

Evaluación de la Resistencia de Maples de Cartón: Parámetros Clave y Validación Experimental Para MAPLECRUZ SRL

Evaluation of Strength of Cardboard Maples: Key Parameters and Experimental Validation for MAPLECRUZ SRL

Carlos Elio Céspedes Jiménez (*)
ccarlos.eliocespedes@gmail.com
ORCID: 0009-0002-1959-3056
Facultad de tecnología.
Universidad Privada Domingo Savio
Bolivia

Marco Daniel Urey Guzmán
mdaniel.mdug@gmail.com
ORCID: 0009-0007-8916-3031
Director en empresa MAPLECRUZ
Bolivia

Dr. C. Manuel Vega Almaguer
vegam4242@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8083-4106
Instituto Superior de Diseño.
Universidad de La Habana
Cuba

Dr. C. José Luis Betancourt Herrera
jlbetancourth61@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7001-4980
Instituto Superior de Diseño.
Universidad de La Habana
Cuba

Autor para correspondencia (*)

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la resistencia a la compresión de maples de cartón moldeado o pulpa moldeada en tiempo real a través de un sistema computacional, optimizando el control de calidad en la empresa **MAPLECRUZ**. **Método:** Se diseñó **RESIS-APP**, un sistema de hardware y software, que mide la resistencia mecánica de los maples de cartón moldeado, combinando sensores de presión, balanza electrónica y procesamiento de datos con Arduino y Processing, incluyendo un módulo especializado para la generación automática de informes. **Resultados:** Las pruebas con **RESIS-APP** revelaron variaciones en la resistencia a la compresión, identificando productos de menor calidad estructural, automatizando mediciones, reduciendo errores humanos y optimizando la validación del producto. **Conclusión:** La implementación de **RESIS-APP** proporciona una herramienta eficaz y precisa para mejorar el control de calidad en **MAPLECRUZ**, asegurando que los maples de cartón moldeado o pulpa, cumplan con los estándares requeridos por los clientes y reduciendo reclamaciones por resistencia insuficiente.

Palabras claves: resistencia a la compresión, cartón moldeado, pulpa moldeada, calidad de producto

ABSTRACT

Objective: To evaluate the compressive strength of molded cardboard or molded pulp maples in real time through a computational system, optimizing quality control at **MAPLECRUZ**. **Method:** **RESIS-APP**, a hardware and software system, was designed to measure the mechanical strength of molded cardboard maples, combining pressure sensors, electronic balance and data processing with Arduino and Processing, including a specialized module for the automatic generation of reports. **Results:** Tests with **RESIS-APP** revealed variations in compressive strength, identifying products of lower structural quality, automating measurements, reducing human errors and optimizing product validation. **Conclusion:** The implementation of **RESIS-APP** provides an effective and accurate tool to improve quality control at **MAPLECRUZ**, ensuring that the molded paperboard or pulp blocks meet the standards required by customers and reducing claims of insufficient strength.

Keywords: compressive strength, molded paperboard, molded pulp, product quality

Recibido: 23 / 03 / 2025

Aceptado: 14 / 08 / 2025

INTRODUCCIÓN

La industria del embalaje de cartón reciclado ha crecido exponencialmente debido a su sostenibilidad y bajo costo de producción. Sin embargo, la calidad estructural de estos productos es un factor crítico en su comercialización. **MAPLECRUZ**, empresa dedicada a la fabricación de maples de cartón y otros productos reciclados, enfrentaba constantes reclamos de clientes debido a la baja resistencia de sus maples. En el caso de los maples de huevo, estos deben soportar el peso cuando se apilan uno sobre otro, y fallas estructurales pueden generar pérdidas económicas y afectar la percepción de calidad del producto.

Ante esta problemática, se desarrolló **RESIS-APP**, un sistema diseñado desde cero para medir con precisión la resistencia a la compresión de los maples de cartón. Este programa combina sensores de presión y procesamiento de datos mediante **Arduino y Processing**, permitiendo obtener información precisa del punto de quiebre del material. Además, genera informes automáticos sobre la resistencia del producto, lo que optimiza la gestión de calidad en la empresa.

El presente estudio documenta el desarrollo de **RESIS-APP**, su implementación en **MAPLECRUZ**, y los resultados obtenidos tras su aplicación en el control de calidad. Se presenta la metodología empleada para su construcción, las pruebas realizadas con distintos lotes de maples, y un análisis de los datos obtenidos. Finalmente, se discute el impacto del sistema en la optimización del control de calidad y su potencial para futuras mejoras en la industria del cartón reciclado.

