

Mejoramiento de la calidad a través del diseño robusto: aplicación en la industria del mueble

Federico Picado*
Carl A. Eckelman**†

Resumen

Se presentan los fundamentos básicos del diseño robusto de productos como técnica de la ingeniería de calidad y su contribución al mejoramiento de la calidad de productos y procesos. Se ejemplifica la técnica con la aplicación en un diseño de una unión o junta utilizada en la construcción de gabinetes de cocina construidos con tablero aglomerado.

Introducción

El diseño de productos y procesos robustos se refiere a i) hacer los productos y procesos insensibles a factores ambientales o de otro tipo que sean difíciles de controlar, ii) hacer el producto y procesos inmunes a la variación transmitida de componentes, y iii) reducir la variabilidad del producto y procesos con respecto a valores meta (Picado, 1994). Los grandes logros obtenidos por compañías de clase

mundial con altos índices de calidad y productividad están basados, en parte, en su énfasis en la aplicación de técnicas del diseño robusto en las etapas iniciales del diseño de productos y procesos. Los diseños robustos son una parte fundamental en los procesos de ingeniería concurrente. La aplicación de los diseños robustos requiere un conocimiento sólido en algunas herramientas estadísticas como análisis de regresión y diseños factoriales. Al lector se le recomienda leer a Picado (1993) sobre los diferentes métodos del diseño robusto. Algunas industrias costarricenses ya han empezado a aplicar las técnicas del diseño robusto en el mejoramiento de sus procesos y los resultados han sido muy exitosos.

Ejemplo de aplicación

Se requiere diseñar una unión de dos paneles hechos de tablero aglomerado, de uso común en la industria de mue-

1* Profesor del Depto. de Ingeniería en Producción Industrial. Becado Proyecto BID-CONOCIT.

** Profesor del Dept. of Forestry and Nat. Resources, Purdue University, IN, USA.

bles de cocina. Se desea obtener la mayor resistencia en la unión, por lo tanto se busca maximizar la respuesta (Y) en la característica de calidad que, en este caso es el momento flexionante máximo que puede resistir la unión. Los tableros aglomerados por unir tienen un espesor de 19 mm (3/4 pulgada). Se utilizará una junta o unión con tacos (tarugos) ranurados. El adhesivo que se empleará es PVA con un 60% de sólidos. El contenido de humedad de los tableros y tacos es de un 9%.

Como parte del proceso de diseño robusto, cuatro variables de control han sido identificadas: a) método de carga, b) diámetro del taco, c) profundidad de penetración del taco en el canto, d) profundidad de penetración en la cara o superficie. Un diseño factorial 2⁴ sin réplicas fue escogido como el diseño experimental por su facilidad de análisis e interpretación.

La Tabla 1 muestra los valores alto y bajo para cada factor. Los ensayos fueron ejecutados en una máquina universal de ensayos. Los resultados experimentales se muestran en la Tabla 2.

El modelo de regresión múltiple no aditivo fue el siguiente:

$$Y = f(b_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_1 \cdot X_2, X_1 \cdot X_3, X_1 \cdot X_4, X_2 \cdot X_3, X_2 \cdot X_4, X_3 \cdot X_4)$$

Las interacciones triples y mayores serán usadas como términos del error.

El análisis de los resultados experi-

| Prueba | X1 | X2 | X3 | X4 | Y (*) |
|--------|----|----|----|----|--------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 167,95 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | 193,13 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 167,27 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | -1 | 199,16 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | -1 | 169,62 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 186,33 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 163,91 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | -1 | 190,41 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 1 | 63,14 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | 1 | 60,29 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 1 | 62,14 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 1 | 68,65 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 1 | 60,79 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | 1 | 63,01 |
| 15 | -1 | 1 | 1 | 1 | 53,74 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 60,10 |

(*) Momento flexionante en libras-pulgada

mentales se realizó utilizando el paquete estadístico SAS versión 6,06 y el procedimiento GLM. La Tabla 4 muestra los resultados del análisis estadístico.

