

Diseño de parámetros robusto utilizando el método Taguchi aplicado a un equipo de crimpado de fusibles tipo midget

Abimael Hipólito García Pérez¹, Francisco Javier Estrada Orantes¹, Fernando Hermosillo Pérez¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

El presente artículo muestra una aplicación práctica de un diseño de experimentos robusto utilizando el método Taguchi para el diseño de parámetros. El diseño robusto de parámetros se aplica en un equipo de crimpado de fusibles del modelo midget. Este trabajo destaca la importancia que tiene el diseño de parámetros robusto como herramienta estadística para el mejoramiento de productos y procesos productivos. Para esta aplicación se considera la fuerza de desensamble como la variable de respuesta y se seleccionan 3 factores controlables a tres niveles cada uno, así como 3 factores de ruido a dos niveles por factor. Se concluye con una prueba de hipótesis comparativa entre la especificación del cliente y los datos de la corrida de comprobación en la que se obtiene una fuerza de desensamble de 202.74 lb de fuerza, lo que representa un 35% por encima de la especificación.

Palabras clave: Diseño de Experimentos Robusto, Método Taguchi, Diseño de Parámetros, Diseño de Parámetros Robusto, Factores de control, Factores de Ruido.

Introducción

El Diseño Robusto de Parámetros es parte de las enseñanzas del Dr Genichi Taguchi, un guru de la calidad japonesa. Se define como la reducción de la variación en un producto o en un proceso sin la eliminación de las causas de la variación. En otras palabras, haciendo el producto o proceso insensible a la variación. Esta variación (a veces llamada ruido) puede provenir de una diversidad de factores que se pueden clasificar en tres tipos principales: variación interna, variación externa y variación de unidad a unidad. La variación interna es

debida al deterioro tales como el desgaste de una maquina o el envejecimiento de los materiales. La variación externa es el factor relacionado a las condiciones ambientales tales como la temperatura, la humedad y el polvo. La variación de unidad a unidad es la variación entre las partes debida a cambios inconscientes en los materiales, procesos o equipos (Lochner, 1990)

La Figura 1 muestra un proceso o un producto así como las diferentes variables que lo conforman.

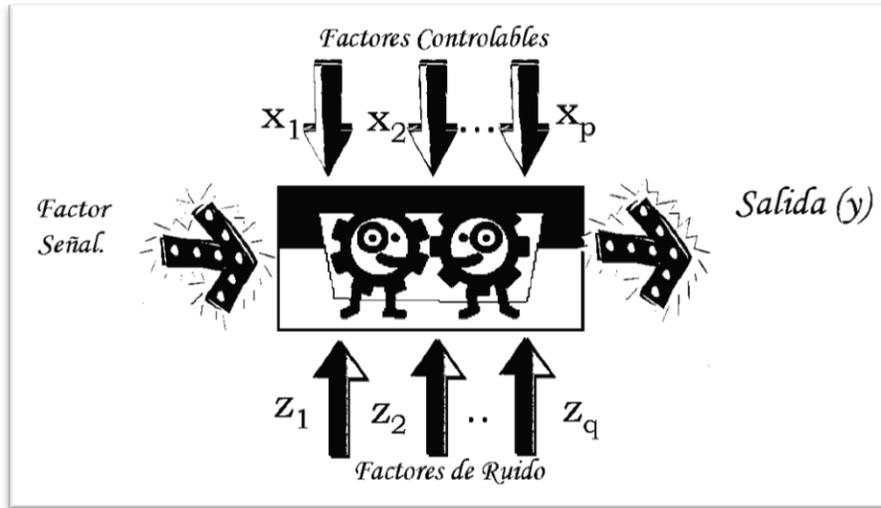


Figura 1. Variables de un Proceso

Método

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo del método a utilizar en la presente aplicación

basado en el Diseño Robusto de Parámetros del Dr. Taguchi.



