

# Análisis de las causas de variación en las pruebas de fragmentación de vidrio templado en la empresa Vitelsa S.A.

PRACTICANTE: Juliana Escobar Cadavid

ASESORES: Ivan David Franco, William Espinal

PROGRAMA: Ingeniería de Materiales

Semestre de la práctica: 2024-1

## Introducción

Este proyecto se basa en el análisis de la fluctuación de los resultados del ensayo de fragmentación en la empresa Vitelsa S.A., enfocándose en los parámetros del proceso de temple del vidrio. Con el objetivo de mejorar la calidad y consistencia del vidrio templado, se estudian variables críticas como el proveedor del vidrio, la temperatura, el tiempo de calentamiento y la velocidad de los sopladores.

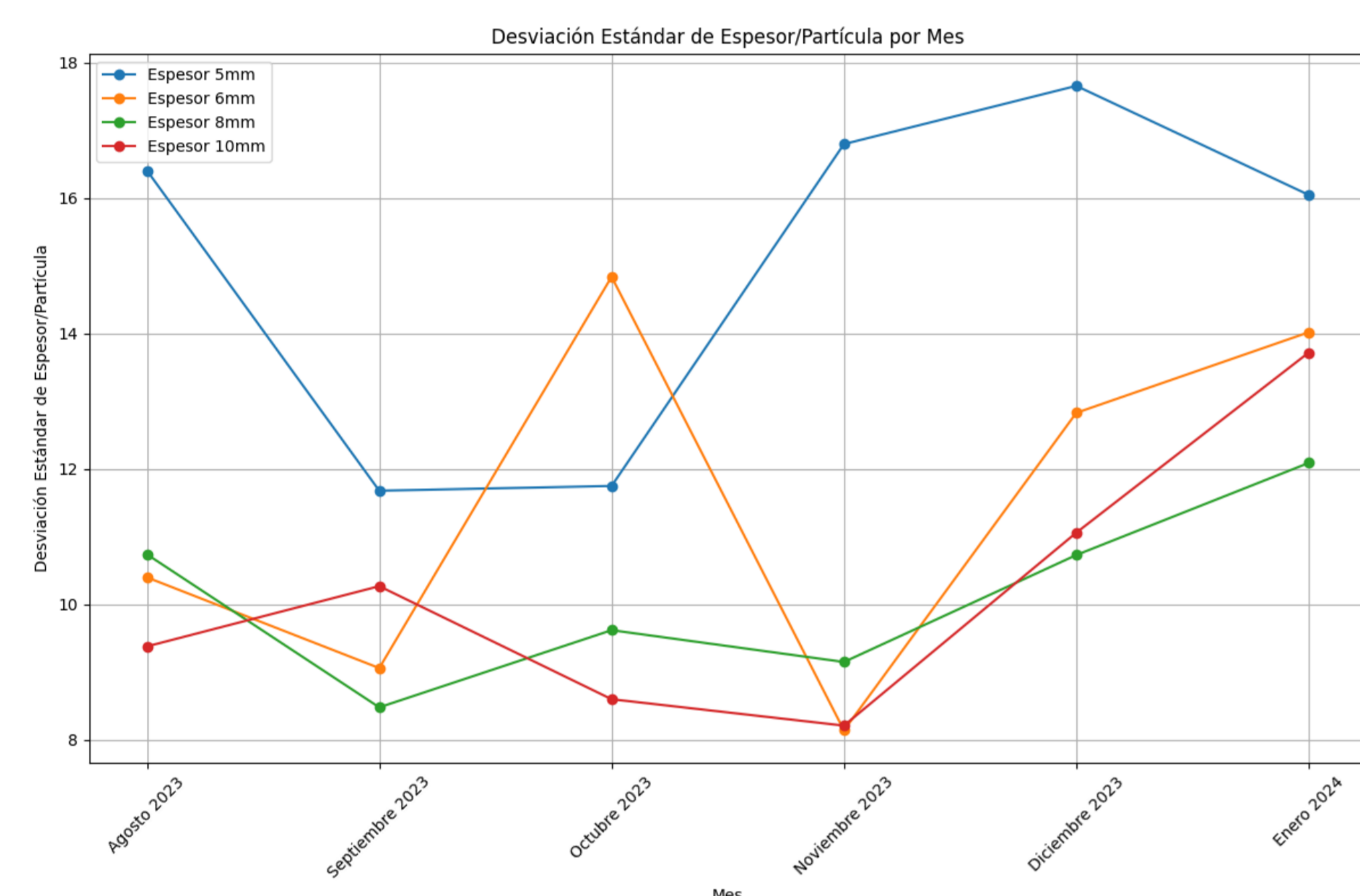


Figura 1. Desviación estándar de las pruebas de fragmentación realizadas durante seis meses para espesores de 5 mm, 6mm, 8mm y 10 mm.