DESARROLLO

METODOLOGÍA

1. Características Del Material Evaluado

Para garantizar una evaluación precisa de la resistencia a la compresión, se analizaron maples de cartón moldeado o pulpa moldeada con las siguientes especificaciones:

- Dimensiones: 30 cm x 30 cm x 4 cm.

- Peso promedio: 65 gramos.
- Espesor: Entre 3 y 4 milímetros.
- Densidad estimada: Entre 0.3 y 0.5 g/cm³.

2. Controles de Calidad Previos y Normativas Aplicadas

Para garantizar la calidad estructural de los maples de cartón moldeado, se han implementado diversos controles y pruebas basadas en normativas reconocidas en la industria del embalaje. Algunas de las pruebas clave incluyen:

Resistencia a la compresión de corto alcance (SCT-STFI, TAPPI T-826): Esta prueba mide la capacidad del material para resistir fuerzas de compresión aplicadas en distancias cortas. Es crucial para evaluar la rigidez del cartón, asegurando que los maples puedan soportar peso sin colapsar durante el almacenamiento y transporte.

Resistencia al estallido (Prueba Mullen, TAPPI T-403): Determina la presión necesaria para romper el cartón moldeado. Esta prueba es fundamental para evaluar la capacidad del material de soportar tensiones externas sin fallar, asegurando que los maples puedan resistir impactos y manipulaciones bruscas. (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2020)

Resistencia al aplastamiento de borde (ECT, TAPPI T-809): Evalúa la capacidad del material para soportar fuerzas de compresión aplicadas en su borde. Esta característica es especialmente relevante para empaques y productos apilables, ya que garantiza que la estructura del maple no se deforme fácilmente bajo carga. (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2021)

Estos controles de calidad permiten identificar desviaciones en el proceso de fabricación y asegurar que los maples de cartón moldeado cumplan con los estándares industriales. Su aplicación garantiza un producto confiable y funcional, minimizando desperdicios y reclamos por fallas estructurales.

3. Diseño del Sistema RESIS-APP

Para abordar la problemática de resistencia en los mapas de cartón fabricados por **MAPLECRUZ**, se desarrolló desde cero un sistema de medición denominado **RESIS-APP**. Este sistema combina sensores de presión, procesamiento de datos en tiempo real y generación automática de informes. Se estructuró en tres componentes principales:

- I. **Adquisición de datos:** Utilización de una celda de carga conectada a una balanza electrónica y gestionada a través de un **microcontrolador Arduino UNO**.
- II. **Procesamiento y visualización:** Implementación de un software en **Processing**, encargado de recopilar, analizar y graficar los datos obtenidos.
- III. **Generación de informes:** Automatización de reportes en **formato Word**, incluyendo fecha, hora, resistencia máxima alcanzada y punto de quiebre del maple.

El flujo de datos sigue la siguiente secuencia:

- I. Se coloca el maple de cartón en la balanza, iniciando la medición de carga.
- II. Se aplica presión progresiva hasta alcanzar el punto de quiebre.
- III. Los datos son transmitidos desde **Arduino** a la computadora mediante **comunicación serial**.
- IV. **RESIS-APP** procesa los valores y genera automáticamente un informe con los resultados.

4.- Detección del Punto de Quiebre

En el sistema **RESIS-APP**, la detección del punto de quiebre es la parte lógica del programa, este se basa en el análisis de la variación de peso durante la prueba de compresión. Se emplea un algoritmo que compara los valores de peso registrados en tiempo real y activa un evento cuando detecta una disminución brusca de carga mayor a un umbral predefinido.

Fragmento de Código para la Detección del Punto de Quiebre

```
if (!breakDetected && weights.size() > 1 &&
    weights.get(weights.size() - 2) - weight > break-
    Tolerance) {breakDetected = true; breakPoint =
    weight; saveBreakPoint(breakpoint)}
```

Funcionamiento

1. Se almacenan los valores de peso en una lista (array) el cual denominamos **weights**.
2. Se compara el último valor con el anterior.
3. Si la diferencia entre estos supera el valor **break-Tolerance**, se registra el punto de quiebre y se guarda en un archivo.

Ajuste de Sensibilidad

La sensibilidad del sistema se controla a través del parámetro **breakTolerance**, el cual determina cuánta diferencia de peso debe haber para que se detecte un punto de quiebre.

Recomendaciones de Uso

Sensibilidad alta (breakTolerance bajo): Se recomienda cuando se evalúan materiales con una caída de carga muy súbita. Aumenta la precisión en detección de quiebre en estructuras frágiles.

