

DISEÑO BÁSICO Y CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA SACHETEADORA DE SOBRES DE CALDO DE GALLINA

Autores: Juan Sebastián Santa Corrales

Código: 23551929437

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Universidad Antonio Nariño

Sede Buga

jsanta60@uan.edu.co

Director

Ing. José Daniel Ballén Briceño

joballen86@uan.edu.co

RESUMEN: la industria alimentaria implica diversos retos en la manufactura de sus productos, pues este sector empresarial debe cumplir con normas rigurosas que permitan la estandarización del flujo de trabajo; enfatizando en los procesos higiénicos, confiabilidad del contenido, calidad del empaque o laminado, logística y transporte. Bajo estas premisas, el presente proyecto pretende suplir la tercera necesidad del sector culinario de alimentos (empaque o laminado).

Se realiza el diseño básico y conceptual de una *Máquina Sacheteadora de Sobres de Caldo de Gallina*. La máquina ofrece ventajas clave, como la reducción de errores humanos y la minimización del tiempo de producción. Al automatizar tareas repetitivas, se mejora la calidad y la consistencia de los productos, asegurando que cada sachet contenga la cantidad adecuada de caldo. Además, la automatización garantiza la higiene y la seguridad alimentaria al reducir el contacto humano con los alimentos y cumplir con los estándares de calidad y normativas sanitarias.

PALABRAS CLAVE: *llenadora, máquina, sachet, caldo, polvo.*

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo de investigación se hace un diseño básico y conceptual de una máquina sacheteadora de caldo de gallina para mejorar el proceso en una fábrica ubicada en la ciudad de Tuluá. La elección de esta máquina se basa en la

problemática interna de una fábrica de Tuluá, aceptando esta dificultad como oportunidad de mejora en el futuro, a través de la tendencia del mercado hacia los sobres tipo sachet de 9 gramos, ya que se ha convertido en un formato popular en el público Colombia.

El proyecto busca garantizar criterios higiénicos y sanitarios basados en los siguientes estándares ICONTEC e ISO para el diseño de la máquina:

- NTC 4482: industrias alimentarias: sopas y cremas [1].
- ISO 22000: sistema de gestión de la seguridad alimentaria [2].

Dada la ambición del proyecto, se plantea un levantamiento básico, por lo se hace uso de metodologías incrementales, los diseños y croquis expuestos hacen parte del entendimiento de la máquina, mas no de un sistema minucioso para construcción. Por tanto, ningún dibujo expuesto es de detalle. Una vez planteadas las bases en este diseño, se visiona el detallado de la máquina en un proyecto etapa II.

En el documento se recomienda cuidadosamente componentes y su explicación de selección: como actuadores electromecánicos, piezas por catálogo, y algunos elementos que ofrecen precisión y manejo del movimiento para asegurar el buen comportamiento de la máquina sacheteadora, el diseño básico del equipo se especializa en el campo mecánico. Asimismo, se propone un lenguaje de

programación con código y un controlador (PLC) adecuado para el movimiento de la máquina.

Partiendo de esto, se plantean los levantamientos de los croquis y modelados, utilizando bibliotecas existentes del centro de contenido *Autodesk* y luego modificadas con la versión avanzada del software *Inventor* de *Autodesk Inc.*, y *SketchUp* para visualizar y comunicar de manera lúdica el diseño de la máquina sacheteadora. Estos recursos permiten una planificación detallada, una evaluación de la viabilidad y una guía para la construcción futura y efectiva de la máquina.

Puntualizando en el problema de la fábrica de Tuluá, se sabe que el proceso de empaque se realiza de forma manual, lo cual resulta en pérdidas de producto, contratación de personal adicional y pérdida de tiempo. En una (1) hora se empaican alrededor de treientos sesenta (360) sobres, es decir, en un turno de diez (10) horas se tiene una cantidad estimada entre 3000 y 3600 sobres, con un desperdicio total de 6 kg de producto por turno.

La máquina sacheteadora pensada para la mejora, trabaja a 50 golpes por minuto con una sola formadora, lo que significa que a comparación del empaque de manera manual se aumentará aproximadamente de 28000 a 30000 sobres termosellados por turno, reduciendo los tiempos de empaque, disminuyendo los operarios de la máquina y los días designados para esta tarea.

El análisis de la situación revela que el mayor problema se encuentra en el desperdicio de caldo de gallina durante el proceso de empaque. Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta metodológica: ¿Qué se puede diseñar para minimizar el desperdicio de caldo de gallina? Por tanto, diseñar una máquina sacheteadora que busque principalmente, disminuir el reproceso y la pérdida de producto.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar básica y conceptualmente una máquina sacheteadora de sobres de caldo de gallina para una empresa en la ciudad de Tuluá.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros de funcionamiento de la máquina con respecto al tamaño de los sachets, a la cantidad que se deben empaicar por hora y que se acople a las líneas de producción.
- Definir y modelar las partes mecánicas de lamáquina, dimensionando y seleccionando sus diferentes componentes para su funcionamiento, como también para su estructura.
- Seleccionar los componentes eléctricos y de automatización para la máquina.
- Realizar un presupuesto básico del costo del diseño básico y conceptual de la máquina.

Fase 1: Definir los parámetros generales de la máquina

- Definir el flujo de trabajo la máquina
- Definir tipo de material o laminado para el empaque.
- Materiales de los componentes de la máquina sacheteadora.
- Selección del sistema de movimiento y/o actuadores de la máquina
- Variables generales estimadas del proceso de producción.

Fase 2: Realizar el diseño mecánico de la máquina, dimensionando y seleccionando sus diferentes componentes.

- Diseño del sistema de alimentación de acuerdo a la producción esperada.
- Diseño sistema tensor bobina
- Diseño sistema de termosello vertical
- Diseño sistema de termosello horizontal
- Diseño sistema de corte horizontal

Fase 3: Realizar el sistema eléctrico y control conforme a RETIE

Fase 4: Realizar la programación de cada una de las variables de los subsistemas, en lenguaje máquina.

- Selección del controlador
- Programación sistema de alimentación
- Programación sistema tensor bobina

- Programación sistema de termosello vertical
- Programación sistema de termosello horizontal
- Programación de sistema de corte horizontal

Fase 5: Análisis básicos de costos y ROI.

III. METODO

Para dar solvencia al levantamiento de la máquina sacheteadora se hará uso de dos (2) modelos ampliamente usados, uno para el diseño del software y otro para el diseño mecánico:

MODELO INCREMENTAL

El aspecto fundamental de este enfoque es la subdivisión del desarrollo del software en submódulos. Cada submódulo se desarrolla de manera incremental, lo que garantiza que no se omitan objetivos importantes en el proceso de desarrollo del software del proyecto, es decir, cada componente y actuador se programará de manera aislada, permitiendo la mejora de manera gradual sin depender de ningún paso previo o posterior [3].

Sus pasos son: análisis, diseño, código y prueba. El proyecto se enfoca en la resolución de los tres primeros hitos, dejando el cuarto paso (prueba) para una resolución más avanzada o proyecto futuro.

Este modelo es el mejor para esta necesidad, en comparación con el modelo tipo cascada, pues este segundo se basa en seguir una serie de pasos que hace que la programación avance lentamente. Esta metodología, en su forma tradicional, no deja prácticamente ningún lugar para cambios o revisiones de imprevistos.

