

Shina, Sammy. *Uso del método de Taguchi para incrementar la resistencia del pegamento RTV en operaciones de adherencia de partes y componentes*. Traducido del inglés por Jorge Acuña. *Tecnología en marcha*. Vol 10, no. 2, 1990. p. 3-7

USO DEL METODO DE TAGUCHI PARA INCREMENTAR LA RESISTENCIA DEL PEGAMENTO RTV EN OPERACIONES DE ADHERENCIA DE PARTES Y COMPONENTES**

Sammy Shina*

RESUMEN

El método de Taguchi es una variación de los métodos tradicionales de diseño de experimentos, utilizado para optimizar procesos en relación con sus especificaciones. En este caso, el método de Taguchi es usado para incrementar la resistencia de la unión en operaciones de adherencia con pegamento RTV. Es importante afirmar que esta técnica no requiere para su aplicación de gran conocimiento del proceso por optimizar. El método ha sido aplicado exitosamente en muchas plantas de Estados Unidos como herramienta de mejoramiento de la productividad, sobre todo en industrias automovilísticas y electrónicas. Este método fue desarrollado en Japón por el Dr. Genichi Taguchi, alrededor de 1950, con el objetivo de mejorar el diseño de producto como medio de lograr una mejor calidad.

INTRODUCCION

El método de Taguchi es una mezcla de varias técnicas desarrolladas en los últimos años para la optimización de procesos. Este método combina elementos de tormenta de ideas, diseño de experimentos, arreglos ortogonales, análisis de varianza y dos nuevos conceptos desarrollados por el Dr. Taguchi que son: **la función de pérdida y el indicador de la razón de ruido**¹.

La función de pérdida se define como *la pérdida económica provocada a la sociedad cuando las características funcionales del producto se desvían del valor objetivo deseado*. Esta es una definición negativa de calidad que agrega la pérdida de calidad una vez que el producto es enviado al mercado. Los diseñadores normalmente no calculan esta pérdida pues gran parte de la información necesaria no es recolectada o no está disponible. Esta pérdida puede ser cuantificada a través de costos de servicio y garantía necesarios para reparar productos defectuosos. Existen otros costos que forman parte de esta función pero cuya cuantificación es difícil o imposible, entre ellos: pérdida de mercado, insatisfacción del cliente y pérdida de ventas futuras.

El indicador de la razón de ruido, que también es conocido como reducción de variabilidad especialmente en el lenguaje militar de Estados Unidos de América, busca diseñar el producto o el proceso lo suficientemente robusto como para satisfacer las variaciones a que estará sometido, tanto interna como externamente. El ruido interno puede ocurrir durante el proceso de manufactura o el uso del producto y el externo proviene de factores que normalmente no están bajo el control del fabricante ni del consumidor.

Ejemplos comunes de ruido interno son aquellas condiciones debidas a almacenaje o uso normal, tales como pérdidas por desgaste y fricción de la maquinaria, cambios bruscos de temperatura, oxidación y corrosión.

Los ruidos externos son causados por condiciones en el mercado y usualmente son afectados por el ambiente en que se desenvuelve el producto, incluyendo factores como humedad, cambios de temperatura y otros que sobrecargan al producto más allá de las especificaciones escritas.

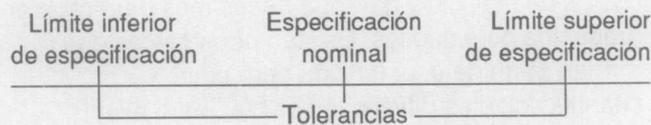
* Profesor Asociado
Industrial Technology Department
University of Lowell, Massachusetts

** Traducido del inglés por el Ing. Jorge Acuña A., MSC.
Profesor del Departamento de Producción Industrial del
Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Las compañías japonesas han logrado reconocimiento internacional por el alto nivel de calidad de sus productos, calidad que ha sido obtenida gracias al uso de diferentes métodos para mejorarla, entre ellos, el método de Taguchi.

Las compañías norteamericanas, ante el acoso de grandes competidores internacionales en el área de calidad, descubrieron que los japoneses podían lograr altos niveles de calidad, aún cuando fabricaran bajo especificaciones y normas norteamericanas. El secreto está en la reducción de variabilidad alrededor de la media cuando el producto es fabricado con exactas especificaciones. En términos estadísticos, esto significa tener una media centrada alrededor del valor objetivo con una desviación estándar muy pequeña.

