



**MEDIDOR DE TENSIÓN DE RUPTURA EN EL SELLADO DE LAS FUNDAS DE  
ALICO SAS BIC**

Luis David Muñoz Jurado  
Estudiante de ingeniería electrónica

Semestre de industria

Asesor interno  
Jose Robinson Ortiz Castrillon, PhD en Ingeniería electrónica y computación

Universidad de Antioquia  
Facultad de ingeniería, departamento de ingeniería electrónica y telecomunicaciones  
Pregrado  
Medellín  
2025

---

<b>Cita</b>	(Muñoz Jurado, 2025)
<b>Referencia</b>	Muñoz Jurado, Luis David. (2025). <i>Medidor de tensión de ruptura en el sellado de las fundas de ALICO SAS BIC</i> [Trabajo de grado profesional].
<b>Estilo APA 7</b>	Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>(2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	5
I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
III. JUSTIFICACIÓN.....	8
IV. OBJETIVOS .....	9
A. Objetivo general .....	9
B. Objetivos específicos .....	9
V. MARCO TEÓRICO .....	10
VI. METODOLOGÍA .....	16
VII. RESULTADOS .....	19
VIII. DISCUSIÓN.....	35
IX. CONCLUSIONES .....	37
REFERENCIAS .....	40

---

## RESUMEN

En el proyecto se diseñó e implementó un sistema para medir la tensión de ruptura del sellado de empaques plásticos de Alico SAS BIC, asegurando la calidad y resistencia de sus productos, bajo los principios de la Industria 4.0. El sistema permitió a la empresa obtener lecturas precisas y detalladas de la resistencia de sellado, facilitando el análisis gráfico de los resultados para mejorar sus procesos de control de calidad. Se integraron tecnologías, como un Controlador Lógico Programable (PLC) para gestionar el motor a pasos y la celda de carga, junto con una interfaz HMI para la visualización en tiempo real de los datos en fuerza aplicada a los empaques.

La metodología se basó en cuatro etapas clave: identificación de los componentes necesarios para implementar el sistema, desarrollo y programación del controlador, diseño de la estructura física para el montaje del hardware, y finalmente, pruebas de campo para ajustes de calibración y validación. Los resultados obtenidos incluyen un sistema que cumple con las normativas y ofrece una solución confiable y precisa para la medición de la tensión de ruptura, mejorando el desempeño de los empaques producidos por Alico SAS BIC. Este proyecto permitió a la empresa continuar innovando, asegurando que sus productos cumplan con los más altos estándares del mercado asegurando la plena satisfacción de los clientes, logrando que continúen eligiendo a Alico como su distribuidor de confianza y preferencia.

***Palabras clave*** — **Celda de carga, Fuerza, HMI, Interfaz, Medidor de tensión, Motor paso a paso, PLC, Sellado.**

## ABSTRACT

In this project, a system was designed and implemented to measure the breaking stress of the sealing of Alico SAS BIC plastic packaging, ensuring the quality and strength of its products, under the principles of Industry 4.0. The system provided precise and detailed readings of seal strength, enabling graphical analysis to enhance the company's quality control processes. Technologies were integrated, such as a Programmable Logic Controller (PLC) to manage the stepper motor and load cell, along with an HMI interface for real-time visualization of the strength data applied to the packaging.

The methodology was based on four key stages: identification of components needed to implement the system, development and programming of the controller, design of the physical structure for hardware assembly, and finally, field tests for calibration and validation adjustments. The results obtained include a system that complies with regulations and offers a reliable and accurate solution for measuring breaking strain, improving the performance of the packaging produced by Alico SAS BIC. This project allowed the company to continue innovating, ensuring that its products meet the highest market standards, ensuring full customer satisfaction, making them continue to choose Alico as their trusted and preferred distributor.

***Keywords*** — **Loadcell, Force, HMI, Interface, Strain gauge, Stepper motor, PLC, Sealing.**

---

## I. INTRODUCCIÓN

Se presenta el diseño y desarrollo de un sistema capaz de medir la tensión de ruptura en los empaques plásticos de Alico SAS BIC, una empresa dedicada a la manufactura de empaques para plásticos que requieren un sellado hermético para garantizar la calidad del producto. El propósito del sistema es la medición de fuerza de sellado de los empaques, brindando información precisa sobre su resistencia y rigidez, mediante el uso de tecnologías avanzadas de uso industrial. Este proyecto responde a la necesidad de la empresa de garantizar que sus empaques cumplan con los estándares más altos del mercado. Por consiguiente, se diseñó e implementó un sistema que permite medir, visualizar y analizar las lecturas de fuerza de los sellados, proporcionando una herramienta moderna que fortalece la capacidad de innovación y mejora continua en la producción.

La metodología utilizada en el proyecto se estructuró en cuatro fases: Primero, la identificación de componentes, segundo, la programación del PLC, tercero, el diseño de la estructura física para integrar los elementos hardware, y cuarto, la ejecución de pruebas de campo para la calibración y validación del sistema. A lo largo de estas fases, se buscó asegurar la sinergia entre los componentes, la fiabilidad de las mediciones y el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

En síntesis, el sistema desarrollado ofrece una solución robusta que no solo agiliza el control de calidad de los empaques de Alico SAS BIC, sino que también fortalece su capacidad para competir en un mercado exigente que demanda productos de alta calidad. Además, permite a la empresa optimizar sus procesos al reducir los costos operativos asociados al uso de maquinaria en planta, mejorando la eficiencia y rentabilidad de sus operaciones.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la empresa Alico SAS BIC, los equipos disponibles para medir la fuerza de sellado de sus empaques son costosos, limitados en número y demasiado robustos. Estos equipos ocupan un espacio significativo en las instalaciones y no es posible trasladarlos fácilmente a otras áreas cuando se requiere, lo que complica aún más su uso eficiente. Dado el tamaño de la empresa y el volumen de producción, estos equipos suelen estar en uso continuo, generando retrasos en la realización de las pruebas de resistencia para el análisis de calidad. Ante esta situación, se diseñó un sistema alternativo que replicara el funcionamiento de los equipos actuales, pero utilizando implementos y recursos ya disponibles en la empresa, con un costo significativamente menor. El nuevo sistema es menos robusto, capaz de adecuarse a espacios pequeños, y fácil de transportar si es necesario. Además, permite agilizar las pruebas de calidad, facilitando el uso intercalado de los equipos existentes y disminuyendo su carga operativa, mejorando así la eficiencia general en el control de calidad.

---

### III. JUSTIFICACIÓN

La variable principal para monitorear en este proyecto es la fuerza, la cual está relacionada con el peso. Aunque en el mercado existen sistemas como dinamómetros y torquímetros que miden la fuerza y muestran la lectura en un display integrado, estos son costosos, limitados en su funcionalidad y no permiten modificaciones programables, reduciendo así su eficiencia. Como alternativa, el uso de celdas de carga, básculas y pesas electrónicas integradas con controladores programables permite desarrollar una solución más económica y adaptable, que además fortalece el aprendizaje técnico y mejora el valor educativo para quien desarrolla el proyecto.

La selección de un PLC para el desarrollo de este proyecto se fundamentó en su naturaleza industrial, que lo hace especialmente adecuado para entornos de manufactura como el de Alico SAS BIC. A diferencia de otros controladores, el PLC ofrece la posibilidad de acceder y manipular el sistema de manera remota, lo que reduce la necesidad de estar físicamente presente junto al equipo [1]. Esta característica es crucial en entornos industriales donde la continuidad operativa y la eficiencia son primordiales. Además, su robustez y facilidad de integración en sistemas complejos lo hacen ideal para la automatización de procesos críticos.

El medidor de tensión de ruptura fomenta habilidades técnicas al reutilizar y optimizar recursos internos, fortaleciendo la capacidad del ingeniero para innovar y resolver problemas industriales complejos con componentes disponibles en la empresa, lo que permite reducir costos significativamente.



---

## IV. OBJETIVOS

### A. *Objetivo general*

Diseñar un sistema automatizado que permita el monitoreo remoto y la manipulación digital, proporcionando mediciones precisas y fiables sobre el sellado de los empaques, mediante la programación de un PLC garantizando un control de calidad y confiabilidad de los productos comercializados por ALICO SAS BICO.

### B. *Objetivos específicos*

- Realizar un análisis de los requisitos del sistema asegurando que el diseño cumpla con las especificaciones de control de calidad y confiabilidad de ALICO SAS BIC.
- Programar el firmware para el PLC garantizando el control del motor a pasos y la celda de carga, asegurando que trabajen de manera conjunta, eficiente y proporcionen resultados precisos y coherentes.
- Desarrollar la estructura física integrando el hardware seleccionado, asegurando un montaje robusto y preciso que permita el funcionamiento sinérgico del mismo.
- Ejecutar pruebas de campo que permitan realizar ajustes adicionales de calibración y programación del controlador para el correcto desempeño del sistema en condiciones operativas reales, verificando el funcionamiento para mediciones precisas y fiables.

