre de polietileno para el desarrollo de las bolsas.
- **Servodriver:** Controlador de servomotor
- **Taca:** sección rectangular negra situada a un costado de las bolsas, empleado para identificar el corte de bolsa.
- **Mordaza:** Sistema de dos piezas móviles que se utiliza para prensado.
- **Cabezal:** Sección de envasado que cuenta con su sistema individual para el envasado de producto.
- **RPI:** Intervalo de paquetes solicitado.
- **Rutina:** Sección de un algoritmo que ejecuta una tarea específica.
- **Golpes:** Unidades que se producen por minuto
- **Dosificador:** Sección conformada por servomotor, válvula T y tubo, que se encarga de la dosificación de producto en las bolsas.
- **Empuje:** Proceso en el que introduce leche en la tubería del esterilizador y permite evacuar el agua que se encuentra en ella debido al proceso de limpieza

1. Introducción

Este proyecto desarrolla una solución ante un problema generado a raíz de las complicaciones en la adquisición de elementos electrónicos a causa de fenómenos mundiales ya que esto afecta directamente con la producción de producto en la industria láctea, así es, dado a las demora de entrega de productos tecnológicos para la automatización industrial, empresas que son integradores de equipos de control y automatización se ven obligados a realizar homologación de equipos en la implementación de sus aplicaciones, como es el caso de la industria láctea, ya que los sistemas de envasados se ven afectados ya que la fabricación de nuevas máquinas deben llevar elementos diferentes marcas a lo que habitualmente usan en sus sistemas y de esta forma cumplir con las funciones de control, y es allí donde la homologación de sistemas no solo influye sus características mecánicas y eléctricas sino como esta se integra con los demás sistemas de control, en este trabajo se analiza el impacto que tiene la homologación de controladores de servomotores Festo integrados en mordazas horizontales para el sellado de bolsas de polietileno en una envasadora aséptica y como puede existir una injerencia con la variación de pesos de bolsas con producto lácteo.

2. Justificación

Los aspectos que determinan la compra de un equipo en la industria láctea es la calidad de sus productos procesados por estos, el bajo consumo de servicios industriales, la operabilidad, la tecnología que poseen, la optimización de los procesos, reducción de tiempos de producción y aumentar el volumen de producción, estos aspectos marcan la diferencia en el mercado de fabricantes de equipos de envasado, pero el factor diferencial es el fabricante cuya máquina ofrezca la menor variación de peso de producto envasado medible, ya que esto permite la rentabilidad de la producción como a su vez cumplir con la normativa de producto envasado.

Las empresas que fabrican equipos asépticos, como son envasadoras asépticas de leche UHT (temperatura ultra alta) y esterilizadores UHT, se han visto afectados con las demoras en la adquisición de equipos electrónicos, dado a los diferentes acontecimientos que se han venido presentando a nivel mundial durante los últimos 3 años (pandemia por covid19, conflictos bélicos en Europa) han hecho que los fabricantes de equipos electrónicos para la industria de la automatización, como son SIEMENS, Allen Bready, FESTO, entre otros, se vean obligados a extender los tiempos de entrega de estos elementos, dado a escases de los materiales para fabricación de los componentes electrónicos, han dejado en vilo a sus cliente que utilizan estos elementos electrónicos para diversas aplicaciones, ya que ha ocasionado que se vean en la necesidad de ver alternativas viables para cumplir con los pedidos para sus clientes, emplear otras marcar, realizar homologaciones de sistemas.

Al realizar la homologación del sistema de mordaza a una máquina envasadora aséptica estándar cuyo sistema de control se realiza mediante servodrivers Rockwell, el equipo de ingeniería tuvieron en cuenta todas sus características mecánicas y eléctricas al momento de realizar la homologación a la marca Festo, aunque el principio de funcionamiento es el mismo, el comportamiento de todo el conjunto del sistema genera problemas dado a la presencia de una variación de peso significativas en las bolsas envasadas con leche de $\pm 60g$, cuando la variación promedio y comerciable de la máquina es de $\pm 5g$, el comportamiento del sistema se ve inmerso en cada cierto número variante de bolsas, es decir en n bolsas el peso se mantiene y posterior existe la variación en los cabezales, el por ello la necesidad de determinar qué sistema de la envasadora o línea de producción pueden ser los causantes de dicha variación, ya que no solo pueda ser el sistema homologado ser causantes de variaciones en las bolsas. Es por ello que este caso de estudio debe determinar el impacto que puede llegar a generar la homologación de un sistema Festo con la variación de peso.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general.

Determinar la incidencia de la homologación del sistema de sellados horizontales con servomotores Festo en la variación de peso de bolsas en máquina aséptica

3.2. Objetivos específicos.

1. Construir y redactar el estado del arte sólido a partir de la documentación recopilada referente a sistemas servo asistidos en envasadoras asépticas
2. Evaluar los sistemas directamente relacionados en la máquina envasadora para el control de peso
3. Recopilar datos de los servomotores que conforman el sistema de las mordazas horizontales para el estudio del correcto funcionamiento durante producción.
4. Reajustar la programación y parametrización del sistema de mordaza para la reducción de la variación de peso
5. Validar la variación de peso ± 5 g en producto envasado en presentación de 1000ml de las envasadoras asépticas para la eficiencia del control de peso

4. Planteamiento del Problema

La demanda de productos tecnológicos en los últimos años ha venido en aumento y con ella la necesidad de aumentar las unidades existentes de cada uno de ellos, pero esta ha sido afectada por los acontecimientos de orden mundial en los últimos 3 años, originado principalmente por la escases de suministros debido a las alteraciones sanitarias ocasionadas por el COVID-19 , ya que la necesidad simultánea en varios lugares de tecnología no dan abasto con la demanda, otro factor es escases de materiales como el paladio y el neón, que son la materia prima para la creación de semiconductores, esto debido al conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, que ha resultado en un desequilibrio económico mundial.

A partir de la escases de semiconductores, la fabricación, el suministro ha afectado la industria de la fabricación de máquinas, que se ha visto en la necesidad de implementar nuevas estrategias para suplir con las demoras en las entregas de elementos electrónicos, realizar homologaciones de sus sistemas, para continuar con sus pedidos, como es el caso de los sistemas implementados para sellados servoasistidos utilizados en envasadoras asépticas, las cuales manejan tecnología de Rockwell Automation, y debido al problema en mención se opta por homologar los servos Festo manteniendo sus características mecánicas del sistema de sellado horizontal.

La implementación de sistemas nuevos en una máquina que se conoce ampliamente en su funcionamiento permite descartar fallas ocasionalmente visibles, en este caso de estudio es la variación de pesos de las bolsas con producto lácteo.

5. Estado del Arte

A continuación, se describe el estado del arte que aporta a la investigación de la tesis:

TITULO	RESUMEN	IMPACTO
Tratamiento a Temperatura Ultra Alta (UHT): Envasado Aséptico	Mención de la historia del envasado aséptico partiendo los años 40 en la que se buscaba tener alternativas para la duración de la leche partiendo de latas pasando por sistemas de cajas de cartón recubiertas con polietileno, en la que se centra la forma de garantizar que los productos tuvieran una larga duración, partiendo de las propiedades del material de envasado, el tratamiento de la leche, y la forma en que se envasaba el producto, su formación sellados[1]	Implementación de alternativas para la conservación de leche le larga vida
Posicionamiento del eje lineal con servomotores industriales	la integración de servomotores de Festo en la industria, permiten una integración estable entre hombre-HMI-PLC, en los que se deben realizar tareas de posicionamiento que conllevan múltiples instrucciones, en la que se emplean controles eficientes por medio de la herramienta Festo Configure Tool, en la se parametriza el servomotor, a partir de su ficha técnica, además de la aplicación en la que será empleado el servomotor, las velocidades, posiciones, modos de control que se emplearan con el PLC.[2]	integración de servomotores, para realizar movimientos preciosos y repetitivos para la ejecución de tareas
Actualización de control en envasadora vertical Robert Bosch SVK 2500a	Al tener un sistema de envasado basado en sistemas de tecnología mecánico y con elementos a los cuales se les hacía poco mantenimiento era de los objetivos que querían incursionar el tema de incluir un sistema de control más automatizado permitía incluir elementos a los cuales permitían tener un control más autónomo y de una frecuencia de mantenimiento más prolongado. [3]	Actualización de tecnología pasando de sistemas mecánicos a sistemas electrónicos



<p>Diseño de una máquina empacadora, dosificador y selladora de fundas para arroz</p>	<p>A partir de una necesidad, de aumentar la eficiencia, calidad y precio de competencia para una empresa, se desarrolla mejoras a una empacadora ya existente, en la que establecen dos alternativas para el mejoramiento de los sellados de bolsas de polietileno, mediante sellados de pulsos y corte, el accionamiento de la mordaza lo realizan con un servomotor paso a paso, en el que se usan posiciones de apertura y cierre con el fin de tener calidad con los sellados.[4]</p>	<p>mejoramiento de la eficiencia de máquina empacadora a partir de análisis de costo, versatilidad, manufactura y mantenimiento</p>
<p>Diseño y construcción de una envasadora automática vertical de granos secos</p>	<p>centrado en diseño de empacadoras de granos VFFS, dado a la versatilidad de sus empaques, permitiendo un diseño de bajo costo, con la implementación de áreas mecánicas, eléctricas y electrónicas, con el fin de centrarse en la calidad del producto producido, se analiza el costo de la inversión y costo de la producción y rentabilidad, en la que se mide a través de una data de 100 unidades de maní crocante, con dos ajustes volumétricos 3,5cm para un volumen de 135 cm³ y 3,8 para 162 cm³, arrojaron valores promedios de 84,6g y 98g respectivamente, con respecto a este análisis la implementación de más productos secos estaría relacionada con la densidad y el volumen que ocupa, se establecen límites de tolerancia entre +/-6g en los empaques comerciales[5]</p>	
<p>Resolución 32209 de 2022</p>	<p>Regula las tolerancias que debe tener el contenido real de productos envasados ya sea sólidos o líquidos, establecen un punto de partida para los productores de alimentos, establecen una tabla en el que de acuerdo a la cantidad nominal del producto establecen una deficiencia tolerable, por el cual la adquisición de tecnología es fundamental para garantizar la precisión o poca variación en el peso de los productos ya que es el cliente quienes evalúan y detallan la calidad del producto que están adquiriendo[6]</p>	<p>Regula el mercado colombiano relacionados con productos alimenticios empacados</p>

<p>Diseño de equipo verificador de sellado y control de peso en máquina envasadora Tecnoitalia de la empresa Lácteos de Chiapas SA de CV</p>	<p>Basados en la normativa mexicana, la empresa Tecnoitalia, diseñan un sistema para solucionar problema de calidad de los productos empacados, el cual consiste de un verificador de peso que les aseguraba el 100% de la producción, a partir de basculas MOD T-09, que indicaba cuando el peso del contenido estaba dentro del rango 237 a 255 g, además del peso, Debían mitigar los problemas con los sellados, el cual emplearon otro sistema de accionamiento neumático para detectar cuales empaques soportaban 1,374N, en caso tal se descartaba de forma automática.[7]</p>	<p>adaptación de sistema para cumplir con normativa, implementación de sistemas de acuerdo con la necesidad, aunque desde una vista de productividad, van a tener reprocesos que pueden afectar los indicadores de costos</p>
<p>Diseño de un sistema de control para servomotor que mejore la eficiencia de una Máquina Ensayadora.</p>	<p>La velocidad y la precisión de un sistema de empacado son aspectos primordiales para la empresa ALPA TECH INC. Cuya factor el importante para ser competitivos, ya que actualmente el sistema de dosificación de la ensacadora está basado en una banda transportadora con variador, que a través de las etapas de flujo grueso y fino dosifican el producto a empacar pero tiene afectaciones de precisión por los cambio de velocidades, la implementación de servomotores Yaskawa les permitió tener una eficiencia en el control del llenado, ya que al ser preciso, el rendimiento del sistema les mejoró ya que de pasar un índice de normalidad de 0.18 para variador a 0.005 para el servomotor, les permite aumentar la producción en 1 saco/min, que antes tenía de 4 a 10 sacos/min en presentaciones entre 10kg y 50g[8]</p>	<p>Mejoramiento de la precisión de dosificación y aumento en la producción</p>
<p>Identificación de las causas de variación en el proceso de envasado a través del control</p>	<p>a través de análisis estadísticos realizados por la empresa Leche Marsella, en el que su estudio es identificar la variación de peso que existe en el proceso de envasado en la presentación de 1 litro, de ellos obtuvieron un 77,34% de efectividad de rendimiento, adicional la medición de índice de capacidad</p>	

estadístico de procesos.	real Cpk arrojo 0,19, lo que indicaba que el proceso requiere modificaciones serias, de acuerdo a este análisis realizaron modificación mecánicas partiendo de la inspección de mantenimiento al equipo en el que se implementación manivelas, variadores, lubricaciones y cambio de piezas, como también la generación de un check list, en el que se evidenció un comportamiento aceptable para el análisis, al poder envasar producto en presentación de 1.8lt [9]	
Propuesta y diseño de la automatización de un proceso de sellado mediante un PLC	Rediseñar una máquina selladora de empaques, cuya operación se realiza a través de mecanismos articulados y la operación es manual vuelve el proceso de elaboración del producto tedioso, y variables como velocidad y tensión genera desperdicios y deficiencias en la calidad final del producto, por ello la implementación de tecnología permiten tener un control de proceso, aumentar la velocidad de producción, y un sellado adecuado por medio de servomotores, tiene un gran impacto en la reducción del consumo de energía y la intervención por mantenimiento, la selección de adecuada de servomotores, de acuerdo a la necesidad es fundamenta, la implementación de elementos de control facilitan el proceso, ya que de esta manera se logró tener un mayor control del proceso, siendo el autómatas quien de acuerdo a las parámetros establecidos garantizan la calidad del producto y prolongando los mantenimiento[10]	La reingeniería en el sistema de sellado les permitió mejorar el proceso desde diferentes ámbitos, tener un control más preciso, reducir intervenciones mecánicas, aumento de producción, reducir la operabilidad del sistema de forma manual
Repotencialización tecnológica para aumentar la productividad en la máquina individual Flow pack récord jaguar	El impacto que puede generar paradas de producción por mantenimientos ocasionados por desajustes, daños de piezas en los sistemas mecánico en la empaqueo Flow Pack Recor Jaguar, de la compañía NOEL S.A.S, es un aspecto crítico ya que genera retrasos de producción, pérdida de dinero y de clientes, por lo cual se vieron en la necesidad de cambiar motores reductores de piñones y cardanes a servomotores, para garantizar estos problemas mecánicos	Disminución de paradas por daños mecánicos en el sistema de engranajes, aumento de rendimiento del sistema, reducción de costos de



	<p>augmentar el rendimiento de la máquina y dar mayor precisión al sellado y corte, con ellos pasaron de 81 averías a la semana a 0 intervenciones, ya que por paradas se dejan de empacar 134.200 producto, por paradas ocasionales tan solo 12.760 productos [11]</p>	<p>mantenimiento</p>
<p>Introducción al control remoto de servomotores industriales</p>	<p>El control de servomotores se deriva de los diferentes modos de funcionamiento, de acuerdo con la aplicación en la que se implementen, la ejecución de movimientos a través de un par, la velocidad o una posición determinada so uno de estos modos, para un desplazamiento por posición, se debe tener en cuenta puntos de referencias, ya sea desde la posición actual, movimiento relativo o referenciando un punto cero, movimiento absoluto.</p> <p>Para la configuración de servomotores, se deben tener en cuenta las variables que se van a controlar, hablando desde la posición de destino y la velocidad, el tipo de movimiento y la rampa de velocidad.</p> <p>Teniendo en cuenta de a partir de un punto de referencia, homing, estable una posición mecánica del motor, el cual se denomina punto cero el cual es la partida del desplazamiento, en el que el motor se desplaza hasta el posición establecida y vuelve un movimiento de retorno, el cual será su punto de partida[12]</p>	<p>Permite tener calidad de los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de establecer un control sobre un servomotor</p>
<p>Mejora del proceso en el envasado aséptico de Bolsa UHT - Gloria S.A.</p>	<p>Para mejorar el proceso de envasado parten de varias etapas, en las que emplean un diagnóstico de la situación y las estrategias empleadas por la empresa, analizando clientes, proveedores, competencia, productos, esto lo realizan mediante una FODA, la segunda etapa priorizan los problemas y procesos, la tercera parte construyen el marco teórico para tener un bosquejo general para tener el enfoque, las metodologías y los conceptos del proceso, y en una cuarta etapa desarrollan la propuesta de solución[13]</p>	<p>Ahorro significativo de la producción, haciendo que la empresa obtuviera ganancias de la inversión realizada para la mejora, con reducción de perdidas al tener un</p>

		control de sus llenados como aspectos de calidad en sus productos, la implementación de herramientas y metodología como cultura laboral permiten una mejora del proceso
Servosistema de tiraje, corte y sellado para máquina convertidora de bolsas plásticas	Implementación de un nuevo sistema de arrastre de plástico en una máquina convertidora de bolsas plásticas para la empresa Empaques Universales, en la que se hace una integración de un nuevo control de la película plástica la cual se sincroniza con el sistema de sellado y corte para la elaboración de bolsas, con ello se evitan mantenimiento excesivos por desgaste mecánicos presenta un control de movimiento más precisa y mejora la operación ya que no es necesario realizar ajustes mecánicos en el sistema para cambios de presentaciones sin que ya el sistema automáticamente los realiza con solo la operación desde la HMI se realiza los ajustes[14]	Obtiene reducción de desperdicio por tamaños de bolsa en 80%, ocasionados por un sistema poco preciso y a los ajustes mecánicos que se deben desarrollar para cambios de presentaciones lo que permitió la reducción en un 66% de los tiempos para iniciar proceso.

