PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS TAGUCHI A LAS PYMES

Ing. Juan Cevallos Ampuero
Ms. Sc. Javier Del Carpio Gallegos

RESUMEN

El presente artículo pretende plantear una propuesta que permita aplicar los métodos Taguchi en la mejora de los procesos productivos de las pequeñas y medianas empresas. En esta oportunidad se presenta el marco teórico de una metodología que ha sido simplificada, en otra oportunidad se presentará la aplicación de casos prácticos.

ABSTRACT

The present article seeks to outline a proposal that allows to apply the methods Taguchi in the improvement of the productive processes of the small and medium companies. In this opportunity the theoretical mark of a methodology is presented which has been simplified, in later opportunity it will be presented the application of practical cases.

" De los Métodos Taguchi los aspectos más importantes que se pueden aplicar a las PYMES son: los Arreglos Ortogonales..."

INTRODUCCIÓN

1. Los Métodos Taguchi son una técnica que permite simplificar la aplicación del diseño de experimentos para el desarrollo de nuevos productos y procesos y para mejorar los existentes.

2. Los Métodos Taguchi han sido desarrollados por el Dr. Genichi Taguchi, del Japón. Para ello se ha basado en los conceptos relativos a los Diseños de Factoriales Fraccionales. En concreto los diseños propuestos por Taguchi son diseños factoriales fraccionales seleccionados de manera especial a fin de poder obtener resultados adecuadamente confiables.

3. Los Métodos Taguchi comprenden tres aspectos fundamentales que son: La Función Pérdida, Arreglos Ortogonales y Diseño de Parámetros.

4. La Función Pérdida es un concepto que indica que la calidad es la pérdida que un producto causa a la sociedad después de despachado. Por tanto de lo que se trata es de minimizar la pérdida para la sociedad. La representación gráfica de la función pérdida viene dada por la parábola, y su representación matemática por la ecuación de la parábola. El aporte de esta propuesta está en que relaciona la calidad con el valor monetario y por otra parte permite calcularlo.

5. Los Arreglos ortogonales, son matrices que representan diseños de experimentos a realizar que en la práctica son diseños factoriales fraccionales, y que permiten obtener conclusiones sobre productos o procesos con un mínimo de pruebas. Al respecto Taguchi establece toda una metodología muy sencilla para realizar los cálculos respectivos.

6. El Diseño de Parámetros consiste en establecer los niveles de los parámetros después de que el sistema ha sido decidido. El Diseño comprende 3 fases de Diseño: del Sistema, de parámetros (en sí) y de tolerancias. Las dos primeras fases se ejecutan con base a los Arreglos Ortogonales.

7. De los Métodos Taguchi los aspectos más importantes que se pueden aplicar a las PYMES son: los Arreglos Ortogonales, a fin de poder ejecutar los Diseños de Sistema y de Parámetros. Con los resultados respectivos se toman las decisiones pertinentes.

8. Con base a la información existente sobre los Métodos Taguchi y con un conjunto de pruebas realizadas he podido establecer una metodología adecuada para las PYMES, la cual se describe a continuación.

PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS TAGUCHI A LAS PYMES

Luego de analizar la información bibliográfica se ha determinado la siguiente metodología de aplicación de los Métodos Taguchi a las PYMES:

Paso 1. Plantear el Problema.

Paso 2. Diseño del Experimento.

Paso 3. Realizar las pruebas.

Paso 4. Analizar los Resultados.

Paso 5. Confirmación de los Resultados.

METODOLOGIA DE APLICACIÓN DE LOS METODOS TAGUCHI EN LAS PYME
1.PLANTEAR EL PROBLEMA
2.DISEÑO DEL EXPERIMENTO
3.REALIZAR LAS PRUEBAS
4.ANALIZAR RESULTADOS
5.CONFIRMACION DE RESULTADOS

Las acciones de cada paso y su detalle son:

Paso 1. Plantear el Problema.

1. Determinación del Producto o Proceso objeto de mejora y describir sus características.
2. Determinar la (s) Característica (s) de Calidad y su unidad de medida que se espera mejorar (variable dependiente). Ello se puede hacer usando el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.
3. Determinar los factores controlables e interacciones y factores no controlables, y sus niveles; que afectan a la característica de calidad. Ello se puede hacer mediante el diagrama causa – efecto o alguna técnica similar.