## V. MARCO TEÓRICO

A continuación, se detallan algunas de las características más relevantes implementadas y funcionalidades de cada componente y la razón de su selección para el proyecto.

El PLC M221CE16T de Schneider Electric (Imagen 1) fue diseñado para aplicaciones industriales que requieren alta eficiencia y flexibilidad. Este modelo cuenta con 9 entradas digitales y 7 salidas digitales tipo transistor, lo que permite un control preciso y eficiente de dispositivos como motores paso a paso y actuadores. Además, destaca por su capacidad de comunicación integrada, ofreciendo puertos Ethernet y series que permiten una fácil integración en redes industriales y el acceso remoto al controlador y su programación [2]. Este PLC fue seleccionado debido a su capacidad de ofrecer salidas rápidas tipo transistor, que pueden operar a velocidades de hasta 100 kHz, lo que lo hace especialmente adecuado para el control preciso de la velocidad del motor. Además, cuenta con entradas analógicas que permiten monitorear y procesar la señal de la celda de carga, lo cual es crucial para este tipo de mediciones. Sus puertos de comunicación, tanto Ethernet como serial, facilitan la integración simultánea del PLC con una interfaz HMI y su salida a Ethernet, permitiendo el control y monitoreo remoto del sistema.



*Imagen 1.* PLC M221CE16T de Schneider Electric.

Se utilizó la HMI Delta DOP100 (Imagen 2) para controlar y supervisar el proceso, las variables y la fuerza, dado que era el único equipo disponible en el almacén de repuestos de ALICO, lo cual permitió realizar de manera efectiva tanto el control como el monitoreo del sistema. Este equipo cuenta con una pantalla táctil que facilita la visualización en tiempo real de las variables.

Además, su capacidad de configuración permitió la implementación de gráficos interactivos, esenciales para observar la curva de fuerza de sellado durante las pruebas. Esto proporcionó una representación visual clara de cómo varía la fuerza aplicada a lo largo del tiempo, lo que fue fundamental para analizar la calidad del sellado en los empaques. Adicionalmente, la HMI permite conectividad eficiente con el PLC a través de comunicación serial y Ethernet, asegurando una gestión fluida del sistema y el acceso remoto a los parámetros del proceso [3].



*Imagen 2.* HMI Serie DOP-100 de Delta Electronics.

El motor a pasos fue clave para realizar el movimiento preciso encargado de estirar la probeta seleccionada. Este tipo de motor es ideal para controlar con exactitud tanto la posición como la velocidad, lo que permite regular de manera precisa el desplazamiento. El motor SM2862-5155, 85.5 mm, Nema 34 disponible en el almacén de repuestos de ALICO, se destaca por su alto torque, ideal para aplicaciones que requieren movimientos precisos y controlados, además de que es compatible con el drive X-PLUS B.4.1 disponible para el proyecto. Su funcionamiento por pasos asegura un control minucioso sobre la cantidad de movimiento aplicado, lo cual se traduce en una fuerza controlada, garantizando así la precisión en cada prueba realizada sobre los empaques. Gracias a sus especificaciones, como un torque elevado y la capacidad de mantener el control exacto en cada movimiento, se logró regular de manera eficiente la fuerza aplicada durante las pruebas, lo que permitió obtener datos más precisos sobre la fuerza en las pruebas realizadas [4].

Al momento de Garantizar la compatibilidad entre la señal de control del PLC (tren de pulsos de 24V) y el controlador del motor (tren de pulsos de 5V), fue necesario implementar una conversión de señal. Esta conversión permite reducir la amplitud del tren de pulsos de 24V a 5V.

El optoacoplador PC817 incrustado en la tarjeta de conversión de señal (Imagen 3) permite aislar eléctricamente el circuito de control del circuito de potencia. Funciona mediante un diodo emisor de luz (LED) que, al recibir una señal de entrada, emite luz hacia un fototransistor. Este fototransistor, al detectar la luz, activa la salida del circuito, permitiendo así la conversión de una señal de 24V a 5V de manera segura [5]. El PC817 asegura que los pulsos generados por el PLC no sobrecarguen el controlador del motor, protegiendo ambos componentes.



**Imagen 3.** Tarjeta DST-1R4P-N convertidora de voltaje de AL-ZARD.

Se utilizó la fuente de alimentación de 24V a presente en el almacén DIN Rail Power Supplies 150W 24V 5A EN55022, debido a que la mayoría de los componentes como el PLC, la HMI y el amplificador de señal requieren de una alimentación estable a 24V. Esta fuente fue seleccionada por su capacidad de proporcionar una corriente suficiente para alimentar todos los dispositivos simultáneamente, asegurando un funcionamiento estable y sin sobrecargas. Además, su montaje en riel facilita la instalación en entornos industriales, siendo ideal para la alimentación de equipos electrónicos sensibles [6].

La celda de carga emite una señal de 2mV por gramo censado, para aumentar el rango de esta señal, se utilizó el amplificador de celda de carga de Double E (Imagen 4) único presente en el almacén de ALICO, con el fin de escalar y calibrar las lecturas de la celda de carga. Este amplificador permitió convertir las señales de baja amplitud generadas por la celda de carga, de 100 kg de capacidad, en señales más adecuadas para ser interpretadas por las entradas analógicas del PLC, que operan en un rango de 0-10V. Dado que las mediciones necesarias no superaban los 10 kg, se decidió escalar la celda de carga a este valor para mejorar la precisión de las lecturas.

Esta reducción del rango de medición permitió obtener datos más exactos en cada prueba realizada [7].



**Imagen 4.** Amplificador para celda de carga de Double E.

Con base en las investigaciones realizadas sobre los requerimientos del sistema, y considerando otros sistemas previamente implementados como el sensor de tensión o peso STENTOR II [8], se utilizó una celda de carga tipo S (Imagen 5). Este tipo de celda es eficiente debido a su bajo margen de error, cercano al 0.2%, lo que asegura una alta precisión en las mediciones [9]. Aunque se consiguió en el mercado una celda con capacidad para 100 kg, no era necesario medir hasta ese valor. Gracias al amplificador utilizado, se logró escalar la capacidad a 10 kg, permitiendo obtener mediciones más precisas y adecuadas para las necesidades del proyecto.



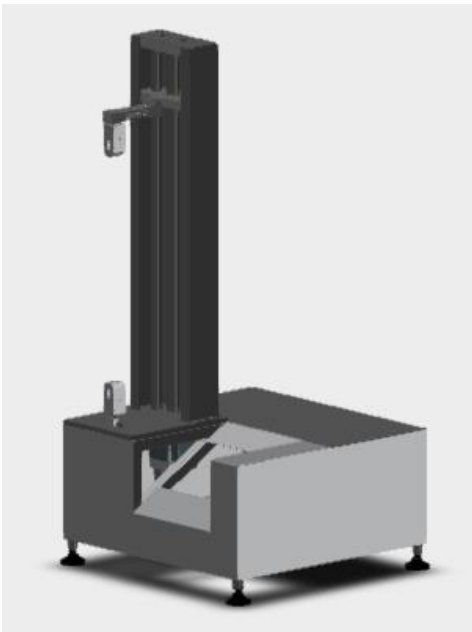
**Imagen 5.** Celda de carga de tensión modelo SA.

El controlador del motor que se implementó fue el modelo X-Plus Series B4.1 (conocido como Driver), seleccionado debido a su disponibilidad en el almacén. Este Driver es especialmente adecuado para el motor a pasos empleado, ya que es el recomendado por los fabricantes del motor, lo que asegura una compatibilidad óptima. El X-Plus Series B4.1 (Imagen 6) presenta un rango de corrientes de trabajo que se alinea perfectamente con las especificaciones del motor, garantizando un rendimiento eficiente. Además, ofrece diferentes modos de programación [10], lo que permite ajustar sus características para satisfacer las necesidades específicas del proyecto, asegurando un control preciso y confiable del motor en las pruebas realizadas.



**Imagen 6.** Driver x-plus serie B4.1 de RTA.

El diseño de la estructura física (Imagen 7) se realizó teniendo en cuenta la necesidad de integrar todos los elementos eléctricos de manera compacta y eficiente. Se buscó que la estructura no fuera excesivamente robusta ni demasiado alta, ya que las probetas que se deben medir presentan una deformación máxima de 20 mm. Por este motivo, se decidió que el espacio vertical libre disponible para la prueba fuera de aproximadamente 40 cm, lo cual es más que suficiente para llevar a cabo las pruebas con precisión y sin ocupar un espacio innecesario en el entorno de trabajo. Además, el diseño se basó en modelos ya disponibles en el mercado de máquinas universales de columna única, lo que permitió aprovechar características funcionales de estos equipos, adaptándolas a las necesidades específicas del nuevo sistema [11].



*Imagen 7.* Estructura física diseñada para montaje.