El término aplicado a esta situación es el de relación media-desviación estándar con respecto a las especificaciones del producto. Esto se llama **índice de capacidad de proceso** y se define como la relación entre las tolerancias y la capacidad de proceso. Se puede representar así:



$$C_p = \frac{\text{Ancho de la especificación (o Tolerancia de diseño)}}{\text{Capacidad de proceso (o Variación total del proceso)}}$$

$$C_p = \frac{\text{LSE - LIE}}{6\sigma \text{ (Ambito total desde } -3\sigma \text{ hasta } +3\sigma)}$$

$C_p = 1,33$ Meta típica en Estados Unidos (63 PPM) con el proceso centrado

$C_p = 2$ Meta típica en Japón (0,002 PPM) con el proceso centrado

Si la media del proceso aumenta en $\pm 1,5\sigma$, las partes por millón llegan a 6210 PPM (en Estados Unidos) y 3,4 PPM (en Japón).

Para mejorar la capacidad del proceso, se requieren los esfuerzos conjuntos de diseñadores de producto y de proceso. Los diseñadores de producto deben incrementar al máximo las tolerancias permisibles sin afectar el funcionamiento exitoso del producto. Los diseñadores de proceso deben centrar el proceso para cumplir con el valor objetivo minimizando la variabilidad alrededor de éste. Lo

anterior puede lograrse con la aplicación del método de Taguchi.

EL METODO DE TAGUCHI

El método de Taguchi se basa en arreglos ortogonales también llamados Cuadros Latinos, los que poseen características únicas que favorecen el análisis. Estos arreglos se pueden estructurar en diferente número de niveles; sin embargo, los más usados son los de dos y tres niveles. Uno de sus atributos más importantes es que están balanceados: mientras el nivel es constante en una columna, todos los otros niveles en las otras columnas son rotados a través de todos los niveles. Ejemplos son L8 que está en un arreglo de dos niveles y L9 de tres niveles.

CUADRO 1. Arreglo ortogonal L8 por el método de Taguchi.

No. de experimentos	No. de niveles						
	No. de columnas (máximo No. de factores)						
L8 (2 ⁷)	ARREGLO ORTOGONAL						
No.	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Usando el balance del arreglo que se muestra como Cuadro 1, podemos determinar los efectos de los factores eficientemente. N factores a dos niveles normalmente requerirán 2^N experimentos. Usando arreglos ortogonales, podemos ejecutar experimentos maximizados con N+1 experimentos. Por ejemplo, en el arreglo L8, podemos ejecutar todo experimento para siete factores en ocho experimentos versus 2⁷ o 128 experimentos. Para un arreglo L9 (Cuadro 2), la comparación es nueve experimentos versus 81 según la experimentación tradicional.

CUADRO 2. Arreglo ortogonal L9 por el método de Taguchi.

L9 (3 ⁴)		ARREGLO ORTOGONAL				
EXP. No.	A	B	C	D	RESULT	
1	1	1	1	1	Y1	
2	1	2	2	2	Y2	
3	1	3	3	3	Y3	
4	2	1	2	3	Y4	
5	2	2	3	1	Y5	
6	2	3	1	2	Y6	
7	3	1	3	2	Y7	
8	3	2	1	3	Y8	
9	3	3	2	1	Y9	

En el arreglo de experimentos L9, son necesarios nueve experimentos para ejecutar la maximización de cuatro factores en tres niveles. Nótese que el promedio de los tres primeros experimentos, Y1, Y2 y Y3, es el promedio de rendimiento del producto o proceso cuando se selecciona el nivel 1 del factor A. El promedio de Y2, Y5 y Y8 es el efecto de seleccionar el nivel 2 del factor B. En resumen, el promedio de las doce combinaciones posibles (factores A,B,C, y D y sus niveles 1, 2 y 3) es evaluado con el fin de obtener el mejor resultado para las especificaciones del proceso o producto.

EL EXPERIMENTO DE RESISTENCIA DE ADHERENCIA. ESTUDIO DE CASO

Las partes en este proceso son pegadas mediante un sistema de alta tecnología. El pegamento RTV fue seleccionado como agente adherente con parámetros seleccionados arbitrariamente para la etapa de prelimpieza y temperatura de curado después de la aplicación de RTV. El estudio obedece a que el producto no está teniendo un adecuado comportamiento en el mercado, pues las partes se separan al usarlo. Se aplicó el método de Taguchi para optimizar el proceso, elevando la resistencia de adherencia. La resistencia de la unión se midió con un aparato especial comúnmente usado para determinar la presión máxima aplicada antes de que dos partes se separen debido a la presión externa.

