

COMENTARIOS SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DE LA GESTIÓN DE CALIDAD¹

El siguiente artículo aborda grosso modo el enfoque de la Gerencia de la Calidad Total haciendo mención de las herramientas estadísticas más recientes con especial énfasis en el enfoque de Taguchi.

Palabras claves: Herramientas de calidad, Taguchi, función de pérdida, señal de ruido.

Autor: Andrés Eduardo Reyes Polanco.²

“ el autor se reserva todos los derechos de reproducción total o parcial de su obra por cualquier medio ”

1.- INTRODUCCIÓN:

La escasez cada vez mayor de los recursos naturales, el vertiginoso desarrollo tecnológico consecuencia de los descubrimientos científicos de las últimas décadas y las exigencias de la sociedad cada vez más marcada en cuanto a la calidad de bienes de consumo y servicios ha conducido a la revisión y modificación de los conceptos más tradicionales de la gestión.

Ya no es posible seguir gestionando con conceptos y principios que conducen a la empresa a mantener niveles de desperdicios en más del 20% de su producción de bienes o prestación de servicios.

La gestión ineficiente e ineficaz trae como consecuencias: un mal uso de los recursos y de las más modernas tecnologías, desperdicio de recursos humanos y materiales; horas hombre perdidas por falta de un buen entrenamiento o, por desconfianza en la capacidad creativa de los empleados para resolver problemas; desecho por un mal diseño del producto o por mal control de los procesos; rerechuras, sobre inventarios, etc.

Esta forma de gestionar la empresa la lleva inexorablemente a la quiebra, hay muchos ejemplos de estos resultados tanto a nivel nacional como internacional.

¹ Publicado en Investigación y Gerencia Vol 6; Enero-Marzo 1991

² Profesor Asociado UCV.

Contrariamente a la gestión ineficiente e ineficaz ha surgido una nueva forma cuyos resultados se evidencia en algunas empresas japonesas y americanas que empiezan a ser paradigmas en calidad de gestión.

Sin ir muy lejos, ya existen serios esfuerzos a nivel nacional tanto de empresas privadas como empresas del Estado. Se puede citar dentro de estas últimas las filiales de P.D.V.S.A.. Podemos contrastar estas dos formas de gestionar con un hecho narrado como histórico por Gitlow H. et al (L.3): Una empresa norteamericana pidió a un fabricante japonés un tipo de piezas; el número de defectuosas aceptables sería de tres unidades por cada diez mil. El pedido fue recibido con el siguiente comentario:

“A los japoneses nos cuesta mucho comprender las prácticas comerciales norteamericanas. Sin embargo hemos incluido las tres piezas defectuosas por cada diez mil, en paquetes separados. Esperamos haberlos complacidos”

Mucho se ha hablado del éxito japonés y, como algunas empresas norteamericanas como la Ford, IBM, etc.; están contratando los mismos asesores que contribuyeron al “milagro” japonés.

De acuerdo a los textos y revistas especializadas que comentan los logros alcanzados, la clave está en la calidad, en el mejoramiento continuo.

Este mejoramiento continuo empieza desde el proveedor hasta el cliente y este último es el que da la pauta de lo que es calidad.

La frecuencia de reclamos, la pérdida de mercado es un reflejo de lo que piensa el cliente sobre la calidad del bien o servicio que se le ofrece.

La baja calidad de un bien o servicio se debe a la variabilidad existente desde el diseño, proceso y recursos, y la única forma de detectar la presencia de variabilidad es a través de las herramientas estadísticas.

Una vez detectada la variabilidad y sus posibles causas es necesario reducirla. Esta reducción es posible hacerla por varias vías: 1) Uso del sentido común. 2) Uso de las herramientas provenientes de la Investigación de Operaciones. 3) Diseño de parámetros del cual comentaremos más adelante. En honor a la verdad, la utilización de herramientas estadísticas para producir bienes con calidad controlando los procesos nace en E.E.U.U..

La clasificación de las causas de variación (específicas y aleatorias) y la creación de las gráficas de control tienen la paternidad de W.A. Shewhart.

Posteriormente, se desarrollaron técnicas de muestreo (muestreo de aceptación) bajo diferentes criterios (favoreciendo al fabricante o al cliente) que permiten decidir sobre la

calidad de los producido. Como dato curioso se llegó a tener como un secreto, durante la Segunda Guerra Mundial: el análisis secuencial (ver Duncan (L.2)).