Tabla 1 Estado del arte

6. Marco teórico y Conceptual

- **Envasado Aséptico**

El envasado aséptico es una operación que produce un alimento comercialmente esterilizado. Un producto creado bajo condiciones de asepsia no requiere refrigeración y puede tener una vida útil de entre seis meses y un año. Ejemplos de productos que pueden fabricarse en un proceso aséptico incluyen leche, leche saborizada, jugos de fruta y fruta enlatada. La operación reduce los riesgos de seguridad alimentaria al crear un producto esterilizado sin microorganismos viables, como patógenos y organismos que generan la descomposición. Permite que los consumidores tengan productos altamente nutritivos con una vida útil más prolongada que los productos procesados y empacados de forma tradicional.[15]

- **Esterilizador.**

Es el corazón del sistema UHT (imagen 1). Es el encargado del tratamiento en el que la leche se calienta en flujo continuo entre 135-150°C un tiempo suficiente para conseguir una esterilidad comercial con mínimos cambios en el producto. Las partes más representativas del esterilizador son el intercambiador de calor y el homogeneizador encargado de disolver todos los coágulos de grasa que pueda tener la leche al momento de ser esterilizada[16]

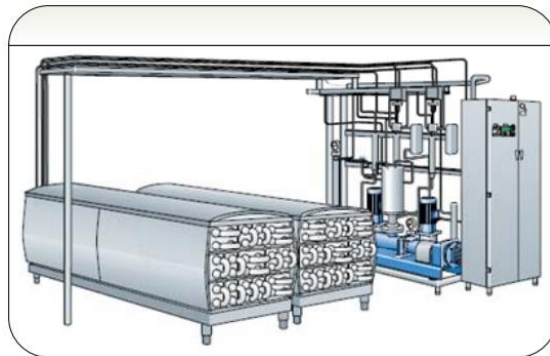


Imagen 1 Intercambiador de calor tubular.

Fuente: Automatización del sistema de comunicación entre equipos de proceso y llenado UHT/UAT larga vida en la Planta de Producción Algarra S. A[16]

- **Decreto Numero 616 De 2006**

ARTÍCULO 42.- MATERIAL DE ENVASE. Los envases para leche higienizada deben ser de material tal que le confiere al producto una adecuada protección durante el almacenamiento, transporte y expendio, con cierre hermético que impida

la contaminación y adulteración. Estos envases deben garantizar hasta el fin de su vida útil el mantenimiento de las características microbiológicas, fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas de la leche según su proceso tecnológico y contenido de grasa, como se estipula en el presente reglamento. Los envases para la leche higienizada deben ser desechables.[17]

ARTÍCULO 43.- CLASES DE ENVASE. La Leche líquida higienizada con destino al consumo humano directo, debe envasarse en cualquiera de los siguientes tipos de recipientes: 1. Bolsas, garrafas o botellas de polímeros Grado Alimenticio. 2. De plasti-cartón-aluminio 3. De cartón encerado. PARÁGRAFO. - El Ministerio de la Protección Social podrá autorizar el envasado de la leche en recipientes distintos de los señalados en el presente reglamento técnico siempre que garanticen su condición higiénico-sanitaria.[17]

ARTÍCULO 45.- ENVASE DE LA LECHE ULTRA-ALTA-TEMPERATURA UAT (UHT). La leche UAT (UHT) debe ser envasada en condiciones asépticas, en recipientes no retornables, que garanticen la impermeabilidad a los gases e impenetrabilidad de la luz y que permitan su cierre hermético y debe cumplir con los siguientes requisitos: 1. Permeabilidad del oxígeno a temperatura ambiente < 200 cm³ / m² / d / atm. 2. Transmisión de la luz en un porcentaje máximo: < 2 a 400 nm y < 8 a 500 nm[17]

- **Pirámide de CIM**

La pirámide de automatización CIM (Computer Integrated Manufacturing) es la integración gráfica de los equipos y computadoras que forman parte del proceso en todos los niveles de fabricación, con la finalidad de optimizar la calidad, producción, automatización de operaciones y la gestión eficiente en las diferentes áreas de la empresa.

Es decir, surge de la necesidad de integrar los procesos de producción con los procesos de gestión.

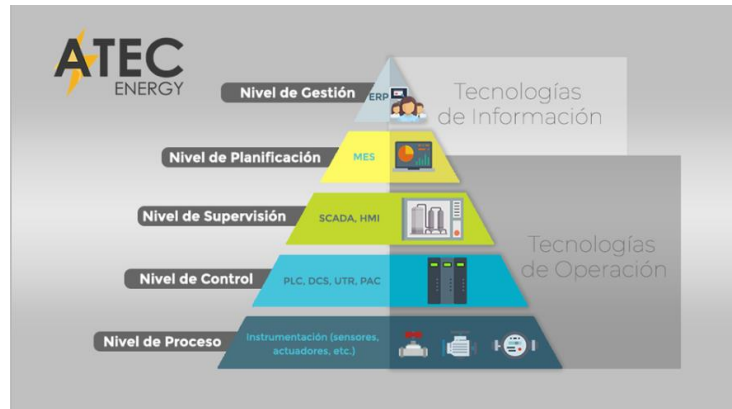


Imagen 2 Pirámide de CIM
Fuente: ATEC Energy[18]

Niveles que forman la pirámide de automatización

1. Nivel de Proceso

Comenzando en la parte inferior de la pirámide es a lo que nos referiremos como nivel de proceso. Estos son los dispositivos, actuadores y sensores que se ven en la producción.

El nivel de proceso es el piso de producción que realiza el trabajo físico y el monitoreo.

Los motores eléctricos, los actuadores hidráulicos y neumáticos para mover maquinaria, los interruptores de proximidad utilizados para detectar movimiento o ciertos materiales, los interruptores fotoeléctricos jugarán un papel importante en el nivel de proceso.

2. Nivel de Control

En este nivel se encuentran los dispositivos de control automático, hoy en día representados por los controladores lógicos programables (PLC), las unidades terminales remotas (UTR), los sistemas de control distribuido (DCS) y los más recientes controladores de automatización programables (PAC).

Estas tecnologías de automatización permiten mantener ciertas variables del proceso dentro de determinados valores, o asegurar que el proceso evolucione a estados deseables, para lo cual requieren comunicarse con los dispositivos del nivel de proceso, ya sea para medir las variables, conocer el estado, o para actuar sobre este aplicando algún tipo de energía (eléctrica, neumática, hidráulica).

El nivel de control utiliza estos equipos para controlar y "ejecutar" los dispositivos en el nivel de proceso que realmente realizan el trabajo físico. Reciben información

de todos los sensores, interruptores y otros dispositivos de entrada para tomar decisiones sobre qué salidas activar para completar la tarea programada.

3. Nivel de Supervisión

El tercer nivel de la pirámide de automatización se conoce como el nivel de supervisión. Donde el nivel anterior utiliza PLCs, este nivel utiliza SCADA, que es la abreviatura de control de supervisión y adquisición de datos. Es esencialmente la combinación de los niveles anteriores utilizados para acceder a los sistemas de datos y control desde una única ubicación.

Además, generalmente agrega una interfaz gráfica de usuario, o un HMI, para controlar las funciones de forma remota. Las plantas de agua, por ejemplo, a menudo emplearán esta tecnología para controlar las bombas de agua remotas en sus sistemas.

4. Nivel de Planificación

El cuarto nivel de la pirámide de automatización se denomina nivel de planificación. Este nivel utiliza un sistema de administración de computadoras conocido como MES o sistema de ejecución de fabricación.

MES (Manufacturing Execution System) supervisa todo el proceso de fabricación en una planta o fábrica desde las materias primas hasta el producto terminado.

Esto permite que la administración vea exactamente lo que está sucediendo y les permite tomar decisiones basadas en esa información. Pueden ajustar los pedidos de materia prima o los planes de envío en función de los datos reales recibidos de los sistemas de los que hablamos anteriormente.

5. Nivel de Gestión

La parte superior de la pirámide es lo que se llama el nivel de gestión. Este nivel utiliza el sistema de gestión integrado de las empresas, que se conoce como ERP o planificación de recursos empresariales.

Aquí es donde la alta dirección de una empresa puede ver y controlar sus operaciones. ERP (Enterprise Resource Planning) suele ser un conjunto de aplicaciones informáticas diferentes que pueden ver todo lo que sucede dentro de una empresa. Utiliza la tecnología de todos los niveles anteriores además de un poco más de software para lograr este nivel de integración.

Esto permite que el negocio pueda monitorear todos los niveles, desde la fabricación, las ventas, las compras, las finanzas y la nómina, y muchos otros. La integración del ERP promueve la eficiencia y la transparencia dentro de una empresa al mantener a todos en la misma página.

Como se mencionó al inicio, pirámide CIM beneficia la transmisión en el intercambio de información en los distintos elementos que conforman las redes de manufactura. Por lo que el proceso de comunicación concebido persigue el incremento de la eficiencia de cada componente de las grandes empresas, cuyos objetivos principales son:

- Incremento de la flexibilidad y fiabilidad del sistema, se responde rápidamente a los cambios surgidos.
- Mejora de la calidad del producto: automatización en los procesos.
- Reducción de costos.
- Reducción del tiempo y cantidad de operaciones empleadas, debido a la eficiente integración de los datos.[18]

- **¿Qué es la programación secuencial?**

Conocido como estructura secuencial, es aquella en la que una instrucción o acción sigue a otra en secuencia. En este tipo de programación se presentan operaciones de inicio a fin, inicialización de variables, operaciones de asignación, cálculo, entre otras.

La programación secuencial es más simple y fácil de usar. Como las instrucciones están relacionadas, será más sencillo entender lo que hace cada función en una instrucción. Las tareas se llevan a cabo de tal manera que la salida de una es la entrada de la siguiente y así sucesivamente hasta finalizar un proceso; por esta razón se le conoce como secuencial.

Estructura secuencial en programación

Todo algoritmo o programa consta de 5 fases, las cuáles son:

1. **Declaración o definición de variables.** Se enlistan al principio del algoritmo todas las variables que se usarán, colocando el nombre y el tipo.
2. **Inicialización de variables.** Significa que se les debe asignar algún valor, puede ser numérico, lógico o de otro tipo.
3. **Lectura o entrada de datos.** El valor o dato se recibe desde un dispositivo de entrada y se almacena en la variable que aparece después de la instrucción.
4. **Cálculos.** De acuerdo con los valores de entrada se realizan las operaciones para indicar la salida.

5. **Escritura o salida de datos.** El resultado o mensaje se envía a través de un dispositivo de salida y la instrucción se escribe entre comillas.[19]

- **PROFINET**

Es un estándar Ethernet abierto que cumple la especificación IEC 61158 para la automatización industrial. Este tipo de red permite conectar equipos desde el nivel del campo (PLCs y otros dispositivos) hasta el nivel de gestión (sistemas informáticos e internet). PROFINET permite una comunicación homogénea con la ingeniería cubriendo toda la planta industrial y de gestión apoyando las tecnologías de la información hasta el nivel del campo.



Imagen 3 Red de comunicación con protocolo Profinet.

Fuente: Introducción a las Redes de Comunicación Industrial[20]

Al igual que una red Ethernet, Profinet utiliza el conjunto de protocolos TCP/IP para la transferencia de datos en toda la empresa y a todos los niveles. Podría decirse entonces que Profinet es una Ethernet Industrial, no obstante, cabe distinguir algunos aspectos y diferencias entre ellas:

- **ETHERNET**

Es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que utiliza los protocolos TCP/IP, bajo el método de control de acceso al medio conocido como CSMA/CD "Carrier Sense Multiple Access, with Collision Detection". CSMA/CD determina cómo y cuándo un paquete de dato es ubicado en la red. Antes de que un dispositivo Ethernet esté habilitado a transmitir datos, primero tiene que escuchar para asegurarse de que el medio está "libre" y no hay otros dispositivos transmitiendo. Así cuando la red está libre, los dispositivos inician la transmisión. Durante el proceso de transmisión, el dispositivo tendría que continuar escuchando la red para ver si algún otro dispositivo está también transmitiendo. Si no hay ningún otro, entonces el paquete de datos se considera enviado al receptor sin interrupciones. Sin embargo, si durante la transmisión detecta que otro dispositivo también está transmitiendo se puede dar una colisión de datos, así pues, ambos

detendrán sus transmisiones y realizarán un proceso conocido como back-off en el que esperarán un tiempo aleatorio antes de intentar volver a transmitir nuevamente.

▪ **ETHERNET INDUSTRIAL**

Es un sistema que ofrece todo el potencial que ofrece Ethernet, pero utiliza medidas de seguridad, incluidas las de control de acceso y autenticación, seguridad en la conectividad y administración, a fin de asegurar y garantizar la confidencialidad e integridad de la red y ofrecer datos libres de interferencias. Efectivamente, las redes Ethernet Industrial deben ser altamente confiables y seguir en funcionamiento durante duras condiciones ambientales, interrupciones accidentales de red y fallas de los equipos. La caída de una red puede ser peligrosa y cara. Un elemento clave de preocupación es el rendimiento de extremo a extremo. Por esto, el determinismo, es decir, la capacidad de garantizar que un paquete es enviado y recibido en un determinado período de tiempo, es un importante objetivo para el diseño de las redes industriales.

- **PROFINET** es la evolución de del estándar abierto de Ethernet industrial para la automatización. Utiliza Industrial Ethernet y permite la comunicación en tiempo real hasta el nivel de campo, aprovechando plenamente los estándares de las tecnologías de la información existentes. PROFINET tiene determinismo y permite establecer prioridades en la red, evitando así la saturación de la red e incrementando por tanto la seguridad en la comunicación.

CARACTERÍSTICAS DE PROFINET

- PROFINET I/O ofrece funcionamiento en “tiempo real” para datos de E/S cíclicos. Tiempo real significa programar/organizar el intercambio cíclico con cada esclavo, con alta prioridad y tiempos fijos.
- Se pueden utilizar los cables y switches estándar de Ethernet
- Sistema Maestro-Esclavo, como en Profibus.
- Se configura como una red de campo.
- Los dispositivos ya no se direccionan mediante número de nodo, sino mediante un nombre
- Comunicación fácil, rápida, flexible y abierta.
- Protocolo abierto, estándar industrial.
- Tan sencillo como un bus de campo.
- Alta velocidad, tiempo de ciclo por dispositivo.
- 100 m entre dispositivos.
- Utiliza conectores industriales apantallados RJ45.
- Grandes velocidades de transmisión (10-100-1000 Mps). [20]

- **Mecanismos de transformación del movimiento:**

Biela y manivela:

El mecanismo está compuesto por una biela o barra rígida que realiza un movimiento lineal alternativo y una manivela que realiza un movimiento circular. La biela se une a la manivela por articulaciones y su movimiento suele ser guiado. La transformación del movimiento se puede realizar en los dos sentidos, obteniendo movimiento circular cuando la transmisión es biela-manivela y movimiento alternativo cuando la transmisión es manivela-biela. Este mecanismo se utiliza en la máquina de vapor, los motores de combustión interna, la máquina de coser, etc.[21]

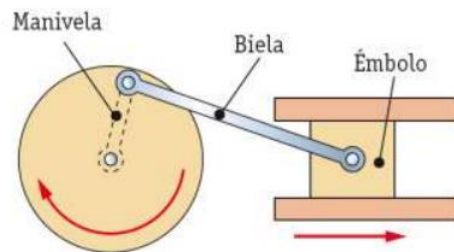


Imagen 4 Mecanismo de transformación de movimiento circular en lineal.