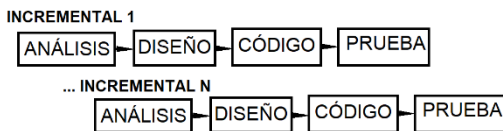


Fig. 1. Modelo incremental [3].

MODELO DE FRENCH

La Fig. 1. ilustra un modelo más desglosado del proceso de diseño, el cual se basa en las siguientes etapas: análisis del problema, diseño conceptual, desarrollo de diseños y diseño de detalle. Este modelo se presenta como un diagrama de flujo en el cual los círculos representan las etapas alcanzadas (resultados) y los rectángulos representan las actividades realizadas [4].

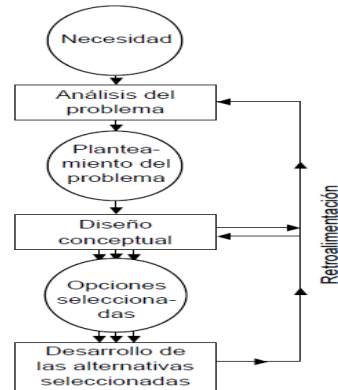


Fig 2. Modelo de Frech [5].

IV. DESARROLLO

A continuación, se procede a dar respuesta a cada una de las fases planteadas.

Fase 1: Definir los parámetros generales de la máquina.

Definición del flujo de trabajo de la máquina:

Partiendo del método del modelo incremental [3], se deben atacar cada uno de los conjuntos de la máquina como subsistemas de manera aislada. Se propone el siguiente modelo de trabajo.

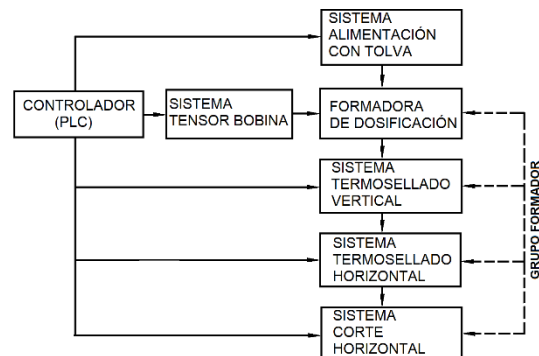


Fig. 3. Flujo de trabajo de la máquina.

La Fig 3. Expone el desarrollo del diseño de la máquina en 4 conjuntos principales, estos son: Controlador, Sistema Tensor Bobina, Sistema de alimentación y el Grupo Formador. (El sistema eléctrico se expone mas adelante en fase 4).

Definición tipo de material o laminado para el empaque:

Los empaques para caldo en polvo que utilizan una combinación de PET (polietileno tereftalato), aluminio y PE (polietileno) han demostrado ser recomendados según las directrices establecidas en la norma NTC 4482 [1], que establece los requisitos de higiene para el empaque de caldo en polvo. Estos empaques ofrecen una serie de ventajas significativas en términos de conservación, protección y facilidad de sellado en las máquinas llenadoras de sachets.

El PET es un material polimérico transparente, liviano y resistente que proporciona una excelente barrera contra la humedad y los gases, evitando la pérdida de aroma y sabor del caldo en polvo. Además, el PET es apto para el contacto directo con alimentos [6], lo que garantiza la seguridad y la calidad del producto envasado.

El aluminio, utilizado como una capa de defensa en el empaque, ofrece propiedades de alta barrera al oxígeno, la luz y la humedad, lo que ayuda a prolongar la vida útil del caldo en polvo y a mantener sus características organolépticas durante más tiempo. El aluminio también proporciona una protección efectiva contra la radiación ultravioleta, que puede degradar los nutrientes y la calidad del producto.

Por otro lado, el polietileno, utilizado como capa interna en el empaque, ofrece propiedades de sellado térmico. El polietileno se funde fácilmente bajo calor y presión, lo que permite un sellado hermético y seguro en las máquinas llenadoras de sachets. Su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes superficies garantizan una buena adherencia y un sellado eficiente, evitando fugas o contaminación externa.

Por tanto, la fórmula del laminado (fondo blanco) es:

PET + AL + PE

Los planos de la bobina en **Anexo 1**.

Materiales de los componentes de la máquina sacheteadora:

El diseño de la máquina se hace en acero inoxidable, como lo establece la norma ISO 22000. Estos aceros ofrecen propiedades de resistencia a la corrosión y facilitan la higiene en el proceso de producción de alimentos. Según William F. Smith [7], existen dos familias principales de acero inoxidable para aplicaciones alimentarias: AISI 304 y AISI 316.

El AISI 304, compuesto principalmente de cromo y níquel, es ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y buena conformabilidad. Por esta razón, se usa para el bastidor, el chasis, elementos de corte y rodillos tensores de la máquina sacheteadora al ser más económico que el AISI 316. Este acero ofrece una excelente protección contra la corrosión en condiciones normales y es altamente durable, lo que garantiza una vida útil prolongada de la máquina.

Por otro lado, el AISI 316, que contiene cromo, níquel y molibdeno, presenta una mayor resistencia a la corrosión en ambientes agresivos, como aquellos con altas concentraciones de sal. Debido a que el caldo en polvo contiene una cantidad significativa de sal, se usa AISI 316 en aquellos elementos de la máquina que estén en contacto directo con el producto (Tolva, tornillos sinfín y formadoras). Esto asegura una mayor resistencia a la corrosión y evita la contaminación del caldo en polvo por óxidos ferrosos.

Selección del sistema de movimiento y/o actuadores de la máquina:

la selección adecuada de los elementos de una máquina desempeña un papel fundamental en su funcionamiento eficiente y confiable. Una práctica que ha demostrado ser altamente beneficiosa es optar por la estandarización, es decir, elegir todos los componentes de una misma marca. [4].

Todos los actuadores electromecánicos, variadores de frecuencia y PLC que se seleccionan para la maquina sacheteadora son tecnología *Rockwell Automation*® y su marca *Allen-Bradley*® [8] y todas las cajas reductoras de velocidad y motores son *WEG*®[10].

En primer lugar, la estandarización simplifica enormemente el mantenimiento correctivo de la maquinaria. Al utilizar elementos de una misma marca, los técnicos y operadores se familiarizan con los procedimientos y repuestos específicos, lo que agiliza la resolución de problemas y reduce el tiempo de inactividad. Además, al contar con repuestos compatibles entre sí, se evitan complicaciones innecesarias al reemplazar componentes dañados, lo que permite una rápida y eficiente restauración de la funcionalidad de la máquina [9].

Otra consideración importante es la interfaz hombre-máquina (HMI, por sus siglas en inglés). Al seleccionar elementos de una misma marca, se promueve la coherencia en la interfaz de control, lo que facilita el aprendizaje y la operación de la maquinaria. Los operadores pueden desarrollar una comprensión más profunda y rápida de los paneles de control, los sistemas de alarma y los indicadores visuales, lo que resulta en una mayor eficiencia y seguridad en el entorno de trabajo. Además, la estandarización fomenta una sinergia poderosa entre los diferentes componentes de una máquina. Los elementos de control, electromecánicos y el controlador lógico programable (PLC) están diseñados para trabajar en conjunto de manera óptima cuando pertenecen a una misma marca. Esto implica una mejor coordinación y comunicación entre los componentes, lo que se traduce en un rendimiento más eficiente y una mayor confiabilidad de la maquinaria en su conjunto.

