

Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Alimentación de Tolvas para Empaquetado de Té

Almeida, Rodrigo N.^{a*}; Heck, Pedro G.^a; Seewald, Leonardo D.^a; Ramirez, Carlos R.^a; Cabral, Roberto J.^{a, b, d}; Oliveira, Mario O.^{a, b}; Otano, Gustavo^c; Arrieta, Alberto^c; Alvarez, Lucila^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones – FI UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^b Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica – LIDEE, FI UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^c Cooperativa de trabajo LA HOJA LTDA, San Ignacio, Misiones, Argentina.

^d Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET, Argentina.

e-mails: almeidarodrigonico@gmail.com, pedro.guillermo.93@gmail.com, leonardoseewald@gmail.com,
ramirezcarlos1599@gmail.com, robert_rjc@hotmail.com, mario.oliveira@fio.unam.edu.ar,
mantenimientopuertomineral@lahoja.com.ar, iqalbertoarrieta@gmail.com, seguridadehigiene@lahoja.com.ar

Resumen

Este artículo presenta los avances del proyecto de investigación 16/I1644-FE desarrollado con financiamiento externo, el cual consiste en el diseño y construcción de un sistema automático de alimentación de tolvas dosificadoras de té en una industria alimenticia. El objetivo consistió en automatizar un proceso de carga de tolvas que actualmente son alimentadas de forma manual por parte de un operario del sector, eliminando demoras en el proceso previo al envasado de té. Se observó la actividad desarrollada en la planta por medio de visitas técnicas a fin de definir secuencias del proceso a tecnificar, realizándose además mediciones de tiempo y distancias. A partir del análisis se establecen indicadores de producción como lo es la cantidad de saquitos de té envasados en un turno y el tiempo de llenado de la tolva principal, siendo parámetros a evaluar al momento de incorporar e instalar el prototipo en escala real a la línea de producción de la empresa.

Palabras Clave – Automatización en la industria del té, Diseño, Empaquetado de té, Prototipo.

1 Introducción

En un marco de cambios significativos en la economía nacional, se requiere una adaptación por parte de la estructura productiva de distintos agrupamientos, como lo es en este caso el tealero, a patrones de consumo que demandan la incorporación de nuevas tecnologías durante el proceso.

Esta movilización del aparato productivo y tecnológico regional persigue una mayor productividad y un menor impacto ambiental de las actividades, incrementando su capacidad de innovación y adaptación a los patrones de consumo y producción [1].

En base a los últimos informes productivos del sector tealero, la producción presenta un crecimiento continuo desde la década de 1980 resultado del desarrollo de máquinas que ayudan a tecnificar el proceso productivo, siendo Misiones y el noreste de Corrientes los principales productores a nivel país [2].

En este sentido, siendo la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM) una institución de apoyo en investigación y desarrollo (I+D) al complejo productivo yerbatero y tealero, surge el proyecto de “diseño y construcción de un sistema automático de alimentación de tolvas para empaquetado de producto alimenticio” a fin de lograr un impacto positivo en la competitividad de este en áreas de gestión de producción y comercialización [2]. Además, contribuye a la necesidad de formación técnica de recursos humanos con conocimiento específico que serán requeridos en perfiles laborales a futuro en este sector al capacitar a los operarios afectados al proceso a tecnificar, sustituyendo el trabajo manual de carga de tolvas por un sistema automático [4].

Esta implementación se considera como un avance tecnológico con impacto positivo para la empresa adoptante ya que alrededor de un 5% de la producción total de la cadena tealera se destina al

mercado interno nacional, siendo éste el mercado objetivo de la misma. De esta forma, a partir de la implementación del automatismo desarrollado en este proyecto se busca una disminución importante en los tiempos de producción de saquitos de té y una capacidad de producción mayor, es decir se contribuye a la maximización de la eficiencia del proceso productivo [1].

1.1 Sistemas de Elevación por Cangilones

En el presente apartado se expondrán los resultados de la investigación sobre un sistema de carga y descarga automático de tolvas con carga seca a granel empleado en distintas industrias a fin de establecer un marco actual sobre su implementación en la industria alimentaria.