Fuente: Mecánica y mecanismos, McGraw Hill[21]

- **RPI**

El RPI define la frecuencia más baja a la que un módulo multidifunde sus datos al controlador propietario. El tiempo oscila entre 200 μ s y 750 ms y se envía al módulo con el resto de los parámetros de configuración. Cuando transcurre el período de tiempo especificado, el módulo multidifunde los datos. A esto se le denomina también actualización cíclica.[22]

¿Cómo afecta el RPI a la lógica de la aplicación?

Debido a que el valor de las entradas se actualiza de forma asincrónica desde el ciclo de exploración del PLC, la misma etiqueta puede tener un valor diferente en diferentes puntos del código de la aplicación.

Por ejemplo, imaginemos que tenemos un módulo de entrada con un RPI de 20 milisegundos. Hemos conectado un sensor fotoeléctrico a este módulo de entrada y hemos creado una etiqueta de alias para el punto de entrada llamada Photo_Eye. El tiempo de ciclo de nuestro PLC es de 50 milisegundos. Esto significa que el estado de la entrada Photo_Eye se actualizará 2,5 veces en cada escaneo.

En el código de nuestra aplicación, verificamos el valor de la etiqueta Photo_Eye en el peldaño 100 y el peldaño 400 de una rutina de diagrama de escalera. Dado que el tiempo de ciclo del PLC es mayor que el RPI del módulo, podremos ver que la etiqueta tiene un valor diferente según en qué momento la comprobemos en el ciclo.

También podemos ver que es hora de dividir nuestra rutina, ya que 400 peldaños son demasiados para una sola rutina[23]

El RPI especifica el intervalo con el que se actualizan los datos a través de una conexión. Por ejemplo, un módulo de entrada envía datos a un controlador con el RPI que usted asigne al módulo.

- Generalmente, el RPI se configura en milisegundos (ms). El rango es 0.1...750 ms.

- Si una red ControlNet conecta los dispositivos, el RPI reserva un espacio en la cadena de datos que fluye a través de la red ControlNet. La temporización de este espacio puede no coincidir con el valor del RPI, pero el sistema de control garantiza que los datos se transfieran por lo menos con la misma frecuencia que el RPI.[24]

▪ AGREGAR PTP_DRIVES_FESTO_EIP AOI EN EL PROGRAMA DEL PLC

La instrucción Add-On debe llamarse cíclicamente con una instancia distinta para cada servoaccionamiento integrado en el programa de usuario (cada eje). No se permite el uso simultáneo de múltiples instancias del mismo dispositivo.

- Cualquier AOI debe estar en una tarea continua llamada cíclicamente.[25]

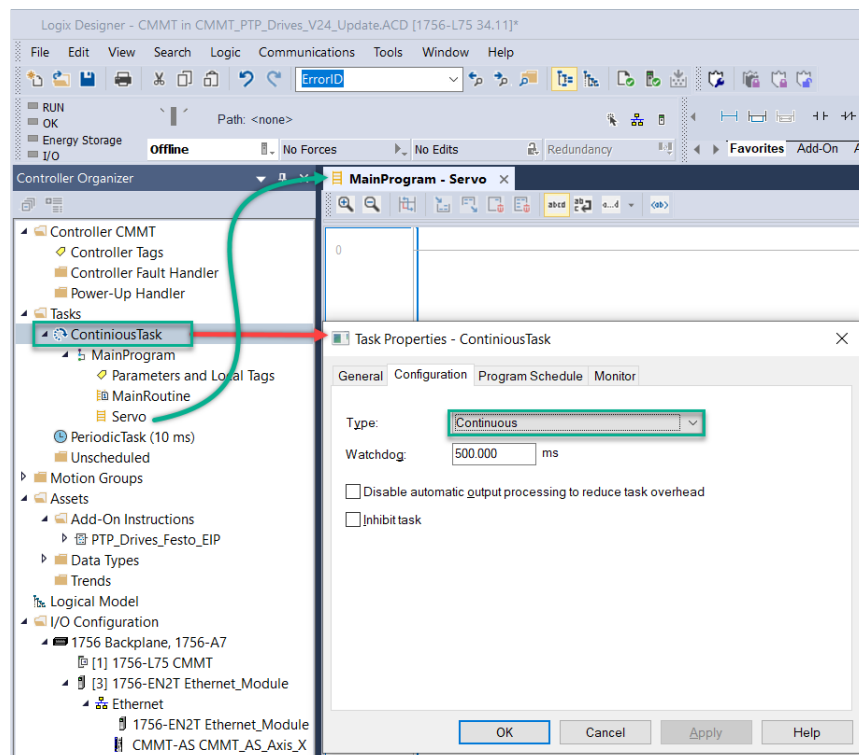


Imagen 5 Propiedades de rutina

Fuente: Festo [25]

Warning

- The **WRONG WAY** is to have the AOI (Add-On Instruction) programmed within a periodic task like shown below.

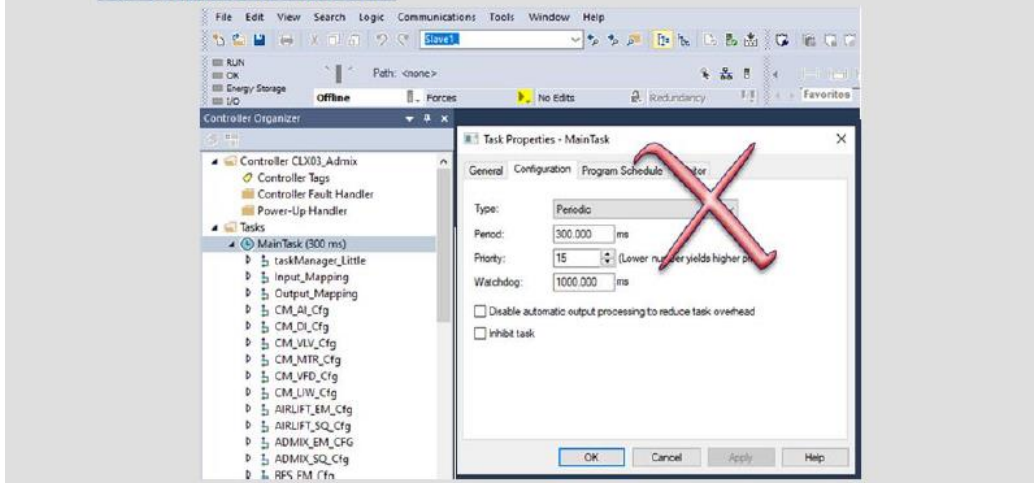


Imagen 6 Advertencia de configuración del Add-On Instruction
Fuente: Festo [25]

TIPO DE TAREA	EJECUCION DE TAREA	DESCRIPCION
Continuo	Siempre	<p>La tarea continua se ejecuta en segundo plano. Todo tiempo de CPU no asignado a otras operaciones (como movimiento, comunicación y otras tareas) se utiliza para ejecutar los programas en la tarea continua.</p> <ul style="list-style-type: none"> •La tarea continua se ejecuta constantemente. Una vez que la tarea continua realiza un escáner completo, se reinicia inmediatamente. •Un proyecto no requiere una tarea continua. Si se usa, solo puede haber una tarea continua.

<p>Periódico</p>	<ul style="list-style-type: none"> •A un intervalo establecido, como, por ejemplo, cada 100 ms •Varias veces en el scan de la otra lógica 	<p>Una tarea periódica realiza una función cada cierto intervalo:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Cada vez que expira el tiempo de la tarea periódica, la tarea interrumpe las tareas de menor prioridad, se ejecuta una vez y seguidamente retorna el control a donde estaba la tarea anterior. •Se puede configurar el período de tiempo entre 0.1 y 2,000,000.00ms. El valor predeterminado es 10 ms. También depende del controlador y de la configuración. •El rendimiento de una tarea periódica depende del tipo de controlador Logix5000 y de la lógica en la tarea. •La tarea periódica procesa datos de E/S para los controladores CompactLogix™, FlexLogix™, DriveLogix™ y SoftLogix™ con las siguientes consideraciones: <ul style="list-style-type: none"> –Para los controladores CompactLogix, FlexLogix y DriveLogix, opera con prioridad 6– –Para los controladores SoftLogix, opera con prioridad 16 de Windows (estado inactivo) –Las tareas de mayor prioridad tienen mayor prioridad sobre la tarea de E/S y pueden afectar el procesamiento –Se ejecuta al RPI más rápido que se ha planeado para el sistema. –Se ejecuta por el tiempo necesario para escanear los módulos de E/S configurados.
<p>Evento</p>	<p>Inmediatamente tras ocurrir un evento</p>	<p>Una tarea de evento realiza una función solo cuando ocurre un evento (activador). El activador de la tarea de evento puede ser lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un disparador de tag consumido •Una instrucción EVENT •Un activador de eje •Un activador de evento de movimiento •Cambio de estado de datos de entrada de módulo IMPORTANTE: Con la aplicación Logix Designer, versión 21.00.00 o posterior, puede usar este activador con las aplicaciones 1756 ControlLogix®, 1789 SoftLogix y CompactLogix 5370 L1.

Tabla 2 Tipos de tareas y frecuencia de ejecución.

Fuente: Rockwell Automation [26]

▪ **Datos de Proceso**

Modbus TCP ofrece los mismos datos de proceso que los que tienen el perfil de Ethernet/IP.

Process data	Description
Byte 0 ... 23 (24 bytes)	Telegrams 1, 102 or 111 → 14.5.4 Telegrams
Byte 24 ... 55 (32 bytes)	Additional telegram 910 (Extended Process Data, EPD) → 14.5.5 Additional telegram

Imagen 7 Tabla de asignación de datos de proceso.

Fuente: Festo [26]

Los datos del proceso se transmiten a una velocidad de transmisión mínima de 1 ms.

El canal de datos del proceso tiene una longitud fija de 56 bytes. Si el canal EPD está desactivado, solo se transmiten ceros.

Desde el punto de vista del controlador:

- Datos de entrada: registro 100 ... 127
- Datos de salida: registro 0 ... 27 [26]

▪ **La Desviación Estándar (S O Σ)**

La desviación estándar o típica se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones de los datos con relación a la media aritmética,

dividida por sus grados de libertad, esto es: $S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$ para el caso de una

muestra. Si se trata de la desviación estándar poblacional (parámetro) entonces la media aritmética X se cambia por la media poblacional y el número de grados de libertad (n - 1) se cambia por el número N de elementos de la población.

Bien se sabe que la desviación estándar no tiene una interpretación práctica de carácter puntual para sus valores y que sólo permite una interpretación comparativa. Sin embargo, tiene algunas propiedades deseables como indicador de la variabilidad en un conjunto de datos. Entre ellas:

- Tiene en cuenta todos los valores muestrales o poblacionales.
- Se puede calcular por métodos abreviados.
- Su valor es mínimo, en el sentido de que, al cambiar la media aritmética de su fórmula por cualquier número real, su resultado será siempre mayor.
- El valor esperado o esperanza matemática de la desviación estándar al cuadrado coincide con el cuadrado de la desviación estándar poblacional.
- Esta propiedad es de gran utilidad en la inferencia estadística.[27]

7. Metodología

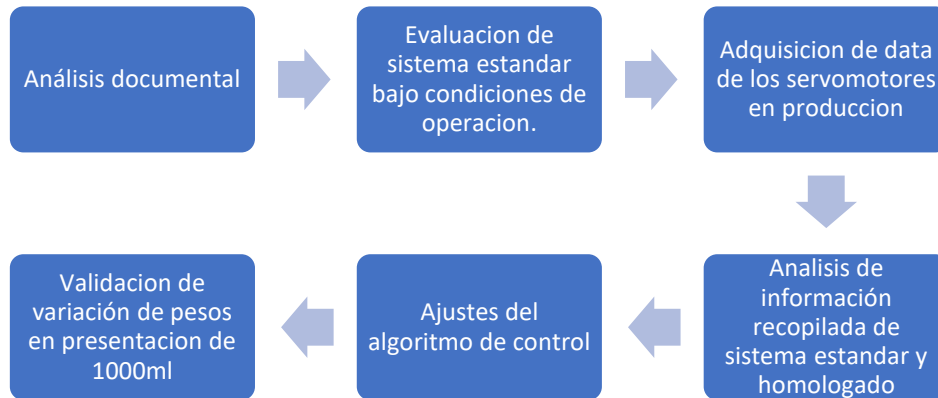


Figura 1 Metodología de desarrollo

Este proyecto de investigación es un caso de estudio aplicado a envasadoras asépticas de leche UHT con sellado servoasistido, el cual posee una metodología basada en 6 pasos fundamentales, partiendo de la problemática anteriormente mencionada, en la que se busca llegar a una solución tangible de gran impacto, esos pasos consisten en:

- **Análisis documental:** recopilar información técnica de los nuevos componentes incorporados y homologados al sistema, que puedan estar afectando la variación.
- **Evaluación del sistema estándar bajo condiciones de operación:** En dicho paso, se busca establecer que sistemas pueden afectar directamente las variaciones
- **Adquisición de data de servomotores en producción:** al ser un sistema homologado, se busca tener información del comportamiento de dicho componente en el sistema para establecer si es uno de los aspectos que están directamente relacionados con la variación
- **Análisis de información recopilada del sistema estándar y homologado:** este ítem parte de la información recopilada con la evaluación y la adquisición de data, en la que se establece que aspectos están afectando y que se deben establecer en la corrección
- **Ajustes del algoritmo de control:** Como la envasadora es un sistema automatizado, y partiendo del análisis se deben realizar ajustes, tanto de programación como de ajustes mecánicos se establece como un paso fundamental en la metodología de la investigación para llegar un resultado tangible
- **Validación de variación de pesos en presentación de 1000ml:** En este paso ya se pueden tener las conclusiones de la investigación en la que toda la metodología se ve reflejada en el ajuste y obtención de una variación acorde a lo que se les oferta a los clientes.

8. Resultados

Durante el proceso de envasado, se debe tener en cuenta toda la línea producción inmersa, de la cual hay varios aspectos que se deben evaluar con respecto a la variación de peso

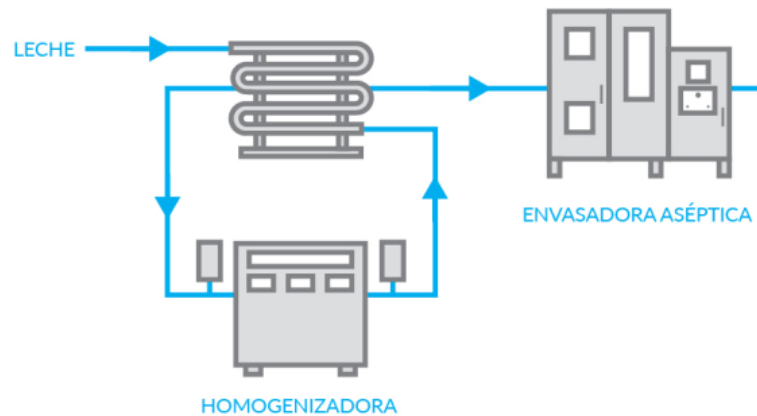


Imagen 8 Flujo de proceso de leche UHT

Fuente: BiA Consult Biotecnología Alimentaria[28]

Se debe tener en cuenta que la leche cruda ingresa a través del esterilizador, el cual hace intercambio calorífico a varias temperaturas para poder eliminar cualquier bacteria y de esta manera prolongar la vida de la leche, adicional de los cambios de temperaturas también es pasado por un homogeneizador que permite romper los gránulos de grasa en la leche y de esta manera sea más homogéneo el líquido, posterior pasa a la envasadora a cierto caudal necesario acorde a la necesidad de producción de la envasadora, esto también implica mantener un nivel en el tanque de balance de la envasadora que es un tanque alimentador de producto, el cual se debe mantener un setpoint adecuado de nivel para garantizar que se empaque la cantidad de líquido acorde a la presentación.