PREPARACION DEL EXPERIMENTO

Se decidió en este caso usar un arreglo ortogonal de tres niveles, ya que se desea iniciar con

el nivel actual catalogándolo como medio y luego variar los niveles hacia arriba o hacia abajo para observar los correspondientes efectos. Los cuatro factores considerados en un arreglo L9 fueron:

- **La temperatura de curado:** se usó en 30°C (temperatura ambiente), 50°C (nivel actual de temperatura del horno) y 70°C (un valor más alto de temperatura del horno).
- **La limpieza ultrasónica;** método que es usado en una etapa de prelimpieza de las partes, se aplicó durante 1, 3 y 5 minutos, siendo 3 minutos el tiempo usado actualmente.
- **El volumen de RVT:** usando diferentes cabezas de aplicación, se varió alrededor del volumen usado actualmente, el cual es 1,7 cm³. Los valores usados fueron 1,2; 1,7 y 2,5 cm³.
- **El tipo de limpiador químico** usado para la limpieza ultrasónica fue variado del usado actualmente –Metileno (MET)–, a otros limpiadores tales como Metil Etil Ketona (Mek) y agua (H₂O).

El experimento de Taguchi fue diseñado en la forma que lo muestra la matriz del Cuadro 3.

CUADRO 3. Arreglo ortogonal para el experimento de resistencia de adherencia.

L9 (3 ⁴)		ARREGLO ORTOGONAL				
Exp. No.	A	B	C	D	Presión*	
1	30	1	1,2	H ₂ O	11,5	
2	30	3	1,7	MET	22,7	
3	30	5	2,5	MEK	22,6	
4	50	1	1,7	MEK	19,0	
5	50	3	2,5	H ₂ O	28,5	
6	50	5	1,2	MET	24,0	
7	70	1	2,5	MET	25,1	
8	70	3	1,2	MEK	30,3	
9	70	5	1,7	H ₂ O	33,3	

- * Presión necesaria para separar las piezas, se da en libras
- A= Temperatura de curado 30°C 50°C 70°C
- B= Tiempo de limpieza 1 3 5 minutos
- C= Volumen de RVT 1,2 1,7 2,5 cm³
- D= Limpiador usado H₂O MET MEK

Nótese que hay nueve experimentos, en los cuales cada línea de experimento es una combinación única de factores seleccionados antes de la experimentación. Así, en el experimento número tres los valores usados fueron: 30°C para temperatura de curado, 2,5 cm³ para volumen de RTV, Metil Etil Ketona como limpiador y 5 minutos para tiempo de limpieza. El resultado fue una unión que necesitó 22,6 libras de presión para separarse.

ANALISIS DE DATOS

En este experimento, el análisis de datos fue muy simple y requirió del uso de una calculadora. Los efectos de cada nivel fueron sumados y tabulados, como se muestra en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Datos del experimento.

A1= RESULTADOS DE EXPERIMENTOS

$$1 + 2 + 3 = 11,5 + 22,7 + 22,6 = 56,8$$

	A	B	C	D
NIVEL 1	56,8	55,6	65,8	73,3
NIVEL 2	71,5	81,5	75,0	71,8
NIVEL 3	88,7	79,9	76,2	71,9
TOTAL	217,0	217,0	217,0	217,0

Como se puede observar fácilmente, el promedio más alto para cada factor es seleccionado, de tal manera que la resistencia de la unión puede ser maximizada. En este caso, el máximo se da para A3 (70°C), B2 (3 minutos), C3 (2,5 cm³ de volumen de RTV) y D1 (agua para el baño ultrasónico). Se puede observar que:

1. El factor más importante es la temperatura de curado puesto que es el que causa el mayor cambio
2. El factor de menos importancia es el detergente químico puesto que el usarlo o no usarlo no causa diferencia significativa

3. Es imposible cometer errores matemáticos pues la mejor prueba es que la suma de los promedios de cada nivel es igual a 217,0.
4. La combinación del mejor factor seleccionado de los cuatro factores no se encuentra en la matriz del arreglo L9.
5. La resistencia promedio obtenida usando los factores seleccionados puede ser estimada si se suman los promedios de los cuatro factores, o sea $88,7 + 81,5 + 76,2 + 73,3 = 319,7/9 = 35,5$. Esto representa aproximadamente un 50% de incremento sobre el promedio de todos los experimentos.