Continuando con la metodología incremental, se deben seleccionar componentes de movimiento para cada subsistema (ver Fig. 3), estos son: sistema bobina tensor, sistema de alimentación, sistema de termosellado vertical, sistema de termosellado horizontal y sistema de corte horizontal.

Si bien es cierto que la mayoría de máquinas de este estilo atacan sus sistemas de movimiento como un “todo”, es decir, cada subsistema trabaja en sinergia a partir de un mismo componente motriz clásico, este es el clásico árbol de levas, pues es un componente mecánico ingenioso que permite la sincronización de una máquina. Ahora, si bien el uso de un árbol de levas en una máquina llenadora de polvo puede ser beneficioso en muchos aspectos, también presenta algunas desventajas en comparación con el uso de servomotores para cada subsistema de la máquina. A continuación, se mencionan algunas de estas desventajas:

Flexibilidad limitada: el árbol de levas tiene un perfil fijo y está diseñado para realizar un movimiento específico. Esto significa que su funcionalidad y flexibilidad están limitadas a ese movimiento específico. En contraste, los servomotores ofrecen una mayor flexibilidad, ya que se pueden programar y ajustar para adaptarse a diferentes velocidades, posiciones y movimientos según las necesidades específicas de la máquina.

Dificultad para realizar cambios rápidos: si se requiere un cambio en el patrón de llenado, dosificación o movimiento de la máquina, modificar el árbol de levas puede ser un proceso complicado y lento. Se necesita tiempo para diseñar, fabricar y reemplazar el árbol de levas existente. En cambio, con servomotores individuales, los cambios pueden ser más rápidos y sencillos, ya que se pueden ajustar y reprogramar según sea necesario sin necesidad de reemplazar componentes físicos.

Adaptabilidad a diferentes productos y envases: el árbol de levas está diseñado para una operación específica y un tipo particular de producto o envase. Si se necesita llenar diferentes productos o envases con la misma máquina, es posible que se requieran modificaciones significativas en el árbol de levas para adaptarlo a las nuevas condiciones. Los servomotores, por otro lado, son más adaptables y pueden ajustarse fácilmente para acomodar diferentes productos y envases sin cambios extensos en los componentes mecánicos.

Limitaciones de control y precisión: aunque el árbol de levas puede proporcionar un movimiento

consistente, puede haber limitaciones en términos de control y precisión. Los servomotores ofrecen un control más preciso y pueden ajustarse con mayor precisión en términos de velocidad, aceleración, posicionamiento y sincronización. Esto puede ser especialmente importante en aplicaciones donde se requiere una alta precisión en el llenado.

Partiendo de esto y [2] se selecciona lo siguiente con sus respectivos variadores de frecuencia:

Tres (3) servomotores higiénicos *Kinetix VP 5500* con su servovariador de frecuencia *Allen-Bradley®* a 220V

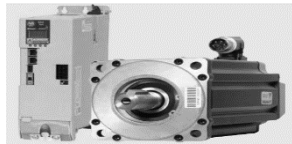


Fig. 4. Servovariador y servomotor de baja inercia VP Kinetix 5500 de Allen-Bradley® [8]

cuatro (4) motoredutores tipo sinfín corona *WEG Cestari®* a 0.5 hp.



Fig. 5. Motoreductor tipo sinfín corona *WEG Cestari®* a 0.5 hp [10]

Dos (2) cajas reductoras de corona y rosca *WEG Cestari®*



Fig. 6. Reductor tipo corona y rosca *WEG Cestari®* [10]

Estos actuadores se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla. 1. Distribución de actuadores

SISTEMA	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	SERVOMOTOR
Tensor bobina	2		
Alimentación	2		
Termosellado Vertical		1	1
Termosellado Horizontal		1	1
Corte horizontal			1

Variables generales estimadas del proceso de producción:

Los tiempos de producción en el proceso de empaque de sachets están previamente definidos, siguiendo un ciclo de operación de 50 golpes por minuto en un escenario ideal, sin considerar paros no planificados y con una intervención eficiente por parte del operario. Bajo estas condiciones, se espera que se produzcan entre 28,000 y 30,000 sachets en un turno de 10 horas.

Es importante destacar que el equipo de empaque opera de manera sincrónica con sus diferentes sistemas, como el sistema de corte horizontal, el sellado térmico y el sistema de desbobinado. Estos sistemas funcionan a velocidades estándar que son directamente proporcionales a los mismos golpes por minuto programados en la máquina, en este caso 50.

Sin embargo, la temperatura de la mordaza en el sistema de sellado es una variable crítica. Esta temperatura no es un valor fijo teórico, ya que depende de varias variables adicionales, como la temperatura ambiente, las posibles imperfecciones en el laminado y el estado mecánico del equipo. Por lo tanto, es necesario un sistema de control variable, teniendo en cuenta las necesidades y condiciones específicas en cada momento de operación, este equipo debe tener la capacidad de alcanzar los 150° C. En la fase posterior se define las mordazas a seleccionar.

Fase 2: Realizar el diseño mecánico de la máquina, dimensionando y seleccionando sus diferentes componentes.

Diseño del sistema de alimentación de acuerdo a la producción esperada:

Como se menciona, se espera que la línea trabaje 10 horas por turno y pasar de una producción 3000 sobres a 28000 (mínimo) a 50 gpm, por tanto, la mejora en la producción es del 933 %.

El cálculo de la tolva se hace con un factor de seguridad (FS) de 2.000 sobres por encima, es decir, 30000 sobres (máximo)

Ahora, un sachet posee un peso neto (W_N) de 9 g.

El volumen parcial de la tolva (V_p) depende de la densidad del caldo en polvo (ρ_c), el peso neto del sachet (W_N) y la cantidad máxima de sobres por turno (30000).

$$9 \text{ g} \times 30000 = 270000 \text{ gr} = 270 \text{ kg}$$

∴ La necesidad de masa/turno es de 270 kg

Ahora, la densidad (ρ_c) del caldo en polvo oscila entre 0.4 a 0.8 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Siendo conservadores, se tomará la densidad (ρ_c) en el peor escenario: 0,4 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Donde, $\rho_c = 0,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$V_p = \frac{m}{\rho_c} \text{ donde, } V_p = \frac{270.000 \text{ g}}{0,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$\therefore V_p = 675000 \text{ cm}^3 = 0.675 \text{ m}^3$$

Partiendo que, el sistema que se pretende es de un solo formador, que la necesidad de la masa total por turno es considerable y que la máquina no cuenta con un sistema pulmón aguas arriba, no es viable vaciar los 270 kg en una sola operación, ya que el volumen de la tolva sería de 0,675 m^3 lo cual lo se convierte en un inconveniente, pues ningún equipo está exento de algún atascamiento por producto y el común denominador de las tolvas de máquinas de llenaje de un solo formador es prácticamente 1/3 de este volumen...

Se debe dividir la cantidad de masa por turno en 3, lo que indica que se deben vaciar 3 masas de 90 kg c/u.

Por lo tanto, el volumen de diseño (V_D) de la tolva es:

$$V_D = \frac{(V_p)}{3} = \frac{0,675 \text{ m}^3}{3} = 0,225 \text{ m}^3 = 225000 \text{ cm}^3$$

Dado que el sistema a montar será movido por dos tornillos sinfín laterales y uno horizontal, es factible el uso de un volumen de cubo rectangular y no un cono truncado clásico.

Estando en este punto, se vuelve trivial el dimensionamiento de la tolva, pues se puede jugar con las aristas del rectángulo para llegar al volumen de diseño que es 0.225 m^3 .