Estas herramientas fueron enseñadas a los japoneses por Deming y Juran entre otros.

Pero lo importante es, que Japón (o muchas de sus empresas) incorporó no solo las herramientas que al final no son sino eso: “herramientas”, sino que tomaron como filosofía de gestión de la empresa: la calidad. Calidad en el sentido sistémico en la producción de bienes o prestación de servicios.

Las herramientas son útiles en tanto y cuanto estén al “servicio” de un paradigma, y este no es otra cosa que la gestión de la Calidad Total.

II.- BREVE COMENTARIO SOBRE LOS PRINCIPIOS BASICOS:

En la Escolástica existía cierta costumbre, posiblemente aristotélica de la petitio principia. Esto es, hemos estado hablando de calidad, pero ¿Qué es calidad?

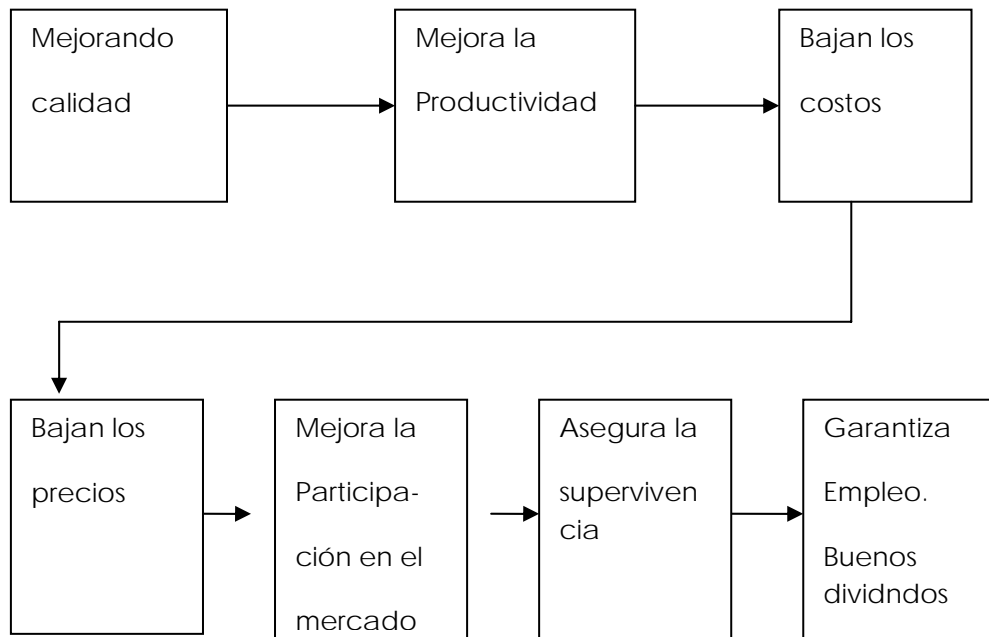
Existen diferentes definiciones de calidad. Nosotros enumeraremos tan solo algunas, el lector puede consultar a Juran (L.5) o cualquier otro texto para ampliar la lista. Calidad es:

- 1.- Cumplimiento con las especificaciones previamente definidas
(¿por quién?) de bienes y servicios.
- 2.- Cero defectos.
- 3.- Totalidad de propiedades y características de un producto o servicio que mejoran las habilidades de los mismos para satisfacer necesidades dadas.
- 4.- La define el cliente.

Nosotros, definitivamente nos inclinamos por la última alternativa. El cliente es el que nos indicará si el producto o servicio es de buena calidad y muy posiblemente en su actitud frente a lo que lo ofrecemos dependerá de su nivel cultural, de elementos psicológicos etc. La variabilidad de su respuesta solo es posible detectarla mediante herramientas estadísticas.

En otras palabras, las especificaciones ya no las fija el ingeniero a solas en su oficina sin comunicación del mundo que lo rodea. En esas especificaciones juega un rol importante el cliente no por un sentido hedónico sino por una necesidad económica y social.