CONCLUSIONES

Como se puede observar, el método de Taguchi puede rápida y fácilmente optimizar un proceso o un producto usando técnicas estadísticas muy simples. Por otro lado, no es necesario tener un conocimiento profundo de las características físicas y químicas del proceso o producto que va a ser optimizado.

Este ejemplo ilustra cómo la media de un proceso puede ser llevada hasta el nivel deseado (en este caso el máximo posible). Un proceso similar puede ser aplicado para optimizar la variabilidad o lo que el Dr. Taguchi llama indicador de la razón de ruido. En este caso, varios productos deben ser probados para cada línea de experimento (cuatro es el número preferido), y entonces los resultados pueden ser maximizados reduciendo la varianza en forma opuesta al procedimiento usado en este caso de estudio.

Nota:

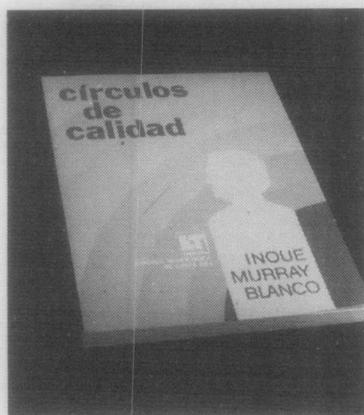
1. *Signal to noise ratio*; en algunas traducciones este concepto se encuentra como "análisis señal/ruido".

LITERATURA SUGERIDA SOBRE EL METODO DE TAGUCHI

1. Barker, Thomas B. *Quality engineering by design: Taguchi's Philosophy. Quality Progress*, December, 1986, 32 p.

2. Kackar, Raghu N. *Off-line quality control, parameter design and the Taguchi method*. **Journal of Quality Technology**, Vol. 17, No. 4, October 1985, 176p.
3. Kackar, Raghu N. *Taguchi's quality philosophy: analysis and commentary*. **Quality Progress**, December, 1986, 20p.
4. Taguchi, Genichi. **Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes**, Asian Productivity Analysis, White Plains, New York: Krauss Internacional Publications, 1986.

CIRCULOS DE CALIDAD



La administración moderna tiene, entre sus mayores preocupaciones, procurar el logro efectivo de las metas de la empresa; sin embargo, poco a poco se ha alcanzado consenso en cuanto a que estas

metas no pueden ser solo económicas, sino que deben involucrar al trabajador

El viejo sistema de administración vertical estricta ha tenido que ceder el paso a un nuevo concepto en que el bienestar del trabajador también ha de ser considerado, ya que de su identificación con los objetivos de la empresa depende su productividad.

Formulado inicialmente en Japón, existe un concepto que cada vez gana más popularidad y que comúnmente es denominado círculos de calidad, según el cual, el trabajo es visto por el individuo con entusiasmo, cuando se le da oportunidad de aportar en el desarrollo de la empresa. Este aporte debe darse en forma ordenada mediante técnicas de trabajo grupal, en las que los diferentes individuos enriquecen la

visión de las opciones de solución a las diferentes circunstancias.

Con los círculos de calidad se da un enfoque más humano a la administración, donde la preocupación es el desarrollo de la creatividad, productividad y calidad que, como en espiral, permite a las personas realizarse y alcanzar niveles superiores de satisfacción en su trabajo y en sus vidas.

La Editorial Tecnológica de Costa Rica se enorgullece de ofrecer a la comunidad la interesante obra **CIRCULOS DE CALIDAD: EL ENFOQUE ESPIRAL PARA AUMENTAR LA CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y CREATIVIDAD**, escrito conjuntamente por Michael Inoue, Donald Murray y Rodolfo Blanco. Los autores reúnen, además de una formación académica en ingeniería industrial y en ciencias sociales, una amplia experiencia en la implantación, desarrollo y seguimiento de círculos de calidad, lo que les ha permitido elaborar un material rico en conceptos y, al mismo tiempo, sumamente práctico y aplicable a nuestra realidad, adecuadamente ilustrado con cuadros, figuras y ejemplos.

Por su estilo llano y agradable esta obra es apropiada para estudiantes, profesionales, empresarios y cualquier persona interesada en profundizar su comprensión de esta interesante técnica de gerencia.



EDITORIAL TECNOLÓGICA DE COSTA RICA
Impulsando el desarrollo científico y
tecnológico nacional