Se opta por una tolva: 80 cm × 40 cm × 70 cm

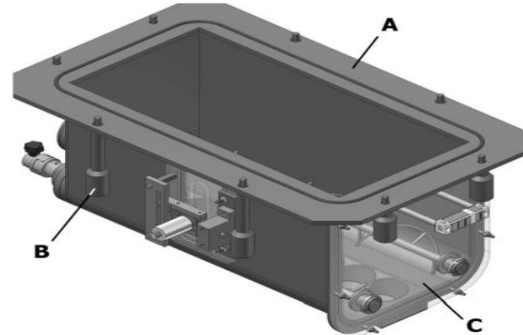


Fig. 7. Tolva de doble tornillo sinfín tipo hélice de cinta. By Inventor® library content

La tolva amontona el producto y de esta manera mantener el tornillo de dosificación, siempre alimentados. En ella va un motoreductor que mueve dos tornillos sinfín tipo hélice de cinta.

La tolva (A) está suspendida a través de ocho pomos de fijación (B) por debajo de la placa inoxidable, que pertenece a la estructura del dosificador. La tolva tiene una ventana anterior (C), que permite la inspección de las partes interiores y facilita la limpieza.

Continuamos con la tapa de la tolva, en ella debe ir montado el actuador mecánico, junto con el tornillo sinfín que dosifica posteriormente la formadora.

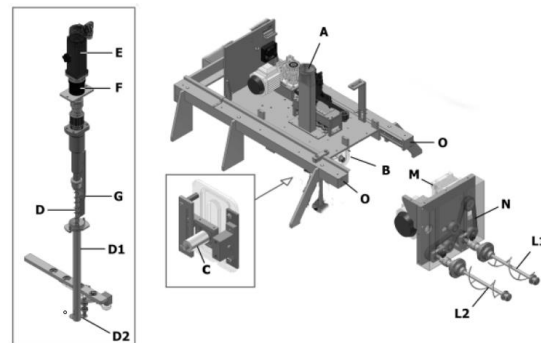


Fig. 8. Tapa de tolva con actuador de tornillo sinfín dosificador. By Inventor® library content

Este grupo se encuentra encima del armazón de la máquina sobre la tolva, con el objetivo de recibir producto y pasarlo a cada sobre de acuerdo con la cantidad prevista (9 g) este peso solo es posible

calibrarlo mediante prueba reales, mediante el conteo del número de revoluciones del tornillo sinfín (G) a través de un servomotor más adelante seleccionado.

El producto entra por el tubo de alimentación (A) dentro de la tolva (B) hasta que el sensor de nivel (C) señala que el llenado ha terminado. La dosificación se efectúa a través del tornillo vertical (D), que a través del tubo (D1), el anillo de agujas (D2) y la compuerta descargan el producto en el embudo de los tubos de alimentación. Cada tornillo está accionado por un motoredutores *WEG*® (en la fase siguiente se muestra el criterio de selección). Los mezcladores horizontales (L1, L2) están accionados por el motorreductor (M) y la correa dentada (N) El dosificador está fijado en un par de guías (O) que permiten la extracción para las operaciones de limpieza y mantenimiento.

En este punto, se procede a diseñar embudo o formador de los sobres sobre el que va el tubo (D1). Esta pieza es diseñada con rigor, pues de ella depende el formado del sachet, se opta por un apartado especial para este componente.

Los planos de la formadora en **Anexo 2**.

Diseño sistema tensor bobina:

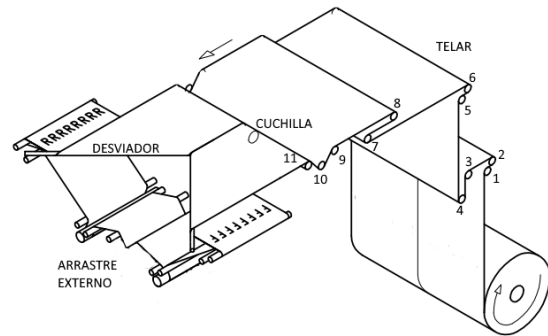
En este punto, el diseño es un poco más flexible y se puede trabajar de manera intuitiva partiendo de los parámetros establecidos en el desarrollo de la sección “definición tipo de material o laminado para el empaque” de la Fase 1; este proporciona una guía del tamaño de la bobina, el plano está en el **Anexo 1**.

El sistema extensor bobina consta de cuatro (4) estaciones principales. Estas son: telar, cuchilla, desviador y extensor externo.

A continuación, se traza un *sketch* conceptual para cada una de las estaciones.

Fig. 9. Isométrico sistema extensor bobina. By SketchUp Free.

Telar: la importancia del telar radica en la cantidad de pivotes o rodillos que posea el sistema. Para esta necesidad se plantean 11 rodillos. El uso de múltiples rodillos en el sistema de laminado de bobina permite un proceso más uniforme y consistente. Cada rodillo contribuye a aplicar presión de manera distribuida en toda la superficie



JUAN SEBASTIAN SANTA C.

del laminado, lo que ayuda a evitar defectos como burbujas de aire o áreas con una laminación desigual (arrugas).

Cuchilla: este componente permite dividir en dos el laminado

Desviador: este componente permite direccionar el laminado en su cara revés y cara frontal, para posteriormente entra al grupo formador (ver Fig. 3) donde se moldea y llena el sachet.

Arrastre externo: es la continuación vertical y guiada hacia el grupo formador de la máquina llenadora.

A continuación, se procede a modelar los componentes del sistema

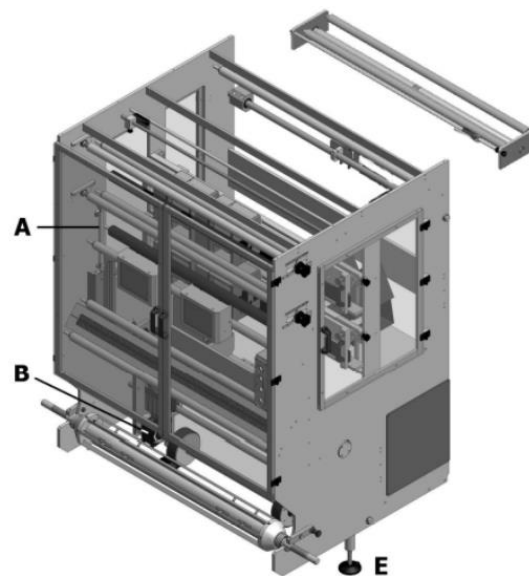


Fig. 10. Estación Telar extensor bobina. By Inventor® library content

La estación de Telar también dispone de un par de cilindros neumáticos (A) que actúan juntos con el eje de desenrollado (B), conservando en la película

una tensión constante. Todo el soporte puede desplazarse horizontalmente para mantener la película centrada respecto a la placa formadora anterior.

Dos patas ajustables (E) proporcionan un soporte más, una vez que se hayan ajustado de acuerdo con la altura de la máquina.