Muchos gerentes piensan que producir con calidad implica disminuir la productividad cuando lo hechos evidencia que es lo contrario: aumento de la calidad aumente la productividad. El Dr. Deming (L.1) nos presenta la siguiente reacción en cadena:



Sobre el particular, existen varios libros traducidos al español: Gillow et al (L.3), Walton M. et al (L.6) que comentan ampliamente el enfoque del Dr. Deming.

La otra pregunta obligada es: ¿Qué es Calidad Total?. Calidad total es hacer participar mediante concientización, voluntad, liderazgo a todos los integrantes de una empresa en satisfacer las necesidades del cliente (externo o interno) utilizando como herramientas las Estadística y en ocasiones la Investigación de Operaciones.

III.- HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.

Cualquier proceso, bien sea administrativo (elaboración de factura, reportes, evaluación de personal, etc.) o de producción de bienes tiene una variabilidad asociada. Esto es, al repetir los eventos bajo las “mismas” condiciones nunca será posible obtener exactamente los mismos resultados. La calidad será inversamente proporcional (o más que proporcional en algunos casos) a la variabilidad externa o propia del sistema.

Esta variabilidad puede presentarse durante el diseño o durante el proceso. De aquí que se hable de control “off line” y control “in line”.

La responsabilidad mayor en cuanto controlar esta variabilidad recae en la alta gerencia, la cual decide cuales cambios debe introducir en el sistema.

Las herramientas estadísticas utilizadas en la gestión de la calidad comprende siguiendo a Mac Gregor J. et al (A.5) 1) diseño optimal, 2) métodos de superficie de respuesta 3) análisis multivariante, 4) estimación multivariante y no lineal, 5) análisis de serie de tiempo, además, siguiendo a Taguchi (A.13) y Box G. (A.3) diseño de parámetro, construcción de señales de ruidos, etc.

Actualmente existen contribuciones recientes en cuanto a las graficas de control y muestreo de aceptación se refiere. En cuanto a las gráficas de control existen revisiones a las ya clásicas de Shewart e innovaciones como las de Beneke et al (A.2) que se basa en análisis espectral y que permite detectar mejor que la ya clásica de \bar{X} , R de Shewart la existencia de ciclos recursivos los cuales pueden deberse a variaciones estacionales en el material utilizado, eventos químicos, mecánicos o psicológicos que se presentan semanal o mensualmente; rotación periódica de personal etc.; igualmente está la gráfica cusum multivariante de Healy etc..

Realmente el interés se centra cada vez más en aquellas herramientas que están asociadas al diseño del producto o servicio y al proceso del mismo más que aquellas herramientas que permiten detectar las deficiencias al final del proceso del tal suerte, que el muestro de aceptación ha perdido vigencia salvo en aquellos casos que la empresa está en situación de caos. Para este caso puede verse el trabajo de Orsini J.(A.6).

La razón de ese desinterés mostrado recientemente por el muestro de aceptación es porque este representa lo que es la medicina curativa, mientras el estudio del diseño y proceso corresponde a la medicina preventiva y en esa onda está el diseño de parámetro. Esto último nos obliga extender aunque sea someramente en el enfoque de Taguchi.

IV.- ENFOQUE TAGUCHI.

Empezaremos el comentario sobre Taguchi puntualizando que hasta donde conocemos no existe en Venezuela ninguna experiencia, no así en la industria japonesa y algunas empresas norteamericanas concretamente Xerox Corp.

El conocimiento sobre Taguchi en Norteamérica es muy reciente (finales de los ochenta) y posiblemente en Europa sea aún menos conocido.

Sin embargo, de la lectura hecha sobre este autor creemos que abre grandes horizontes tanto a nivel práctico como teórico de la gestión de la calidad de ahí el por qué le dedicamos una buena parte de este trabajo.

Los aportes hechos por el Dr. Taguchi (A.13) en el área del Control Estadístico de Calidad se pueden dividir en:

- 1) Diseño de sistema
- 2) Diseño de parámetro
- 3) Diseño de tolerancia

- 1) El diseño del sistema es el procedimiento de aplicar el conocimiento científico para producir un diseño prototipo funcional básico el cual su calidad puede ser lograda inicialmente con cierta independencia de la calidad de los insumos.

El modelo prototipo define el soporte inicial del producto o características del diseño del producto.