Orientados hacia el noreste del país, el sistema de transporte vertical de elementos sólidos secos a granel es adoptado ampliamente en el sector yerbatero y tealero como proceso previo al empaquetado. Por medio de un sistema de elevación de cangilones se alimenta un cajón distribuidor que dosificará material a las tolvas de alimentación individuales para cada máquina empaquetadora.[4], [5].

En el país existen diferentes fabricantes de elevadores de cangilones, siendo los principales los siguientes: [Fabrimac](#) [8], [Trafer](#) [9] y [Spinozzi](#) [10].

El funcionamiento del sistema consiste en una estructura vertical de chapa que cubre a los cangilones durante su recorrido desde una zona de carga del producto a transportar hasta la de descarga. Este transporte se realiza por medio de cangilones adosados a un elemento flexible empleado en la transmisión de movimiento, como lo son cadenas y/o cintas transportadoras. En la Fig. 1 se presenta el sistema de alimentación de tolvas propuesto, donde se observa la tolva principal (en la zona de carga), el cajón distribuidor y tubos de alimentación (para distribuir el té) y las tolvas individuales de carga en cada máquina empaquetadora.

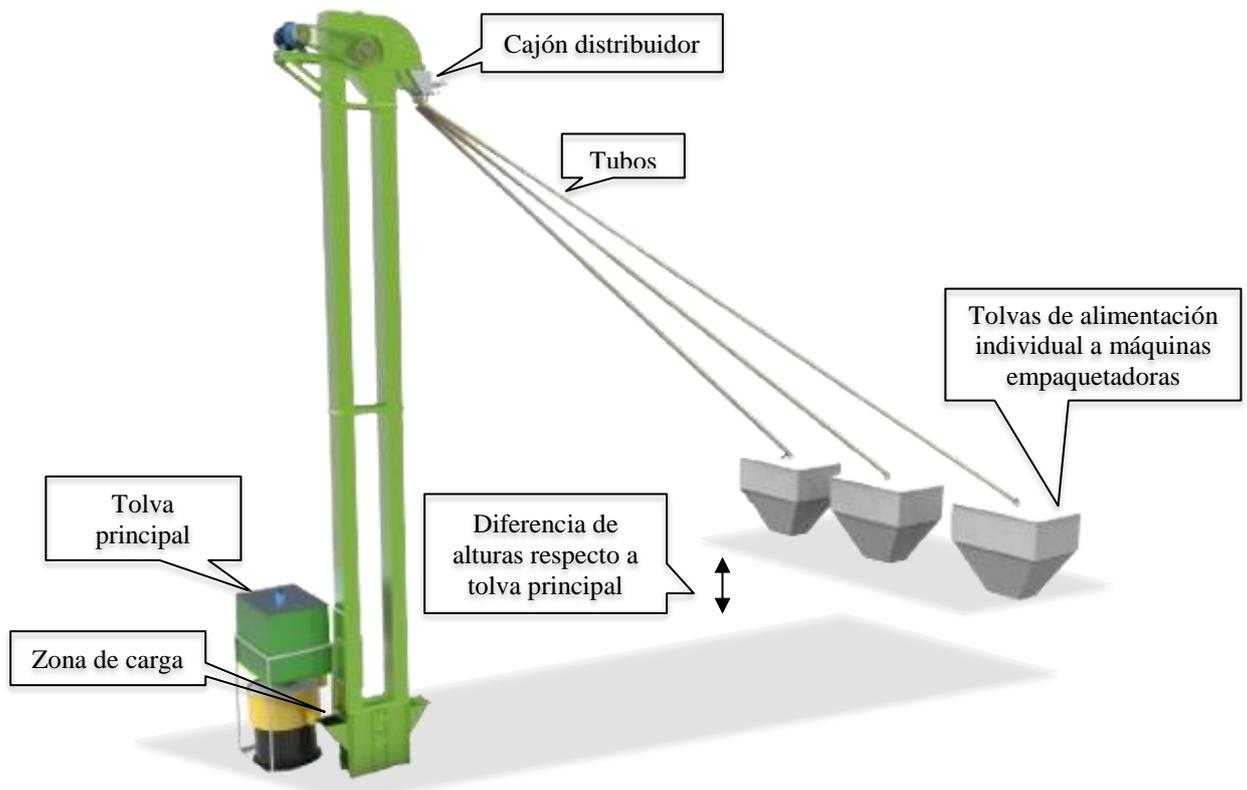


Fig. 1. Esquema del Sistema de alimentación de tolvas. (Elaboración propia)