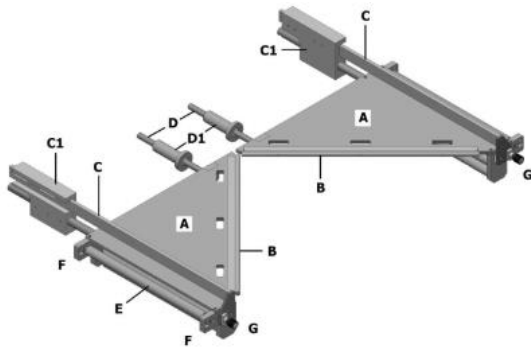
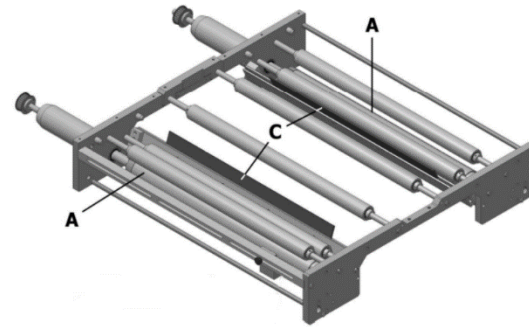


Fig. 11. Estación desviadora extensor bobina. By Inventor® library content.

Esta estación tiene la función de separar las dos semibandas de la película de empaquetamiento y desviarlas en direcciones opuestas. El grupo consta de un par de placas (A) arrimadas para formar un ángulo recto y equipadas con un borde redondeado (B) en el que se desliza la película. Cada placa (A) está fijada a un brazo (C) y a un árbol (D) soportados respectivamente por los soportes (C1) y (D1) dentro de la máquina. A las extremidades del dispositivo se encuentran dos rodillos locos (E) en los que la película se enreda antes de alcanzar el arrastre exterior. Los soportes de dichos rodillos disponen de mandos (F) que permiten ajustar, con exactitud, la inclinación de su eje. Por el lado anterior, un par de tornillos micrométricos (G) permiten ajustar de manera independiente la posición de dos desviadores (B) para compensar posibles desalineaciones y permitir una superposición perfecta de las dos extremidades de la película.

Fig. 12. Estación telar extensor bobina. By Inventor® library content.

Esta estación consta de una serie de rodillos colocados paralelamente entre sí, que hacen de manera que las dos bandas de la película cumplan con un recorrido perfecto para entrar en los rodillos de sellado vertical. Todos los rodillos son locos, excepto los rodillos más grandes (A), que reciben el movimiento del grupo mando rodillos dentro de la máquina.



Diseño sistema de termosello vertical:

El proceso de termosellado vertical en la máquina sacheteadora de caldo en polvo implica el uso de rodillos contrarrotatorios. Estos rodillos están diseñados para girar en direcciones opuestas y están equipados con resistencias internas y termocuplas. Las resistencias generan calor, mientras que las termocuplas miden la temperatura en tiempo real. Estos elementos se conectan a un PLC, que actúa como el controlador central del sistema.

El PLC permite ajustar y controlar la temperatura a través de un parámetro conocido como *setpoint* (valor de referencia o la temperatura objetivo que se desea alcanzar y mantener dentro de un sistema controlado). El control de temperatura controlado por el PLC permite adaptarse a diferentes materiales de laminado y garantizar una fusión adecuada de los films o laminados utilizadas.

Además de su función de termosellado, el sistema también actúa como mecanismo de arrastre vertical del laminado. Los rodillos contrarrotatorios aplican una presión constante al material de laminado a medida que se avanza verticalmente. Esto asegura un arrastre suave y uniforme del laminado a través del proceso de llenado.

En la selección de las resistencias de los rodillos se hace uso de resistencias tipo cartucho de alta densidad a 220v con diámetro 16mm en acero inoxidable y bronce *Thermolaser® THL CAD02* con su respectiva termocupla [11].



Fig. 13. Resistencia tipo cartucho *Thermolaser®* THL CAD02 [11].

Como se mencionó en la **Fase 1**, la variable de temperatura NO puede ser tratada como constante y no hay manera efectiva de declarar un valor que cumpla la necesidad de manera absoluta, por lo que se opta por el uso de la programación, en la **Fase 3** se declara un código variable para el sistema de termosellado vertical a través de un PLC.

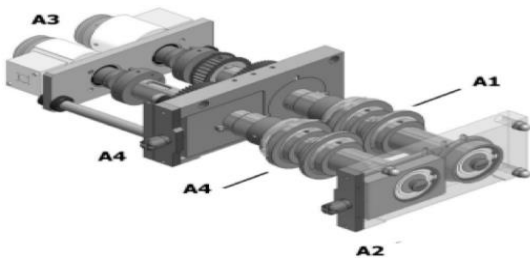


Fig. 14. Sistema termosellado vertical. *By Inventor® library content.*

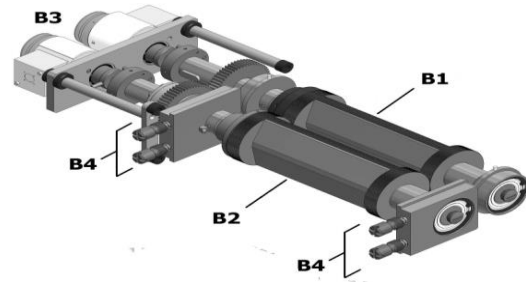
La unidad consta de un par de rodillos contrarrotatorios (A1 y A2) calentados por la resistencia eléctrica tipo cartucho introducida en su interior y alimentada por los contactos rotativos (A3). El rodillo (A1) se ha montado en posición fija, mientras que el rodillo (A2) se encuentra montado en bloques móviles. A través de los tornillos (A4) se puede ajustar la presión de sellado. En las extremidades de cada rodillo se encuentra un engrasador, para la lubricación periódica del cojinete interior con grasa especial infusible.

Diseño sistema de termosello horizontal:

Este sistema es ídem al anterior (termosellado vertical) incluyendo el conjunto de resistencias tipo cartucho *Thermolaser®* THL CAD02. Varía la geometría de los yunques. Este sistema posee una dificultad mayor a la de sellado vertical, pues Cuando los mandriles de los dos rodillos entran en contacto en el momento del sellado, su velocidad periférica debe ser igual a la velocidad de avance de la película.

Fig. 15. Sistema termosellado horizontal. *By Inventor® library content.*

Dicha unidad consta de un par de rodillos contrarrotatorios (B1 y B2) calentados por una resistencia eléctrica introducida en su interior y alimentada por los contactos rotativos (B3). El rodillo (B1) se ha montado en posición fija, mientras que el rodillo (B2) se encuentra montado en bloques móviles. A través de los tornillos (B4)



se puede ajustar la presión de sellado. En las extremidades de cada rodillo se encuentra un engrasador, para la lubricación periódica del cojinete interior con grasa especial infusible.

Diseño de sistema de corte horizontal:

Es la fase final del grupo formador, cuando el sachet ha sido llenado y está listo para ser cortado de la ristra.

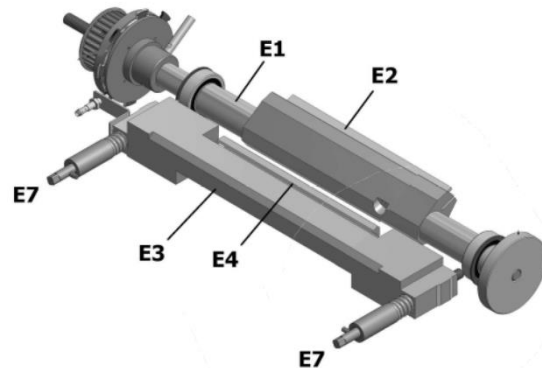


Fig. 16. Sistema corte horizontal. *By Inventor® library content.*

Dicha unidad consta de un eje motorizado (E1) en el que se ha montado un cuchillo rotativo (E2), y un soporte (E3) que lleva el contra-cuchillo fijo (E4); cuando está floja, se puede girar manualmente el eje (E1) para mover el corte en la posición correcta en el sachet.