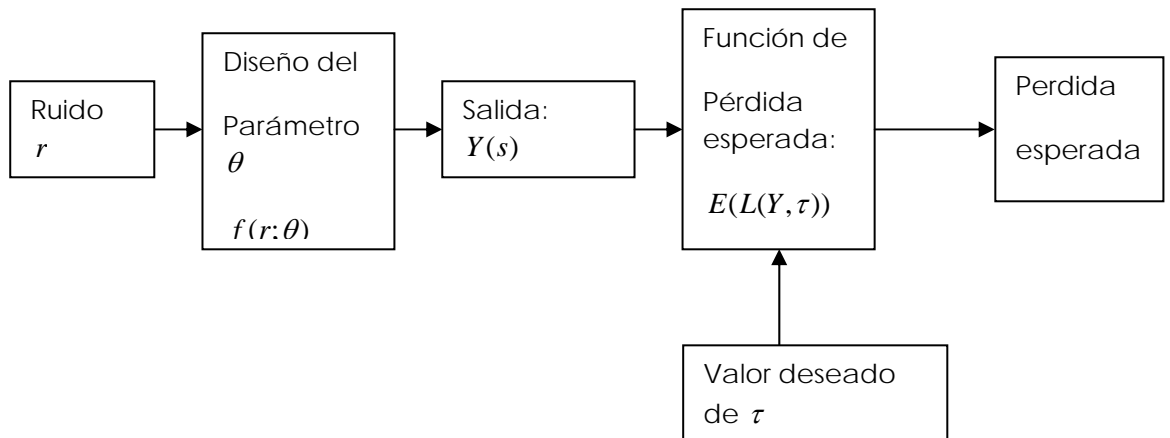
- 2) El diseño de parámetros es una investigación conducente a encontrar el “valor” que minimiza o reduce las causas de variación. Más concretamente, el diseño de parámetro es un método para diseñar productos y procesos de manufacturas que sean robustos para variaciones incontrolables.

En el diseño de parámetro está involucrado el uso de diseño de experimento estadístico como un primer paso para establecer los valores iniciales del diseño de parámetro. De este modo Taguchi ha popularizado en la industria japonesa el uso de arreglos ortogonales. Algunas de estas aplicaciones han sido cuestionadas por Wang P.C. (A.14) por no tener, de acuerdo a este autor, los errores una ley normal y por no ser las varianzas de los errores homogéneos (homoscedasticidad) lo cual invalida los resultados obtenidos.

A todo esto está asociado la construcción de diferentes medidas o señales de ruidos que son causante de variaciones (ruidos) no deseables y que de alguna manera deben controlarse.

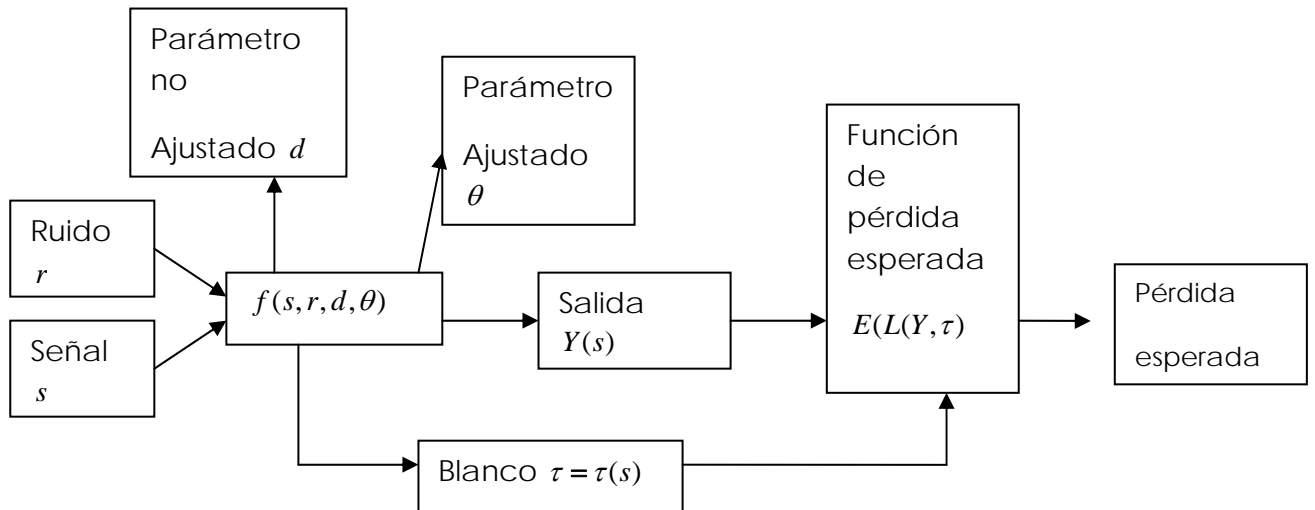
- 3) Un elemento conectado a todo el enfoque de Taguchi lo representa la llamada función de pérdida. Esta función mide el costo en unidades monetarias que tiene un proceso que conduce a que la producción se aleje del valor de la característica de calidad deseada que denominaremos blanco.

