

# Actualización tecnológica de equipo para ensayos de compresión de envases y embalajes

Gustavo Alessandrini  
Departamento de Microelectrónica Aplicada  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Buenos Aires, Argentina  
galessandrini@inti.gov.ar

Fernando Beunza  
Departamento de Microelectrónica Aplicada  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Buenos Aires, Argentina  
fbeunza@inti.gov.ar

**Resumen**— Un equipo utilizado para ensayos de compresión en cajas y embalajes está diseñado para determinar, entre otras propiedades, la resistencia a la compresión, la deformación y la capacidad de apilamiento de una muestra bajo ensayo. En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un sistema embebido y una aplicación software orientados a la modernización y automatización de dicho equipo, cumpliendo con los requisitos establecidos por normativas internacionales aplicables al área.

**Palabras claves**—automatización, modernización, retrofit, compresión.

## I. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Embalajes y Logística del Instituto Nacional de Tecnología Industrial posee un equipo -de más de 40 años de antigüedad- para realizar los ensayos de compresión en envases y embalajes siguiendo normativas de la industria, el cual requería de una modernización o “retrofit” para adecuarlo a las condiciones de trabajo de la actualidad.

El equipo en cuestión[1] es una prensa de 5 toneladas, que tiene velocidades de desplazamiento controladas en un rango entre 0,1 y 100 mm/minuto. Para la parte de control del subsistema electromecánico que desplaza la platina verticalmente para realizar la compresión, el equipo cuenta con una lógica discreta de relés, pulsadores e interruptores. El ajuste de la velocidad de desplazamiento es manual, pudiéndose establecer una velocidad fija (12 mm/minuto) o, seleccionar, utilizando un potenciómetro, una velocidad entre 0,1 y 100 mm/minuto. La señal suministrada por el potenciómetro es el *setpoint* para el servomotor de corriente continua que realiza los movimientos verticales de la prensa. También es posible activar el movimiento rápido (*quick up/quick down*) para generar avance o retroceso de la platina de compresión.

La información de la fuerza aplicada a la muestra bajo ensayo se obtiene a través de una celda de carga alojada en la platina de compresión.

El resultado del perfil de fuerzas aplicadas durante el ensayo se registra mediante un registrador electromecánico. Este dispositivo registra continuamente, mediante bolígrafos que se equilibran automáticamente por medio de un sistema servo, la forma de onda correspondiente a la señal de entrada en un papel cuadrículado que se mueve a una velocidad constante.

## II. OBJETIVOS

La actualización propuesta consta de un sistema embebido y una aplicación software que incorporan los elementos necesarios para cumplir con los siguientes objetivos:

- Reemplazo del registrador electromecánico

- Reemplazo del ajuste manual de velocidad de desplazamiento de la platina de compresión
- Automatización de ensayos de acuerdo con procedimientos y normas[2]
- Implementación de mejoras en la protección y la seguridad eléctrica

Para cumplir con los objetivos, se desarrolló un sistema embebido que se aloja en la prensa y una aplicación software que se ejecuta en la computadora de trabajo.

El sistema embebido tiene como tareas controlar las partes intervenidas, leer el valor de la fuerza aplicada, informar y recibir órdenes de la aplicación a través del protocolo de comunicación definido.

El programa de aplicación contiene las vistas para que el operador pueda realizar las acciones requeridas para los ensayos. Estas acciones se comunican al sistema embebido alojado en la máquina compresora. Con la información recibida desde el sistema embebido, se muestran los valores medidos y el estado de la máquina y se almacenan las mediciones realizadas.