Tomando en cuenta únicamente los factores significativos, el modelo matemático reducido quedaría de la siguiente manera:

$$Y = 120,608 + 7,032X_1 - 2,114X_3 - 59,120X_4 + 1,875X_1 \cdot X_2 - 5,502X_1 \cdot X_4 + \epsilon$$

Se realizaron las pruebas correspon-

| Variable | Nivel bajo (-1) | Nivel alto (+1) |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| X1: Método de carga | Compresión | Tensión |
| X2: Diámetro del taco | 7,93 mm | 9,52 mm |
| X3: Profundidad en canto | 25,4 mm | 38,1 mm |
| X4: Profundidad en cara | 15,87 mm | 6,35 mm |

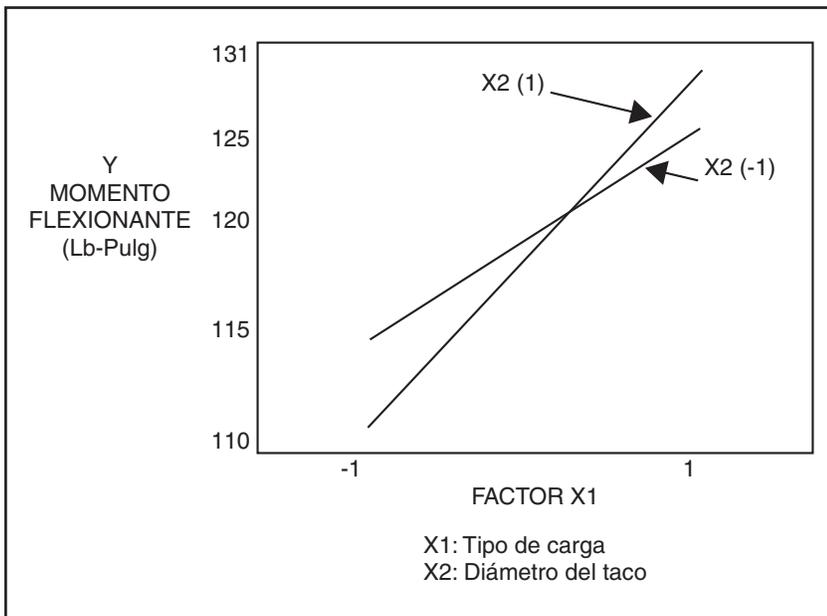


Figura 1
X1*X2 Interacción

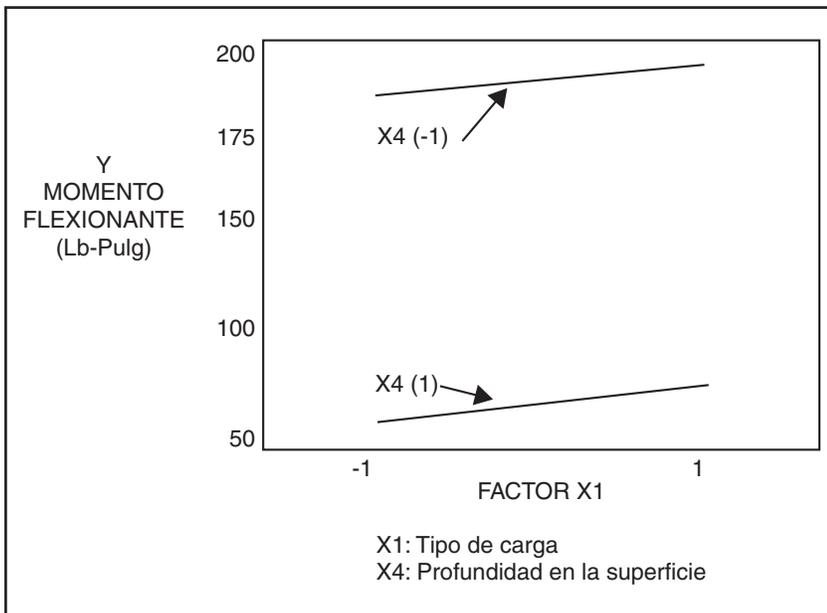


Figura 2
X1*X4 Interacción

dientes de validez del modelo donde se demostró que las variables de los tratamientos son homogéneas y los residuos normales. No se detectaron efectos de dispersión.