Para relacionar lo anteriormente anotado podemos traer a colación el siguiente esquema presentado por León R.V. et al (A.8):



Este esquema muestra en primer lugar la presencia de ruido (externo: medio ambiente o interno, propio del producto: r). El cual se trata de alguna manera de minimizar controlándolo a través del diseño de parámetro. Finalmente tenemos un resultado $Y(s)$ (producto) el cual se alejará o acercará en cuanto a una característica a un valor deseado: τ dando como resultado final una pérdida esperada. Si el diseño está bien logrado esta pérdida será mínima (optimal).

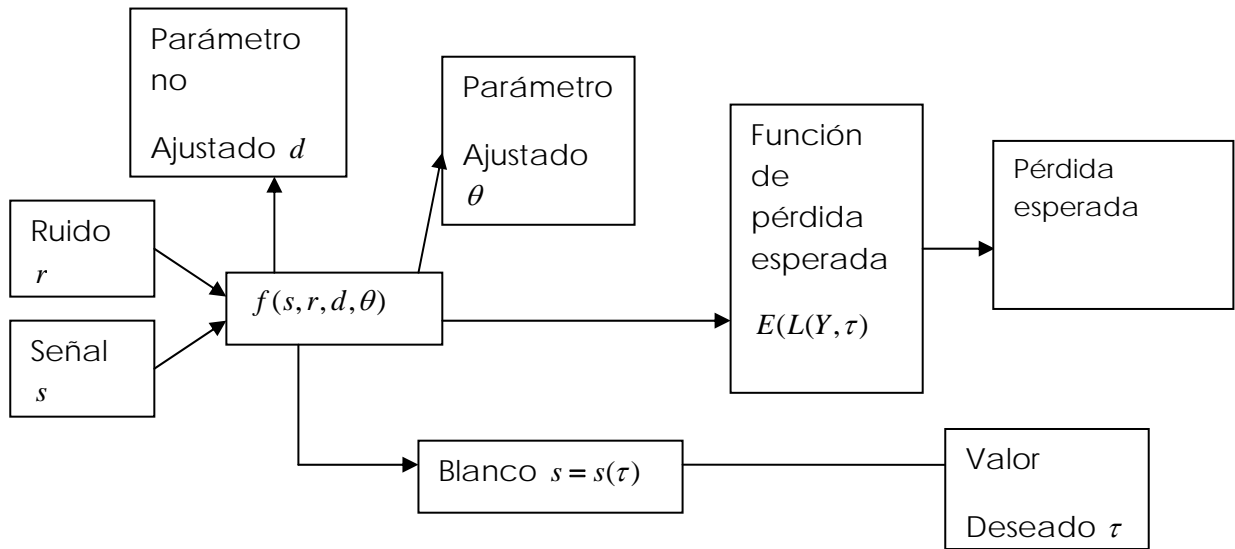
Estos mismos autores (León R.V. et al) nos presentan dos esquemas ampliados. El primero es:



Tomando textualmente su comentario este esquema nos dice que la salida (producto) $Y(s)$ está determinado por una señal de entrada s y un ruido r a través de la función de transferencia $f(s, r, d, \theta)$. La función de transferencia depende del diseño de los parámetros: d y θ . Se incurre en una pérdida si la salida (producto) $Y(s)$ no es igual al blanco: $\tau = \tau(s)$. Esto es, si la característica del producto no es igual a la característica deseada.