## Metodología

- Se evalúa la uniformidad de temperatura en el horno con 15 muestras de vidrio, asegurando una distribución homogénea y correlacionando las temperaturas con los resultados del ensayo de fragmentación.
- Se implementará un diseño de experimentos (DOE) factorial con 4 factores y 2 bloques para evaluar la influencia de diversas variables en la prueba de fragmentación del vidrio templado. El diseño contempla 16 ensayos para cada uno de los dos espesores a analizar: 6 mm y 8 mm, con dos réplicas de cada ensayo, lo que resulta en un total de 64 ensayos.
- Se sugieren ajustes en los parámetros de producción para reducir la variabilidad en los resultados del ensayo de fragmentación y conseguir un ahorro energético.

Tabla 1. Combinación de parámetros usados inicialmente.

Espesor	6 mm		8 mm	
	Vitro	Andino	Vitro	Andino
Proveedor	Vitro	Andino	Vitro	Andino
Temperatura (°C)	670	680	670	680
Tiempo Calentamiento (s)	190	200	250	260
Velocidad Sopladores (RPM)	820	750	680	670

## Resultados

Del análisis ANOVA, se identificaron factores e interacciones significativas para la fragmentación del vidrio cuando el p-valor es menor que 0.05. Estos factores son: 1) Espesor, 2) Temperatura, 3) Tiempo de Calentamiento, 4) Velocidad de los Sopladores y 5) La interacción entre Tiempo de Calentamiento y Velocidad de los Sopladores

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P	
Constante		88,26	3,65964	24,12	0,000	
Espesor (Bloque)		-18,61	3,65964	-5,08	0,000	
Proveedor		-1,35	0,70965	-0,95	0,345	
Temperatura		7,92	3,96	0,70965	5,58	0,000
Tiempo Calen.		10,20	5,10	0,58233	8,76	0,000
Vel. Sopladores		2,52	1,26	0,59212	2,13	0,039
Proveedor*Temperatura		-2,32	1,16	0,70965	-1,63	0,110
Proveedor*Tiempo Calen.		-0,02	0,01	0,27599	-0,03	0,974
Proveedor*Vel. Sopladores		0,96	0,48	0,51404	0,94	0,354
Temperatura*Tiempo Calen.		-1,01	0,50	0,27599	-1,82	0,075
Temperatura*Vel. Sopladores		-0,91	0,45	0,51404	-0,88	0,381
Tiempo Calen.*Vel. Sopladores		-0,34	0,17	0,05142	-3,35	0,002
Proveedor*Temperatura*Tiempo Calen.		0,43	0,22	0,27599	0,78	0,437
Proveedor*Temperatura*Vel. Sopladores		-1,75	0,87	0,51404	-1,70	0,096
Proveedor*Tiempo Calen.*		0,09	0,05	0,04855	0,94	0,352
Vel. Sopladores		0,05	0,02	0,04855	0,49	0,625
Temperatura*Tiempo Calen.*						
Vel. Sopladores						
Proveedor*Temperatura*Tiempo Calen.*		-0,19	0,10	0,04855	-2,01	0,050
Vel. Sopladores						

Figura 2. ANOVA del DOE para la identificación de factores e interacciones que influyen sobre la fragmentación.