PASO 1.PLANTEAR EL PROBLEMA		
1. PRODUCTO O PROCESO	2. CARACTERISTICA DE CALIDAD	3. FACTORES CONTROLABLES Y NO CONTROLABLES

Paso 2. Diseño del Experimento.

1. Selección del Arreglo Ortogonal AO apropiado (del conjunto de AO propuestos por Taguchi

   Ello se realiza con las siguientes acciones:

   1° Determinar los grados de libertad requeridos: g.l. = grados de libertad.

   a) g.l. requeridos para cada factor = N° niveles que tiene menos 1.
   b) g.l. requeridos para una interacción = producto de los g.l. de los factores interactuantes.

   Total de g.l. requeridos (como mínimo) = suma de los g.l. para cada factor + g.l. para cada interacción.

   2° Grados de libertad disponibles por un AO: el total de g.l. disponibles por un AO es igual al N° de pruebas menos 1.

   Regla 1. Los g.l. disponibles en un AO deben ser mayores o iguales que la sumatoria de los g.l. de los factores e interacciones.

   Regla 2. Si el N° de g.l. requeridos cae entre los g.l. disponibles de 2 AO; se escoge el mayor valor.

2. Ubicación de Factores y/o Interacciones en las columnas.
   Para ello se usan los Gráficos Lineales y Tablas Triangulares, propuesto por Taguchi :

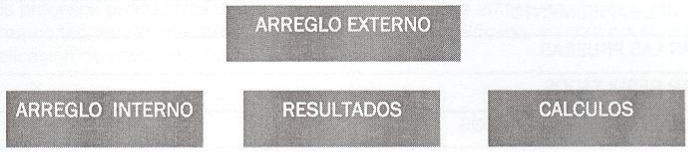
   a) Cada AO tiene uno o varios gráficos lineales y una tabla triangular asociada.
   b) Los gráficos lineales indican las columnas en las cuáles los factores e interacciones pueden ser asignados. En dichos gráficos cada círculo representa el N° de columnas disponibles para un factor; y cada línea representa el N° de columnas disponibles para la interacción de los 2 factores asignados a los extremos.
   c) Las Tablas Triangulares listan todas las posibles relaciones de columnas de interacción que existen en un AO; en los costados están los factores y en el centro las interacciones.
   d) El Poder de Resolución de un Diseño Experimental indica la claridad con la cual

los factores individuales e interacciones pueden ser evaluados en un experimento. Resolución 4 es mejor que Resolución 3., y así sucesivamente.

e) Si todos los efectos y todas las interacciones tienen columnas asignadas y se adiciona un efecto principal, luego se confunde automáticamente dicho efecto principal con la interacción que estaba en la columna que se le ha asignado. Cosa parecida ocurre con las otras columnas e interacciones. Si hay más confusiones habrá menor Resolución.

Nota.- Si un gráfico no se ajusta a lo requerido; los gráficos se pueden modificar.

3. Arreglo Interno y Externo
   a) El Arreglo Interno es para factores controlables y el Arreglo Externo es para factores no controlables.
   b) El Arreglo Interno se coloca al lado izquierdo y el Arreglo Externo se coloca en la parte superior; formándose un "producto de arreglos ortogonales". El número de resultados viene dado por el producto de ambos arreglos ortogonales.



2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO		
1. SELECCIÓN ARREGLO ORTOGONAL	2. UBICACIÓN DE FACTORES E INTERACCIONES EN COLUMNAS	3. ARREGLO INTERNO Y EXTERNO

Paso 3. Realizar las Pruebas.

a) Las condiciones para realizar las pruebas son establecidas por las filas.
b) Son convenientes las repeticiones. Si cada prueba es muy costosa se recomienda sólo hacer una repetición. Sino, hacer al menos 2 ó más.
c) La aleatorización protege de cualquier factor desconocido o no controlado.

Paso 4. Analizar Resultados.

Para ello se deben calcular:

1. $\bar{Y}$, s^2 y S/N para cada fila. Pueden presentarse con factores de ruido o sin factores de ruido.