El diseño propuesto para elevación por cangilones no varía significativamente en comparación con los modelos de este dispositivo ofrecidos por las empresas fabricantes antes mencionadas. La innovación de este proyecto se produce en el sistema de dosificación automático de la materia prima en base a la medición de los niveles de producto almacenado en las distintas tolvas que intervienen en el proceso, por medio del cual se conoce si alguna de las tolvas alcanza el nivel de llenado adecuado para interrumpir su alimentación de forma automática.

El control de los actuadores que realizan la apertura y cierre controlado de las tolvas se logra por medio de un PLC (Controlador Lógico Programable) que controla señales eléctricas provenientes de los sensores. La automatización de este proceso tiene como fin optimizar el proceso productivo de la empresa mejorando la carga de tolvas que en la actualidad son alimentadas de forma aislada y manual por medio de la intervención de un operario [6].

Se resalta además que los materiales de la estructura respetan las recomendaciones impuestas por el código alimentario argentino, siendo una de estas recomendaciones el recubrimiento con triglicidil isocianurato de los cangilones por ser un contenedor de alimento sólido seco a granel [7].

2 Procedimiento Metodológico

2.1 Cálculo de densidad de té

El cálculo de la densidad del té es importante porque se deberá verificar la masa del cajón distribuidor en cálculos siguientes.

El procedimiento consistió en:

1. Tarado del peso del recipiente en la balanza.
2. Cargado de 1000 (cm³) de té.
3. Pesado del té añadido.
4. Determinación del peso del té por diferencia.
5. Determinación de la densidad a partir del peso y el volumen.

Una vez concluido el procedimiento anterior, se determina la densidad del té utilizando las siguientes expresiones de cálculo.

Valores determinados:

$$\text{Peso del recipiente} = 88 \text{ (g)}$$

$$\text{Peso del recipiente + Té} = 500 \text{ (g)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{té}} &= (\text{Peso del recipiente + Té}) - \text{Peso del recipiente} & (1) \\ &= ((500) - 88) \text{ (g)} \\ &= 412 \text{ (g)} \end{aligned}$$

$$\left[\rho_{\text{té}} = \frac{m}{V} \right] \therefore \left[\rho_{\text{té}} = \frac{412 \text{ (g)}}{1000 \text{ (cm}^3\text{)}} = 0,412 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = 412 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) \right] \quad (2)$$

donde: ρ es la densidad del té en (kg/cm^3); m es el peso del té en (kg); V es el volumen del té en (cm^3).

2.2 Determinación de ángulo mínimo de resbalamiento

Dado que el movimiento del producto dentro de los tubos de PVC es por gravedad, se debe determinar el ángulo mínimo que debe formar el conducto entre la tolva principal y las máquinas empaquetadoras de saquitos de té. Por medios de experiencias con muestras del material a transportar y un conducto igual al que se emplea en el proceso se concluyó que a una altura de 4,7 (m) el deslizamiento de la muestra fue óptimo.

El procedimiento realizado consistió en la siguiente operatoria.

1. Se ensamblaron tramos de tubos de PVC a fin de obtener un total de 8,8 (m).
2. Se descargó una bolsa con aproximadamente 3,3 (kg) de muestra de té.
3. Se varia la inclinación del tubo hasta conseguir un deslizamiento óptimo de la muestra.
4. Se determina la altura en base al ángulo óptimo hallado y el largo total del tubo de PVC. Siendo el resultado de este procedimiento el ilustrado en la Fig. 2, resultando en una altura de 4,7 (m) y un ángulo mínimo de inclinación de aproximadamente 33 (°).