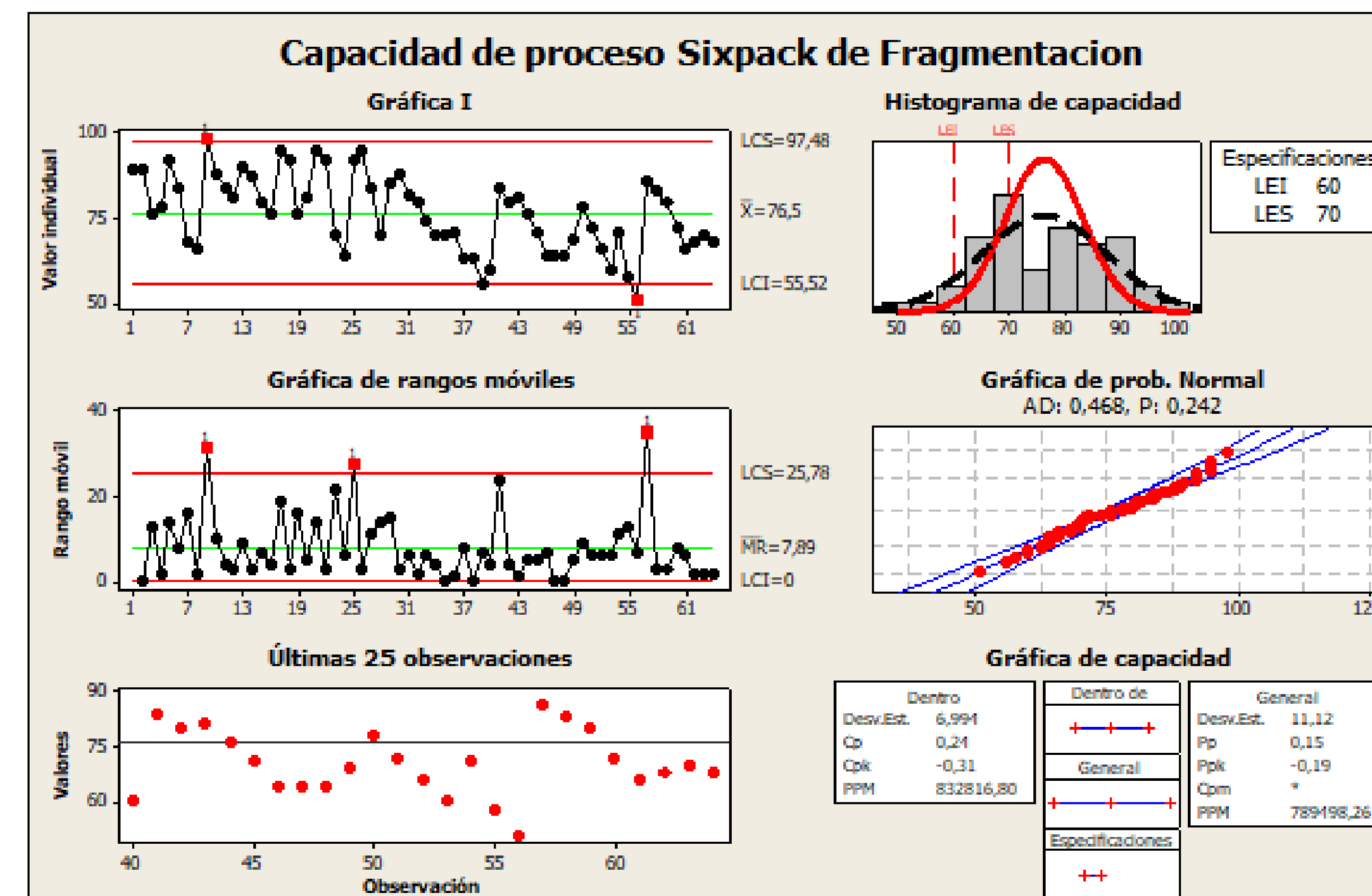


Figura 3. Análisis de residuales del modelo de regresión lineal para la fragmentación.

## Propuesta

Tabla 2. Receta propuesta.

Espesor	6 mm	8 mm
Proveedor	Vitro, Andino	Vitro, Andino
Temperatura (°C)	650	650
Tiempo Calentamiento (s)	240	300
Velocidad Sopladores (RPM)	750	630