Como puede notarse en los dos esquemas anteriores el problema central es el diseño de parámetro flanqueado con la señal de ruido o razón de señal de ruido cuya construcción Taguchi propone varias alternativas y finalmente, una función que mide la pérdida esperada.

El otro esquema de presentan estos autores (Leon R.V. et al) es:



Este esquema es más acabado que los anteriores. La señal está determinada por la estrategia de control $s(\tau)$ y ésta por la característica de calidad deseada τ . El objetivo del diseño de parámetro (d, θ) es definir los valores d^* y θ^* que minimice la pérdida esperada.

IVa.-DETERMINACION DE LA FUNCION DE PERDIDA.

La función de pérdida es una medida del logro obtenido en el diseño de parámetro. La función de pérdida puede expresarse como:

$$L(\varphi_1(Y), \varphi_2(\tau)) = K(\varphi_1(Y) - \varphi_2(\tau))^2$$

Donde K es una constante expresada en unidades monetarias, $\varphi_1(Y)$ es una función de los valores que probablemente tome la característica que interesa de un determinado producto o servicio durante proceso y $\varphi_2(\tau)$ es una función del valor deseado de calidad o blanco. Estas funciones $\varphi_1(\cdot)$ y $\varphi_2(\cdot)$ pueden ser:

$$\varphi_1(Y) = Y \text{ y } \varphi_2(\tau) = \tau \text{ ó } \varphi_1(Y) = \log_{10} Y \text{ y } \varphi_2(\tau) = \log_{10} \tau$$

O cualesquiera otras funciones que más se ajusten al proceso en particular. Puede observarse que Y es una variable aleatoria, por tanto nos interesa es la pérdida esperada dada por:

$$E[L(\varphi_1(Y), \varphi_2(\tau))] = KE[(\varphi_1(Y) - \varphi_2(\tau))^2]$$

Adams B.M. et al (A.1) comentan la siguiente función de pérdida propuesta por Taguchi:

$$L = C_A / u + C_L / m + a[d^2 / 3 + ((m+1)/2 + l)d^2 / u] \quad (1)$$

Donde C_A representa el costo que se incurre cuando se ajusta el proceso por alejarse los resultados de este de la calidad deseada, C_L representa el costo de inspección. Por otra parte, m , u , y d representan respectivamente: el intervalo muestral, el número promedio producido entre ajuste del proceso y el límite de control.

El valor de a se define como la razón entre: la pérdida que ocasiona a la empresa la producción de ítems que no cumplen con la conformidad A, y el cuadrado de la tolerancia Δ^2 esto es:

$$a = A / \Delta^2$$

Esta función es una aproximación a la pérdida esperada

$$E[(\varphi_1(Y) - \varphi_2(\tau))^2]$$

Taguchi propone minimizar la función de pérdida asumiendo:

$$u = (d^2 / d_0^2)u_0 \quad (2)$$

Donde d_0 y u_0 son valores iniciales. Luego aplicando la condición necesaria para la existencia de un punto extremo: $\partial L / \partial m^* = 0$ y $\partial L / \partial d^* = 0$ obtiene:

$$m^* = (2u_0 C_L / a d_0)^{1/2} \text{ y } d^* = (3C_A d_0^2 7 a u_0)^{1/4}$$

La ecuación (2) se establece asumiendo un proceso de caminata al azar, esto es la característica de calidad está dada por $Y_i = Y_{i-1} + \alpha_i$; $i = 1, 2, \dots$; donde $\alpha_i \stackrel{D}{\approx} N(0, \sigma^2)$, el valor inicial $Y_0 = 0$.

IVb.-LA SEÑAL DE RUIDO:

En el artículo de Phadke M.S. et al (A.7) acerca de la selección de la característica de calidad y la razón de señal de ruido para diseño robusto se establece lo siguiente.

La idea del diseño robusto consiste en reducir la sensibilidad de la función de un producto o proceso para varias fuentes de perturbación tales como: deterioro de partes, variación en la manufactura etc. Esto implica:

- 1.- Seleccionar la característica de calidad apropiada.
- 2.- Seleccionar una función objetivo apropiada llamada razón de señal de ruido la cual debe maximizarse.
- 3.- Evaluar la función objetivo y finalmente,
- 4.- Maximizar la función objetivo con respecto a un número de variables de decisión llamadas factores de control.