Las ecuaciones a utilizar son las de:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Y_i}{n}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1};$$

O con otras fórmulas equivalentes sobre la variancia

S/N =

Si menor valor lo mejor:

$$S/N = -10 \log \frac{\sum Y_i^2}{n}$$

Si mayor valor lo mejor:

$$S/N = -10 \log \frac{\sum 1/Y_i^2}{n}$$

Si valor objetivo lo mejor:

$$S/N = 10 \log (Y^2/ s^2)$$

2. Calcular los efectos de cada factor e interacción y ecuación de predicción y gráficos.

   Los efectos de cada factor e interacción se calculan luego de realizar todos los experimentos. Se suman los resultados de cada experimento que corresponden a un determinado nivel del factor y se comparan con los de otro (s) nivel (es) del mismo factor. Si sólo son dos niveles basta con restar, y la diferencia da la magnitud del efecto. A mayor diferencia: mayor efecto. Si son 3 o más

niveles, restando los extremos (el mayor menos el menor) se obtiene la magnitud del efecto. Los efectos se pueden considerar significativos y no significativos, dependiendo de la magnitud de la diferencia.

3. Elaborar la curva de probabilidad normal de los factores (para determinar factores signficativos).

La curva se construye siguiendo los pasos siguientes:

1o. Los datos se ponen en orden ascendente.

2o. Se calcula (j-.5)/n y se completa la tabla de datos:

j	Xj	(j-.5)/n
1		
2		
...		

3o. Los pares Xj y (j-.5)/n se grafican en papel de probabilidad normal; Xj en la horizontal y 100 (j-.5)/n en la vertical derecha. La gráfica puede construirse sobre papel gráfico ordinario graficando los valores normales estandarizados Zj contra Xj donde los valores normales estandarizados satisfacen: (j-.5)/n = P (Z £ Zj) = Þ (Zj)

4o. Una línea recta se dibuja a partir de los puntos graficados.

5o. Los puntos que caen lejos de la recta son considerados que no siguen la distribución normal, y por tanto se estima que son significativos sus efectos.

4. Análisis de Variancia ANVA de los factores. Determinar los efectos significativos, corroborando o no las gráficas de probabilidad normal.

Se realiza siguiendo los lineamientos de elaboración de los ANVA de los textos de Diseño de Experimentos. El esquema de la tabla de ANVA a elaborar es:

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE LA SUMA DE CUADRADOS	F
A				
B				
AB				
...				
ERROR				
TOTAL				
ERROR AGRUPADO				

Los Grados de Libertad son iguales al número de niveles del factor menos 1.

La Suma de Cuadrados se calcula siguiendo los lineamientos estadísticos respectivos. Por ejemplo: sea el factor A que tenga 2 niveles; se suman todos los resultados obtenidos con el nivel A1 y se les resta la suma de todos los resultados obtenidos con el nivel A2; dicho valor se eleva al cuadrado y luego se divide entre el número de experimentos.

La Media de la Suma de Cuadrados se calcula dividiendo la Suma de Cuadrados entre los grados de libertad.

Cuando hay valores asignados a todas las columnas la Media de la Suma de Cuadrados del Error puede ser estimada con base a los factores no significativos (Error Agrupado).

Para determinar la significancia se calculan los valores de F dividiendo la Media de la Suma de Cuadrados respectiva entre el valor del Error Agrupado. Dicho F calculado se compara con el F tabular con 99% y 95% de confianza.

"Los Arreglos ortogonales, son matrices que representan diseños de experimentos a realizar y que permiten obtener conclusiones sobre productos o procesos con un mínimo de pruebas"

5. DEFINICION DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANALISIS DE DATOS Y CALCULO DE ECUACION DE PREDICCION

Luego de haber desarrollado de 1 a 4 se procede a definir los factores con efectos significativos.

Seguidamente se determina la ecuación de predicción, sólo con los factores significativos.

Se elabora la ecuación de predicción de la forma:

$$m = \bar{T} + (\bar{Ax} - \bar{T}) + (\bar{Dy} - \bar{T}) \ldots.$$

Con la información obtenida se tiene: la propuesta de niveles óptimos de los factores, el conocimiento de los factores significativos y no significativos, y la ecuación de predicción.

4. ANALIZAR RESULTADOS			
1. CÁLCULO DE Y, s^2 y S/N	2. CÁLCULO DE EFECTOS	3. GRÁFICA DE PROBABILIDAD NORMAL	4. ANVA
5. DEFINICIÓN DE EFECTOS SIGNIFICATIVOS, ANÁLISIS DE DATOS Y CÁLCULO DE ECUACIÓN DE PREDICCIÓN			

"Los Métodos Taguchi son una técnica que permite simplificar la aplicación del diseño de experimentos para el desarrollo de nuevos productos y procesos y para mejorar los existentes."