---

## VI. METODOLOGÍA

A continuación, se describen los pasos realizados en cada etapa del proyecto, avanzando progresivamente hasta alcanzar el resultado final.

### **Paso 1, investigación, revisión bibliográfica y compra de componentes:**

El desarrollo comenzó comprendiendo el problema presentado por la empresa y los resultados que se querían lograr, se inició con la identificación de los componentes requeridos para el sistema medidor de tensión. En esta etapa, se realizó un análisis detallado de la documentación existente de equipos comerciales para medir la fuerza de sellado o el peso como el medidor de tensión STENTOR II, se analizaron sus elementos internos, rangos de medida, porcentajes de error en el resultado, el tipo de display que utiliza para visualizar la medida, si el sistema es alimentado por una fuente o por medio de pilas recargables y su comportamiento en entornos industriales con interferencias en ruidos, vibraciones y polvo. A partir de este análisis, se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema. Luego de las investigaciones, lo primero que se hizo fue seleccionar los elementos disponibles en la empresa que cumplieran o solucionaran los requerimientos planteados, y posteriormente se adquirieron los componentes faltantes para completar el proyecto y garantizar su funcionamiento óptimo.

### **Paso 2, programación:**

Esta fase consistió en el desarrollo y programación del firmware para integrar el motor a pasos y la celda de carga al PLC. Inicialmente, se realizó el cableado y las conexiones para la alimentación de cada componente, asegurando una correcta distribución de la energía. Se implementaron medidas de protección con fusibles, siguiendo la norma que establece que el valor del fusible debe ser 1.45 veces el consumo del aparato electrónico [12], lo que garantizó la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema.

En el software EcoStruxure SoMachine Basic-Expert se programó el PLC mediante lenguaje de bloques para implementar la lógica de control del sistema. El controlador del motor (driver) recibe un tren de pulsos a diferentes frecuencias con un ciclo de trabajo (duty cycle) del 50%, lo que permite ajustar la velocidad del motor. Para configurar este tren de pulsos, se empleó



un bloque de generación de frecuencias el cual permite configurar un rango de trabajo de 0 a 100 kHz con un error del 1%, enviando el pulso a la salida Q0.0 del PLC.

Los datos capturados por la celda de carga se gestionan a través de la entrada analógica IW0.1 del PLC, que tiene un rango de medida de 0 a 1000. Se aplicó un escalamiento a la señal para convertir estos valores en unidades de peso y se eliminó un offset de la medida para mejorar la precisión de los resultados registrados.

La programación de la HMI se realizó en el software DOPSoft versión 4.00.10. Para controlar el arranque, paro, cambio de dirección del motor y el reinicio del sistema, se utilizaron pulsadores que envían señales digitales (1 o 0), interpretadas por el PLC como activo o inactivo. El peso detectado por la celda de carga se muestra en pantalla de dos maneras: mediante un visualizador de datos que muestra el valor en tiempo real y a través de un gráfico que traza la curva de la medición en tiempo real. Además, se configuraron capas de pantalla para ajustar parámetros según se requiera.

La comunicación entre el PLC y la HMI se estableció mediante TCP/IP a través de un cable Ethernet. A cada dispositivo se le asignó una dirección IP única dentro de la misma red, permitiendo así el intercambio fluido de datos y la sincronización entre ambos equipos.

### **Paso 3, estructura física:**

En esta fase, se realizó un análisis exhaustivo de los requisitos mecánicos y espaciales para garantizar una estructura compacta que no fuera excesivamente robusta ni ocupase espacio innecesario en la planta. Se prestó especial atención a la instalación de cada componente de hardware, asegurando un diseño equiespaciado y accesible que permitiera el reemplazo independiente de cualquier pieza sin necesidad de desmontar otros elementos. Basándose en los antecedentes de máquinas presentes en la planta, como la STENTOR II, y considerando que la deformación de las probetas durante las pruebas no supera los 20 mm, se determinó que la altura de la máquina debía ser de aproximadamente 95 cm, dejando un espacio libre de 50 cm para facilitar la realización de las pruebas. El diseño de la estructura fue elaborado en el software Autodesk por el personal mecánico de la empresa, teniendo en cuenta el peso total y los costos asociados; se diseñó un tornillo sin fin con un diámetro de 25 mm y un paso de 1.5 mm.

El diseño se inspiró en modelos comerciales de máquinas universales de columna única [11], adaptando estos conceptos a las necesidades del proyecto, lo que resultó en una estructura funcional y compacta.

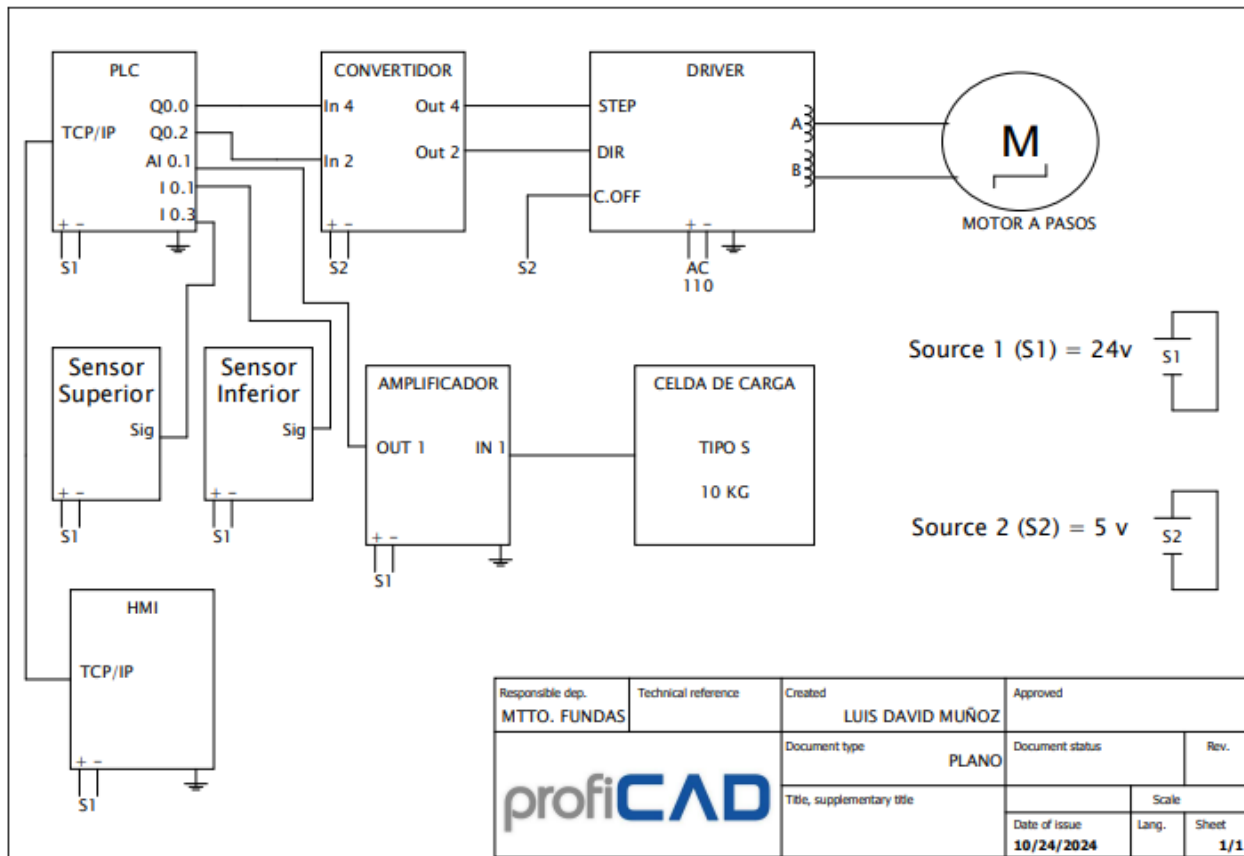
**Paso 4, pruebas operativas:**

Finalmente, se realizaron pruebas de campo para validar el desempeño del sistema en condiciones reales, donde se presentan entornos ruidosos con vibraciones e interferencias electromagnéticas lo cual puede inferir en resultados erróneos. Durante esta fase, se analizaron los resultados obtenidos del sistema diseñado y se compararon con los resultados obtenidos de máquinas presentes en la empresa analizando en ambas estructuras el mismo material. Se realizaron ajustes adicionales de calibración tanto en la programación de la celda de carga para que entregue un dato correspondiente al promedio de 15 datos para obtener un dato más preciso.