Imagen 9 Tanque balance envasadoras asépticas, setpoint

Fuente: Autor

Durante el seguimiento del pesaje de las varias producciones se obtienen resultados variantes en las que se tiene una variación de hasta +/-60g con respecto a al valor que maneja por calidad el cliente, dicha variación en lote pequeño sería relevante, pero para producciones de lotes de producción de 10mil litros es significativa, lo que genera pérdidas para el cliente, como se expresa a continuación

Producción	Leche cruda (lts)	Presentación (ml)	Peso establecido por calidad	Cant. Bolsas envasadas	Variación (gr) +/- respecto a 1020	Peso envasado x bolsa (gr) 1gr->1ml	Cant. Bolsas Envasada	Unidades con variación que haría unidad de 1020ml	Unidades dejan de empacar en la producción	Precio Venta x Unid \$USD	Precio total envasado con variación \$USD		Precio diferencial por producto no envasado por variación
											Sin variación	Con variación	
Diaria	10.000	1.000	1.020	7.843	+60	1.080	7.407	18	436	1,50	11.764,71	11.111,11	653,59
						-60	960	8.333	16		490	12.500,00	735,29
Semanal	60.000			56.863	+60	1.080	53.704	18	3.159		80.555,56	4.738,56	
					-60	960	60.417	16	3.554		90.625,00	5.330,88	
Mensual	240.000			233.333	+60	1.080	220.370	18	12.963		330.555,56	19.444,44	
					-60	960	247.917	16	14.583		371.875,00	21.875,00	
											350.000,00		

Tabla 3 Costos desfase peso

Teniendo en cuenta que en se tiene en silo 10.000 litros de leche cruda, de los cuales se perderían alrededor de 2 mil litros, en proceso de empuje, perdidas de operación y en tuberías, se estaría perdiendo un equivalente a 654 USD de producto envasado, dado a la variación y a las unidades que no se estarían empacando si se mantiene una variación acorde con lo ofertado.

Si se hace una proyección a la semana se estaría hablando de una producción de 60.000 litros cuya jornada de 5 horas de envasado, se estaría teniendo una perdida en promedio de 5.330,88 USD, en pesos colombianos serian 22.389.705,88 pesos, lo que representa una perdida significativa para la producción. Pero no quedaría solo con esa proyección, si se sigue hablando a gran escala, se habla de un período de tiempo de 1 mes, en el que se tendría para envasar 240.000 litros de leche cruda de mantenerse en el envasado con una producción estable se tendría un precio de 350.000 USD, 1.470.000.000 pesos colombianos, si se mantiene una producción con la variación de pesos de 60 g, se tendría una pérdida de 21.875 USD, alrededor 91.875.000 COP en promedio.

Este sería un planteamiento con una producción 5 horas de producción/6 días, al incrementar la demanda de producto, el productor aumentará su capacidad de operación pasando a un trabajo 24/6, de los cuales 5 horas se usarán para CIP y esterilización, procesos de limpieza de la máquina, lo que se reflejaría una mayor pérdida para el productor, porque se estaría viendo reflejado en el número de unidades como también de los clientes, para este caso el productor realiza maquila lo que ocasionaría perdida de contratos.

Producción	Leche cruda (lts)	Presentación (ml)	Peso establecido por calidad	Cant. Bolsas envasadas	Variación (gr) +/- respecto a 1020	Peso envasado x bolsa (gr) 1gr->1ml	Cant. Bolsas Envasada	Unidades con variación que haría unidad de 1020ml	Unidades dejan de empacar en la producción	Precio Venta x Unid \$USD	Precio total envasado con variación \$USD		Precio diferencial por producto no envasado por variación	Convers. USD a COP (Prom. Diferencial)
											Sin variación	Con variación		
Anual	2.880.000	1.000	1.020	2.821.569	+60	1.080	2.664.815	18	156.753,81	1,50	4.232.352,94	3.997.222,22	235.130,72	1.019.291.666,67
					-60	960	2.997.917	16	176.348,04		4.496.875,00	264.522,06		

Tabla 4 Costo anual

Se debe tener en cuenta que, al tener un peso por debajo de lo establecido, se puede generar ingresos, pero también se podría ganar sanciones dado a la regulación que se tiene con respecto a la cantidad de producto ofrecido en los empaques y al producto real envasado.

Para poder determinar qué sistema estaba afectando la operación y el peso del envasado se contemplaron las siguientes hipótesis de causantes:

- Perturbación por el UHT.
- Nivel de tanque balance
- Descalibración sensor de nivel tanque balance
- Tubo dosificador
- Sistema de desarrollo
- Sistema de sellado horizontal

8.1. Perturbación por el esterilizador UHT:

Inicialmente para descartar sistemas con posibles perturbaciones de presiones y caudales proveniente del esterilizador se realizó la siguiente operación, sin antes realizar una verificación de calibración del sensor de nivel por radar acorde con el nivel real del tanque de balance, esto con el fin de que lo que se observa por la HMI y el valor que toma el controlador PID de la válvula de producto sea el correcto para el setpoint establecido. Posterior a ello se evalúa el comportamiento del UHT de la siguiente manera:

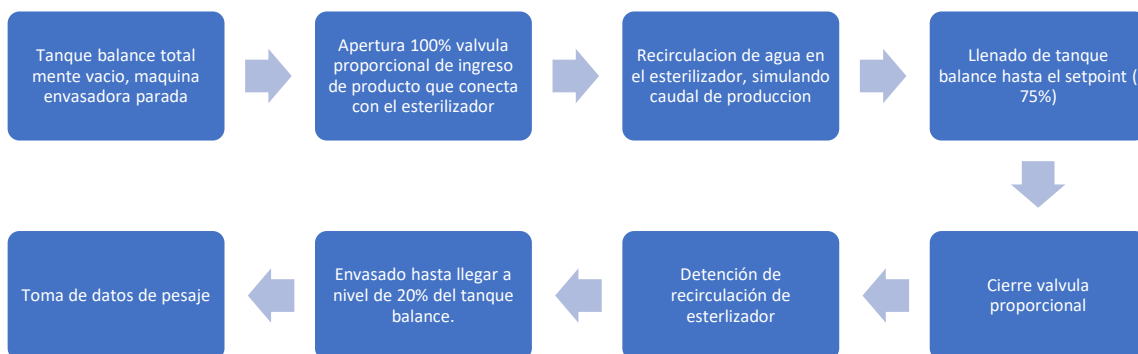


Figura 2 Diagrama de estudio ante problemática de variación de peso en envasadora aséptica

De este ejercicio se obtuvieron los mismos resultados con respecto al peso en bolsa, obteniendo la misma variación de +/-60g, haciendo un descarte de algún efecto originado por el esterilizador.

8.2. Nivel tanque balance y descalibración de sensor de nivel

Al descartar temas del esterilizador UHT, se debe analizar el nivel del tanque balance, en el que se revisa funcionamiento de la válvula de producto, que es la que permite el paso del producto de la línea de proceso a la envasadora, posterior la válvula proporcional con su control PID, cuya función es garantizar el nivel en el tanque de balance acorde, dado a la operación previa en la que el nivel se mantiene en el 75%, se descarta la regulación de la misma, por tal motivo se realiza calibración del sensor de nivel VEGA, el cual es un sensor de radar, que permite determinar el nivel a través de las microondas emitidas por sensor a través de la reflexión con el producto y que está directamente relacionado con el controlador de la válvula de control de caudal de ingreso

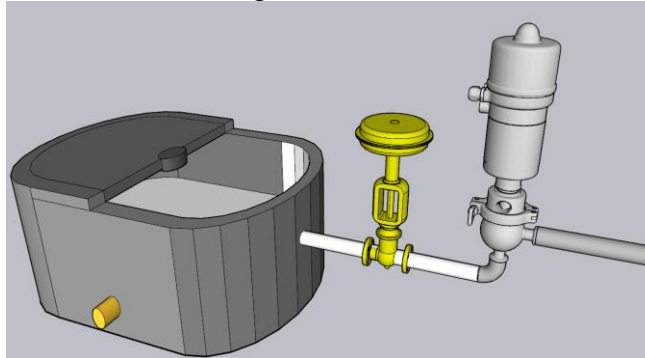


Imagen 10 Tanque balance
Fuente: Autor

Se llena el tanque hasta el 50% de su capacidad y se hace la configuración de los parámetros pertinentes para poder realizar la estimación del nivel con el sensor, una vez obtenido dicho valor en el sensor se procede a realizar una prueba de llenado con la misma agua que se hizo la prueba, de la cual se tiene la misma variación de peso, por lo cual se descarta que sea problemas de sensor y de nivel.

8.3. Tubo dosificador

El siguiente sistema aguas abajo para revisar, es el dosificador compuesto por un servomotor, válvula de membrana, tubo dosificador, varilla de centrado y cierre, la afectación del peso con este sistema con la variación es significativo ya que es el sistema que le dosifica la cantidad adecuada a las bolsas, en el dosificador se revisaron los siguientes puntos:

- Apertura del tubo dosificador
- Calibración de servomotor
- Centrado de varilla interna del tubo dosificador

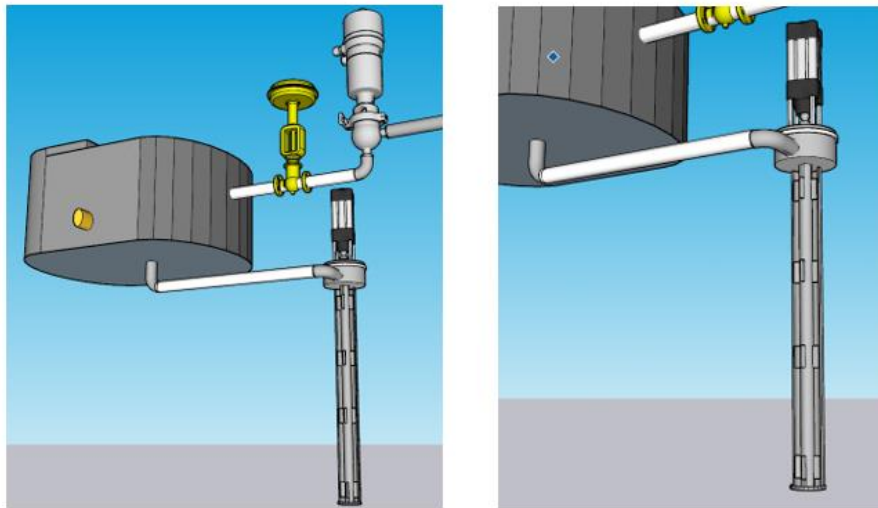


Imagen 11 Sistema dosificador

Fuente: Autor

En la imagen 11, se puede apreciar la estructura del sistema en la que la dirección del producto inicia en el tanque de balance, ingresa a la válvula de membrana, y desciende por el tubo interno del tubo dosificador e inundándolo completamente de leche, de acuerdo con la apertura generada por el servomotor, se desplaza la varilla interna hacia abajo o hacia arriba según el caso, de esta manera el producto sale y llena las bolsas. Con base en ello el factor de apertura del tubo se revisa tanto el cierre total como los milímetros de apertura esto se da con un adecuado homing y calibración del servomotor a partir de la varilla interna, a partir del valor ingresado por pantalla para la apertura se verifica con un calibrador pie de rey, en la que en efecto correspondían los valores.

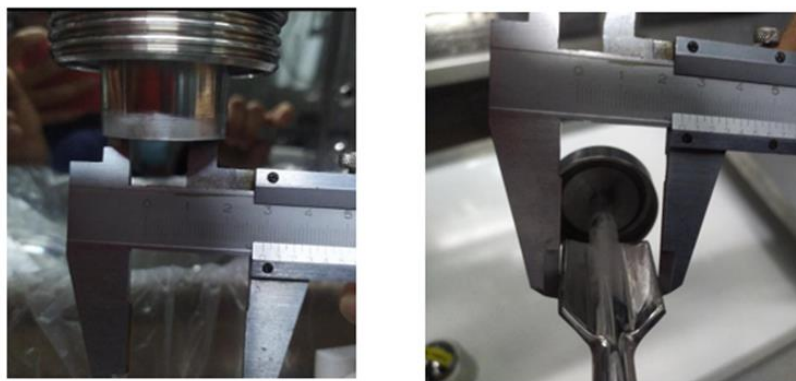


Imagen 12 Medición de varilla y tubo interno del dosificador

Fuente: Autor

La tolerancia del centrado de la varilla interna del tubo dosificador era otro aspecto que podía afectar dado que al caer el producto las aspas de esta varilla hacían que la varilla podía variar internamente la apertura, cuya diferencia era de 5mm no difería significativamente con el peso.

Al revisar adecuadamente y hacer los ajustes pertinentes se hace pruebas de llenado de bolsas, se sigue presentando los mismos datos de variación. Se descarta el sistema

8.4. Sistema de desarrollo

El tema de arrastre del desarrollo del plástico está involucrado el sensor taca para la detección de la bolsa, las ruedas de goma y el funcionamiento del variador del motor del sistema desarrollo (Imagen 13).

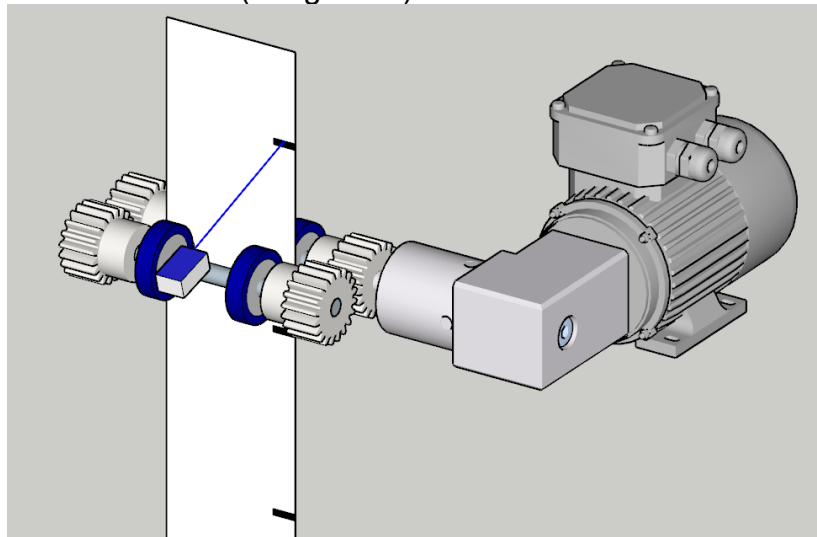


Imagen 13 Sistema de desarrollo de envasadora

Fuente: Autor

Al utilizar un sensor foto eléctrico algunas veces este se descalibra por las incidencia y reflexión sobre el polietileno empleado, lo que hace tener falsas lecturas de la taca, ya sea en la detección de blanco o detección por negro (según se configure el sensor), esta detección actúa sobre el motor reductor del sistema de desarrollo, al enviar señal de parada sobre el variador, de acuerdo con la opción de selección en el parámetro P045 que se tiene del variador Powerflex 525 empleado para este

P045	[Stop Mode]	0/11	0 = "Ramp, CF ⁽¹⁾ 1 = "Coast, CF ⁽¹⁾ 2 = "DC Brake, CF ⁽¹⁾ 3 = "DCBrkAuto, CF ⁽¹⁾ 4 = "Ramp" 5 = "Coast" 6 = "DC Brake" 7 = "DC BrakeAuto" 8 = "Ramp+EM B, CF ⁽¹⁾ 9 = "Ramp+EM Brk" 10 = "PointStp, CF ⁽¹⁾ 11 = "PointStop"	0
<p>Comando de paro para paro normal.</p> <p>Importante: El terminal de E/S 01 siempre es una entrada de paro. El modo de paro lo determina el ajuste del variador.</p> <p>Importante: El variador se envía con un puente instalado entre los terminales de E/S 01 y 11. Retire este puente cuando use el terminal de E/S 01 como entrada de paro o de habilitación.</p> <p>(1) La entrada de paro también borra el fallo activo.</p>				

Imagen 14 Parámetros de parada variador POWERFLEX 525.

Fuente: Rockwell Automation[29]

Realizando los ajustes pertinentes de esta prueba, se obtuvo una diferencia 5 mm de diferencia en el largo de la bolsa, aunque esta diferencia no es sinónima para almacenar los 60 ml de diferencia.