Paso 5. Confirmación de Resultados.

Con base a la información obtenida en el paso anterior, se procede a diseñar por lo menos dos pruebas con los niveles óptimos encontrados.

Luego se realizan las pruebas, y los resultados y el valor calculado de S/N se compara con los obtenidos anteriormente en las tablas y en la ecuación de predicción.

Nota.- Es de destacar que los resultados pueden implicar una sola característica o más de una.

P.D.: En una próxima publicación se presentará un ejemplo práctico de la metodología propuesta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se ha desarrollado una metodología para la aplicación de los Métodos Taguchi para la pequeña empresa, la misma que se ha probado satisfactoriamente.

2. La metodología desarrollada requiere que las personas que la apliquen conozcan el tema que se investiga a fin de poder determinar los efectos, sus niveles y las interacciones a contemplar.

3. Los pasos que comprende la metodología se han precisado en detalle en la propuesta y provienen de la revisión de literatura revisada, y las opiniones y criterios del autor. La metodología desarrollada es una simplificación de la metodología completa de los Métodos Taguchi. No se contrapone a las propuestas de Taguchi, sólo selecciona los aspectos fundamentales, evitando refinamientos de cálculo y análisis mayores que se consideran no indispensables para las pequeñas empresas.

4. Se recomienda usar la metodología a los pequeños empresarios, asesores y consultores de pequeñas empresas que quieran mejorar sus procesos y/o sus productos o servicios.

5. En los casos que tengan mayor complejidad se puede aplicar la metodología en etapas sucesivas, obteniendo resultados iniciales que permiten refinar el análisis posterior.

6. Se recomienda la realización de programas de mejora de procesos y productos para las PYMES, utilizando la metodología desarrollada.

7. La enseñanza de la metodología desarrollada y de las técnicas de diseño de experimentos para los profesionales de ingeniería; tanto a nivel de pre grado como de post grado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anand, K.N. "Improving Parafin Wax Yield Through Process Optimization Using Taguchi´s Method of Experimentation" Quality Engineering 1993, Páginas 39-56. Bangalore. India.

2. Box, G., Bisgard, S. y Fung C. "An Explanation and Critique of Taguchi´s Contributions to Quality Engineering". Quality and Reliability Engineering International. 1988. Páginas 123-131. Wisconsin. EEUU.

3. Hedayat.A.S. "Compound Orthogonal Arrays". Technometrics. American Society for Quality ASQ and American Statistical Association. February 1999. Virginia. EEUU.

4. Kackar , R. N. " Off-Line Quality Control, Parameter Design and Taguchi Method ".. Journal of Quality Technology. Octubre 1985. Páginas 176-209.Holmdel. EEUU.

5. León, R.V. y Wu C.F.J. "A Theory of Performance Measures in Parameter Design". Editorial The Institute for Improvement in Quality and Productivity of the University of Waterloo. 1989. Ontario. Canadá.

6. Nair, V.N., et al. "Taguchi´s Parameter Design: A Panel Discussion". Editorial The Institute for Improvement in Quality and Productivity of the University of Waterloo. 1992. Ontario. Canadá.

7. Peace G.S. "Taguchi Methods" . Editorial Addison Wesley. Massachusetts. 1993. EEUU.

8. Phadke M.S. y Dehnad K. "Optimization of Product and Process Design for Qualityand Cost". Quality and Reliability Engineering International. 1988. Páginas 105-112.Holmdel. EEUU.

9. Ross, Phillip J. "Taguchi Techniques for Quality Engineering". Editorial Mc Graw Hill.1988. New York. EEUU.

10. Taguchi, G. y Konishi S. "Taguchi Methods. Orthogonal Arrays And Linear Graphs". Editorial American Supplier Institute. 1987. Michigan . EEUU.

11. Taguchi, G. y Phadke M.S.. " Selection of Quality Characteristics and S/N Ratios for Robust Design". Proceedings of IEEE Globecom-87.1987. Páginas26.3.1-6.Holmdel y Tokio. EEUU y Japón.

12. Taguchi, Genichi. "Introduction to Quality Engineering.". Editorial Asian Productivity Organization. 1986. Tokio. Japón.