## III. REQUISITOS

Como resultado de las reuniones de trabajo con el equipo del Departamento de Embalajes y Logística, el análisis de la documentación entregada, investigación y el estudio de factibilidad para las soluciones posibles se establecieron los siguientes requisitos:

### 1. Funcionales

1.1. Restablecimiento automático de la configuración original: se debe poder restituir el funcionamiento del equipo a sus condiciones originales

1.2. Pulsador de parada de emergencia: para detener la máquina inmediatamente si es necesario, con el fin de proteger tanto al equipo como a los operarios

1.3. Alimentación en baja tensión mediante una fuente externa

### 2. Hardware

2.1. Intervención de la señal de la celda de carga: circuito de acondicionamiento de señal controlado por microcontrolador

2.2. Intervención de la señal de control de la velocidad: cambio del potenciómetro analógico de selección de velocidad por un potenciómetro discreto de 8 puntos, controlado por microcontrolador

2.3. Intervención de la señal de desplazamiento hacia abajo: desplazamiento normal y rápido (*quick down*)

2.4. Intervención de la señal de desplazamiento hacia arriba: desplazamiento normal y rápido (*quick up*)

2.5. Interfaz de comunicación con cliente (usuario): por cuestiones de falta de conectividad a la intranet en el lugar donde está instalada la prensa se debe implementar una interfaz USB para comunicación con el programa que se ejecuta en la computadora de trabajo

3. Firmware

3.1. Control y supervisión de las partes intervenidas

3.2. Lectura de la señal de la celda de carga

3.3. Control sobre el desplazamiento para aplicar fuerza constante a la muestra bajo ensayo

3.4. Protocolo de comunicación de comandos y respuestas

4. Software

4.1. Interfaz con sistema embebido por puerto USB

4.2. Interfaz de uso: vista mínima para validar la usabilidad del sistema.

4.3. Almacenamiento de datos: la información referente a un determinado ensayo debe ser identificada de manera unívoca.

4.4. Generación de informes y/o representación de resultados

IV. SOLUCIÓN PROPUESTA

En la figura 1 se muestra el esquema del sistema desarrollado.

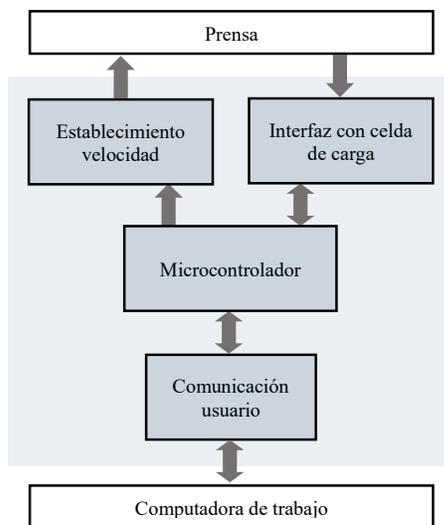


Figura 1. Diagrama del hardware

A. Hardware

Por cuestiones económicas y conocimiento del ecosistema se seleccionó para este proyecto al microcontrolador STM32F103 – ARM Cortex M3[3].

Acondicionador de señal para celda de carga: se utilizó un módulo basado en el amplificador para celdas de cargas HX711[4] para obtener, a través de su interfaz serie SPI conectada al microcontrolador, los valores medidos en la celda de carga.

Establecimiento de la velocidad de desplazamiento (potenciometro discreto): con una lógica basada en divisores resistivos y conmutadores controlados por el microcontrolador, se presenta al lazo de control del servomotor que controla el desplazamiento de la platina de compresión de la prensa, los valores de *setpoint* necesarios para obtener las velocidades deseadas.

Puerto de comunicación USB: para la interfaz con la aplicación de usuario.

B. Firmware

El firmware del dispositivo fue desarrollado utilizando el lenguaje de programación C.

Para la gestión del flujo de ejecución, se implementó una arquitectura basada en tareas utilizando el sistema operativo de tiempo real *FreeRTOS*[5], lo cual permitió una organización modular, escalable y eficiente de las distintas funcionalidades del sistema embebido.

El sistema se organiza en 4 tareas principales (figura 2):

T1 Comunicación: se encarga del manejo de la interfaz de comunicación USB para la recepción y envío de datos en tiempo real.

T2 Interpretación: esta tarea se activa cuando T1 recibe un mensaje completo y se encarga de decodificar y validar los comandos recibidos.

T3 Información de fuerza: se ejecuta periódicamente (cada 1 segundo) para leer el valor de la fuerza medida por la celda de carga y enviarlo al sistema externo si el ensayo está iniciado.