Figura 2. Diagrama de flujo basado en el diseño robusto de parámetros

Descripción del proceso

El crimpado es el proceso de doblado de las tapas del fusible con el objetivo de asegurar que dicha tapa no se abra y permita el

desprendimiento de la misma. En la Figura 3 se muestra una imagen de un fusible crimpado así como el equipo objetivo del estudio.

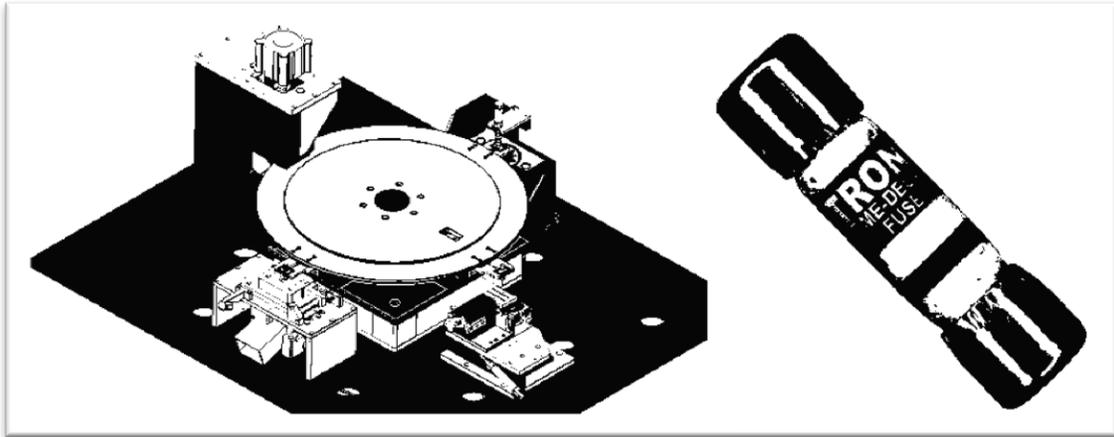


Figura 3. Equipo de Crimpado y Producto

El equipo es un dial conformado por 4 estaciones mostradas en forma esquemática en la Figura 4.

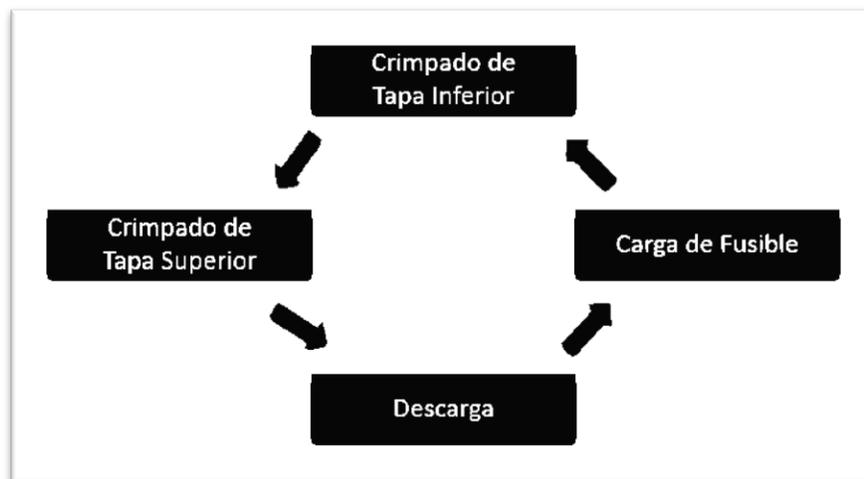


Figura 4. Diagrama a bloques de equipo de crimpado

Carga de Fusible: Los fusibles llegan alineados en forma horizontal a través de un riel, unas pinzas son las encargadas de tomar el fusible y un cilindro a su vez, gira las pinzas para colocarlo en forma vertical dentro de las tenazas que transportan al fusible durante todo el proceso.