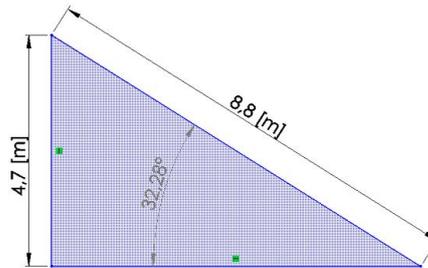


Fig. 2. Ángulo mínimo de deslizamiento. (Elaboración propia)

2.3 Determinación de altura mínima del cajón distribuidor

A partir de los datos anteriores se define la altura mínima del cajón distribuidor, a fin de garantizar el ángulo mínimo de resbalamiento de té. Para ello, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se ubica espacialmente las tres tolvas y el cangilón con el cajón distribuidor.
2. Se determina la distancia aproximada entre la boca de salida del cajón distribuidor y las bocas de las tres tolvas.
3. Se define el ángulo mínimo de deslizamiento para cada tolva, resultando en una altura mínima de 5,3 (m).

La Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5 muestran las medidas mínimas que deben tener cada tramo para cumplir con el ángulo de deslizamiento para cada una de las tolvas a llenar con té.

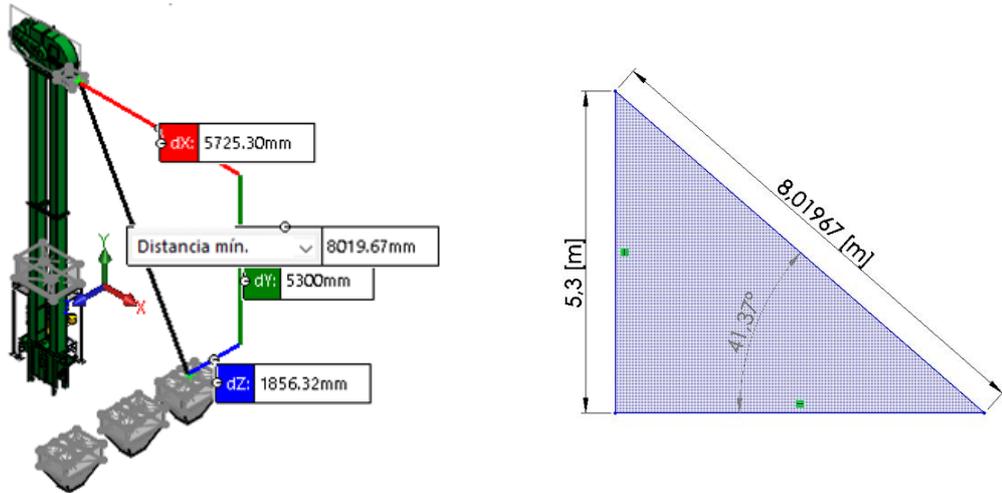


Fig. 3. Ángulo de tubo para tolva 1. (Elaboración propia)

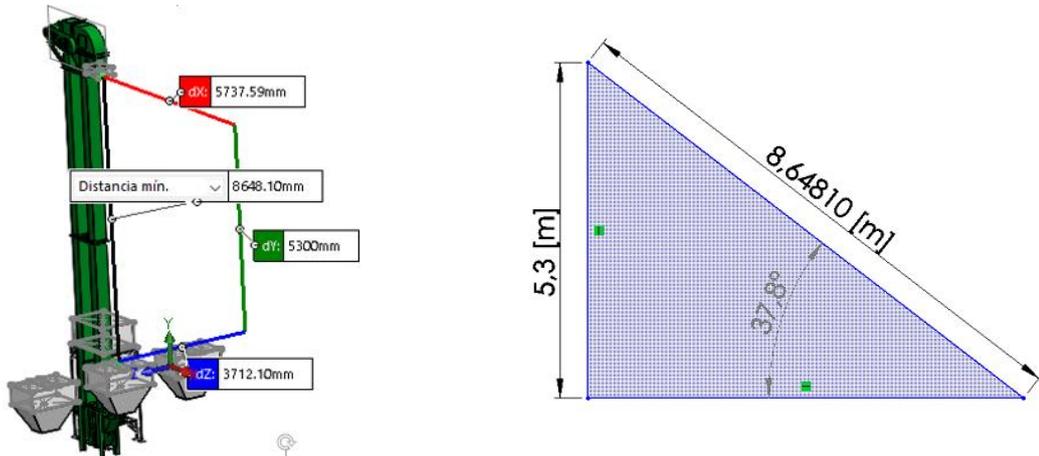


Fig. 4. Ángulo de tubo para tolva 2. (Elaboración propia)