A través de los tornillos (E7) se puede ajustar la fuerza de contraste del contra-cuchillo (E4).

En este punto ya disponemos del sistema formador completo.

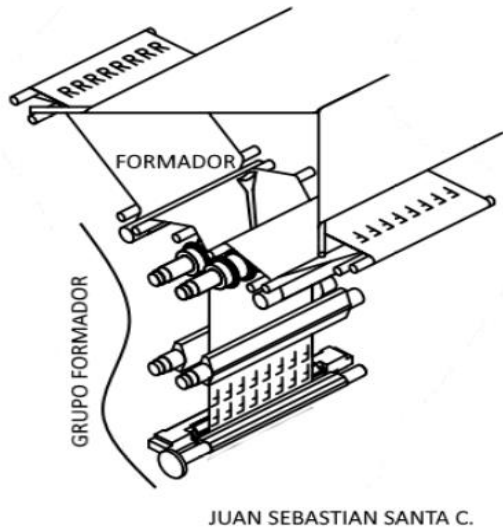
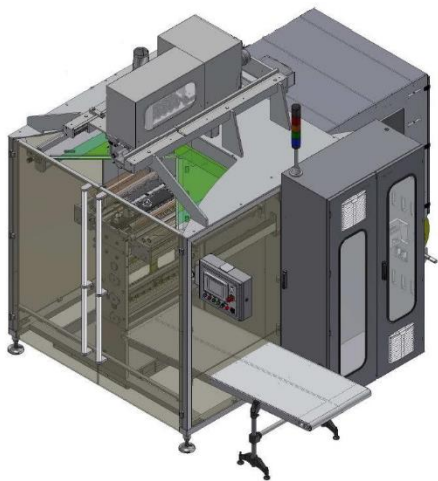


Fig. 17. Croquis isométrico grupo formador completo. By SketchUp Free.

Imagen ilustrativa completa de la máquina totalmente armada con su banda transportadora de



producto terminado.

Fig. 18. Máquina completa. By Invetor®

Fase 3: Realizar el sistema eléctrico y control conforme a RETIE

DIAGRAMA DE CONTROL

Se coloca un pulsador de arranque y marcha general. La línea del PLC tiene los contactores que están marcados desde el K1 hasta el K12; en la

parte interior se explica el significado de cada uno (parada de emergencia y todos los motores utilizados dentro de la maquina); también, se encuentran las cuatro (4) resistencias tipo cartucho y al final se encuentra un piloto verde y rojo para encendido y apagado.

Los planos de control en **Anexo 3**

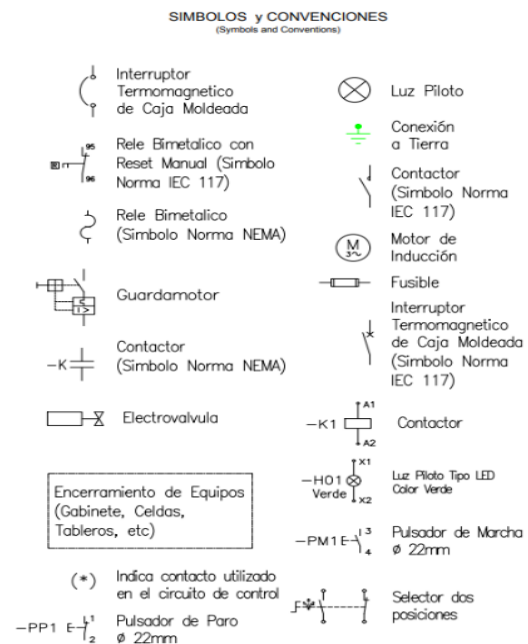
DIAGRAMA DE POTENCIA

Se coloca una protección principal o un seccionador y de ahí se derivan los cuatro (4) motores de 0.5 HP (cada uno con su potencia y su debida protección); luego, se ubican los tres (3) variadores de potencia y al final se colocan las cuatro (4) resistencias de termosellado con sus debidas protecciones. Al PLC se le ubica el transformador de 110V a 24V requerido para su funcionamiento.

Los planos de potencia en **Anexo 4.**

Todas las instalaciones indicadas en los planos eléctricos suministrados se ajustan a la norma NTC 2050 del código eléctrico colombiano – ICONTEC, RETIE y demás normas aplicables, para lo cual:

CONVENCIONES DE PLANOS



FORMULAS

Para la elección del cableado de los componentes, se usaron las siguientes formulas:

$$I = \text{Amperios}$$

$$V = \text{Voltios}$$

$$W = \text{Wattios}$$

$$1\text{HP} = 746\text{W}$$

$$\text{Cos } (\phi) = \text{Factor de potencia}$$

Se asume un factor de potencia del 85% para todos los motores.

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Potencia}}{(\sqrt{3}) \times \text{Tension} \times \text{Cos } (0.85)}$$

$$I = \frac{P}{(\sqrt{3}) \times V \times \text{Cos } (0.85)}$$

Corriente de los cuatro motoredutores de 1/2 HP a 220V trifásico

$$I = \frac{373\text{W}}{(\sqrt{3}) \times 220\text{V} \times \text{Cos } (0.85)}$$

$$I = 0,97\text{A}$$

Corriente de tres servomotores de 1/4 HP a 220V trifásico

$$I = \frac{248,66\text{W}}{(\sqrt{3}) \times 220\text{V} \times \text{Cos } (0.85)}$$

$$I = 0,65\text{A}$$

Resistencias tipo cartucho termosellado horizontal y vertical 220V monofásico a 630W factor de potencia resistivo igual a 1

$$I = \frac{630\text{W}}{220\text{V}}$$

$$I = 2,86\text{A}$$

Fase 4: Realizar la programación de cada una de las variables de los subsistemas, en lenguaje máquina.

Continuando con la metodología incremental descrita en **Fase 1**, se pretende programar cada uno de los sistemas por separado, la programación solo se enfoca en hacer funcionar los sistemas a través de los actuadores y las resistencias de los termosellos, es posible que queden sin definir varias variables como también un sistema PanelView como interfaz.

La programación es en lenguaje Structured Text (ST).

Selección del controlador:

Se hace uso de un controlador MicroLogix 1400 de Allen-Bradley®.

Programación sistema de alimentación:

Se tienen dos (2) actuadores en el sistema de alimentación, uno que cumple la función de agitar el polvo a través de tornillos sinfín tipo hélice y el segundo como dosificador.