Crimpado de Tapa Superior y Crimpado de Tapa Inferior: Estas estaciones son las

encargadas de realizar el crimpado superior e inferior respectivamente. Cuando el fusible llega a la estación, inmediatamente se acerca el sistema de mordazas al fusible y extiende un cilindro encargado de empujar el fusible hacia el sistema de mordazas, con los cilindros en posición, se cierran las mordazas por un tiempo programable para realizar el primer crimpado, paso seguido, se abren las mordazas y se activa un cilindro de

rotación y prepara las mordazas para un segundo crimpado por un tiempo programable. Una vez realizados los dos crimpados, todos los sistemas se retiran del fusible y queda listo para la siguiente estación.

Descarga: El fusible es liberado de las tenazas de transporte para caer a través de un canal de piezas buenas o un canal de rechazo, según sea el caso.

Alcance del proyecto

Realizar un diseño de parámetros robusto para insensibilizar el equipo de crimpado a las variaciones de la materia prima que van de 37.47 a 37.79mm en el alto del fusible, 10.25 a 10.27mm en el diámetro de las tapas y de 8.85 a 8.90mm en el diámetro de la melamina.

Función Ideal

Como variable de respuesta se considera la fuerza requerida para desarmar el fusible, es decir, con una prueba de jalón se obtiene la fuerza necesaria para lograr desprender alguna de las tapas del fusible.

La especificación mínima para este modelo de fusible es 150lb de fuerza.

Factores de ruido

Ya que la variación del material es inminente y a la vez difícil de controlar, la Tabla 1 muestra los factores de ruido a considerar en el experimento con sus respectivos niveles.

Tabla 1. Factores de Ruido

Factores de Ruido	Niveles	
	Nivel 1	Nivel 2
Diametro de Melamina (M)	Bajo (8.85mm)	Alto (8.90mm)
Diametro de Tapas (T)	Bajo (10.25mm)	Alto (10.27mm)
Largo de Fusible (F)	Bajo (37.47mm)	Alto (37.79mm)

Factores controlables

La Tabla 2 muestra los factores controlables a considerar en el estudio.

Tabla 2. Factores Controlables

Factores de Controlables	Niveles		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Cierre de Mordazas Controlado con Avance de Piston (A)	Bajo (15mm)	Medio (17.5mm)	Alto (20mm)
Tiempo con las Mordazas Cerradas (B)	Bajo (0.5seg)	Medio (1.5seg)	Alto (2.5seg)
Presion de Aire (C)	Bajo (40psi)	Medio (75psi)	Alto (90psi)

Experimentación

Como se observa en la Tabla 2, se tienen 3 factores controlables a 3 niveles cada uno, por lo que se considera usar el arreglo ortogonal L_9 para la matriz interna.

De igual forma, se tienen 3 factores de ruido a 2 niveles cada uno por lo que se selecciona un arreglo ortogonal L_4 para la matriz externa.

En la Tabla 3 se muestra la corrida de experimentación. La primer columna muestra el orden de la corrida, las siguientes tres columnas conforman la llamada “matriz interna” la cual es conformada por los

factores controlables. Los tres renglones superiores, conforman la llamada “matriz externa”, la cual es formada por los factores de ruido o no controlables. Los datos que se muestran encerrados por dichas matrices, son los datos de la fuerza obtenidos de la corrida experimental. Y finalmente la columna S/N muestra los valores de la relación señal-ruido generada con los datos de fuerza utilizando la Formula 1 aplicando la consideración mayor es mejor.

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} \left(\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{Y_{ij}^2}}{n} \right) \quad (1)$$

Tabla 3. Experimentación

Corrida	A: Cierre de Mordazas (Controlado con avance de piston)	B: Tiempo con las mordazas cerradas	C: Presion de aire	Factores de Ruido				S/N	
				Largo Fusible	Bajo	Alto	Alto		Bajo
				Diam. Tapas	Bajo	Alto	Bajo		Alto
				Diam. Melamina	Bajo	Bajo	Alto		Alto
				Ruido 1	Ruido 2	Ruido 3	Ruido 4		
1	15	0.5	40	199.3	168	178.8	176.05	45.08	
2	15	1.5	75	173.45	179.25	185.3	159.3	44.79	
3	15	2.5	90	177.8	159.3	177.15	151.1	44.36	
4	17.5	0.5	75	176.3	192.5	188.7	205.3	45.57	
5	17.5	1.5	90	210	190.6	164.15	186	45.37	
6	17.5	2.5	40	185.1	169.9	202.85	185.05	45.33	
7	20	0.5	90	120.85	75.1	143.5	165.05	40.82	
8	20	1.5	40	113.1	102.95	110.35	89.5	40.23	
9	20	2.5	75	96.05	114.95	111.55	130.4	40.93	