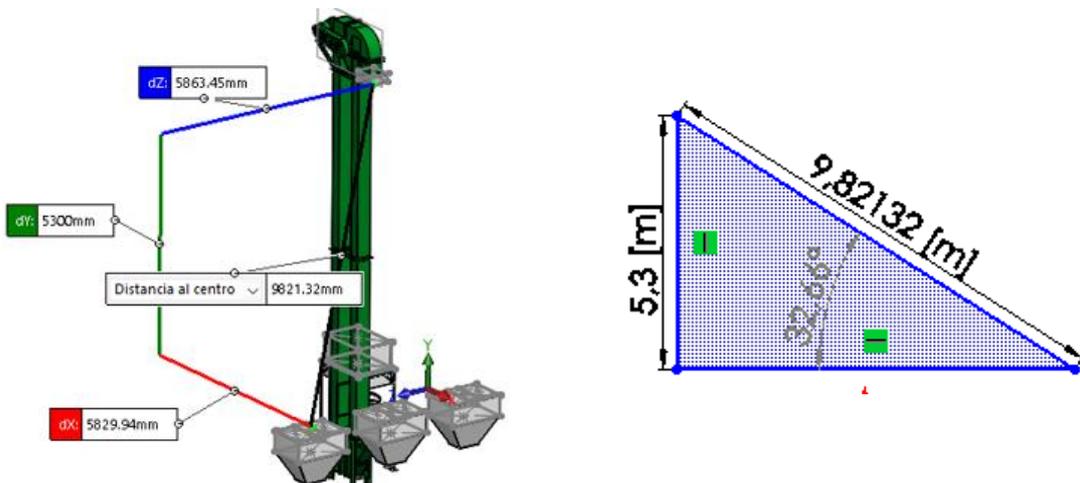


Fig. 5. Ángulo de tubo para tolva 3. (Elaboración propia)

A partir de las distancias determinadas previamente, se determina la altura mínima de la boca de salida del cangilón.

$$H_{cangilón} = H_{piso/entrepiso} + H_{tolva} + H_{tubo} + H_{distribuidor}$$

$$H_{cangilón} = (3,27 + 1,28 + 5,3 + 0,2) (m) \quad (3)$$

$$H_{cangilón} = 10,05 (m)$$

donde: $H_{piso/entrepiso}$ es la distancia entre piso y entrepiso en (m); H_{tolva} es la altura total de la tolva en (m); H_{tubo} es la altura del tubo en (m); $H_{distribuidor}$ es la altura del cajón distribuidor en (m).

2.4 Determinación de volumen y masa del cajón distribuidor y las tolvas

Por medio del software *SolidWorks* luego de la confección tridimensional de las tolvas, se determinó el volumen y masa del té que podrían ser contenidas en las mismas.[11].

$$V_{cajón} = Ancho \times Largo \times Alto$$

$$V_{cajón} = (0,43 \times 0,543 \times 0,2) (m^3) \quad (4)$$

$$V_{cajón} = 0,046 (m^3)$$

donde: $V_{cajón}$ es el volumen del cajón distribuidor.

$$m_{cajón} = \rho_{té} \times V_{cajón}$$

$$m_{cajón} = (412 \times 0,046) \left(\left(\frac{kg}{m^3} \right) \times (m^3) \right) \quad (5)$$

$$m_{cajón} = 18,9 (kg)$$

donde: $m_{cajón}$ es la masa del cajón distribuidor.