VII. RESULTADOS

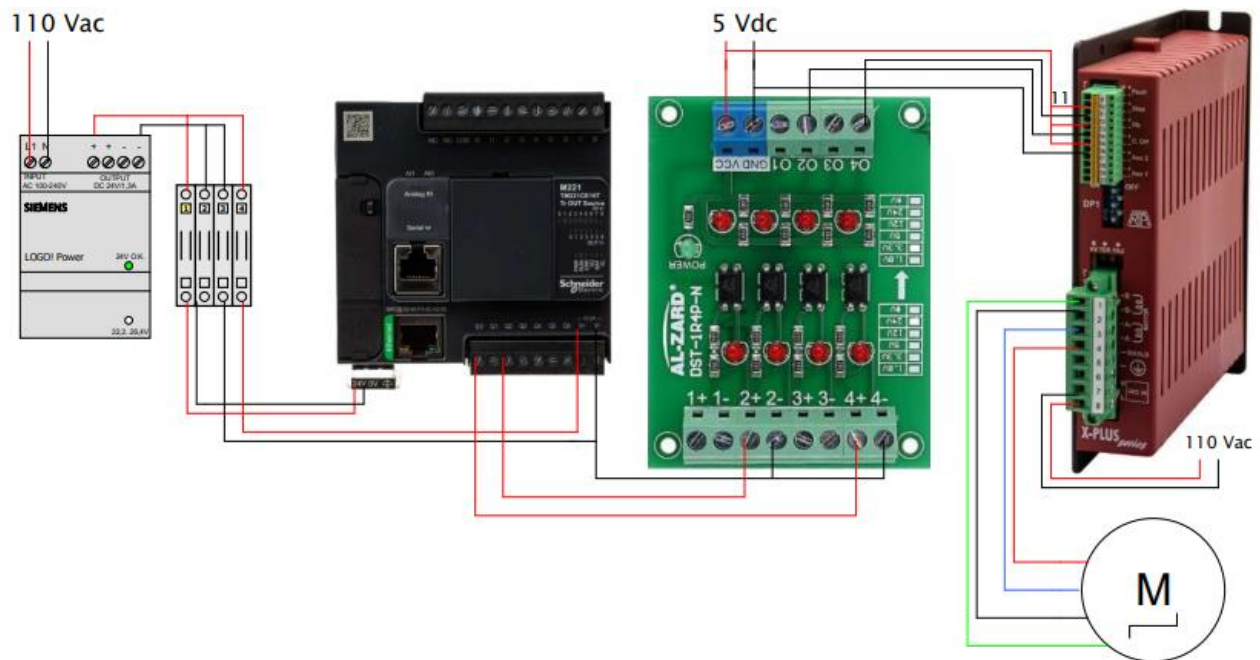
**Planos eléctricos:**

En el plano eléctrico (Imagen 8) se presentan las conexiones entre los componentes utilizados en el proyecto. El PLC y la HMI están interconectados mediante un cable Ethernet. Tanto el PLC, la HMI como el Amplificador están alimentados por una fuente de 24 V, mientras que el Driver recibe su alimentación de 110 V AC. Adicionalmente, el Convertidor y el Driver operan con señales de referencia de 5 V para su funcionamiento. Las bobinas del motor a pasos se conectan a las bobinas referenciadas en el Driver.



*Imagen 8.* Plano eléctrico de conexión.

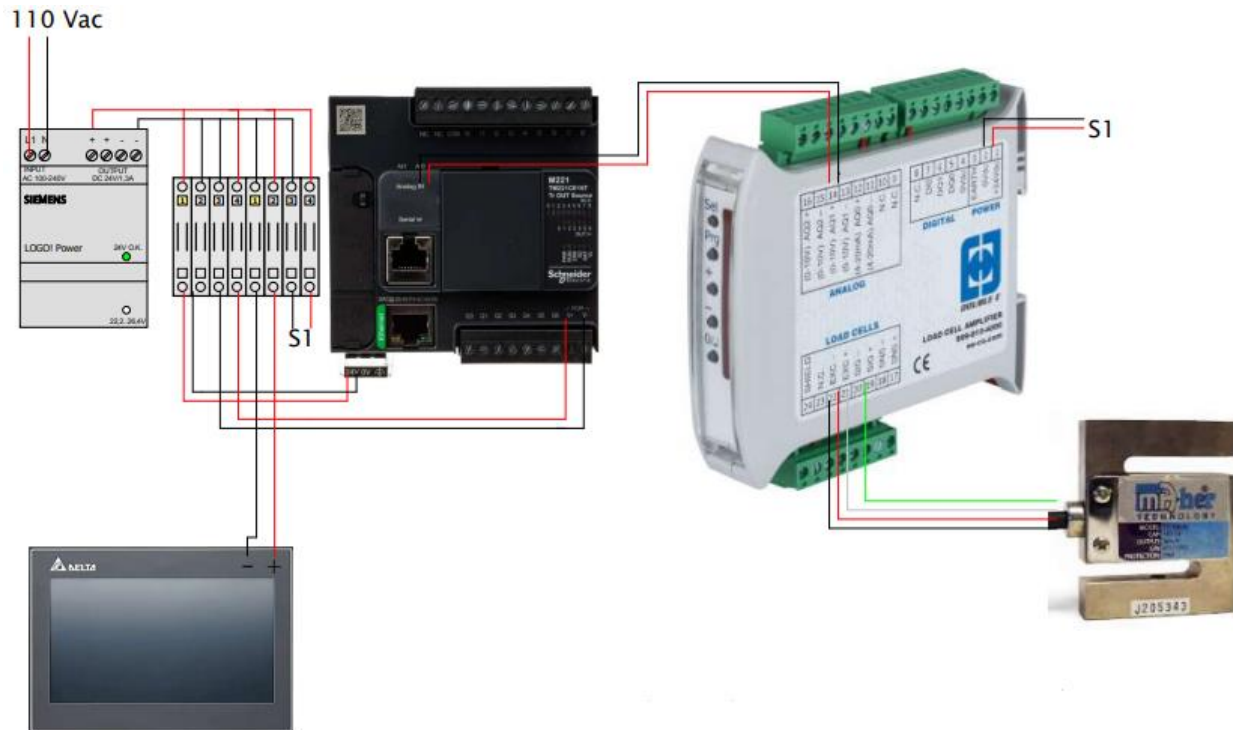
Las salidas del PLC, alimentadas con 24 V (Imagen 9), son de tipo transistor PNP, lo que significa que realizan el conmutado en la línea positiva. En este caso, la salida Q0 del PLC está conectada a la entrada 4 de la tarjeta para controlar la velocidad del motor, mientras que la salida Q2 se conecta a la entrada 2 para determinar el sentido de giro. Estas señales de 24 V pasan a través de la tarjeta convertidora de señal, que las transforma a un voltaje de 5 V en la salida. La tarjeta en sus salidas utiliza transistores NPN, que conmutan en la línea negativa. En la salida de la tarjeta O2 controla el sentido de giro del motor, mientras que la salida O4 regula su velocidad. Además, se habilita el funcionamiento del Driver mediante la una señal de 5 V conectado a la entrada Enable del mismo.



**Imagen 9.** Plano de señales de control.

La señal de datos correspondiente a la medición del peso registrada por la celda de carga (Imagen 10) pasa por un proceso de amplificación y promediado en el amplificador. Este dispositivo opera con una frecuencia de muestreo de 120 Hz y está configurado para enviar un promedio de cada 15 muestras censadas, logrando un valor más preciso. Como resultado, el amplificador genera una muestra promediada cada 125 milisegundos.

En cuanto a la amplificación, se ha configurado la salida en un rango de voltaje de 0 a 10 voltios, manteniendo coherencia con el mismo parámetro establecido en el PLC. La señal amplificada se dirige a la entrada analógica AI0 del PLC, que ha sido previamente configurada para aceptar voltajes entre 0 y 10 voltios. Basándose en estas configuraciones, se desarrolló la programación adecuada para procesar, utilizar y visualizar los datos del sistema.



*Imagen 10.* Plano de señales de datos.

## Programación HMI:

La programación y diseño de la pantalla se ha dividido en 4 ventanas las cuales cada una realiza actividades diferentes en el monitoreo, configuración y visualización de datos.