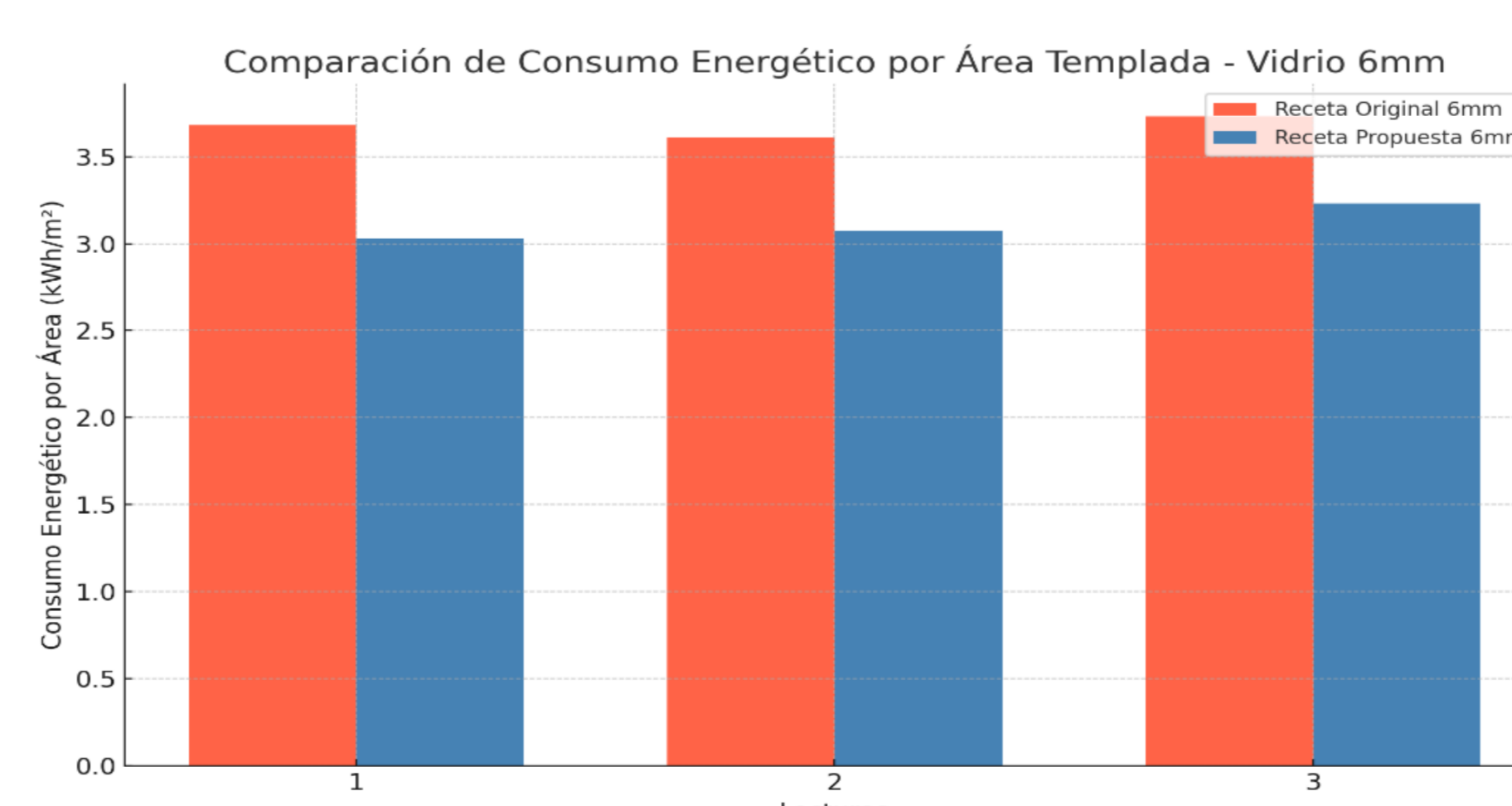


Figura 4. Resultados de consumo energético para receta original y propuesta para espesor de 6 mm.

## Objetivos

### General

- Analizar las causas de la variación en las pruebas de fragmentación del vidrio templado de Vitelsa S.A. mediante un estudio estadístico, con el fin de mejorar la consistencia y calidad del producto.

### Específicos

- Identificar la relación entre la variabilidad en las pruebas de fragmentación y variables críticas (proveedores, temperaturas, velocidades y espesores) usando un Diseño de Experimentos (DOE).
- Determinar los parámetros óptimos de las variables que mejoran los resultados en las pruebas de fragmentación.
- Proponer mejoras en los procesos de producción basadas en los hallazgos, buscando minimizar variaciones en las pruebas de fragmentación.

## Conclusiones

- Las temperaturas en el horno variaron entre 665 °C y 672 °C, con una fragmentación de 73 a 81 partículas, indicando buena uniformidad y sugiriendo que la variación en fragmentación no depende de la posición en el horno.
- El espesor, la temperatura, el tiempo de calentamiento y la velocidad de los sopladores son significativos en la fragmentación, afectando las tensiones térmicas del vidrio.
- Ajustar la temperatura a 650 °C y optimizar el tiempo de calentamiento y la velocidad de los sopladores puede reducir la fragmentación a 70 partículas y disminuir el consumo energético.
- La variabilidad en los resultados se debe a factores del proceso y diferencias en lotes de vidrio. La implementación del Diseño de Experimentos (DOE) es clave para optimizar el proceso y mejorar la calidad del producto.