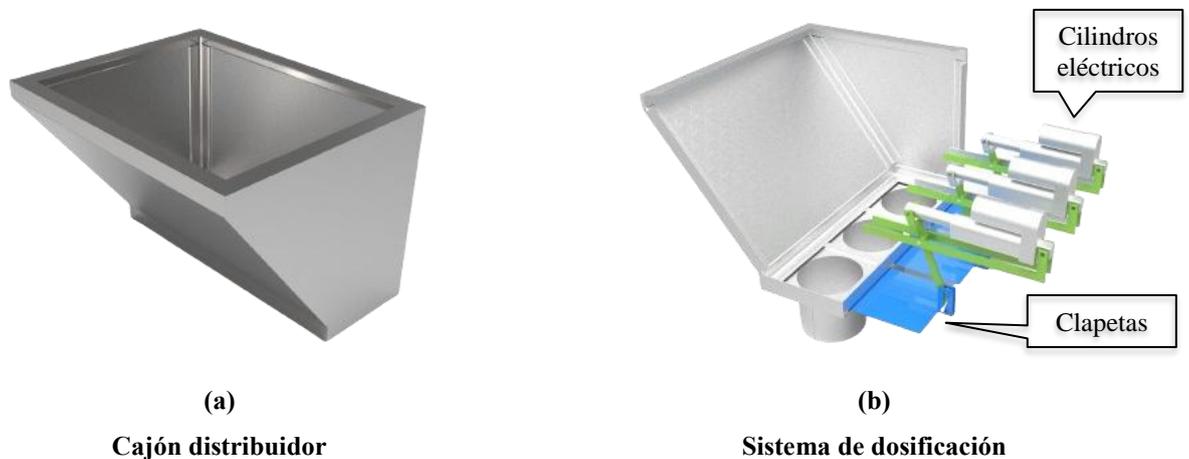


Fig. 6. Modelado 3D. (Elaboración propia)

A continuación, se ilustran los resultados obtenidos por medio del software *SolidWorks* al analizar las tolvas de carga hacia las máquinas empaquetadoras de saquitos de té.[11]



Fig. 7. Modelado 3D de tolvas. (Elaboración propia)

La Tabla 1 presenta de manera resumida los resultados de los principales cálculos.

Tabla 1 – Resultados obtenidos del análisis sobre las tolvas.

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	412	$\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
Masa	417,6	(kg)
Volumen	1,01	(m^3)

El mismo procedimiento fue aplicado a la tolva principal, resultando en los valores expuestos en la Tabla 2.

Tabla 2 – Resultados obtenidos del análisis sobre la tolva principal.

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	412	$\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
Masa	533,9	(kg)
Volumen	1,3	(m^3)

Una vez determinados estos parámetros, se procedió a diseñar el sistema de dosificación del dispositivo, el cual incluye actuadores y un sistema de clapetas como se ilustra en la Fig. 6 (b).

2.5 Sistema eléctrico a integrar en el tablero de control

El sistema eléctrico que forma parte de la automatización aborda el problema de censado continuo de las tolvas a fin de realizar la dosificación por medio de cilindros eléctricos que manejan las clapetas del cajón distribuidor, como se ilustra en la Fig. 6 (b).

Este proceso puede automatizarse de varias maneras, pero la solución adoptada en este caso fue el de emplear un relé inteligente al que se programó con la lógica del proceso en base a señales desde sensores de nivel de llenado ubicados en cada tolva, automatizando de esta forma los siguientes procesos:

- Transporte: Al implementarse la carga por medio de cangilones.
- Distribución: Con el sistema del cajón distribuidor.
- Llenado: Apertura o cierre de clapetas accionadas por el relé inteligente.
- Censado: Con los sensores capacitivos instalados en cada tolva.

La Fig. 8 presenta el tablero eléctrico de control montado en su fase de prototipo. El mismo fue desarrollado y probado en las instalaciones de la FI-UNaM, y será instalado en la empresa en el mes de agosto de 2024. Este tablero cuenta con elementos como: interruptor termomagnético (encargado de la protección de conductores frente a sobrecargas y cortocircuitos, además de los equipos aguas abajo), relé inteligente (para control de apertura/cierre de clapetas en base a las señales recibidas de los sensores de nivel), relé inversores (para la inversión de dirección de corriente eléctrica en la apertura/cierre de los actuadores eléctricos), contactores (para comandar al motor eléctrico), transformador (reduce la tensión de 220 (V) a 24 (V)), rectificador de corriente (convirtiendo la corriente alterna en continua) y regulador de tensión (reajustando el nivel de tensión a 24 (V)).