La ventana del menú principal (Imagen 11) está diseñada para facilitar la interacción con el usuario, permitiéndole seleccionar la acción que desea realizar. El menú incluye tres secciones principales:

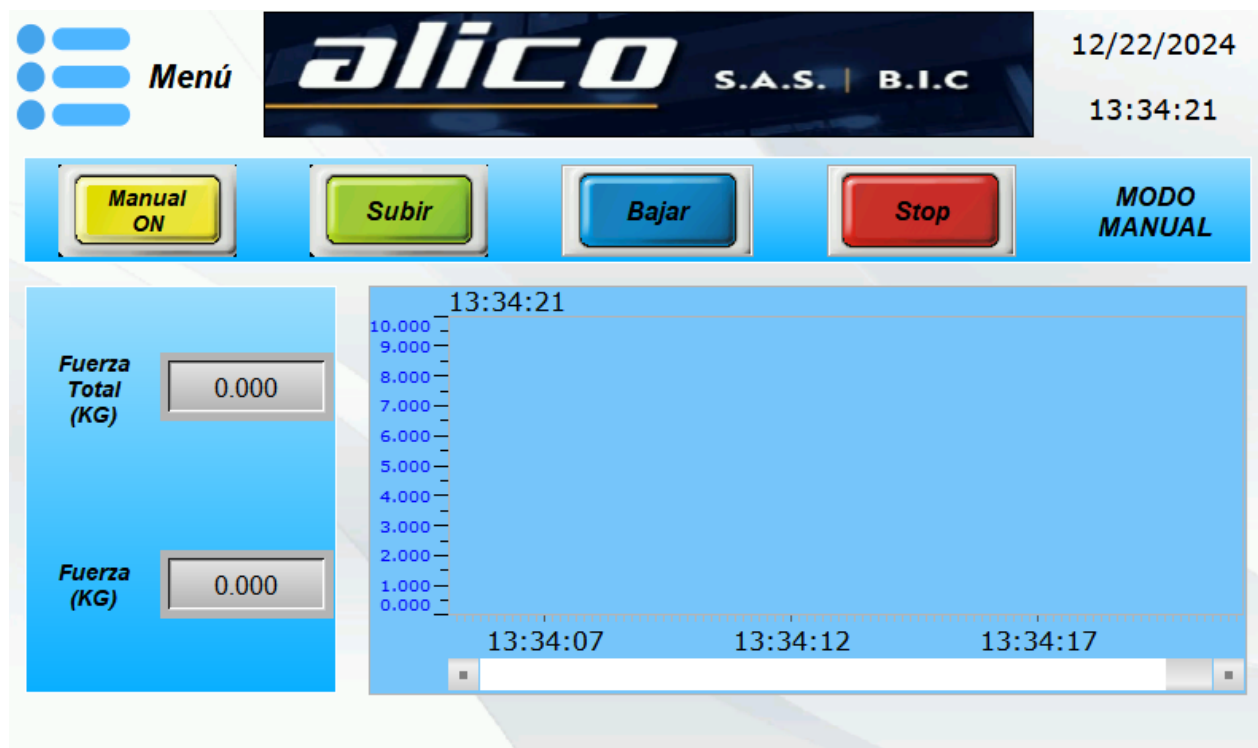
- **OPERACIÓN MANUAL:** Permite gestionar el funcionamiento completo del sistema de manera manual y visualizar los datos en tiempo real.
- **OPERACIÓN AUTOMÁTICA:** Permite gestionar el funcionamiento completo del sistema de manera automática y visualizar los datos en tiempo real.
- **CONFIGURACIÓN:** Ofrece opciones para ajustar los parámetros propios de la pantalla, como la configuración de la dirección IP, la zona horaria, los filtros, el contraste, el brillo y otros ajustes visuales y funcionales, así como también permite configurar los intervalos de muestreo de datos en la HMI.



*Imagen 11.* Menú de interacción con el usuario.

La ventana de operación manual (Imagen 12) permite al usuario gestionar el sistema y visualizar datos en tiempo real. El botón "Manual ON" activa el modo manual y deshabilita otros modos de operación. En este modo, el botón "Subir" debe mantenerse presionado para mover el sistema hacia arriba, y el botón "Bajar" para moverlo hacia abajo; al soltar estos botones, el movimiento se detiene. El botón "Stop" detiene el sistema, desactiva el modo manual y reinicia las variables de medición.

En el panel de indicadores, el dato de Fuerza Total muestra el valor máximo de fuerza aplicado a la probeta antes de su ruptura. El indicador de Fuerza refleja la fuerza aplicada en tiempo real durante el ensayo, que es registrada por la celda de carga y graficada en la ventana. Esta representación gráfica permite observar el comportamiento de la fuerza a lo largo del proceso de ensayo.



*Imagen 12.* Ventana de operación manual y visualización del sistema.

La ventana de operación automática (Imagen 13) permite al usuario controlar el sistema y visualizar datos en tiempo real. El botón "Automático ON" activa el modo automático y deshabilita otros modos de operación. En este modo, al presionar el botón "Start" una sola vez, el sistema comienza a subir de forma continua hasta que la funda se rompa o se alcance el límite superior de la máquina, momento en el cual se detiene automáticamente. El botón "Volver al inicio" restaura el sistema a su estado inicial para iniciar una nueva prueba. Por último, el botón "Stop" detiene el sistema, desactiva el modo automático y reinicia las variables de medición.

En el panel de indicadores, el dato de Fuerza Total muestra el valor máximo de fuerza aplicado a la probeta antes de su ruptura. El indicador de Fuerza refleja la fuerza aplicada en tiempo real durante el ensayo, que es registrada por la celda de carga y graficada en la ventana. Esta representación gráfica permite observar el comportamiento de la fuerza a lo largo del proceso de ensayo.



*Imagen 13.* Ventana de operación automática y visualización del sistema.



La ventana de configuración (Imagen 14) permite al usuario ajustar el tiempo de muestreo para la captura de datos del sistema, el cual está vinculado a la programación preestablecida en el amplificador y tiene un valor predeterminado de 125 milisegundos. Para aplicar cualquier cambio en este parámetro, es necesario presionar el botón "Activar", lo que actualiza el código del programa. Además, desde esta ventana se pueden modificar parámetros de la HMI, como la dirección IP, la zona horaria, los filtros, el contraste, el brillo y otros ajustes visuales y funcionales.

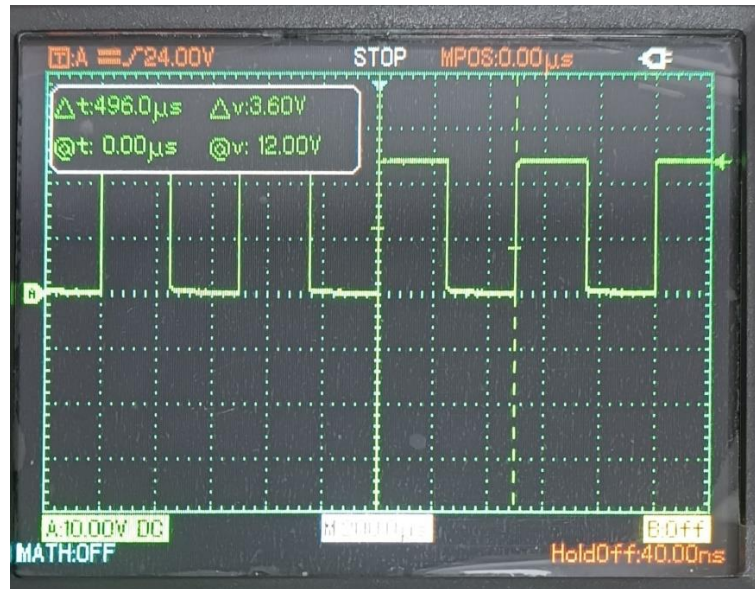
Al finalizar la configuración, es imprescindible presionar el botón de seguridad para posteriormente regresar a la ventana del menú, lo que asegura la ventana de configuración quede bloqueada y sea accesible únicamente mediante usuario y contraseña.



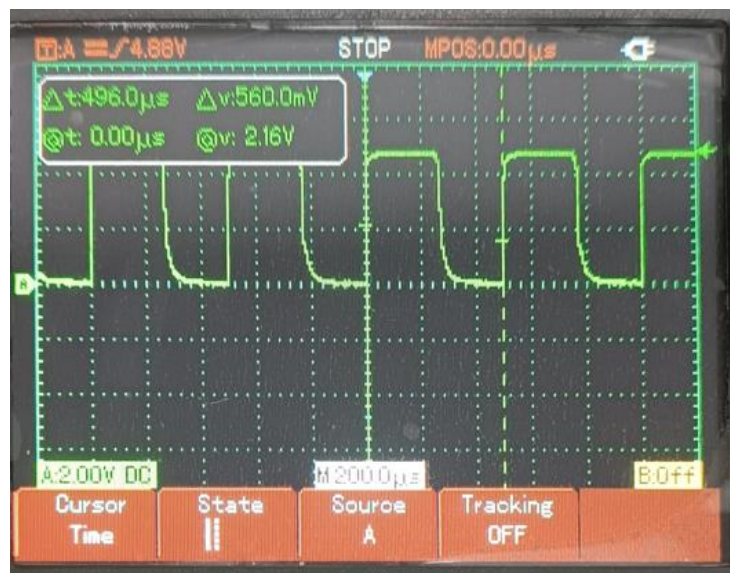
*Imagen 14.* Ventana de configuración.

**Tren de pulsos:**

La salida de frecuencia a 2K Hz del PLC (Imagen 15), con una amplitud de 24 voltios, se dirige al convertidor de señal. Este dispositivo ajusta la señal reduciendo su amplitud a aproximadamente 5 voltios con la misma frecuencia de 2K Hz (Imagen 16). Posteriormente, la señal modificada se envía al Driver, el cual utiliza esta entrada para controlar la velocidad de movimiento del motor de manera precisa.