T4 Ejecución de órdenes: se activa una vez que T2 decodificó un comando válido y ejecuta la orden correspondiente (accionamiento de motor, establecimiento de velocidad, informe de estado, inicio/pausa/fin de ensayo, etc.)

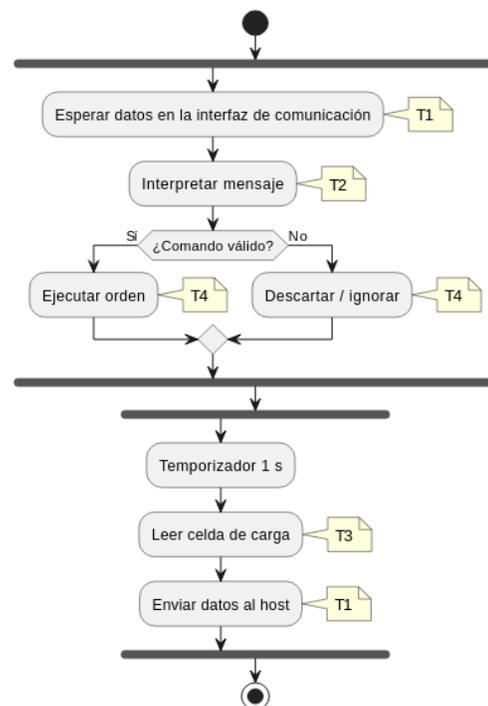


Figura 2. Diagrama de actividades (tareas principales)

Se desarrolló un algoritmo de control digital para mantener la aplicación de una fuerza constante sobre la muestra bajo ensayo.

Para las pruebas de unitarias y de integración del firmware, se desarrollaron distintas herramientas necesarias para: emular la celda de carga (red de resistores que reproduce el comportamiento del puente de Wheatstone interno de la celda real); supervisar y verificar los valores de resistencia establecidos en el potenciómetro discreto (uso de multímetro, función óhmetro en lectura remota para registrar los valores seleccionados) y *scripts* en *Linux* para el uso y verificación de la implementación del protocolo de comunicación (análisis de las secuencias comandos/respuestas).

### C. Software

La aplicación de usuario fue desarrollada utilizando el lenguaje de programación Python, empleando el *framework* PyQt5[6] para implementar la interfaz de gráfica (figura 3). Esta herramienta permitió construir una interfaz flexible y de fácil mantenimiento, facilitando la interacción con el sistema de control.



Figura 3. Vista de la aplicación de usuario

La interfaz proporciona al usuario un entorno intuitivo y funcional para la configuración y control de los parámetros, permitiendo una operación flexible que se adapta a los distintos tipos de ensayos. A través de esta, es posible definir los parámetros necesarios, tales como velocidad de avance de la platina de compresión, condiciones de finalización tales como ruptura de la muestra, fuerza máxima alcanzada, tiempo de ensayo, ejecución de un número determinado de ciclos de carga repetitiva.

El software permite al operador iniciar, pausar o detener manualmente la operación en cualquier momento, brindando el control completo sobre el desarrollo del ensayo y facilitando la intervención ante cualquier eventualidad.

Durante la ejecución del ensayo, los datos adquiridos son visualizados en tiempo real mediante gráficos y valores numéricos. Esto permite el monitoreo del comportamiento de la muestra y tomar decisiones durante el proceso.

Una vez finalizado el ensayo, el conjunto de muestras recibidas se almacena en un archivo de texto que guarda los datos en formato de valores separados por coma (*csv*) para un posterior procesamiento, análisis y la confección del informe de ensayo.

Además, ofrece funcionalidades de monitoreo del estado del equipo y de comunicación bidireccional con el sistema embebido a través del puerto USB, intercambiando datos con el microcontrolador mediante un protocolo de comandos y respuestas diseñado para esta aplicación, lo cual contribuye a una operación segura y controlada del proceso de ensayo.