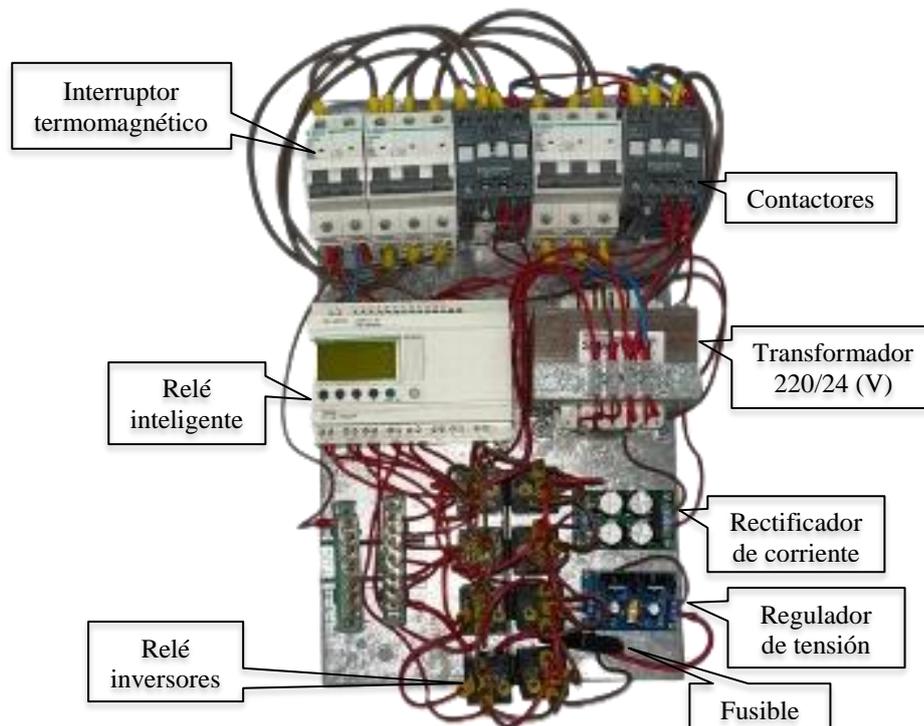


Fig. 8. Tablero eléctrico diseñado. (Elaboración propia)

Proyectándose un resultado similar al ilustrado en la Fig. 9, donde se puede observar al equipo instalado según las dimensiones reales en la planta.



Fig. 9. Resultado del Proyecto en planta (Elaboración propia).

3 Análisis parcial de resultados

A continuación, en la Tabla 3, se presenta un resumen del seguimiento de estado de las tareas del proyecto.

Tabla 3 – Resultados obtenidos del análisis sobre la tolva principal.

Nº	Tarea	Estado	Observación
1	Diseño mecánico tolvas	Finalizado	Verificaciones por elementos finitos, satisfactorio.
2	Diseño sistema de control	Finalizado	Prueba en laboratorio, satisfactorio.
3	Armado de gabinete eléctrico	Finalizado	Se realizaron reajustes en la disposición de componentes, resultado satisfactorio.
4	Selección de materiales	Finalizado	Corroboración de exigencias del Código Alimentario Argentino, satisfactoria.
5	Montaje de elementos in situ	Pendiente	Se realizó el armado de las partes componentes, pero no fueron ensambladas en la posición final.
6	Pruebas finales	Pendiente	Una vez realizado el montaje de los elementos, se procederá a la puesta en marcha para evaluar el desempeño del diseño.

4 Conclusiones

Este artículo presentó los avances del proyecto 16/I1644-FE [12] el cual cuenta con financiamiento externo. Dicho proyecto está en su fase de desarrollo por lo cual quedan actividades pendientes de realizar, las cuales están planificadas para el segundo semestre del año 2024, verificándose en las pruebas realizadas del tablero eléctrico su buen funcionamiento, conexión y construcción, además de calificarse la programación del relé inteligente como satisfactoria y comprobar el cumplimiento con el código alimentario de los materiales de las tolvas y cangilones existentes.