Análisis de los datos

En la Figura 5 se observa el comportamiento de la relación S/N con los diferentes niveles de cada factor. En la gráfica del factor A (Cierre de Mordazas), se muestra como

varia notablemente la relación S/N conforme cambia de nivel, a diferencia de los factores B (Tiempo con las mordazas cerradas) y C (Presión de aire), en los que la variación de la relación S/N es mínima con la fluctuación de sus niveles.

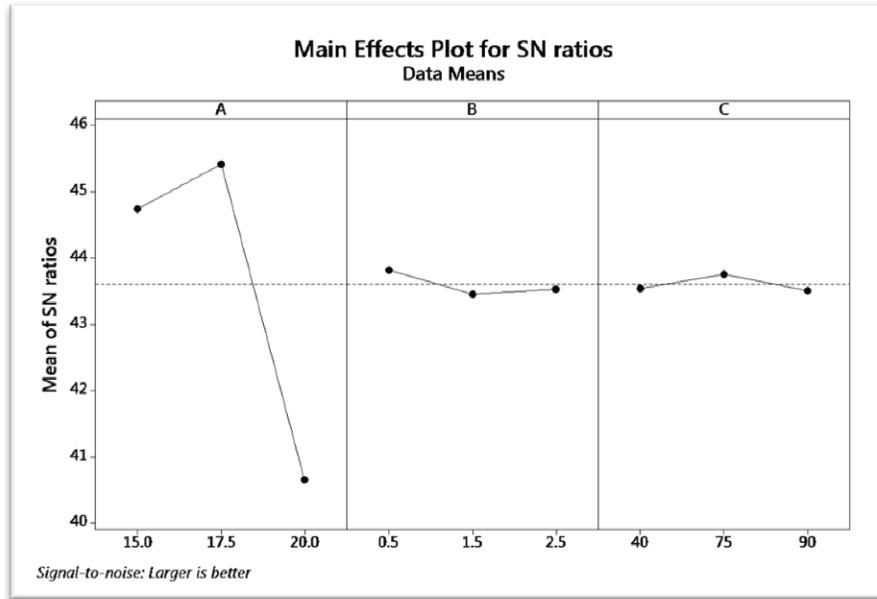


Figura 5. Grafica de efectos principales para S/N

La Tabla 4 muestra los valores de la relación S/N para cada nivel de cada factor.

Tabla 4. Datos numéricos de la relación S/N

Taguchi Analysis: Ruido 1, Ruido 2, Ruido 3, Ruido 4 versus A, B, C

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

Level	A	B	C
1	44.74	<u>43.82</u>	43.55
2	<u>45.42</u>	43.46	<u>43.76</u>
3	40.66	43.54	43.52
Delta	4.76	0.36	0.24
Rank	1	2	3

Se seleccionan los niveles de los factores que tengan la mayor relación Señal / Ruido (S/N) como parámetros de operación. En este caso el factor A (Cierre de Mordazas) en su nivel 2 (17.5mm) que tiene un nivel S/N de 45.42, el factor B (Tiempo con las mordazas cerradas) en su nivel 1 (0.5seg) que tiene un nivel S/N de 43.82 y el factor C (Presión de Aire) en su nivel 2 (75psi) con un nivel de S/N de 43.76.