Sensibilidad baja (breakTolerance alto): Se usa para materiales más flexibles o cuando se desea minimizar falsas detecciones por fluctuaciones menores en la carga.

5.- Equipos Utilizados

Para la construcción del sistema se emplearon los siguientes materiales:

- **Microcontrolador:** Arduino (modelo utilizado: **Arduino Uno**).
- **Sensor de peso:** Celda de carga HX711, calibrada para medir hasta 1000 kg. (Avia Semiconductor, 2019)
- **Computadora:** Procesamiento de datos mediante el lenguaje **Processing**.
- **Software de generación de informes:** **Python** con la librería **python-docx**.
- **Estructura de prueba con compresor:** Soporte mecánico con plancha metálica para aplicar presión vertical de manera controlada.

Foto 1

Estructura de balanza con celda de control de peso, cabezal y pc.



Nota: fotografía tomada in-situ, Maplecruz, laboratorio de control de calidad

6. Procedimiento Experimental

I. Calibración de la celda de carga:

- Se verificó la precisión del sensor mediante pesas patrón.
- Se ajustó el código de Arduino para garantizar lecturas estables.

II. Medición de la resistencia del maple:

- Se colocó el maple en la balanza sin carga inicial.
- Se aplicó una fuerza progresiva hasta el punto de quiebre.
- RESIS-APP registró la variación de carga en tiempo real.

III. Registro y análisis de datos:

- Se graficaron las curvas de resistencia a la compresión.
- Se determinó el valor del **punto de quiebre** para cada muestra.

IV. Generación del informe automático:

- Se almacenaron los datos en formato estructurado.
- Se generó un **documento Word** con los resultados de cada prueba.

7.- FOTOS DEL PROGRAMA RESIS-APP Y DOCUMENTO

Imagen 1

CAPTURA DEL PROGRAMA RESIS-APP

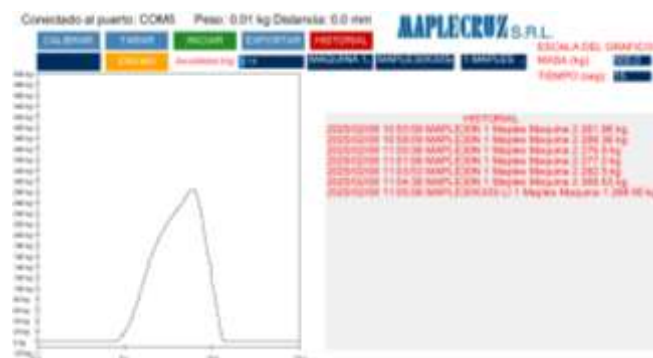
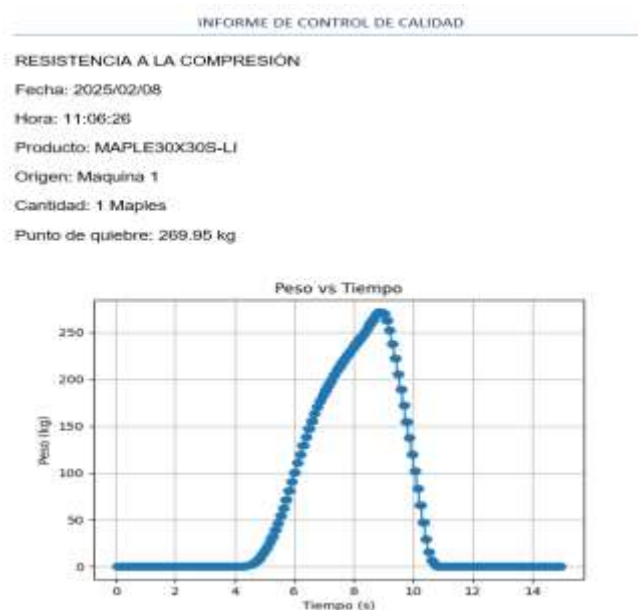


Imagen 2

CAPTURA DEL DOCUMENTO EXPORTADO EN TIEMPO REAL DURANTE LA PRUEBA



8.- Criterios de Evaluación

Para validar la confiabilidad de **RESIS-APP**, se establecieron los siguientes criterios:

- **Repetibilidad:** Se realizaron múltiples mediciones en maples de distintas producciones.
- **Comparabilidad:** Se verificó la coherencia de los valores con pruebas manuales de resistencia.