8.5. Sistema de sellado horizontal

Solo queda el análisis del sistema de sellado horizontal por mordaza servoasistida que fue la homologación realizada

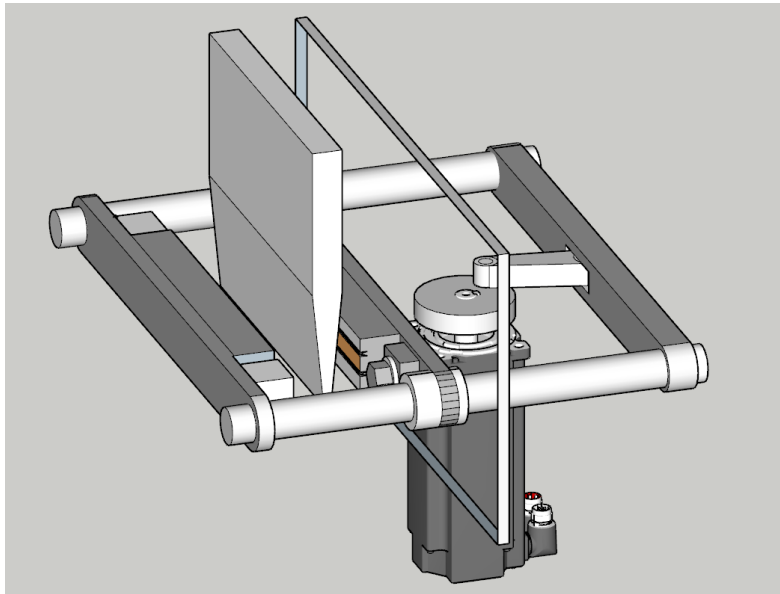


Imagen 15 Sistema de sellado horizontal servoasistido
Fuente: Autor

El sistema empleado de sellado horizontal de la envasadora servoasistida(imagen 15) consiste en realizar una transferencia de movimientos, en la que por medio del servomotor se convierte movimiento circular en un movimiento lineal por medio de una biela, que permite realizar la apertura y cierre de la mordaza de sellado horizontal, de esta manera y por medio de las resistencias eléctricas se realiza el sellado transversal a las bolsas ya con producto, en la que realiza dos sellados, uno para la parte superior de la bolsa anterior, y el sellado de la parte inferior de la bolsa siguiente.

Para el análisis de la incidencia del peso con respecto al efecto generado por el servomotor Festo se generaron figuras del comportamiento del equipo a través de la herramienta Festo Automation Suite, en la se recopiló información acorde a los parámetros seteados, uno de ellos son posición, velocidad y aceleración, como encontramos a continuación:

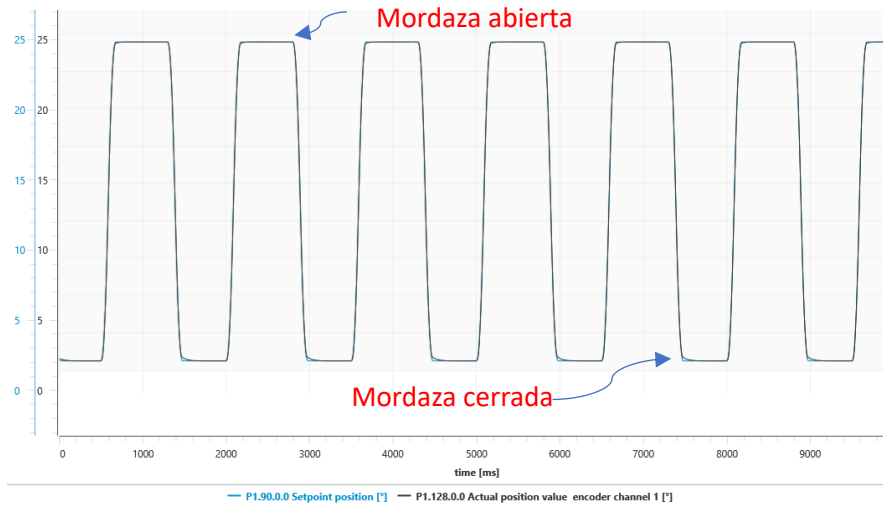


Figura 3 Comparativa posición actual vs setpoint del servomotor
Fuente: Autor

En la figura 3, se puede observar lectura del encoder que tiene el servomotor, con este indica la posición en la que se encuentra, durante la realización de los movimientos se puede observar que es acorde al setpoint establecido en la rutina de control, se visualiza que tiene un período de 1500ms con un comportamiento simétrico.

Si se incluye en el análisis los parámetros de operación de motor, como lo es la velocidad se observa un comportamiento semejante, el control que ejerce el controlador sobre el servomotor permite tener un valor aproximado de 266°/s entre el valor real de la velocidad con respecto al setpoint como se observa en la figura 14.

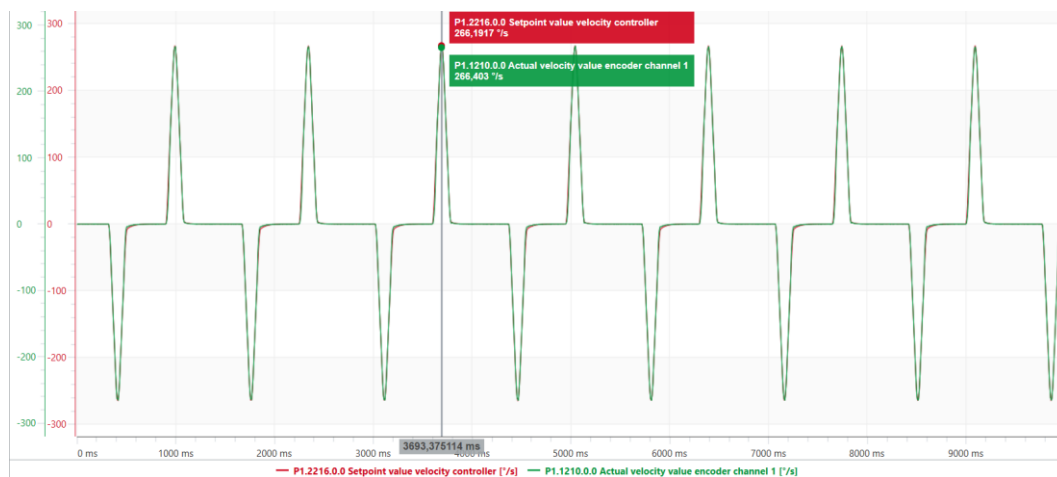


Figura 4 Velocidad del servomotor, actual vs setpoint
Fuente: Autor

Al observar la figura 5, se puede detallar el comportamiento de la curva de la velocidad del servomotor, en el que aproximadamente en 100ms su velocidad pasa de 0°/s a 266°/s para terminar descendiendo a 0°/s 100ms después, es decir se requiere aproximadamente de 200ms para que el servomotor pase de estar cerrado (0°) ha abierto (25°), en el que al 48% del recorrido de la mordaza se tiene la velocidad máxima establecida

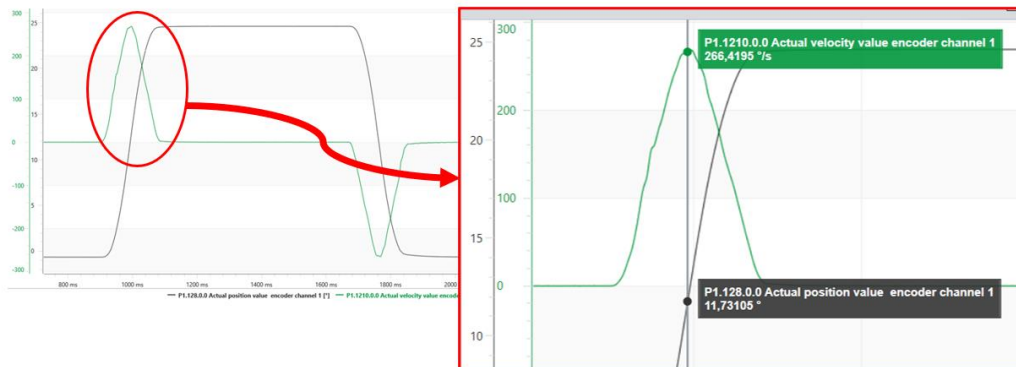


Figura 5 Comportamiento de la velocidad respecto a la posición.

Fuente: Autor

Similarmente, se puede apreciar el comparativo entre los valores reales e ideales de la aceleración que debe tener el servomotor con respecto a los parámetros asignados. En el que se puede apreciar que la aceleración para el cierre es diferente con respecto a la apertura, de acuerdo con el funcionamiento se entiende justo a la rapidez en la que el servomotor quiere llegar a su posición final.

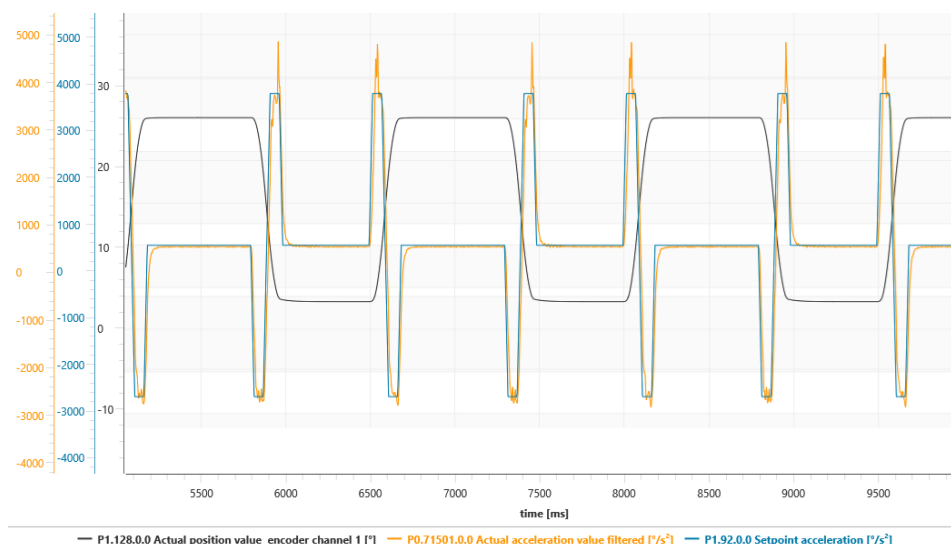


Figura 6 Aceleración del servomotor, real vs setpoint

Fuente: Autor

Al no encontrar indicios concisos de que exista alguna diferencia significativa que afecte desde el punto de vista de los parámetros de control a la variación, se debe analizar el comportamiento del servo con respecto a sus características físicas y sus características eléctricas.

En la gráfica de posición vs corriente, figura 7, se puede observar el comportamiento de la corriente del motor cuando cambia de posición, se detalla un comportamiento simétrico en cada período de los pulsos generados en pasar de la posición 0° (cerrado) a 25° (abierto), en el que se ve un pico de corriente 2A menor cuando se hace la transición de abierto a cerrado ya que está en su estado de reposo en la que no se genera ningún esfuerzo y se necesita 2 A de más para pasar de cerrado a abierto, dado que necesita pasar de a su máxima apertura y máximo esfuerzo con la carga del motor; pero estos valores están acorde a la corriente pico que puede soportar el servomotor.

A pesar de que se evidencia un sobreconsumo cuando la mordaza se encuentra cerrada de acuerdo con el anexo 2 (corriente pico 18,5A) y esta se debe justamente a la posición de contacto entre las dos partes de la mordaza pero que no representa una afectación al peso. Adicionalmente se puede apreciar los tiempos de cada estado ,500ms para cerrado y 700ms abierto, se podría entender que los 200ms de diferencia corresponden al ciclo de ejecución de la rutina de la mordaza, en la que se debe desplazar nuevo plástico para su llenado.

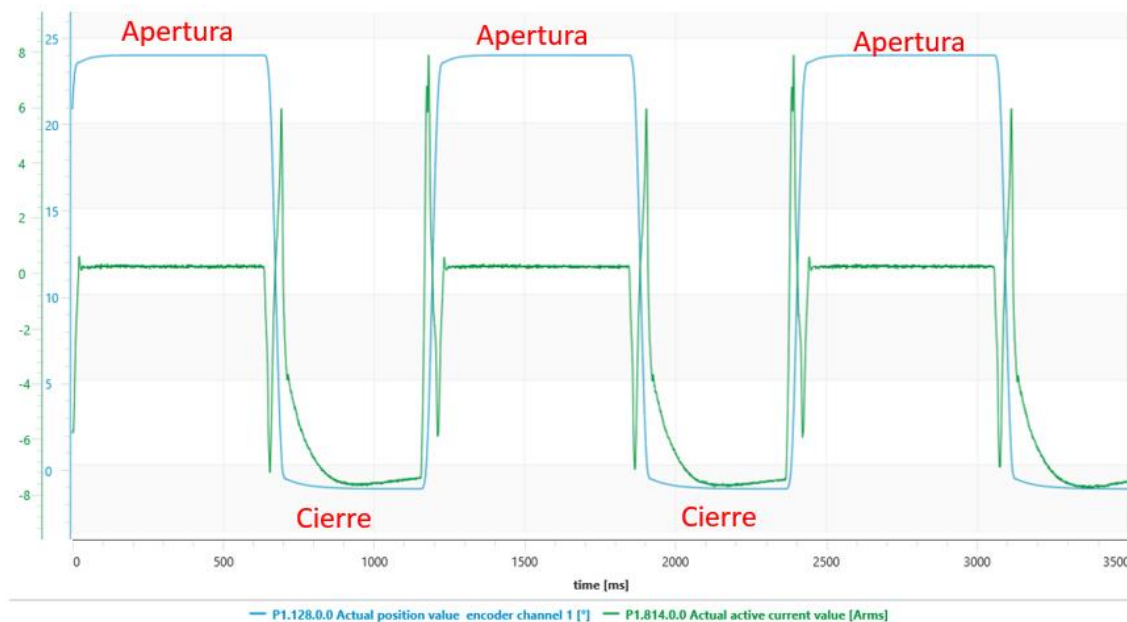


Figura 7 Posición vs corriente de servomotor CMMT
Fuente: Autor

Descartando las características anteriores para el análisis de las variaciones, solo queda la compatibilidad en respuesta del PLC con el controlador para la variación el peso de las bolsas y el comportamiento de respuesta del servomotor con relación a tiempos de comunicación y de rutina.

Para entender de una mejor manera el funcionamiento de todas las partes integradas en el sistema y como puede este afectar la variación de peso es importante tener en cuenta la secuencia de operación que se debe realizar en el momento del envasado ya que la forma en la que se ejecuta el accionamiento de cada elemento de acuerdo con la programación se basa en una estructura secuencia, es decir el fin de cada etapa es inicio de la siguiente, en una operación automática.

En la figura 8, se puede observar el paso a paso para poder obtener una bolsa de leche, en la que al momento de iniciar el cabezal comienza las secuencias de accionamiento de cada sistema, donde el ciclo de lectura de cada línea juega un papel importante, dado a los tiempos de lectura y ejecución de los parámetros de control; si nos damos cuenta en la secuencia la rutina del sellado horizontal es la última etapa y la que está directamente asociado con el comportamiento del envasado.