**Imagen 15.** Tren de pulsos con amplitud 24 voltios.



**Imagen 16.** Tren de pulsos con amplitud 5 voltios.

**Estructura física y componentes eléctricos:**

El montaje de los componentes de hardware en la estructura física se realizó de manera eficiente (Imagen 17), adaptando cada elemento de forma equiespaciada sobre un riel omega. Este riel se fijó a la estructura inferior y al costado de las barras de soporte, reduciendo el cableado necesario tanto para señales de alimentación como de control. Además, el uso del riel omega facilita el desacople y reemplazo individual de los componentes, sin necesidad de desmontar otros elementos, garantizando un mantenimiento más sencillo y práctico.



**Imagen 17.** Vista superior y laterales del montaje en la estructura física.

El tornillo sin fin, encargado de transmitir el movimiento generado por el motor, está soportado por dos barras guía que proporcionan mayor estabilidad al desplazamiento del carro guiador, el cual se mueve hacia arriba o hacia abajo según el mando del operario. Tanto el tornillo sin fin como las barras de estabilidad están fijados a la plataforma metálica mediante tornillos colocados en la parte inferior de la estructura, lo que garantiza una apariencia más limpia y organizada del sistema (Imagen 18). El tornillo tiene una altura total de 90 cm, dejando aproximadamente 50 cm de espacio libre para la realización de pruebas, considerando que la celda de carga y las pinzas que sujetan la probeta ocupan unos 20 cm adicionales. La pinza superior esta sujeta al carro guiador mientras que la pinza inferior esta sujeta a la plataforma metálica, ambas pinzas están alineadas verticalmente para garantizar un agarre firme y resultados precisos durante las pruebas.



**Imagen 18.** Tornillo sin fin y barras de soporte.

La estructura completa (Imagen 19) tiene una altura total de 95 cm, de los cuales 25 cm corresponden a la base destinada a los componentes de hardware, y los 70 cm restantes al tornillo sin fin. Sus dimensiones incluyen un ancho de 52 cm y un largo de 50 cm. Estas medidas fueron diseñadas para integrar todos los componentes de hardware de manera eficiente, garantizando una distribución óptima del espacio. Esto facilitó un cableado organizado y permitió realizar el mantenimiento de las piezas individuales sin necesidad de desmontar otros componentes.



*Imagen 19.* Sistema completo.

### Pruebas y calibración:

Se realizaron pruebas en tres tipos diferentes de fundas. Para cada tipo, se seleccionaron 9, 6 y 3 fundas que fueron analizadas tanto en la máquina presente en el laboratorio como en el sistema diseñado, utilizando fundas del mismo lote. A cada funda se le realizaron 3 cortes: uno en el lado izquierdo, otro en el centro y otro en el lado derecho. Esto resultó en 3 probetas por funda, obteniendo un total de 54 probetas analizadas en total por cada máquina.

Al lote correspondiente a la funda de Frisby (Imagen 20) se le realizaron los cortes mostrados en la imagen. En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos, donde la columna etiquetada como "Laboratorio" muestra los datos registrados con las máquinas STENTOR II, mientras que la columna "Máquina" contiene los resultados generados por el sistema desarrollado.



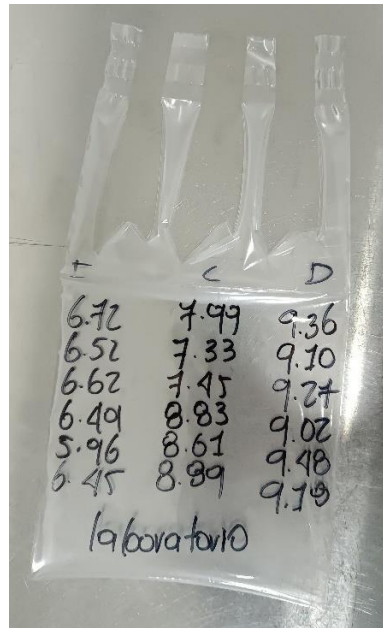
*Imagen 20.* Funda de Frisby para pruebas.

**Tabla 1.** Pruebas en la funda de Frisby.

FRISBY SOPA DE VERDURAS						
Muestras	Izquierda		Centro		Derecha	
	Laboratorio	Maquina	Laboratorio	Maquina	Laboratorio	Maquina
1	8,15	7,53	8,45	8,58	8	8,31
2	8,89	9,5	9,12	8,24	8,03	6,67
3	8,35	8,4	9,48	7,84	7,75	7,98
4	8,94	9,32	8,43	8,29	6,99	8,47
5	7,96	9,85	8,99	7,91	6,87	8,25
6	8,26	9,65	9,31	7,84	6,76	8,94
7	8,54	9	8,45	7,91	8,15	7,92
8	8,33	8,86	9,12	8,94	8,89	6,91
9	7,75	8,16	9,488	7,68	8,35	8,05
<b>Promedio (KG)</b>	8,35	8,88	8,98	8,13	7,75	7,94
<b>Diferencia (KG)</b>	0,53		0,85		0,19	
<b>Promedio (N)</b>	81,93	87,13	88,11	79,82	76,07	77,93
<b>Diferencia (N)</b>	5,2		8,29		1,86	

Según los resultados presentados en la tabla 1, en las probetas de la funda Frisby, se identifican variaciones entre las medidas obtenidas con las máquinas del laboratorio y el sistema diseñado. En el lado izquierdo, la diferencia promedio es de aproximadamente 530 gramos, en el centro es de 845 gramos, y en el lado derecho de 190 gramos. Al analizar los promedios, se observa que el sistema diseñado registra valores mayores en las mediciones de los lados izquierdo y derecho, mientras que en el centro el promedio es mayor en las máquinas del laboratorio.

Para el análisis de la funda Multiflex M (Imagen 21) se realizaron los siguientes cortes y se presentaron los resultados en la maquina STENTOR II del laboratorio.



**Imagen 21.** Funda de Multiflex M para pruebas.

**Tabla 2.** Pruebas en la funda Multiflex M.

MULTIFLEX M						
Muestras	Izquierda		Centro		Derecha	
	Laboratorio	Maquina	Laboratorio	Maquina	Laboratorio	Maquina
1	6,72	7,65	7,99	7,5	9,36	7,88
2	6,52	6,59	7,33	8,21	9,1	8,3
3	6,62	6,88	7,45	7,06	9,27	7,77
4	6,49	5,96	8,83	7	9,02	7,8
5	5,96	6,81	8,61	8,44	9,48	7,47
6	6,45	7,14	8,89	7	9,18	7,9
<b>Promedio (KG)</b>	6,46	6,83	8,183333333	7,535	9,235	7,853333333
<b>Diferencia (KG)</b>	0,37		0,648333333		1,381666667	
<b>Promedio (N)</b>	63,3726	67,08405	80,2785	73,91835	90,59535	77,0412
<b>Diferencia (N)</b>	3,71145		6,36015		13,55415	

Según los resultados presentados en la tabla 2, en las probetas de la funda Multiflex M, se identifican variaciones entre las medidas obtenidas con las máquinas del laboratorio y el sistema diseñado. En el lado izquierdo, la diferencia promedio es de aproximadamente 378 gramos, en el centro es de 650 gramos, y en el lado derecho de 1380 gramos. Al analizar los promedios, se observa que el sistema diseñado registra valores mayores en las mediciones en el lado izquierdo, mientras que en el centro y el lado derecho el promedio es mayor en las máquinas del laboratorio.



**Tabla 3.** Pruebas en la funda Termoflex +B.

TERMOFLEX +B						
	Izquierda		Centro		Derecha	
Muestras	Laboratorio	Maquina	Laboratorio	Maquina	Laboratorio	Maquina
1	2,88	3,42	4,33	4,21	5,031	4,84
2	3,126	3,41	4,36	3,95	4,889	4,29
3	2,831	2,79	3,8	4,43	4,136	4,58
<b>Promedio (KG)</b>	2,945666667	3,206666667	4,163333333	4,196666667	4,685333333	4,57
<b>Diferencia (KG)</b>	0,261		0,033333333		0,115333333	
<b>Promedio (N)</b>	28,89699	31,4574	40,8423	41,1693	45,96312	44,8317
<b>Diferencia (N)</b>	2,56041		0,327		1,13142	

Según los resultados presentados en la tabla 3, en las probetas de la funda Termoflex +B, se identifican variaciones entre las medidas obtenidas con las máquinas del laboratorio y el sistema diseñado. En el lado izquierdo, la diferencia promedio es de aproximadamente 261 gramos, en el centro es de 33 gramos, y en el lado derecho de 115 gramos. Al analizar los promedios, se observa que el sistema diseñado registra valores mayores en las mediciones en el lado izquierdo y derecho, mientras que en el lado derecho el promedio es mayor en las máquinas del laboratorio.