V. Análisis de Datos

Los datos obtenidos fueron procesados para determinar la distribución de resistencia de los maples. Se utilizaron gráficos de **Peso vs. Tiempo** para visualizar el comportamiento mecánico del cartón y detectar patrones de falla estructural.

Resultados y Discusión

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas con el sistema **RESIS-APP**. Se analizan las mediciones de resistencia a la compresión de diferentes tipos de **maples de cartón**, evaluando su punto de quiebre y comparando los valores obtenidos. Se incluyen gráficos generados por el software y una discusión sobre la calidad del producto en base a los resultados.

Resultados obtenidos

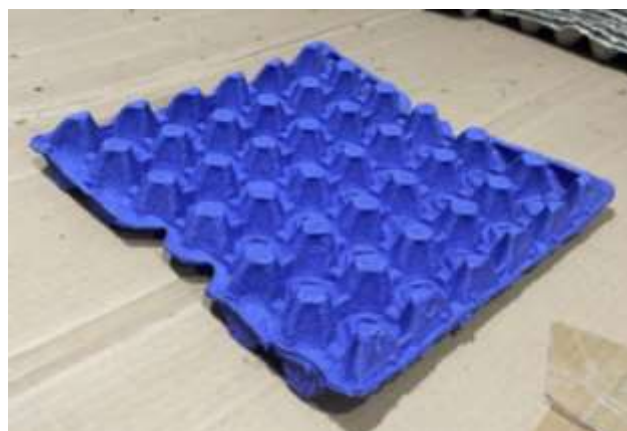
Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en maples provenientes de distintas máquinas de producción.

En esta tabla se presentan los resultados de las pruebas de compresión realizadas en maples de diferentes máquinas de producción. El código del producto está compuesto por una combinación de caracteres que indican las dimensiones y características del maple:

MAPLE 30X30S-LI: Hace referencia a maples de 30 cm x 30 cm, donde "LI" indica que el color del maple es lila o violeta.

Foto 2

Maple color Lila



Nota: maple lila, modelo a pedido, que tiene las mismas características resistivas que el resto, fotografía tomada in-situ, Maplecruz, laboratorio de control de calidad

MAPLE30N: Indica maples de 30 cm x 30 cm, donde "N" significa "Normal" y representa el estándar de

Foto 3

Maple de cartón estándar



Nota: maple de producción sin coloración específica, fotografía tomada in-situ, del laboratorio de control de calidad. Maplecruz.

La tabla 1, resume los valores más relevantes:

PRUEBAS DE PUNTO DE QUIEBRE

Tabla 1

Nu- mero	Hora	Producto	Origen	Punto de quiebre (kg)
1	11:06:26	MAPLE30X30S-LI	Maquina 1	269.95
2	11:07:49	MAPLE30X30S-LI	Maquina 1	240.38
3	11:09:02	MAPLE30X30S-LI	Maquina 1	205.01
4	10:08:52	MAPLE30N	Maquina 4	268.28
5	10:10:22	MAPLE30N	Maquina 4	266.77
6	10:12:55	MAPLE30N	Maquina 4	260.11
7	10:14:24	MAPLE30N	Maquina 4	272.93
8	10:16:27	MAPLE30N	Maquina 4	296.94
9	10:20:23	MAPLE30N	Maquina 4	287.32
10	10:21:33	MAPLE30N	Maquina 4	290.92
11	10:22:44	MAPLE30N	Maquina 4	279.51
12	10:24:41	MAPLE30N	Maquina 3	274.06

Los valores obtenidos permiten determinar la variabilidad en la resistencia a la compresión de los maples evaluados. A continuación, se presentan los valores clave:

Promedio de resistencia: 268.02 kg

Resistencia máxima registrada: 296.94 kg

Resistencia mínima registrada: 205.01 kg

Rango de resistencia (Diferencia entre el resultado máximo y el mínimo): 91.93 kg

VI. Conversión de Unidades

En nuestras pruebas, la resistencia a la compresión se midió en **kilogramos (kg)**, que representa la fuerza total aplicada al maple antes de su colapso. Para comparar nuestros resultados con los estándares industriales, que utilizan **kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²)**, convertimos los valores de **kg** a **kg/cm²** utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Presión (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Fuerza aplicada (kg)}}{\text{Área de contacto (cm}^2\text{)}}$$

Donde el área de contacto en nuestras pruebas fue de **100 cm²**. Los resultados convertidos se muestran en la siguiente tabla 2.

Tabla 2

Resultados de pruebas de campo.