El primer motoreductor tiene una caja que trabaja a 30 RPM que mueven las hélices del agitador por lo que no es necesario cambiar la frecuencia ni velocidad. Este trabaja de manera continua ininterrumpidamente. El segundo motoreductor cuenta con variador de frecuencia y mueve el tornillo dosificador que:

```
PROGRAM Main
VAR
  Motor1: BOOL := TRUE; // Estado del motor 1 (encendido o apagado)
  Motor2: BOOL := FALSE; // Estado del motor 2 (encendido o apagado)
  Motor2Timer: TON; // Temporizador para controlar el encendido del motor 2
  Motor2Delay: TIME := T#200ms; // Retardo para encender el motor 2
  Motor2Speed: DNT := 0; // Velocidad actual del motor 2
METHOD MainCycle: BOOL
  // Control del motor 1 (gira ininterrumpidamente a la misma velocidad)
  Motor1 := TRUE; // Encender motor 1
  // Control del motor 2 (encendido cada 1.2 segundos con un delay de 0.2 segundos)
  Motor2Timer(IN:=Motor2, PT:=Motor2Delay, Q:=Motor2Timer); // Temporizador para controlar el encendido del motor 2
  RETURN TRUE;
END_METHOD
METHOD Motor2Timer(IN: BOOL; PT: TIME; OUT: BOOL): BOOL
  // Temporizador para controlar el encendido del motor 2
  Motor2Timer.PT := PT;
  Motor2Timer.IN := IN;
  Motor2Timer.Q;
  RETURN Motor2Timer.Q;
END_METHOD
```

Fig. 19. Código ST sistema de alimentación.

trasiega el producto hasta la formadora, este se desempeña de manera discreta, es decir, trabaja por “paquetes”. Se requiere una velocidad de dosificación de 50 golpes por minuto, por lo tanto, el tornillo debe girar cada 1,2 segundos. Es claro el objetivo de dosificar 9 gramos por sachet, sin embargo, la cantidad de RPM cada 1,2 segundos del tornillo sinfín para lograr esta medida únicamente se puede conocer de manera experimental por lo que es una variable imposible de definir teóricamente.

Programación sistema tensor bobina:

Se tiene un actuador, este es un motoreductor que gira un rodillo que se reposa sobre la bobina del laminado haciéndola mover, su velocidad es constante y depende meramente del tamaño del sobre, este es alrededor de 15 rpm, la caja reductora del motor es suficiente.

```
PROGRAM MainProgram
VAR
  MotorControl: BOOL;
END_VAR

NETWORK MainNetwork
  // Instrucción para mover el motor
  MotorControl := TRUE;
END_NETWORK
```

Fig. 20. Código ST sistema de tensor bobina.

Programación sistema de termosello vertical

El sistema de termosello es complejo, pues posee variables de temperatura y potencia mecánica (movimiento), estas pueden ser controladas a través de la termocupla. La temperatura ideal de sellado debe ser hallada de manera experimental, conviene un setpoint desde 95° C hasta 100° C.

```
// Variables del servomotor y variador
servo_status : BOOL := FALSE; // Estado del servomotor (encendido/apagado)
servo_fault : BOOL := FALSE; // Indicador de falla del servomotor
variador_status : BOOL := FALSE; // Estado del variador (encendido/apagado)
variador_fault : BOOL := FALSE; // Indicador de falla del variador

// Variables de control
error : REAL := 0.0; // Error de temperatura
integral : REAL := 0.0; // Término integral del controlador
derivative : REAL := 0.0; // Término derivativo del controlador
output : REAL := 0.0; // Salida del controlador

// Constantes de control
KP : REAL := 0.5; // Constante proporcional
KI : REAL := 0.1; // Constante integral
KD : REAL := 0.2; // Constante derivativa

END_VAR

// Bloque principal del programa
PROGRAM Main
VAR
// Variables locales
control_signal : REAL := 0.0; // Señal de control para el variador
// Constantes locales
MIN_SIGNAL : REAL := 0.0; // Valor mínimo de señal de control
MAX_SIGNAL : REAL := 100.0; // Valor máximo de señal de control

// Funciones locales
FUNCTION LimitSignal(signal : REAL) : REAL
// Limita el valor de la señal de control dentro de los límites permitidos
// Parámetros:
// signal: Señal de control a limitar
// Retorna:
// Señal de control limitada dentro de los límites permitidos
VAR
limited_signal : REAL := signal;
END_VAR
BEGIN
// Limitar el valor de la señal de control
IF limited_signal < MIN_SIGNAL THEN
limited_signal := MIN_SIGNAL;
ELSIF limited_signal > MAX_SIGNAL THEN
limited_signal := MAX_SIGNAL;
END_IF;
RETURN limited_signal;
END_FUNCTION

// Función de control de temperatura
FUNCTION TemperatureControl(setpoint, actual_temp : REAL) : REAL
// Controla la temperatura para mantenerla cerca del setpoint utilizando un control PID
// setpoint: Valor deseado de temperatura
// actual_temp: Valor actual de temperatura medido por la termocupla
```

Fig. 21. Código ST sistema termosello vertical.

Programación sistema de termosello horizontal:

El código es ídem al termosello vertical declarando las variables con otros nombres.

Programación sistema de corte horizontal:

El código es ídem al sistema tensor bobina declarando las variables con otros nombres.

Fase 5: Análisis básicos de costos y ROI.

Teniendo ensamblada la máquina y en funcionamiento, se retoma se la necesidad de la fábrica de Tuluá. Con el startup de este proyecto, bajo un escenario ideal se espera que se produzcan 30000 sobres cada 10 horas.

Cada sachet de 9g tiene un precio estimado de producción de 270 COP y su venta tiene un precio de 300 COP (esto es muy por debajo de la competencia directa: precio Maggi® 500 COP).

Por tanto, se debe deducir el valor de producción al de venta. Se tiene una ganancia neta de 30 COP por sachet.

Ahora, se debe estimar el costo de fabricación de la máquina para tener una noción del *payback* o ROI y su tiempo.

Tabla. 2. Costos estimados de la máquina

ITEM	Cantidad	Costo Aprox [COP]	Costo Aprox [USD]
Motoreductores	2	\$ 8,000,000.00	\$ 1,777.78
Reductores	2	\$ 5,000,000.00	\$ 1,111.11
Servomotores	3	\$ 21,000,000.00	\$ 4,666.67
Variadores de Frecuencia	7	\$ 21,000,000.00	\$ 4,666.67
Conjunto tolva con sinfines	1	\$ 20,000,000.00	\$ 4,444.44
Rodillos conjunto telar	1	\$ 20,000,000.00	\$ 4,444.44
Soporta bobina	1	\$ 5,000,000.00	\$ 1,111.11
Chasis telar	1	\$ 10,000,000.00	\$ 2,222.22
Desviador	1	\$ 4,000,000.00	\$ 888.89
Extensor externo	1	\$ 7,000,000.00	\$ 1,555.56
Formador	1	\$ 1,000,000.00	\$ 222.22
Chasis grupo formador	1	\$ 8,500,000.00	\$ 1,888.89
Resistencia cartucho	2	\$ 1,500,000.00	\$ 333.33
Arbol rodillos TSV	1	\$ 15,000,000.00	\$ 3,333.33
Arbol rodillos TSH	1	\$ 15,000,000.00	\$ 3,333.33
Arbol rodillos CH	1	\$ 15,000,000.00	\$ 3,333.33
Mano obra y construcción	1	\$ 50,000,000.00	\$ 11,111.11
PLC con red Ethernet (gama baja)	1	\$ 5,000,000.00	\$ 1,111.11
Parte electrica (Aprox con RETIE)	1	\$ 50,000,000.00	\$ 11,111.11
TOTAL		\$282,000,000.00	\$ 62,666.67

Suponiendo que la producción trabaja los 3 turnos, 6 días a la semana.

$$\frac{10 \text{ horas}}{24 \text{ horas}} \rightarrow \frac{30000 \text{ sobres}}{x}$$

Se producen 72000 sobres diarios lo que equivale a 12*960.000 por semana.

Quiere decir que el retorno de la inversión de la maquinaria sin contar salarios de los operarios, contratierpos, mantenimientos planeados y no planeados es de **22 semanas**.