#### Consumo de corriente de todo el sistema:

El consumo de corriente del sistema se calculó utilizando los datos proporcionados en las hojas técnicas de cada componente, donde se investigó detalladamente el consumo específico de cada uno. Según lo presentado en la Tabla 4, se estima que el sistema tenga un consumo máximo de aproximadamente 20 amperios en las condiciones más exigentes.

**Tabla 4.** Consumos de corriente.

COMPONENTE	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)
Amplificador	24 DC	0,2
PLC M221CE16T	24 DC	0,2
HMI DOP-107EV	24 DC	0,2
Driver X-B4.1	110-230 AC	4
Fuente de 5 V	110 AC	10
Fuente de 24 V	110 AC	5
Sensor inductivo	24 DC	0,012
Sensor inductivo	24 DC	0,012
<b>TOTAL</b>		<b>19,624</b>

**Costos totales del sistema:**

La Tabla 5 presenta un desglose detallado de todos los componentes utilizados en el sistema desarrollado, junto con sus respectivos costos. En ella se refleja el valor total de la inversión, con los datos suministrados directamente por el personal de la empresa.

**Tabla 5.** Costos.

COMPONENTE	UNIDAD	UNITARIO	COSTO COP
Amplificador	1	876.400	876400
PLC M221CE16T	1	1.194.789	1194789
HMI DOP-107EV	1	2.350.800	2350800
Driver X-B4.1	1	884.495	884495
Fuente de 5 V	1	230.000	230000
Fuente de 24 V	1	302.900	302900
Sensor inductivo	2	345.000	690000
Motor paso a paso	1	789.545	789545
Optoacoplador	1	50.000	50000
Estructura física	1	1.148.143	1148143
Disyuntor	2	89.827	179654
Soldadura epoxica	1	117.828	117828
Celda de carga	1	230.000	230000
Riel omega	1	40.000	40000
Cableado	1	50.000	50000
Otros	1	100.000	100000
Sueldo Ingeniero	6	1.500.000	9000000
<b>TOTAL</b>			<b>18.234.554</b>

Analizando los resultados de la tabla 5, se evidencia que el desarrollo del sistema ha tomado alrededor de 18 millones doscientos mil pesos, comparándolo con los 37 millones de pesos aproximados que cuesta actualmente la STENTOR II en el mercado, se evidencia el ahorro que tiene la empresa al desarrollar sus propios sistemas para cumplir con sus necesidades.

---

## VIII. DISCUSIÓN

Los resultados alcanzados en este proyecto muestran un avance en el diseño e implementación de un sistema propio para medir la tensión de ruptura de empaques plásticos en Alico SAS BIC. Uno de los logros principales fue la integración de un PLC M221CE16T con componentes como la HMI Delta DOP100, el amplificador y el motor a pasos. Este diseño permitió obtener un sistema funcional, capaz de medir y visualizar en tiempo real la fuerza aplicada a las fundas, optimizando los procesos de control de calidad de la empresa.

La programación de la HMI se centró en un diseño intuitivo que facilita la operación del sistema sin necesidad de capacitación extensa, reduciendo riesgos de mal uso y accidentes. Además, la protección por contraseña en la configuración garantiza que solo personal autorizado pueda modificar parámetros críticos, mejorando la seguridad y confiabilidad del sistema. Este enfoque combina accesibilidad y control, asegurando un manejo eficiente y seguro del equipo.

El diseño y montaje de la estructura física fueron clave para garantizar la compactación y estabilidad del sistema, evitando un uso innecesario de espacio en la planta. Las decisiones de diseño, como la altura ajustada del tornillo sin fin y la disposición equiespaciada de los componentes en el riel omega, facilitaron tanto la operación del sistema como el mantenimiento futuro e incorporación de otro tipo de pruebas que requiera más espacio verticalmente.

Los resultados obtenidos en las pruebas comparativas de las fundas evidenciaron que el sistema diseñado presenta ligeras diferencias con respecto a la máquina presente en el laboratorio, la STENTOR II. Aunque las variaciones fueron pequeñas, el análisis mostró que el sistema desarrollado proporciona valores consistentes y confiables en términos del peso y la fuerza de sellado. Esto demuestra que el sistema cumple con las necesidades específicas de Alico SAS BIC para medir la calidad de sus fundas, con la ventaja adicional de ser más accesible y adaptable que las máquinas comerciales.

El análisis del consumo eléctrico del sistema reflejó un uso eficiente de los recursos energéticos, con un consumo máximo estimado de 20 amperios en condiciones extremas. Este

---

consumo es adecuado considerando los componentes utilizados, lo que valida el diseño realizado y asegura una operación estable del sistema bajo diferentes escenarios de carga.

La inversión realizada en el sistema desarrollado resultó significativamente menor en comparación con el costo de adquirir máquinas comerciales como la STENTOR II, este ahorro fue aproximadamente de 18 millones lo que significa un ahorro a tener presente. Esto confirma que el diseño de sistemas internos con recursos disponibles en la empresa no solo es viable, sino también económicamente beneficioso. Además, el sistema permite a la empresa personalizar y mantener el equipo con mayor flexibilidad, aumentando su valor estratégico.

Se identificaron aspectos a mejorar en futuros desarrollos, especialmente en la selección de componentes clave. La dependencia de los elementos disponibles en el almacén, como el driver del motor y el amplificador de señal, limitó algunas decisiones técnicas. Además, se observó un desgaste en una pinza de sujeción. Durante las pruebas en materiales resistentes como el Frisby y el Multiflex M, la pinza inferior en algunas ocasiones presentó dificultades para sujetar adecuadamente el material, generando un pequeño deslizamiento que resultó en distorsiones en las mediciones, como se evidenció en las tablas 1 y 2. Aunque estas decisiones redujeron costos, también restringieron la capacidad de personalización y rendimiento del sistema en ciertas condiciones.

---

## IX. CONCLUSIONES

En este proyecto se diseñó e implementó un sistema que cumple con los objetivos planteados y garantizando lecturas precisas y detalladas para mejorar el control de calidad en los empaques. Se integraron un PLC para gestionar el motor a pasos, la celda de carga, y una interfaz HMI para visualizar en tiempo real la fuerza aplicada, asegurando una solución confiable a bajo costo.

La programación del PLC y su integración con los demás componentes de hardware fueron fundamentales para el éxito del sistema. La implementación y calibración adecuadas permitieron un control preciso del motor a pasos y un procesamiento eficiente de las señales de la celda de carga, escalada a 10 kg para mejorar la precisión. Además, la integración con la HMI Delta DOP 100 facilitó el monitoreo y control en tiempo real, asegurando que todos los componentes trabajaran de manera sincronizada y proporcionando un sistema funcional, fiable y adaptado a las necesidades específicas de Alico SAS BIC.

El diseño de la estructura física permitió acomodar todos los componentes de manera eficiente sin afectar su desempeño. El uso del riel omega facilitó la disposición equiespaciada de los elementos de hardware, permitiendo su reemplazo sin desmontar otros componentes. Además, su diseño compacto y organizado proporcionó estabilidad durante las pruebas y facilita el mantenimiento futuro del sistema.

El sistema diseñado es funcional y preciso en la medición de la fuerza aplicada al sellado de las fundas analizadas. Si bien se detectaron pequeñas variaciones en las mediciones comparadas con las máquinas del laboratorio, estas diferencias están dentro de un rango aceptable. El sistema cumple con los estándares de calidad exigidos, proporcionando resultados confiables en los procesos de producción.

El diseño del sistema logró reducir el consumo de corriente, manteniéndolo dentro de un rango razonable incluso bajo condiciones de máxima demanda. Esto asegura un desempeño estable y eficiente, validando la selección de componentes y el dimensionamiento adecuado del sistema.

El proyecto demostró ser una solución rentable para la empresa, ya que los costos totales de desarrollo fueron significativamente inferiores al costo de adquirir equipos comerciales. Esta reducción en costos que fue alrededor de los 27 millones sin tener en cuenta el salario del ingeniero, junto con la capacidad de personalización, refuerza la viabilidad de diseñar y construir sistemas propios para satisfacer necesidades específicas.

Departamento de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones

# MEDIDOR DE TENSION DE RUPTURA EN EL SELLADO DE LAS FUNDAS DE ALICO SAS BIC



# UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

PRACTICANTE: Luis David Muñoz Jurado

ASESORES: Jose Robinson Ortiz Castrillon y Jorge Albeiro Mazo

PROGRAMA: Ingeniería electrónica

Semestre de la práctica: 2024-2



## Resumen

En el proyecto realizo un sistema para medir la tensión de ruptura del sellado de empaques plásticos, el sistema permitió a la empresa obtener lecturas precisas de la resistencia de sellado, facilitando el análisis gráfico de los resultados para mejorar sus procesos de control de calidad. Se integraron tecnologías, como un Controlador Lógico Programable (PLC) para gestionar el motor a pasos y la celda de carga, junto con una interfaz HMI para la visualización en tiempo real de los datos en fuerza aplicada a los empaques.