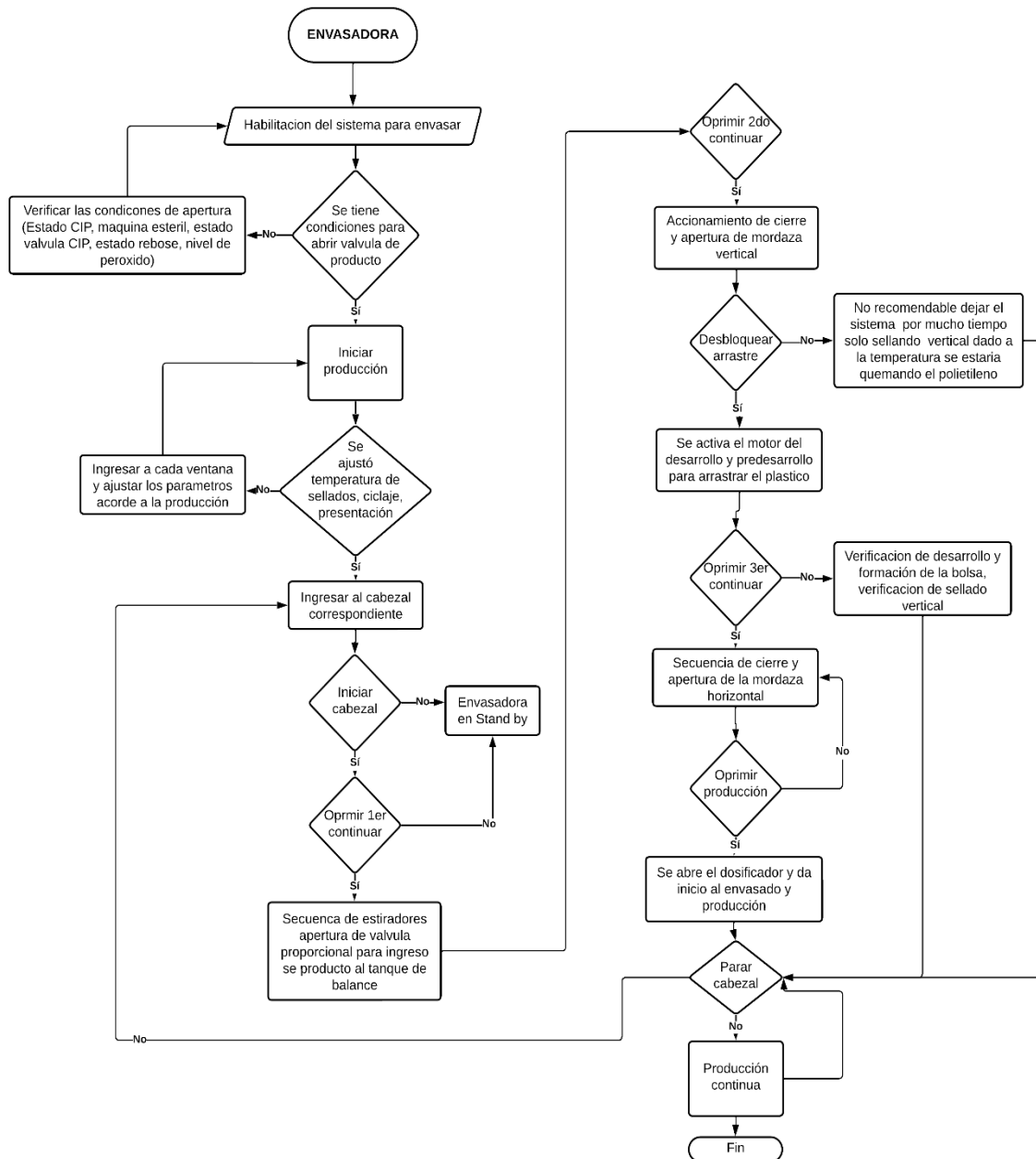


Figura 8 Flujograma de la secuencia de operación del envasado

Fuente: Autor

Partiendo que el controlador empleado es un Compactlogix 1769-L30ERM cuya comunicación se realiza por el protocolo Ethernet/Ip con los demás controladores de la envasadora, como lo es el controlador CMMT-AS

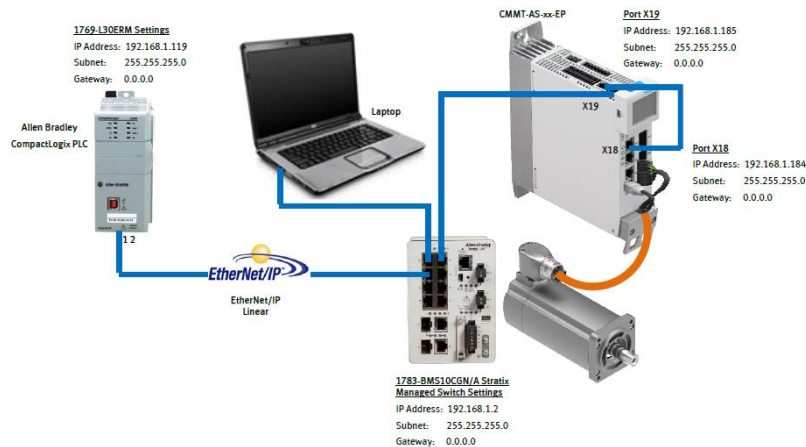


Figura 9 Flujoograma de la secuencia de operación del envasado
Fuente: Festo [30]

La comunicación entre PLC y Driver Festo deben estar acorde al tiempo de transmisión y recepción de datos, ya que como todo dispositivo electrónico manejan ciclos de acuerdo con su capacidad, es por ello por lo que se analiza este aspecto como última medida para determinar que la homologación es la adecuada para este tipo de aplicación.

Partiendo inicialmente de los tiempos de comunicación en el que se analiza el comportamiento de del peso con respecto a diferentes tiempos del ciclo de la rutina De acuerdo con el tiempo de ciclo que se tiene en las rutinas del programa estándar de la máquina, la rutina de ejecución de las señales de control esta parametrizada como una rutina de tipo periódica, con el fin de no consumir mucha memoria del PLC, a pesar de que la recomendación por parte de FESTO que la rutina de ejecución debe ser en una rutina de tipo continuo[25], la envasadora realiza múltiples rutinas en paralelo, por lo cual se necesitaría más recursos del controlador para llevar a cabo todas las tareas. Con base a lo anterior, se empieza a analizar el comportamiento de la variación del peso respecto a ajustes del ciclo de rutina

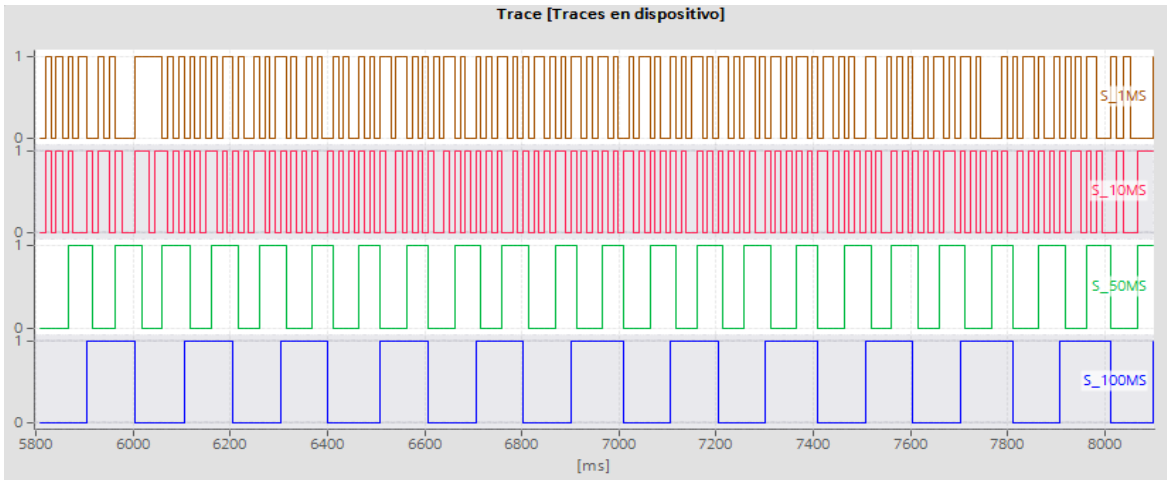


Figura 10 Diagrama de tiempos de la de rutina a diferentes tiempos
Fuente: Autor

Teniendo como punto de partida el diagrama de tiempo de la figura 8, se puede tener una perspectiva en las frecuencias en las que se estaría ejecutando la rutina de operación de las mordazas, los valores de los parámetros de control del servomotor, al partir con un tiempo de ciclo de rutina de 100ms.

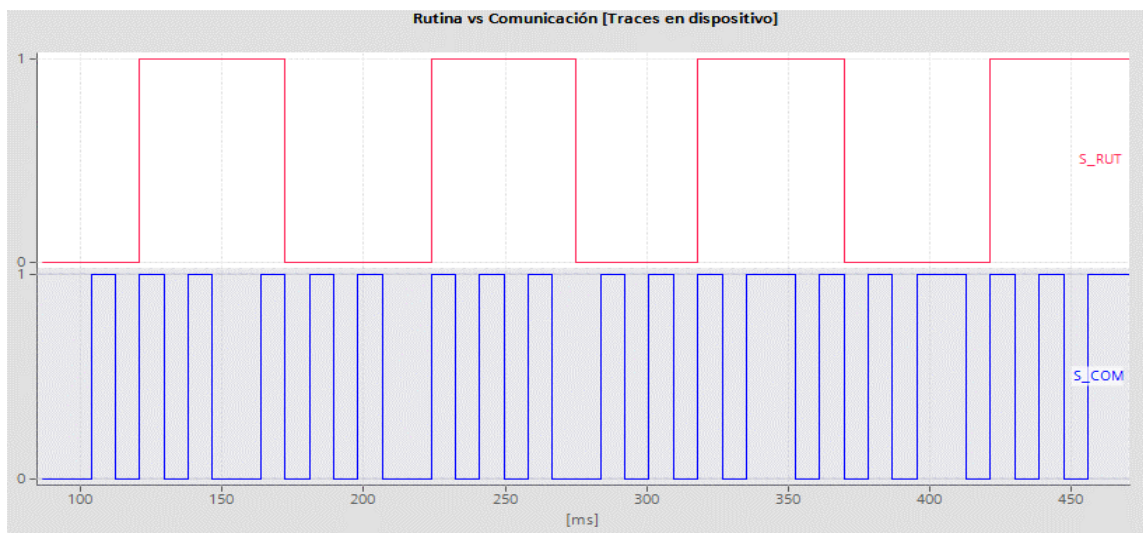


Figura 11 Frecuencia 100ms de rutina vs 20ms de RPI
Fuente: Autor

Del diagrama de la figura 9, se puede analizar el ciclo del tiempo de la ejecución de la rutina de las mordazas en la que se alcanzan a realizar 5 ciclos de transmisión de datos por comunicación entre PLC y el controlador del servomotor, en la que el intervalo de envío de los paquetes de datos es de 20ms, en la que se estaría enviando el mismo dato de los parámetros durante los 100ms que dura la rutina.

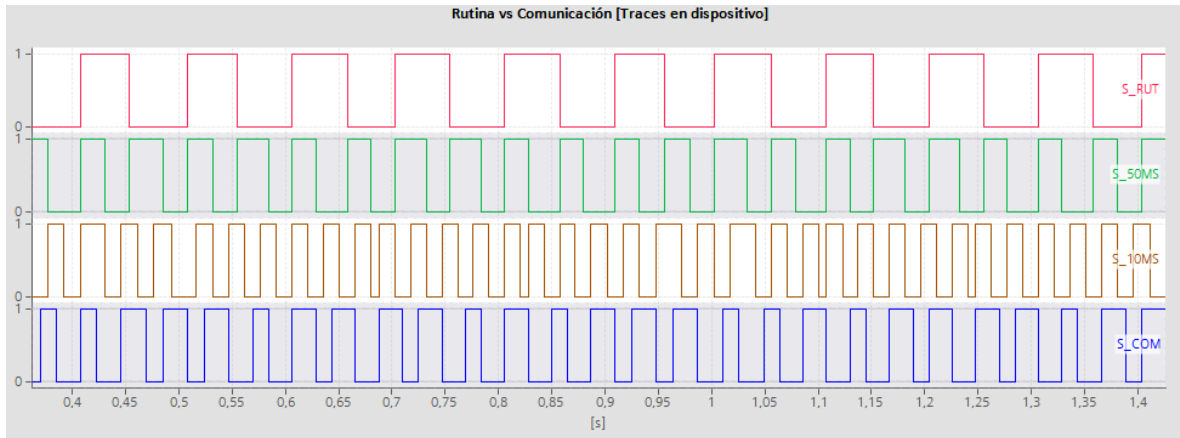


Figura 12 Comparativo de tiempos de rutina vs tiempo de RPI

Fuente: Autor

Realizando el comparativo entre los tiempos de ciclo de la rutina y el tren de pulso del intervalo de paquetes solicitados (figura 10) donde la actualización de estos datos se vería reflejada de la siguiente manera, Señal Rutina (S_RUT) a 100 ms, Señal a 50ms (S_50ms), Rutina a 10ms (S_10ms) y Comunicación(S_COM) a 20ms. A partir del comportamiento de la gráfica se puede evidenciar que en un período de ejecución de la rutina permite tener actualizado los datos en el controlador, esto permitiendo obtener 2 valores ya sea igual o diferentes del parámetros durante 1 ciclo de transmisión.

De acuerdo con el comportamiento de los ciclos de trabajo de cada parte, se debe analizar el comportamiento del peso de las bolsas de leche con respecto a estos tiempos por lo que se obtuvo la data de peso en la que se tiene el siguiente comportamiento en la presentación de 900ml.

Inicialmente se hicieron pruebas con pocas unidades para observar el comportamiento de la variación en las bolsas, en la tabla 4 se puede observar los resultados obtenidos de esta mejora, en la que se ve un cambio significativo ya que se evidencia una correlación entre los pesos. Esta envasadora es una 2/3, es decir una envasadora con 3 cabezales, en la que están habilitados los dos últimos cabezales con el nombramiento B y C, cuya operación de ciclaje es de 50golpes x minuto, es decir 50 unidades envasadas por minuto, se emplea 10ms de RPI y 10ms en la rutina de control, se observa valores con poca variación que están dentro del rango ofrecido

CABEZAL	C	C	B	C	B	B
GOLPES/min	50	45	45	50	50	45
RPI (ms)	10	10	10	10	10	10
RUTINA (ms)	10	10	10	10	10	10
# BOLSA	PESO (gr)	PESO (gr)	PESO (gr)	PESO (gr)	PESO (gr)	PESO (gr)
1	965	1060	1040	945	990	1050
2	965	1065	1040	945	995	1055
3	965	1060	1040	950	990	1050
4	965	1060	1040	950	990	1050
5	965	1060	1035	945	995	1050
6	965	1060	1040	945	995	1055
7	965	1060	1040	950	1000	1055
8	965	1065	1035	950	995	1050
9	965	1060	1040	950	995	1055
10	965	1060	1040	945	995	1050
Promedio (gr)	965	1061	1039	947,5	994	1052
Variación +/- (gr)	0	2,5	2,5	2,5	5	2,5

Tabla 5 Comportamiento de variación prueba inicial ajustes

Fuente: Autor

Aunque estos datos se obtuvieron con agua, en una operación intermitente, es decir, solo se sacaron ese número de cantidades por prueba, y no en una operación de continuo y en las condiciones de máquina estable (temperatura de cabina, temperatura de peróxido, caudales del UHT), los datos direccionan a la solución asertiva

Ya en la operación normal, producción continua, con producto recibido del esterilizador y las condiciones de producción se realiza las siguientes muestras:

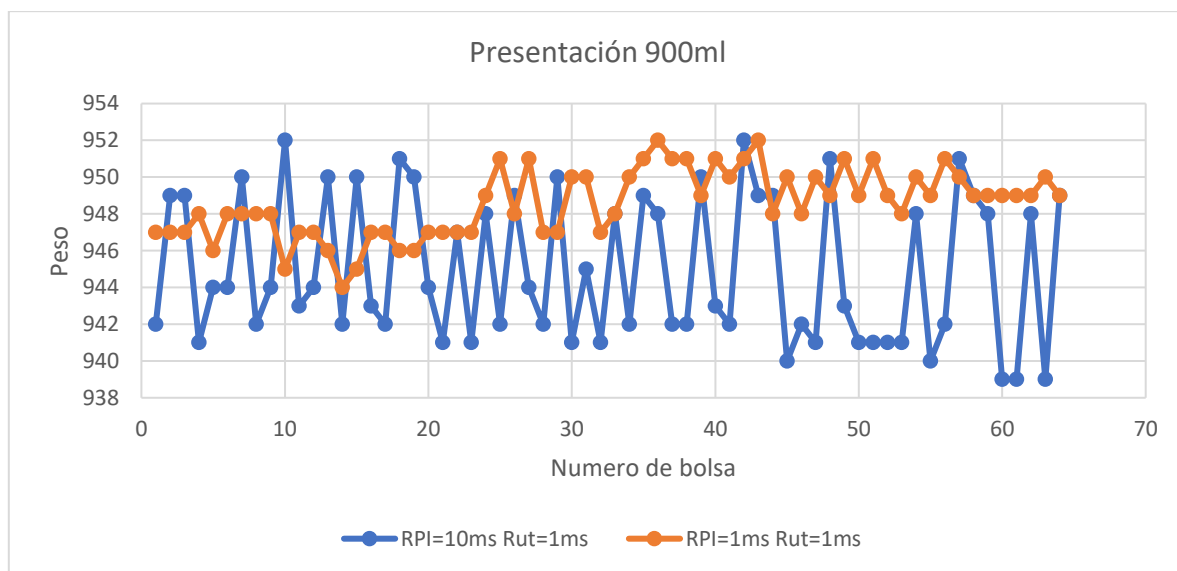


Figura 13 Respuesta de la variación de pesos a 10ms vs 1ms en RPI

Fuente: Autor

Se puede observar que para el intervalo de paquetes solicitados de 10ms y un ciclo de rutina de 1 ms (figura 11), están más dispersos los datos recolectados cuya rango de pesaje oscilan entre 952 g y 939 g, en el que se tiene una variación de +/-6.5 g, al modificar los tiempos de comunicación entre el PLC y el driver el servomotor a 1ms la dispersión es más pequeña, el comportamiento de los datos las bolsas pesadas tienen a tener valores cercanos entre sí, en la que se obtiene un máximo de 952g y un mínimo de 944g, un promedio 948g, y una variación de +/-4g esto permite estar dentro del rango de calidad del producto.