Al culminar el diseño del sistema automático de alimentación de tolvas para empaquetado de productos alimenticios se prevé una mejora en la eficiencia del proceso como también una operación continua y uniforme al reducir los tiempos de inactividad e intervención manual.

La integración de sensores y tecnología de control avanzado permite la supervisión en tiempo real y ajustes automáticos en la dosificación de la materia prima al alimentar las máquinas empaquetadoras, contribuyendo así a una mayor precisión y consistencia en el proceso.

El sistema diseñado, una vez montado, representará un avance significativo en la automatización del empaquetado de productos alimenticios en la empresa, comparado con su situación actual, aportando soluciones innovadoras y eficientes a los desafíos actuales de la industria, integrando los diseños de piezas mecánicas y esquemas eléctricos que permitan el correcto funcionamiento del dispositivo.

Los principales resultados alcanzados hasta el momento están detallados en la Tabla 3, de la sección 3. Análisis parcial de resultados. La culminación del proyecto está prevista para fines de diciembre del corriente año.

Agradecimientos

A la Cooperativa de trabajo La Hoja LTDA, en nombre de todo el equipo de investigación, se le agradece profundamente por su generoso apoyo en la financiación de este artículo. Su compromiso con la investigación y la difusión del conocimiento ha sido fundamental para llevar a cabo este proyecto. Esperamos seguir colaborando en futuras oportunidades.

Referencias

- [1]. Argentina Productiva 2030 (2023), “Misión 6. Adaptar la producción de alimentos a los desafíos del siglo XXI”. Marzo 2023. [Online]. Disponible: [06. Adaptar la producción de alimentos a los desafíos del siglo XXI | Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar/produccion/06-adaptar-la-produccion-de-alimentos-a-los-desafios-del-siglo-xxi), Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [2]. Secretaría de Política Económica, “Informes de cadenas de valor”. Octubre 2019. [Online]. Disponible: [ssp-micro_cadenas_de_valor_te.pdf \(argentina.gob.ar\)](https://www.argentina.gob.ar/produccion/ssp-micro-cadenas-de-valor-te.pdf) Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [3]. Resolución C.D. N° 006-24. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones - Argentina.
- [4]. Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI), “Análisis tecnológico sectorial”. 2012. [Online]. Disponible: [Análisis tecnológico sectorial | Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar/produccion/analisis-tecnologico-sectorial). Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [5]. IRAM, IRAM 10.029, 1995.
- [6]. J. D. Castañeda Aguirre & J. A. Díaz Badillo, “Diseño y Simulación de un sistema automático para cargue de una tolva”, M.S., Ingeniería Mecatrónica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2015.
- [7]. Código Alimentario Argentino (Capítulo IV), “Utensilios, recipientes, envases, envolturas, aparatos y accesorios”. 2023. [Online]. Disponible: [Capítulos del Código Alimentario Argentino](https://www.argentina.gob.ar/produccion/codigo-alimentario-argentino) . Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [8]. FABRIMAC S.A. “Elevadores a cangilones”. [Online]. Disponible: <https://fabrimac.com.ar/product/elevadores-a-cangilones-granos/>, Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [9]. TRAFER S.A. “Elevadores a cangilones”. [Online]. Disponible: <https://trafer.com.ar/elevadores-a-cangilones/>, Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [10]. SPINOZZI. “Bandas elevadoras”. [Online]. Disponible: <https://spinozziargentina.com/bandas-elevadoras/>, Accedido el: 4 de junio, 2024.
- [11]. Jon Hirschtick. (2002). SOLIDWORKS (2019) [Windows 11]. SolidWorks Corporation. [SOLIDWORKS](https://www.solidworks.com/)
- [12]. M. O. Oliveira, et. al, , “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALIMENTACIÓN DE TOLVAS PARA EMPAQUETADO DE PRODUCTO ALIMENTICIO (16/I1644-FE)”, Expediente FIO 0000283/2024, no publicado.