Este proyecto permitió a la empresa continuar innovando, agilizand el tiempo de análisis en las pruebas de calidad de sus productos asegurando la plena satisfacción de los clientes, logrando que continúen eligiendo a Alico como su distribuidor de confianza y preferencia.



## Metodología

La metodología utilizada en el proyecto se realizo en cuatro fases: Primero, la identificación de componentes, segundo, la programación del PLC, tercero, el diseño de la estructura física para integrar los elementos hardware, y cuarto, la ejecución de pruebas de campo para la calibración y validación del sistema. A lo largo de estas fases, se buscó asegurar la sinergia entre los componentes, la fiabilidad de las mediciones y el cumplimiento de las especificaciones técnicas.



## Resultados

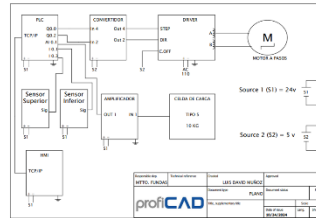
- Planos eléctricos y conexiones entre componentes.
- Programación de PLC y HMI.
- Cableado y montaje de hardware en estructura física.
- Calibración y configuración final del sistema completo.
- Pruebas de campo en fundas comerciales.
- Costos del proyecto.



## Introducción

Se presenta el diseño y desarrollo de un sistema capaz de medir y visualizar las lecturas de fuerza de ruptura del sellado en los empaques plásticos de Alico SAS BIC, una empresa dedicada a la manufactura de empaques plásticos que requieren un sellado hermético para garantizar la calidad del producto.

Plano eléctrico



Montaje físico



Pruebas en funda de Frisby

Resultado	Fuerza aplicada (N)			
	Medida	Medida	Medida	Medida
1	1224	1228	1240	1238
2	1224	1228	1240	1238
3	1224	1228	1240	1238
4	1224	1228	1240	1238
5	1224	1228	1240	1238
6	1224	1228	1240	1238
7	1224	1228	1240	1238
8	1224	1228	1240	1238
9	1224	1228	1240	1238
10	1224	1228	1240	1238
11	1224	1228	1240	1238
12	1224	1228	1240	1238
13	1224	1228	1240	1238
14	1224	1228	1240	1238
15	1224	1228	1240	1238
16	1224	1228	1240	1238
17	1224	1228	1240	1238
18	1224	1228	1240	1238
19	1224	1228	1240	1238
20	1224	1228	1240	1238
21	1224	1228	1240	1238
22	1224	1228	1240	1238
23	1224	1228	1240	1238
24	1224	1228	1240	1238
25	1224	1228	1240	1238
26	1224	1228	1240	1238
27	1224	1228	1240	1238
28	1224	1228	1240	1238
29	1224	1228	1240	1238
30	1224	1228	1240	1238
31	1224	1228	1240	1238
32	1224	1228	1240	1238

Costos

Componente	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
PLC (Logix 555)	1	1000000	1000000
Motor a pasos	1	150000	150000
Sensores de fuerza	2	50000	100000
Controlador de motor	1	100000	100000
Interfaz HMI	1	100000	100000
Alimentación	1	100000	100000
Controlador de PLC	1	100000	100000
Programa	1	100000	100000
Software de PLC	1	100000	100000
Costo de mano de obra	1	1000000	1000000
Costo de materiales	1	100000	100000
Costo de transporte	1	100000	100000
Costo de mantenimiento	1	100000	100000
Costo de seguros	1	100000	100000
Costo de impuestos	1	100000	100000
Costo de depreciación	1	100000	100000
Costo de otros	1	100000	100000
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1000000</b>	<b>1000000</b>



## Objetivos

- ✓ Realizar un análisis de los requisitos del sistema asegurando que el diseño cumpla con las especificaciones de control de calidad y confiabilidad de ALICO.
- ✓ Programar el PLC garantizando el control del motor a pasos y la celda de carga, asegurando que trabajen de manera eficiente.
- ✓ Desarrollar la estructura física integrando el hardware seleccionado, asegurando un montaje preciso y eficiente.
- ✓ Ejecutar pruebas de campo que permitan realizar ajustes adicionales de calibración y programación del controlador para el correcto desempeño del sistema en condiciones operativas reales, verificando el funcionamiento confiable y preciso.

## Conclusiones

- ✓ La implementación y calibración adecuadas permitieron un control preciso del motor a pasos y un procesamiento eficiente de las señales de la celda de carga, escalada a 10 kg para mejorar la precisión. Además, la integración con la HMI Delta DOP 100 facilitó el monitoreo y control en tiempo real, asegurando que todos los componentes trabajaran de manera sincronizada.
- ✓ El diseño de la estructura física permitió acomodar todos los componentes de manera eficiente sin afectar su desempeño. El uso del riel omega facilitó la disposición equiespaciada de los elementos de hardware, permitiendo su reemplazo sin desmontar otros componentes.
- ✓ El sistema diseñado es preciso en la medición de las fundas analizadas. Si bien se detectaron pequeñas variaciones en las mediciones comparadas con las máquinas del laboratorio, estas diferencias están dentro de un rango aceptable.
- ✓ El proyecto demostró ser una solución rentable para la empresa, ya que los costos totales de desarrollo fueron significativamente inferiores al costo de adquirir equipos comerciales. Esta reducción en costos que fue alrededor de los 27 millones sin tener en cuenta el salario del ingeniero.

### DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR:

+57 3007913263

+57 3007913263

luisd.munoz@udea.edu.co

luisda750

www.linkedin.com/in/luis-david-munoz-3678a4300

## Referencias

- [1] A. Pan, «MOCHUAN DRIVES,» 19 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.mochuan-drives.com/es/why-is-plc-controller-better-for-industrial-automation-blog>.
- [2] Rue Joseph Monier, Rueil Malmaison, «Schneider Electric,» Marzo 2024. [En línea]. Available: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=M221-Programming-Guide-ES-EIO0000003300-03.pdf&p\\_Doc\\_Ref=EIO0000003300](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=M221-Programming-Guide-ES-EIO0000003300-03.pdf&p_Doc_Ref=EIO0000003300). [Último acceso: 13 Julio 2024].
- [3] D. Electronics, «DELTA,» 30 Diciembre 2020. [En línea]. Available: [https://filecenter.deltaww.com/Products/download/06/060302/Catalogue/DELTA\\_IA-HMI-DOP100\\_C\\_EN\\_20201230\\_Web.pdf](https://filecenter.deltaww.com/Products/download/06/060302/Catalogue/DELTA_IA-HMI-DOP100_C_EN_20201230_Web.pdf). [Último acceso: 15 Julio 2024].
- [4] S. Denki, «FARNELL,» [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/sanyo-denki/sm2862-5155/motor-pasos-2-fases-bipolar-4a/dp/3515154?srsId=AfmBOoruYAYHg-NPIHZpoRgOJ1bdZHGxIDRvzb5RewNDJwKCVvUbIMNT>. [Último acceso: 1 Agosto 2024].
- [5] S. Corporation, «SIGMA ELECTRÓNICA,» 30 Septiembre 2003. [En línea]. Available: [https://www.sigmaelectronica.net/manuals/pc817X\\_e.pdf](https://www.sigmaelectronica.net/manuals/pc817X_e.pdf). [Último acceso: 1 Agosto 2024].
- [6] EDR-120, «MEAN WELL,» 2 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=EDR-120>. [Último acceso: 10 Agosto 2024].
- [7] «RE,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.re-spa.com/upload/files/PYXIS-GB-1804.pdf>. [Último acceso: 12 Agosto 2024].
- [8] ANDILOG, «Direct INDUSTRY Connect,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/andilog-technologies/product-7999-1004779.html>. [Último acceso: 15 Septiembre 2024].
- [9] L. E. Weighing, «Viaindustrial,» Enero 2012. [En línea]. Available: [https://www.viaindustrial.com/manuales\\_pdf/PESO/234519.pdf](https://www.viaindustrial.com/manuales_pdf/PESO/234519.pdf). [Último acceso: 20 Agosto 2024].



- 
- [10] S. DENKI, «RTA,» [En línea]. Available: [https://www.rta.it/uploads/X-PLUS\\_B4.1\\_eng.pdf](https://www.rta.it/uploads/X-PLUS_B4.1_eng.pdf). [Último acceso: 15 Agosto 2024].
- [11] G. K. I. CO, «KEJIAN,» [En línea]. Available: <https://spanish.universal-testingmachines.com/sale-10679855-optional-capacity-compression-testing-machine-0-5-to-500mm-min-with-usa-sensor.html>. [Último acceso: 1 Septiembre 2024].
- [12] Martínez Alicia, Blanca Vicente, Castilla Nuria, Pastor Rosa, «RiuNet,» 2011. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10765/FUSIBLES.pdf>. [Último acceso: 20 Agosto 2024].