Se hace la misma verificación de configuración en el segundo cabezal, donde se puede observar la diferencia que existe entre el consecutivo de bolsas (figura 12), teniendo una mayor dispersión, con una variación de +/- 6.5 g, la cual es muy notorio comparada con la gráfica que se obtiene del pesaje de las bolsas empacadas con un RPI de 1ms en sincronía con la rutina de control del accionamiento de la mordaza en la que la dispersión es poca, los valores son cercanos entre sí, la variación se reduce a una diferencia de +/-5g, con valores máximos de 938g y mínimos de 928 g, obteniendo un promedio de llenado de 934.12g para una apertura del dosificador de 380mm

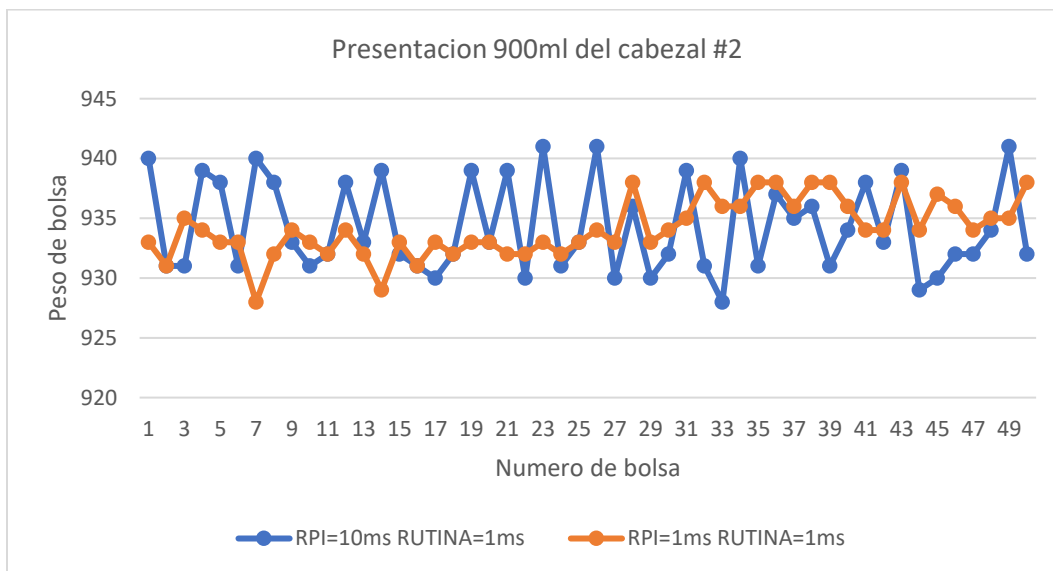


Figura 14 Respuesta de la variación de peso a 10ms vs 1ms en RPI, Cabezal #2

Fuente: Autor

En la figura 13, se puede observar una muestra de 50 unidades, el comportamiento del peso con los ajustes de los tiempos de rutina y RPI, en la que se tiene una media 1040g envasado, de esto se puede determinar que la variación de pesos en la producción es de +/- 3g por bolsa respecto al valor proporcionado por calidad.



Figura 15 Comportamiento de peso con ajuste en rutina y RPI, cliente #1
Fuente: Autor

Se realiza una segunda toma de pesos de la producción de envasado de leche en presentación de 1000ml correspondiente a 1000g (figura 15), de acuerdo con la densidad de la leche, en la que se realiza un aproximado de 1g/ml, de esta muestra de 50 unidades se puede analizar que se tiene un valor medio de 1040g, y un rango de variación de +/-3g, haciendo satisfactoria la oferta de calidad de la envasadora.



Figura 16 Registro de peso producción, presentación 1000ml
Fuente: Autor

Posterior a ellos se hace un seguimiento aleatorio en la línea de producción como se consta en el Anexo 3 (Control de peso netos y sellados Cliente) donde el personal de calidad verifica tanto el peso como la calidad de sellado de las bolsas, en esta se hace un ajuste al peso en la que mantienen un valor en promedio de 1025ml



Imagen 16 Medición de peso de bolsa de leche recién envasada.
Fuente: Autor

8.6. Validación de configuración cliente #2

Este mismo sistema de sellado horizontal servoasistido con servomotores Festo, se empleó en un segundo cliente que adquirió una envasadora de 4 cabezales para el envasado de diferentes presentaciones de 400ml hasta 1100ml y diferentes producto(leche entera, deslactosada, descremada), por tal motivo se debió garantizar la misma variación de máximo $\pm 5g$ de diferencia en las bolsas envasados con producto, por ello se emplearon la mismas configuraciones de rutina y RPI usadas con el cliente #2, en la que se obtuvieron los siguientes muestras:

El cliente emplea diferentes presentaciones en simultaneo en los cabezales, de esta manera puede envasar el mismo producto en diferentes empaques de acuerdo con la orden de producción en la presentación correspondiente, por ello se realizó el análisis de validación de peso en varias muestras en diferente presentación, como también se analizó la media de peso en la muestra, la desviación estándar.

Muestra #1

Para el cabezal 1, se hace una orden de producción de envasado en presentación de 900ml, en la que se obtuvieron los siguientes resultados acorde con la figura 1:

Variable	Valor
Presentación (ml)	900
Muestra (unid)	50
Apertura del dosificador (mm)	348
Valor medio (g)	929
Variación (g)	+/- 3

Tabla 6 Resultados muestra 1

Fuente: Autor

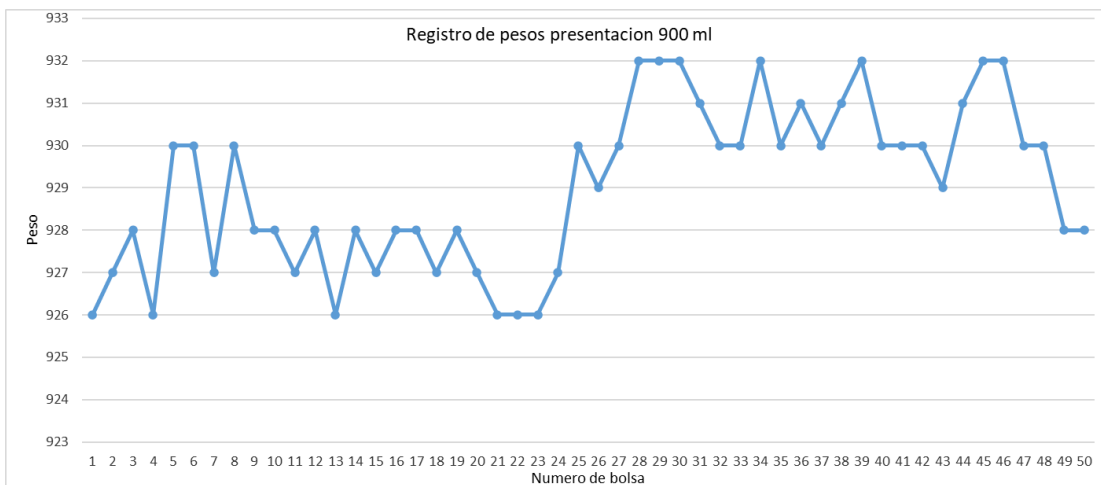


Figura 17 Peso presentación 900ml de leche deslactosada, cabezal 1

Fuente: Autor

Muestra #2:

Se realiza el muestreo de datos para el cabezal 2 (figura 17),

Variable	Valor
Presentación (ml)	900
Cabezal	2
Muestra (unid)	100
Valor medio (g)	938
Desviación estándar	1.2
Variación (g)	+/- 3

Tabla 7 Resultados muestra 2

Fuente: Autor

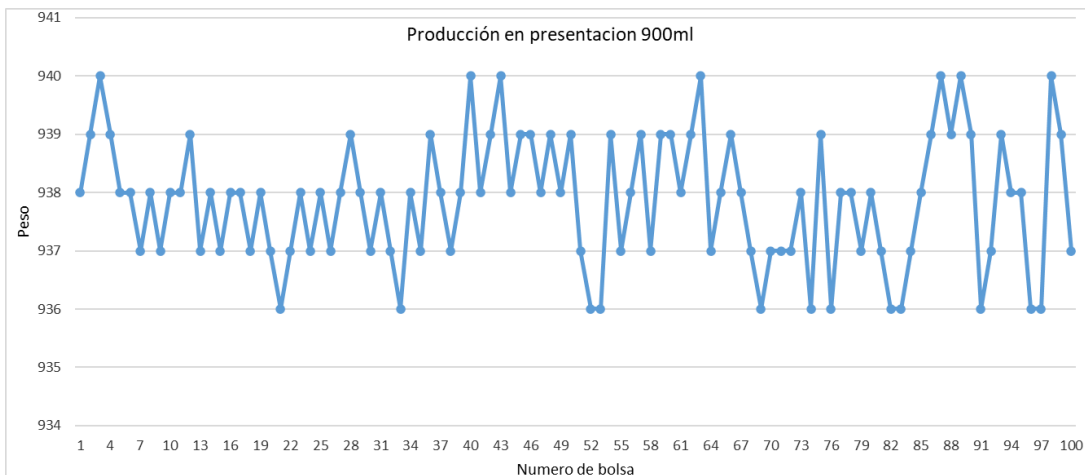


Figura 18 Producción en presentación de 900ml de leche deslactosada cabezal 2

Fuente: Autor

Muestra #3

Se realiza una producción de 1100ml en el cabezal 3 de la envasadora, la cual se obtiene la figura 18

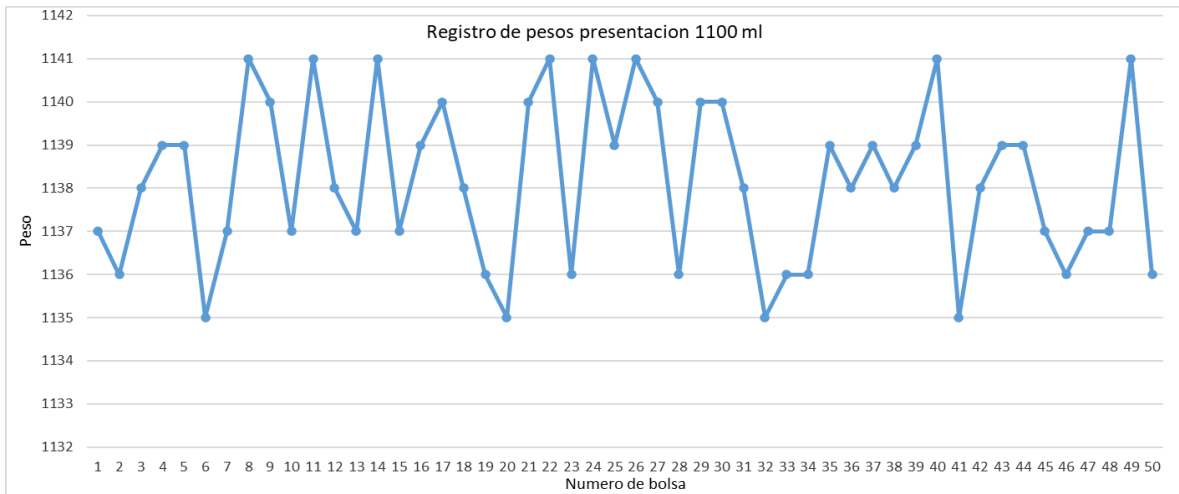


Figura 19 Peso presentación 1100ml, cabezal 3
Fuente: Autor

Variable	Valor
Presentación (ml)	1100
Muestra (unid)	100
Apertura del dosificador (mm)	369
Valor medio (g)	1138
Variación (g)	+/- 3
Desviación estándar	1.9

Tabla 8 Resultados muestra 3

Fuente: Autor

Muestra #4

Se hace realizó una producción en el cabezal 4 con presentación de 400ml, de la se registraron los datos en la figura 19 y se obtuvieron los siguientes análisis:

Variable	Valor
Presentación (ml)	400
Muestra (unid)	50
Apertura del dosificador (mm)	220
Desviación (g)	1.2
Valor medio (g)	416
Variación (g)	+/- 2.5

Tabla 9 Resultados muestra 4

Fuente: Autor

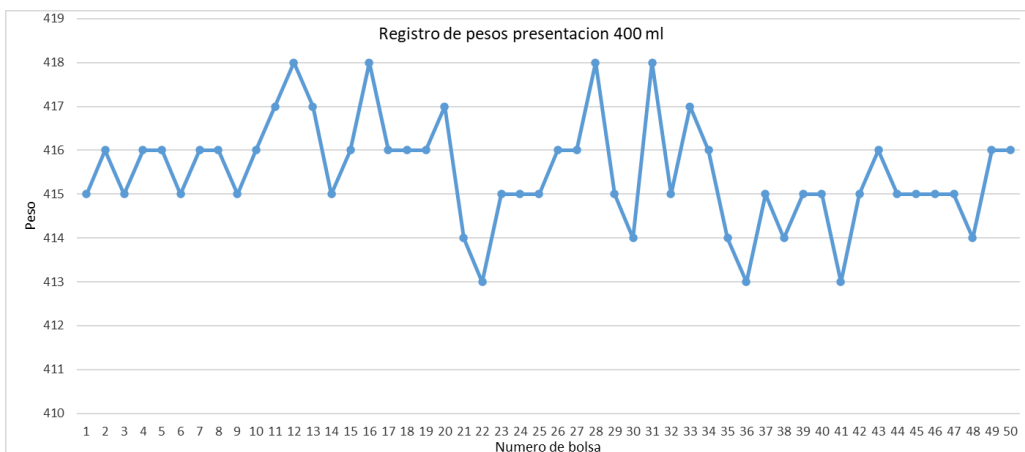


Figura 20 Registro de pesos del cabezal 4, presentación 400ml

Fuente: Autor

Muestra #5

En el cabezal 2 se realizó una producción de leche deslactosada en presentación 1100ml, cuyos registros de peso (figura 20) permitió obtener los siguientes resultados:

Variable	Valor
Presentación (ml)	1100ml
Muestra (unid)	50
Apertura del dosificador (mm)	352
Desviación (g)	1.8
Valor medio (g)	1135
Variación (g)	+/- 3

Tabla 10 Resultados muestra 5

Fuente: Autor

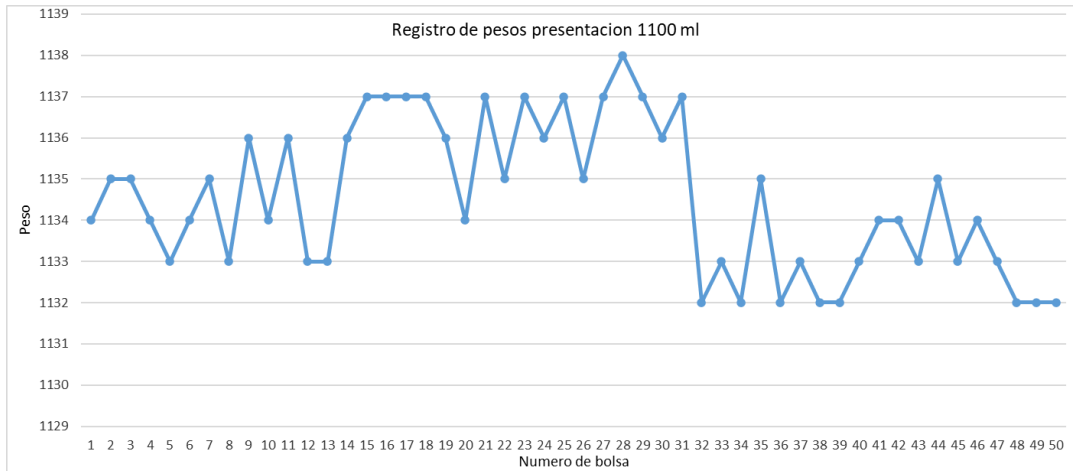


Figura 21 registro de pesos presentación 1100ml de leche deslactosada, cabezal 2

Fuente: Autor

9. Conclusiones

- Los acontecimientos de índoles mundiales afectan directamente cualquier industria, comenzando con las extractoras de materia prima, pasando por las cadenas de elaboración de cada parte de un producto y a su vez los que usan para integrarlos a los productos finales, en la cual se debe tener alternativas para poder suplir con las necesidades en el mundo tecnológico que no para, sino que cada vez va en aumento.
- Cualquier cambio de elementos en un sistema automatizado, puede llevar a tener un impacto significativo en el proceso, si este no cuenta con una información técnica amplia, ya que en una homologación se puede suplir con características mecánicas y físicas, en las que muchas veces no se tiene contemplado tiempo de análisis de datos en el procesamiento.
- Los estándares de calidad de los productos son fundamentales y más en la industria láctea, por ello la implementación de máquinas que garanticen el cumplimiento de estos estándares, hacen que las empresas sean competitivas y sobresalgan, aún más, que el consumidor sienta la tranquilidad de la cantidad y calidad de producto que están adquiriendo, es por ello que la fabricación de máquinas con elementos de última tecnología que permita mantener la calidad y aumentar las ganancias sobre las ventas en vez de generar costos y pérdidas, permite el impulso de tanto industria láctea de manufactura.
- El impacto que puede llevar tener la variación de tan solo 60 g de leche en una bolsa es significativo cuando se analizan en lotes, pasar de una diferencia de \$0.09 por bolsa respecto al valor de \$240.000 en una producción anual, genera pérdidas para una compañía que está invirtiendo en equipos de última tecnología que le deben estar generando más ganancias en vez de pérdidas y gastos.
- La integración de más de un equipo dentro de un sistema de producción genera múltiples posibles factores en las que un producto puede no cumplir a cabalidad con un estándar, en la línea de producción de envasado de leche en bolsas de polietileno tiene muchas afectaciones, como se expusieron en este trabajo, en la que una presión, un nivel, una apertura de una válvula, una varilla, el recorrido de un plástico por motor, un sensor de posición, el efector de mecánico de un sistema pueden estar inmersos en un solo problema.
- Interpretar el datasheet y la indagación de más información técnica sobre servomotor Festo, permitió realizar un análisis más profundo en términos de transmisión y recepción de datos en sistemas electrónicos en el que aspectos

como frecuencia de muestreo, tiempos de ejecución de rutinas, intervalos de paquetes requeridos no se tenían contemplados en una envasadora servoasistida con la integración de servomotores de Rockwell, permitiendo de esta manera poder llegar a una solución tanto para el fabricante como el cliente, ya que era la primera integración con servomotores Festo y no se tenía contemplado que esto era el causante de una variación tan significativa en el peso de las bolsas de leche.

