

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 paneles hechos de tablero aglomerado de uso común en la industria de muebles de cocina. Se desea obtener

* Profesor del Depto. de Ingeniería en Producción Industrial. Becado Proyecto BID-CONOCT.
** Profesor del Dept. of Forestry and Nat. Resources, Purdue University, IN, USA.

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 2^4 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:

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

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

El análisis de los resultados experimentales se realizó utilizando el pa-

Tabla 2
Resultados experimentales

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

quete 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:

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

Se realizaron las pruebas correspondientes de validez del modelo donde

Tabla 1
Niveles alto y bajo para las variables de la unión

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

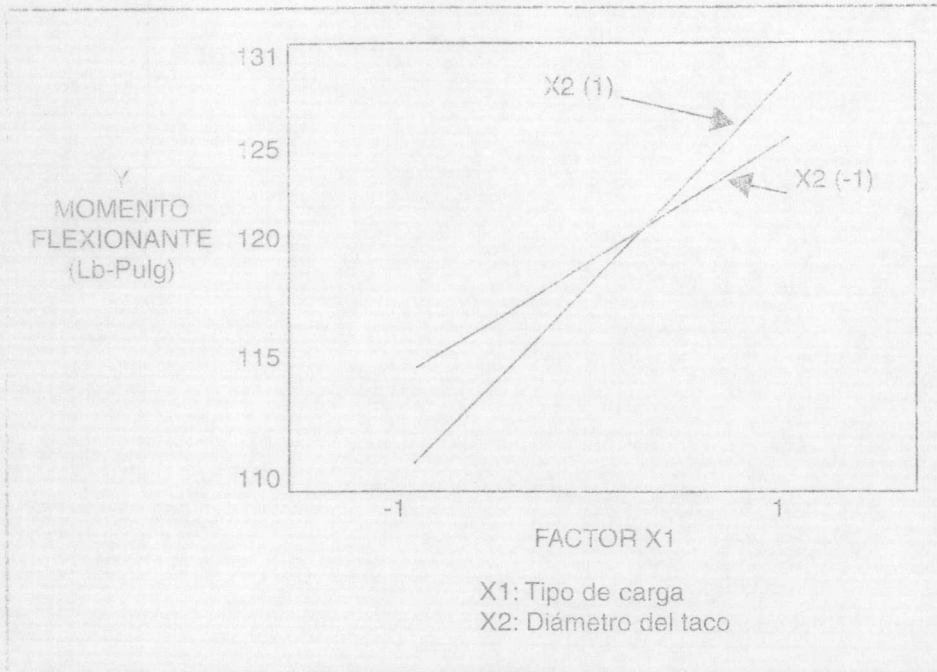


Figura 1
X1*X2 Interacción

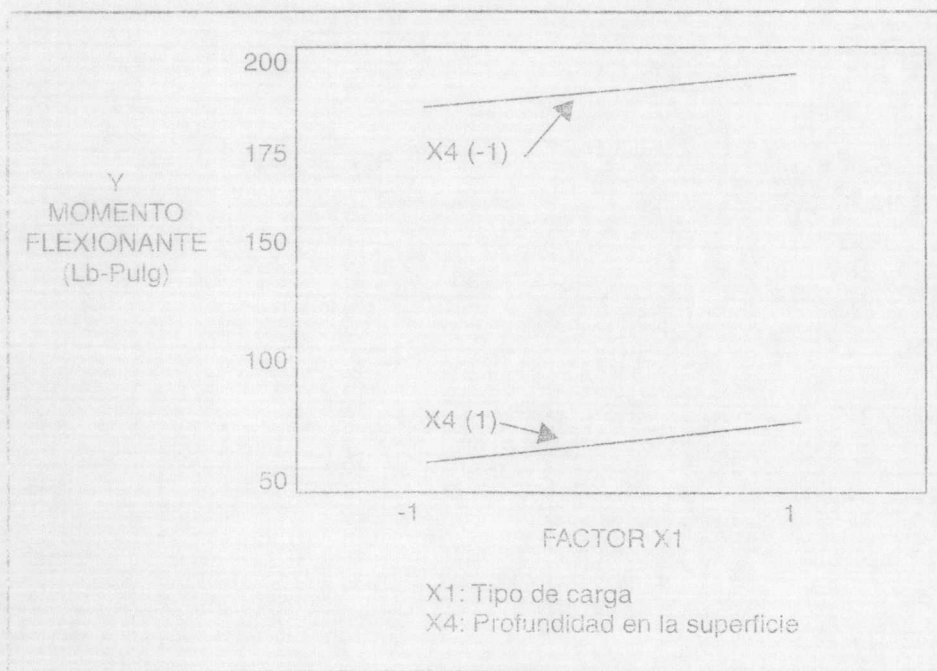


Figura 2
X1*X4 Interacción

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 necesario analizar primero las interac-

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	0,0223
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	0,9521

* Significativo a un nivel del 5%.

ciones 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 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 el momento flexionante mayor.

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

- Utilizar un diámetro de taco de 8,93 mm.
- Una profundidad de penetración en la superficie de 15,87 mm.

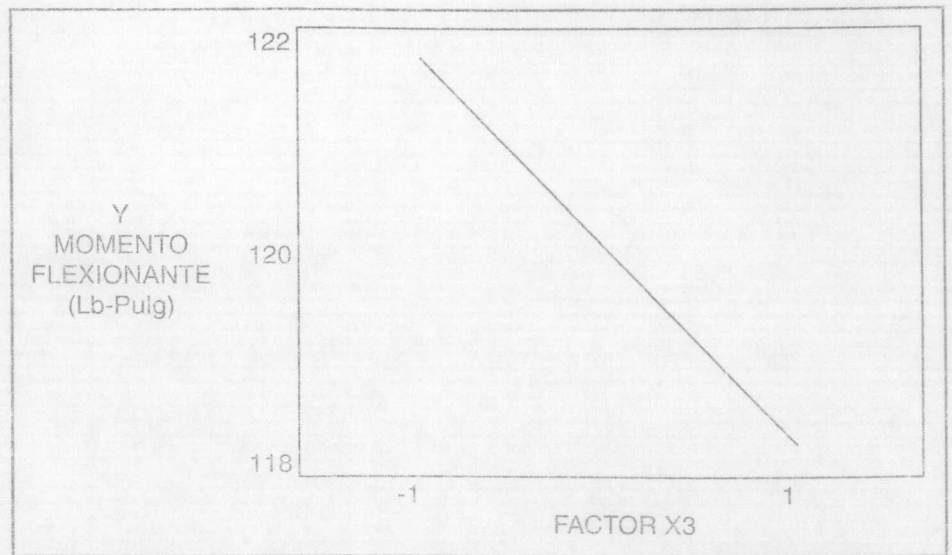


Figura 3
Profundidad en el canto

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 organización 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.