Corrida de Confirmación

La Tabla 5 presenta los datos obtenidos de la corrida de confirmación. La cantidad de piezas requeridas para la corrida de comprobación se obtiene con la Formula 2, para detectar un error de 5lb de fuerza, lo que representa el 3.33% de la fuerza mínima requerida y considerando un porcentaje de error del 5%, además de una desviación estándar de 16.

$$n = \left(\frac{z_{\frac{\alpha}{2}} * \sigma}{e} \right)^2 \quad (2)$$

Asignando valores en la Formula 2 el resultado se obtiene de la siguiente manera:

$$n = \left(\frac{z_{0.05} * 16}{5} \right)^2 = \left(\frac{-1.96 * 16}{5} \right)^2 = 39.33$$

Tabla 5. Corrida de confirmación

Corrida	Fuerza	Corrida	Fuerza	Corrida	Fuerza	Corrida	Fuerza
1	199.8	11	194.1	21	229.5	31	202
2	203.3	12	192.8	22	203.6	32	190
3	193.2	13	203.8	23	226.2	33	188.2
4	179.2	14	204	24	210.6	34	189.3
5	219.7	15	208.5	25	221	35	199.2
6	226.4	16	217.8	26	191.3	36	188.7
7	184.8	17	213.3	27	214.4	37	209.4
8	198.7	18	179.2	28	208.4	38	197.6
9	218.5	19	219.3	29	189.7	39	194.5
10	186.3	20	199.3	30	207.2	40	206.8

Implementación y Documentación

La Tabla 6 muestra los niveles de los parámetros para obtener un funcionamiento

del equipo de crimpado estable sin necesidad de controlar los factores de ruido considerados en el estudio.

Tabla 6. Parámetros de operación

Niveles de Operación	
Parametro	Nivel
Cierre de Mordazas (A)	17.5mm
Tiempo con las Mordazas Cerradas (B)	0.5seg
Presion de Aire (C)	75psi

Resultados

Se realiza una prueba de hipótesis para comparar la media de la fuerza especificada

contra la media de la fuerza después del diseño robusto de parámetros.

Prueba de hipótesis unilateral

$$H_0 : \mu_{Fuerza} = 150$$

$$H_1 : \mu_{Fuerza} > 150$$

Como se observa en la Tabla 7 que muestra los valores obtenidos de la prueba de hipótesis, el valor de P es de 0.000, por lo

que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la media de la fuerza con los parámetros de operación seleccionados con el estudio, es mayor a la fuerza especificada, en este caso 150lb.

Tabla 7. Prueba de hipótesis

One-Sample T: Fuerza								
Test of $\mu = 150$ vs > 150								
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	T	P	
Fuerza	40	202.74	13.22	2.09	199.22	25.23	0.000	

Conclusiones y recomendaciones

Se concluye que con los factores controlables posicionados en los niveles seleccionados por la metodología propuesta, se obtiene una media de la fuerza de desensamble de 202.74lb lo que representa un 35% por encima de la especificación.

Referencias

Box, George E.P., J. S. Hunter, W. G. Hunter, (2005). Statistics for Experimenters: Design Innovation and Discovery” 2nd Edition, Wiley-Interscience.

Evans, J. R., Lindsay, W. M., Fragoso, F. S., & Díaz, G. H. (2008). Administración y Control de la Calidad. CENGAGE learning.

Fowlkes W. Y. and Creveling C. M., (1995) Engineering Methods for Robust Product Design Addison-Wesley, Reading, MA.

Lawson, Madrigal, Erjavec, (1992) Estrategias Experimentales para el Mejoramiento de la Calidad en la Industria. Editorial Iberoamericana.

Lochner, Robert H., Matar, Joseph E., (1990) Designing For Quality, London: Chapman and Hall.

Montgomery D. (1996) Design and Analysis of Experiments. 4th Edition. Jhon Wiley & Sons,.

Peace, Glen, (1994) Taguchi methods” Addison Wesley.

Ross, P. J. (1988). Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design.

Roy, Ranjit K., (2001) Design of Experiments Using the Taguchi approach 16 Steps to Product and Process Improvement 1st Edition, John Wiley & Sons, Inc.