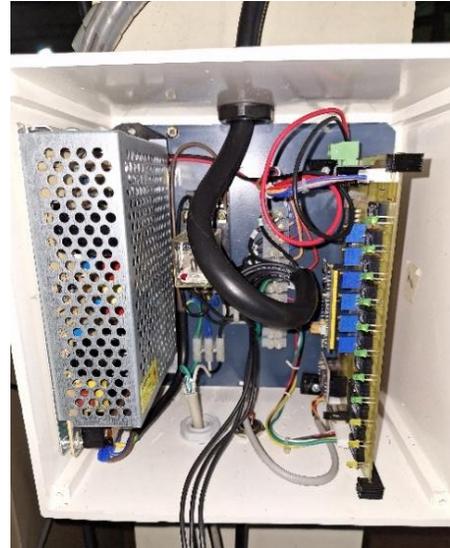


Figura 4. Sistema embebido instalado en la prensa

## V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El sistema desarrollado se encuentra actualmente en operación (figuras 4 y 5), demostrando un desempeño estable y conforme a los requerimientos establecidos. Esta etapa de funcionamiento activo ha permitido comprobar tanto la viabilidad técnica como la efectividad de la intervención implementada.

Se validó el sistema comparando un ensayo realizado en forma manual y su realización en forma automática usando el sistema incorporado. Esto permitió corroborar por parte de los operadores expertos que su uso permite mejorar y hacer más eficientes los procedimientos de ensayos.

La celda de carga fue calibrada utilizando el sistema de adquisición implementado en el banco de ensayo, registrando los valores correspondientes a cada uno de los puntos definidos en el procedimiento de calibración. Estos puntos fueron seleccionados en función de los requerimientos establecidos en las normas aplicables y permiten cubrir todo el rango operativo del banco de ensayo, asegurando la trazabilidad metrológica mediante el uso de patrones con calibración vigente.

Se efectuó la verificación de las velocidades de desplazamiento de la platina de compresión, las cuales fueron previamente configuradas para cada tipo de ensayo contemplado. Estas velocidades fueron evaluadas y comparadas con los valores especificados, constatándose que se encuentran dentro de los límites permitidos. Esta verificación garantiza que las condiciones de trabajo del sistema implementado no introducen errores adicionales durante la aplicación de las cargas, asegurando la validez de los resultados obtenidos en los ensayos.

El diseño del protocolo de comandos y respuestas fue concebido para garantizar su independencia respecto de la implementación específica del software de control. Esta característica permite desacoplar la lógica de la comunicación del sistema respecto a la interfaz gráfica o a la plataforma utilizada.



Figura 3. Vista de un ensayo de compresión con el sistema instalado

Gracias a esta arquitectura, es posible desarrollar nuevas aplicaciones, o *scripts* personalizados que interactúen directamente con el sistema, sin necesidad de modificar la estructura del sistema embebido existente. Esto resulta especialmente útil para la configuración automatizada de distintos perfiles de ensayos.

Asimismo, esta flexibilidad contribuye a la ampliación del banco de ensayo, permitiendo su adaptación a entornos más complejos, integración con sistemas de gestión de datos (sistemas de gestión de información de laboratorios -LIMS-, SCADA, etc.) por parte de otros desarrolladores.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los integrantes del Departamento de Embalajes y Logística del Instituto Nacional de Tecnología Industrial por su predisposición, colaboración y valioso aporte durante todas las etapas de desarrollo del proyecto.

#### REFERENCIAS

- [1] Compression tester. Equipos actuales se pueden visitar en: <https://www.toyoseiki.co.jp/en/products/eng-260-s> (visita 11/04/25).
- [2] ISO 12048:1994 Packaging -Complete, filled transport packages- Compression and stacking tests using a compression tester. <https://www.iso.org/standard/20810.html> (visita 11/04/25).
- [3] STM32F103C8 ARM Cortex M3 [www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103.html](http://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103.html) (visita 11/04/25)
- [4] HX711 24-Bit Analog to digital converter for weigh scales. <https://cdn.sparkfun.com> (visita 12/04/25)
- [5] FreeRTOS Real-time operating system for microcontrollers and small microprocessors. <https://www.freertos.org> (visita 11/04/25).
- [6] PyQt5 Comprehensive Python Binding for Qt version 5 <https://pypi.org/project/PyQt/> (visita 11/04/25).