En cuanto al diseño de la máquina se obtuvo resultados satisfactorios, todas las fases para la elaboración (1, 2, 3 y 4) descritas en el capítulo III en concordancia trabajan sinérgicamente, es una máquina de producción masiva totalmente funcional.

VI. RESULTADOS

Basando los resultados en los objetivos propuestos del capítulo II, se tiene:

El diseño conceptual de la máquina sacheteadora es logrado con éxito, se desmenuza de manera coherente todos los procesos requeridos en cada una de las fases, resolviendo la necesidad de la fábrica de Tuluá para la fabricación de sachets de 9gr. Dando un resultado de diseño de 4 conjuntos principales para una llenadora de naturaleza vertical. Estos son:

- Sistema de control
- Sistema tensor y bobina
- Sistema de alimentación de caldo en polvo
- Grupo formador (dosificación, termosellado vertical, termosellado horizontal y corte horizontal).

De esta manera se da cumplimiento al objetivo general.

En cuanto a los objetivos logrados de los parámetros de funcionamiento, se tiene:

- La máquina opera a una velocidad nominal de 50 RPM.
- De manera ideal y en un ciclo ininterrumpido en una hora se hacen 3000 sachets.
- El material del laminado PET + AL + PE.
- El tamaño de cada sachet es 65 x 80 mm.
- Como mecánica de potencia la máquina se define con cuatro (4) motoredutores WEG Cestari a 0.5 hp, dos (2) reductores tipo corona WEG Cestari y tres (3) servomotores VP Kinetix 5500 Allen-Bradley.
- La construcción del bastidor de la máquina y elementos de contacto con alimento es casi en su totalidad acero AISI 304.

- Solo se contruye en AISI 316 la tolva, tornillos sinfín y formadoras.
- El volumen de la tolva calculada para evitar cuellos de botella y máxima eficiencia es 225000 cm^3 .
- El sistema tensor bobina diseñado consta de un telar de 11 pibotes con desviador a una cuchilla divisora.
- El sistema de sello se divide en 2 (horizontal y vertical). Las resistencias seleccionadas son Thermolaser THL CAD02 para cada una.
- El sistema de sello vertical es tipo rodillos contrarrotarios, estos con tratamiento termico de temple.
- El sistema de sello vertical es de rodillos contrarrotarios tipo yunque, estos con tratamiento termico de temple.
- El sistema de corte horizontal o fase final se selecciona un tipo yunque cuchillo rotativo contra una cuchilla fija con tratamiento térmico de temple.
- Se logra la programación de la máquina y se hace según el modelo incremental propuesto. Cada subsistema tiene un código por separado.
- Los elementos electricos seleccionados se exponen cuidadosamente en Anexo 3 y anexo 4 respectivamente.
- La construcción de la máquina bajo ingeniería propia tiene un costo de 282000000 COP.
- El ROI bajo un escenario ideal y un volumen de ventas ininterrumpido, apreciando que todo lo producido ya está vendido es de 22 semanas.

V. CONCLUSIONES

- Los modelos de French y el incremental fueron exitosos en el diseño de la máquina sacheteadora de caldo de gallina, proporcionando un enfoque ordenado y eficiente para abordar los objetivos y criterios de diseño. Esto aseguró un proceso estructurado y completo en el desarrollo del proyecto.
- Aunque la máquina es básica y no cuenta con una amplia gama de aditamentos industriales que podrían mejorar su rendimiento, como sistemas de aire comprimido o sistemas de lubricación

avanzados, sigue siendo una guía valiosa para comprender el diseño de una máquina llenadora vertical de cualquier tipo de polvo.

- Es importante destacar que, una vez que se han establecido las bases del diseño, es crucial aplicar mejoras continuas como parte de la filosofía de trabajo futuro con la máquina. Enfoques como TPM y LEAN pueden ser implementados para optimizar y mejorar los sistemas de la máquina a lo largo del tiempo. Estas mejoras continuas garantizarán un rendimiento óptimo y una mayor eficiencia en el proceso de llenado de sachets.
- El material de laminado seleccionado es clave para los sachets, ya que de otra manera el producto no quedaría hermético y susceptible a oxidación.
- Se concluye que no cualquier servomotor de 0.5 sirve, pues es necesario que además de su potencia, estos cuenten con certificación higiénica.
- Es claro que el acero AISI 316 es más costoso que el AISI 304. Ambos son de calidad higiénica, pero solo es necesario usar el primero cuando el producto tiene contacto directo por su alto grado de corrosión.
- Es evidente que ninguna máquina es perfecta y su buen funcionamiento, para evitar retrabajos y pérdidas de material, depende en gran medida del operario. Por lo tanto, una vez que se ha adquirido la máquina, resulta de suma importancia capacitar al operario adecuadamente, de modo que esté preparado para hacer frente a cualquier situación que pueda surgir durante la operación y mantenimiento de la máquina. La capacitación del personal garantizará un manejo adecuado de la máquina y contribuirá a minimizar errores y maximizar la eficiencia.
- Los resultados del proyecto revelaron un retorno de la inversión ideal de 22 semanas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta cifra puede ser engañosa, ya que su cálculo se basa en supuestos de un buen comportamiento del mercado. De acuerdo con el Project Management Institute (PMI), la sobreestimación de ventas es una de las

principales causas de fracaso en proyectos. Por lo tanto, es fundamental reconocer que esta cifra es meramente académica y debe ser tratada con precaución al realizar análisis y tomar decisiones relacionadas con la viabilidad económica del proyecto.

- El estudio del OPEX que es un estudio riguroso puede hacerse en una fase posterior del proyecto

VI. REFERENCIAS

- [1] ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *NTC 4482: Industrias alimentarias: sopas y cremas*. Colombia: Icontec Press, 2020.
- [2] ISO. Organización Internacional de Normalización. *ISO22000: Sistema de Gestión de la Seguridad Alimentaria*. Swiss: Iso Press, 2005.
- [3] F.J. García. *Ingeniería de Software I: Modelos de Proceso*. España: Universidad de Salamanca Press, 2021.
- [4] L.V. Vanegas. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Colombia: UTP Press, 2018.
- [5] M.J. French. *Conceptual design for engineers*. Gran Bretaña: Springer-Verlag Ed, 1999.
- [6] FDA. Food and Drug Administration. *Guidance for Industry: Preparation of Premarket Submissions for Food Contact Substances*. Available: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-preparation-premarket-submissions-food-contact-substances-chemistry>
- [7] W.F. Smith. *Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales 5ta ed.*. United States: McGraw Hill Ed., 2004.
- [8] RockWell-Automation, Allen-Bradley®. *Catálogo*. Available: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/2198-pp001-es-p.pdf>
- [9] C.R. Ribas. *Selección de Materiales en el Diseño de Máquinas*. España: Universidad Politécnica de Catalunya press, 2010.
- [10] WEG, Cestari®. *Catálogo*. Available: https://www.weg.net/catalog/weg/GB/es/Reductores-e-Motorreductores/MAS/Motorreductores/Motorreductor-de-Corona-y-Rosca-Sin-Fin/MAS---Motorreductor-de-Corona-y-Rosca-Sin-Fin/p/MKT_WATT_GLOBAL_GEAREDMOTOR_MAS_H_ELICALWORM
- [11] Thermolaser®. *Catálogo*. Available: <http://www.resistenciaslaser.com/resistencias/resistencias-tipo-cartucho/>
- [12] W.K. Chen. *The electrical engineering handbook*. United States: Academic Press Boston, 2005.