- Del diagrama de tiempos se pudo tener una visión más amplia en cuanto a la frecuencia de los pulsos de transmisión en la que a menor frecuencia se demora la actualización de datos de control, con una mayor frecuencia de transmisión se obtienen datos actualizados acordes a la ejecución de la rutina, a pesar de que estos tiempos sean pequeños a simple vista y se podrían tomar desapercibidos, llevó a tener un impacto significativo en la producción y en la puesta a punto de un sistema.
- En esta ocasión el tiempo es sinónimo de cantidad de producto, una variable de envasado que se vio involucrada a raíz de acontecimientos mundiales, tiempos de milisegundos pueden llegar a generar un impacto en una producción, pasar de 25 ms a 10 ms e incluso a 1 ms en transmisión de datos pueden verse reflejado en cantidad de variación de 60 g, 6 g a 3 g.

10. Referencias

- [1] G. L. Robertson, "Ultrahigh Temperature Treatment (UHT): Aseptic Packaging," in Reference Module in Food Science, Elsevier, 2016. doi: 10.1016/b978-0-08-100596-5.00810-6.
- [2] X. Tóth and J. Töth, "Linear axis positioning with industrial servo motor," Apr. 2014.
- [3] M. Restrepo and N. Nieto, "Actualización de control en envasadora vertical Robert Bosch SVK 2500A," Unidad Central del Valle, Tulua, 2017.
- [4] E. Patricio and M. Zapata, "Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas de arroz.," ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, QUITO, 2010.
- [5] C. Mantilla, A. Alexander, R. Fiallos, P. Sebastián, I. L. Padilla, and H. Vinicio, "Diseño y construcción de una envasadora automática vertical de granos secos."
- [6] I. y T. Ministerio de Comercio, "Resolución numero 32209," 2020.
- [7] J. Cantoral, "Diseño de equipo verificador de sellado y control de peso en máquina envasadora," Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- [8] J. Ruiz, "Diseño de un sistema de control para servomotor que mejore la eficiencia de una Máquina Ensacadora.," Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Electrónica, Cartago, 2010.
- [9] René Tinoco, E. ; Bermea, F. Gamboa, and B. Rubio, "Identificación de las causas de variación en el proceso de envasado a través del control estadístico de procesos.," Revista Iberoamericana de Ciencias, 2017.
- [10] D. Alejandro, A. Molina, and Y. P. Santana, "Propuesta y diseño de la automatización de un proceso de sellado mediante un PLC," 2016.
- [11] L. Baena, "Repotencialización tecnológica para aumentar la productividad en la maquina individual Flow Pack Record Jaguar.," 2017.
- [12] J. Carlos, F. García, L. Fernando, and C. Castaño, "Introducción al control remoto de servomotores industriales," Universidad de Sevilla, Sevilla, 2021.
- [13] A. Kuan, Y. Wu, and T. Lima -Perú, "Mejora del proceso en el envasado aséptico de bolsa UHT - GLORIA SA," Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.

- [14] A. Castro, “Servosistema de tiraje, corte y sellado para máquina convertidora de bolsas plásticas,” Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- [15] J. Adler, “Limpieza efectiva de los procesos de envasado aséptico.” Accessed: Nov. 19, 2022. [Online]. Available: <https://es-mx.ecolab.com/articles/2022/01/effectively-cleaning-aseptic-packaging-processes>
- [16] A. Ricardo Pedraza Leguizamon, “Automatización del sistema de comunicación entre equipos de proceso y llenado UHT/UAT larga vida en la Planta de Producción Algarra S.A,” 2007. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion
- [17] Ministerio de la Protección social, “Decreto 616 DE 2006,” 2006.
- [18] ATEC ENERGY S.A.C., “Pirámide CIM de automatización.” Accessed: Nov. 19, 2023. [Online]. Available: <https://atec-energy.com/Blog/piramide-de-automatizacion-cim#:~:text=La%20pir%C3%A1mide%20de%20automatizaci%C3%B3n%20CIM,gesti%C3%B3n%20eficiente%20en%20las%20diferentes>
- [19] AUTYCOM, “Programación secuencial: características y ventajas.” Accessed: Nov. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.autycom.com/programacion-secuencial-caracteristicas-y-ventajas/>
- [20] J. M. Hurtado, “Introducción a las Redes de Comunicación Industrial.”
- [21] McGraw Hill, “6 Máquinas y mecanismos.”
- [22] R. Automation, Módulos de E/S digitales ControlLogix Manual del usuario.
- [23] KB Controles, “¿Qué es el RPI en un sistema Logix 5000?” Accessed: Aug. 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.kb-controls.io/learn-logix/what-is-rpi-in-a-logix-5000-system#:~:text=The%20rate%20at%20which%20the,the%20Module%20Properties%20dialog%20box>
- [24] R. Automation, “Manual del usuario de los controladores CompactLogix 1769.” [Online]. Available: <http://www.rockwellautomation.com/literature/>

- [25] Festo SE & Co. KG, "CMMT servo drive commissioning with Allen-Bradley PLC through Ethernet/IP network," Esslingen, 2023. [Online]. Available: www.festo.com
- [26] Festo SE & Co. KG, "CMMT-AS Servo drive," 2023. Accessed: Mar. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.festo.com/mx/es/p/regulador-de-servoaccionamientos-id_CMMT_AS/
- [27] J. Angel, "La variación y su significado," Revista Universidad Eafit, vol. 101.
- [28] BiA Consult Biotecnología Alimentaria, "Procesos: Envasado aséptico." Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.biaconsult.com.ar/envasado-aseptico.php>
- [29] R. Automation, "Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex serie 520." [Online]. Available: <http://www.rockwellautomation.com/literature>
- [30] Festo, "CMMT-xx-EP Control via EtherNet/IP with Compact/ControlLogix PLC." [Online]. Available: www.festo.com
- [31] Festo, "Regulador de servoaccionamiento CMMT-AS-C5-11A-P3-EP-S1 Hoja de datos."

11. Anexos

Anexo 1. Regulador de servoaccionamiento CMMT-AS-C5-11A-P3-EP-S1



Imagen 17 Regulador de servoaccionamiento cmmt-as.

Fuente: Festo[31]

Los reguladores para accionamiento de los servomotores traen características acordes al modo de funcionamiento, aparte de sus características eléctricas de voltajes, corrientes, resistencias, es importante tener en cuenta a la hora de la selección de mando de los servos

Para el caso de los controladores empleados en el estudio se puede observar en la imagen que permite hacer control de posición y/o recorridos de referencia parametrizaciones a través de los diferentes protocolos de comunicación con los que cuenta, ya que toda de ello depende que el funcionamiento sea acorde al deseado, las velocidades de transmisión de datos que en ocasiones no se tienen en cuenta[31]

Característica	Valor
Modo de funcionamiento del controlador	Regulación en cascada Controlador de posición P Regulador de velocidad PI Regulador de intensidad PI para F o M Funcionamiento mediante perfil con modo de registro y modo directo Modo de interpolación mediante bus de campo Modos de funcionamiento sincronizados Recorrido de referencia Modo de ajuste Autoajuste
Modo de funcionamiento	Regulación orientada al campo Resolución de posicionamiento 24 bit/U Frecuencia de exploración 16 kHz PWM con 8 o 16 KHz Modulación de vectores con 3. ^o armónico Registro de datos en tiempo real 2x Input-Capture (x, v, F) 2 disparadores de salida (x, v, F) 2 entradas de sensor de posición 1 interfaz SYNC para emulación de encoder o entrada de encoder
Interfaz Ethernet, función	Parametrización y puesta en funcionamiento
Interfaz Ethernet, protocolo	TCP/IP
Interfaz de bus de campo, protocolo	EtherNet/IP Modbus®/TCP
Interfaz de bus de campo, función	Conexión de bus entrante/saliente Slave EtherNet/IP
Acoplamiento del bus de campo	EtherNet/IP Modbus®/TCP
Perfil de comunicación	DriveProfile
Acoplamiento de procesos	Accionamientos de velocidad regulable Accionamientos con función de posicionamiento
Interfaz de bus de campo, velocidad de transmisión	100 Mbit/s
Interfaz de bus de campo, tipo de conexión	2 zócalos
Interfaz de bus de campo, técnica de conexión	RJ45

Imagen 18 Datos técnicos regulador.

Fuente: Festo[31]



Anexo 2. Servomotor emmt-as

Servomotor
EMMT-AS-60-L-HS-RS
Número de artículo: 5242216

FESTO



Hoja de datos

Característica	Valor
Temperatura ambiente	-15 °C ... 40 °C
Nota sobre la temperatura ambiente	Hasta 80 °C con derating de -1,5% por grado centigrado
Máx. altura de montaje	4000 m
Nota sobre la altura máxima de montaje	A partir de 1.000 m solo con reducción de -1,0 % por 100 m
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ... 70 °C
Humedad relativa del aire	0 - 90 %
Conforme a la norma	IEC 60034
Clase térmica según EN 60034-1	F
Temperatura máxima de devanado	155 °C
Clase de dimensionado según EN 60034-1	S1
Supervisión de la temperatura	Transferencia de calor del motor digital vía EnDat 2.2
Forma de motor según EN 60034-7	IM B5 IM v1 IM v3
Posición de montaje	Cualquiera
Grado de protección	IP40
Nota sobre el grado de protección	IP40 para el árbol del motor sin anillo de obturación radial IP65 para el árbol del motor con anillo de obturación radial IP67 para la caja motor, incluida la técnica de conexión
Precisión de concentricidad, coaxialidad, juego axial según DIN SPEC 42955	N
Calidad de equilibrado	G 2,5
Momento de enclavamiento	<1,0 % del momento de giro máximo
Vida útil del cojinete en condiciones nominales	20000 h
Código de interfaz, salida motor	60P
Conexión eléctrica 1, tipo de conexión	Conector híbrido
Conexión eléctrica 1, técnica de conexión	M23x1
Conexión eléctrica 1, cantidad de contactos/hilos	15
Conexión eléctrica 1, distribución de conexiones	00995913
Grado de ensuciamiento	2
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Clase de resistencia a la corrosión CRC	0 - sin riesgo de corrosión
Conformidad PWIS	VDMA24364-Zona III
Resistencia a las vibraciones	Control para el transporte con grado de severidad 2 según FN 942017-4 y EN 60068-2-6
Resistencia a los golpes	Control de impactos con grado de severidad 2, según FN 942017-5 y EN 60068-2-27

Imagen 19 Características Servomotor EMMT-AS, Parte 1.
Fuente: Festo [26]



Característica	Valor
Certificación	RCM c UL us - Recognized (OL)
Marcado CE (véase la declaración de conformidad)	Según Directiva de máquinas CEM de la UE Según la Directiva de baja tensión de la UE Según la Directiva RoHS de la UE
Marcado UKCA (véase la declaración de conformidad)	según la normativa del Reino Unido sobre CEM Según la normativa del Reino Unido sobre utillaje eléctrico según la normativa RoHS del Reino Unido
Organismo que expide el certificado	UL E342973
Tensión nominal de funcionamiento DC	680 V
Tipo de conmutación del devanado	Estrella interior
Número de pares de polos	5
Momento de giro en reposo	1.66 Nm
Momento de giro nominal	1.4 Nm
Momento de giro máximo	5.6 Nm
Revoluciones nominales	3000 1/min
Revoluciones máx.	14300 1/min
Revoluciones mecánicas máx.	16000 1/min
Potencia nominal del motor	440 W
Corriente permanente en reposo	3.8 A
Corriente nominal del motor	3.2 A
Corriente de pico	18.3 A
Constante del motor	0.44 Nm/A
Constantes del momento de giro en reposo	0.52 Nm/A
Constante de tensión, fase/fase	31.2 mV/min
Resistencia del devanado fase-fase	2.68 Ohm
Inductancia del devanado fase-fase	12 mH
Devanado inductancia longitudinal Ld (fase)	5 mH
Inductancia transversal Lq del devanado (fase)	6 mH
Constante de tiempo eléctrica	3 ms
Constante de tiempo térmica	43 min
Resistencia térmica	1 K/W
Brida de medición	250 x 250 x 15 mm, acero
Par de salida total de inercia	0.403 kgcm ²
Peso del producto	1910 g
Carga axial admisible del eje	70 N
Esfuerzo radial admisible del eje	350 N
Transmisor de posición del rotor	Encoder absoluto, monovuelta
Designación del fabricante del transmisor de posición del rotor	ECl 1118
Vueltas detectables de manera absoluta del transmisor de posición del rotor	1
Transmisor de posición del rotor, interfaz	EnDat 22
Transmisor de posición del rotor, principio de medición	Inductivo
Tensión de funcionamiento DC del transmisor de posición del rotor	5 V
Margen de tensión de funcionamiento DC del transmisor de posición del rotor	3.6 V ... 14 V
Valores de posición por revolución del transmisor de posición del rotor	262144
Resolución del transmisor de posición del rotor	18 bit
Precisión del sistema de medición de ángulos del transmisor de posición del rotor	-120 arcsec ... 120 arcsec
MTTF, componente parcial	190 años, transmisor de posición del rotor

Imagen 20 Características Servomotor EMMT-AS, Parte 2.
Fuente: Festo [26]

Anexo 3 Control de peso netos y sellados Cliente

REVISION 1		CONTROL PESO NETOS Y SELLADOS UHT- BOLSAS					FECHA: AGOSTO 2022					
HORA	Cabezal	Prueba	Sellado horizontal superior	Sellado horizontal inferior	Soldadura Vertical	Peso			Observaciones	Responsable		
9:00	B	V.C	C	C	C	1030	1050	1060	1050	1050	Exceso de peso	SG
9:00	C	V.C	C	C	C	1010	1010	1010	1010	1010	N/A	SG
9:10	B	V.C	C	C	C	1010	1020	1010	1020	1020	N/A	SG
9:15	B	V.C	C	C	C	1010	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
9:16	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
9:17	B	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
9:19	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
9:59	B	V.C	C	C	C	1030	1030	1030	1030	1030	N/A	SG
9:59	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
10:02	B	V.C	C	C	C	1030	1030	1030	1030	1030	N/A	SG
10:13	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
11:25	B	V.C	C	C	C	1030	1030	1030	1030	1030	N/A	SG
11:30	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
13:09	B	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
13:10	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
13:14	B	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
13:21	C	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG
14:04	C	V.C	C	C	C	1030	1030	1030	1030	1030	N/A	SG
14:06	B	V.C	C	C	C	1020	1020	1020	1020	1020	N/A	SG

Imagen 21 Control de peso netos y sellado.

Fuente: Autor