Con el fin de determinar aquellos niveles robustos de las variables, es ne-

Tabla 4
Análisis de regresión

| Variable | Estimado | Valor p |
|--------------|----------|---------|
| Intercepción | 120,608 | 0,0001* |
| X1 | 7,032 | 0,0001* |
| X2 | 0,0698 | 0,9180 |
| X3 | -2,114 | 0,0228* |
| X4 | -59,120 | 0,0001* |
| X1*X2 | 1,875 | 0,0346* |
| X1*X3 | -0,560 | 0,4289 |
| X1*X4 | -5,502 | 0,0004* |
| X2*X3 | -1,519 | 0,0670 |
| X2*X4 | -0,396 | 0,5690 |
| X3*X4 | 0,0409 | 0,9523 |

* Significativo a un nivel del 5%

cesario analizar primero las interacciones significativas. La Figura 1 muestra la interacción entre el método de carga (X1) y el diámetro del taco (X2). Se puede observar que ambos factores en promedio presentan la misma resistencia; sin embargo, el diámetro del taco a un nivel bajo de 7,93 mm presenta una menor variabilidad que el diámetro del taco al nivel alto. Por otro lado, la Figura 2 muestra la interacción entre el método de carga y la profundidad de penetración en la cara (X4). Es evidente que el nivel alto, o sea a una profundidad de penetración en la superficie de 15,87 mm, maximiza la resistencia de la unión. El otro factor significativo, la profundidad de penetración en el canto, se muestra en la Figura 3. Se observa que este factor a un nivel bajo de 25,4 mm produce un momento flexionante mayor.

Por tanto, los parámetros robustos recomendados para la unión con tacos son los siguientes:

- i. Utilizar un diámetro de taco de 8,93 mm.

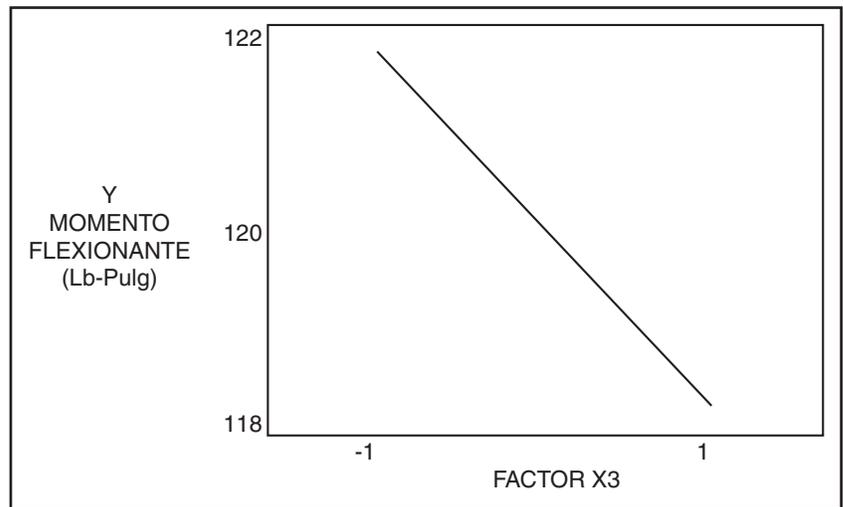


Figura 3
Profundidad en el canto

- ii. Una profundidad de penetración en la superficie de 15,87 mm.
- iii. Una profundidad de penetración en el canto de 25,4 mm.

Cabe destacar que se deben realizar pruebas confirmatorias antes de recomendar un cambio en el diseño final del ensamble.

Conclusiones

Las técnicas del diseño robusto han demostrado ser una herramienta cuantitativa poderosa en las etapas iniciales de diseño de productos y procesos. Su implementación dentro de una organi-

zación productiva debe empezar con un programa de entrenamiento apoyado por la alta administración, y que sea parte integral del programa de mejoramiento continuo de la empresa.

Bibliografía

- Picado, F. 1994. *A Quality Improvement System for the Kitchen Cabinet Industry*. Unpublished PhD. Thesis. Purdue University, Lafayette, Indiana, USA.
- Picado, F. 1993. *Diseño robusto para el mejoramiento continuo de la calidad*. Tecnología en Marcha. Vol. 12 N° 2. pp. 85-94.