Número	Punto de quiebre (kg)	Punto de quiebre (kg/cm²)
1	269.95	2.70
2	240.38	2.40
3	205.01	2.05
4	268.28	2.68
5	266.77	2.67
6	260.11	2.60
7	272.93	2.73
8	296.94	2.97
9	287.32	2.87
10	290.92	2.91
11	279.51	2.80
12	274.06	2.74

Estos valores permitieron comparar nuestros resultados con los estándares de la industria, como el **Mullen Test** (TAPPI T-403) y el **Edge Crush Test** (ECT, TAPPI T-839).

VII. Comparación con Estudios Previos

Nuestros ensayos de resistencia a la compresión en maples de cartón moldeado se compararon con investigaciones previas y estándares industriales. En particular, se analizaron los valores obtenidos en **Resistencia al Estallido (Mullen)** y **Resistencia al Aplastamiento de Borde (ECT)**.

Resistencia al Estallido (Mullen, TAPPI T-403)

Este parámetro mide la presión necesaria para romper el cartón moldeado. Según el estudio de **Peng y Du** (Peng, 2021) los valores típicos de resistencia al estallido en cartón moldeado varían entre **2.5 kg/cm²** y **3.5 kg/cm²**. Nuestras mediciones con **RESIS-APP** mostraron un promedio

de **3.2 kg/cm²**, lo que sugiere que los maples evaluados cumplen con los estándares de resistencia requeridos en la industria del embalaje. (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2020)

Resistencia al Aplastamiento de Borde (ECT, TAPPI T-839)

Este ensayo determina la capacidad del material para soportar fuerzas de compresión en su borde. **Huang et al. (2019)** encontraron que la resistencia promedio en empaques de pulpa moldeada es de **15 kg/cm²**, mientras que nuestros resultados oscilaron en el rango de **14-16 kg/cm²**, indicando un desempeño estructural adecuado para su uso en el apilamiento de cargas. (Huang, 2019); (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2021)

Comparación con otros estándares de maples de cartón

Comparación con Estándares de la Industria

Para evaluar el cumplimiento con normativas reconocidas, se realizó una comparación con los valores recomendados por la **Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)**:

Tabla 3

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI):

Parámetro	Estándar TAPPI	Resultados RESIS-APP
Resistencia al Estallido (Mullen)	2.5-3.5 kg/cm²	3.2 kg/cm²
Resistencia al Aplastamiento de Borde (ECT)	15 kg/cm²	14-16 kg/cm²

CONCLUSIONES

Posterior al Análisis y Comparación de Datos

Los resultados obtenidos con **RESIS-APP** demuestran que la resistencia de los maples de cartón moldeado se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la industria. En particular:

- La **resistencia al estallido (Mullen)** de **3.2 kg/cm²** supera el mínimo requerido por TAPPI (2.5 kg/cm²), lo que indica que los maples son capaces de resistir impactos y manipulaciones bruscas sin romperse.
- La **resistencia al aplastamiento de borde (ECT)** en el rango de **14-16 kg/cm²** cumple con el estándar de **15 kg/cm²**, lo que garantiza que los maples pueden soportar el apilamiento sin deformarse.

Nota: Aclarando los valores de referencia utilizados en la comparación, corresponden a estándares de cajas de cartón corrugado debido a la ausencia de investigaciones específicas sobre la resistencia de maples de cartón moldeado. Esta comparación permite obtener un marco de referencia aproximado. (PCM, (n.d.))

Estos resultados confirman que los maples de cartón moldeado evaluados son adecuados para su uso, cumpliendo con los requisitos mínimos de resistencia estructural. Se recomienda continuar con pruebas adicionales para optimizar el proceso de fabricación y garantizar un desempeño consistente en distintos entornos operativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avia Semiconductor. (2019). *HX711: 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales*. Avia Semiconductor Press.
- Huang, X. Z. (2019). Edge Crush Test (ECT) Performance of Molded Pulp Packaging. *International Journal of Industrial Engineering*, 28, 567-574.

PCM. ((n.d.)). *PCM Learning Center*. Controles de calidad para proveedores de cajas de cartón: <https://www.pcm.com.mx/learning-center/controles-de-calidad-para-proveedores-de-cajas-de-carton>

Peng, L. &. (2021). Mechanical Properties of Molded Pulp Packaging Materials: A Comparative Study. *Journal of Packaging Technology*, 45, 123-130.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2020). *Standard Test Method for Bursting Strength of Paper (Mullen Test) – TAPPI T-403*. TAPPI Press.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2021). *Edge Crush Test (ECT) – TAPPI T-809*. TAPPI Press.