Más adelante estos autores puntualizan que el desarrollo eficiente del producto y el proceso, el costo unitario de manufactura, la calidad del producto y el tiempo que toma la introducción de un nuevo producto dependen de todos los aspectos mencionados anteriormente. Dependiendo de la naturaleza del problema es posible ajustar el promedio de la característica de calidad con respecto al valor deseado de esta calidad (blanco).

La razón de señal de ruido: S/N es un predictor de la pérdida de calidad. Mediante el S/N se puede predecir cuál será la pérdida de calidad después que se efectúe el ajuste correcto; cuando este ajuste no es posible realizarlo, entonces S/N es una medida directa de la pérdida de calidad. En principio se puede construir razones S/N para problemas de naturaleza estática o razones S/N para problemas dinámicos. Las diferentes razones que se comentan se refieren al caso estático.

Denotaremos por: $Y_1, Y_2; Y_3 \dots Y_n$; n variables aleatoria observables que representan los posibles valores de una característica de calidad previamente seleccionada.

Hay tres casos o criterios con los cuales se construyen diferentes razones S/N . Nosotros usaremos una notación parecida a la propuesta por Box (A.3) para diferenciar S/N en cada uno de los criterios apartándonos de este modo de la notación propuesta por Phadke M. et al (A.7). Los criterios son los siguientes:

1.- Lo mínimo es lo mejor

Aquí la característica de calidad es continua y positiva, se asume que el valor ideal de esta característica es cero. El objetivo es hacer las respuestas tan pequeñas como sea posible. Entonces el estimador del error cuadrático transformado en escala logarítmica: $-10 \log_{10} E[Y_i - \tau]^2$ donde τ es el blanco; está dado por.

$$\{S/N\}_p = -10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n Y_i^2 / n \right)$$

El segundo criterio es:

2.- Lo más cercano al blanco o el mejor nominalmente.

También en este caso la característica de calidad es continua y positiva, el valor del blanco τ es finito y no toma valor cero. El criterio se basa en el logaritmo del inverso del cuadrado del coeficiente de variación:

El estimador en este caso es:

$$\{S/N\}_n = -\log_{10} \overline{Y^2} / s^2$$

$$\text{Donde: } \overline{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i / n; \quad s^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \overline{Y})^2 / (n-1)$$

En este caso es importante seleccionar el mejor factor controlable el cual tiene efecto nulo sobre S/N pero tiene un efecto significativo sobre \overline{Y} .

Este factor actúa como un factor de escalamiento y se utiliza para ajustar el promedio sobre el blanco.

El problema optimal se resuelve en dos etapas; una es maximizar $\{S/N\}$ y luego ajustar la media sobre el blanco.

El último criterio es:

3.- El mayor es el mejor

Igual que en los casos anteriores, la característica de calidad es continua y positiva. Se asume que la función de pérdida decrece en la medida que la característica de calidad crece desde cero.

$$\{S/N\}_m = -10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n (1/Y_i)^2 \right\}$$

Phadke M. et al (A.7) indican que en el caso que el problema sea de tipo dinámico, es posible resolverlo usando simultáneamente dos o más razones S/N .

V.-COMENTARIOS FINALES:

La metodología de Taguchi ha sido revivida con entusiasmo dentro de algunos sectores debido a los éxitos logrados en la industria japonesa y algunas norteamericanas como la Xerox Corp. Sin embargo el fundamento estadístico utilizado no siempre está bien justificado y en algunos casos la utilización de arreglos ortogonales no se ve muy clara (ver Adams (A.1), Box (A.3), Wang (A.14)). Sin embargo es incuestionable que esta metodología abre gran posibilidad en su aplicación práctica y también en cuanto al desarrollo teórico.

La metodología de G. Taguchi podemos resumirla diciendo que su estrategia se fundamenta en minimizar los costos que se producen al alejarse el producto de la calidad ideal deseada, para medir estos costos construye una función de pérdida medida en unidades monetarias. La táctica consiste en la utilización de diseño de experimento como soporte del diseño de parámetro.

En un artículo que está en preparación haremos una exposición más amplia sobre las críticas y las defensas que se han formulado en torno a la metodología de Taguchi. El hacer esta exposición aquí, haría este artículo más extenso de lo deseable. Remitimos al lector a la revista Technometrics de Febrero de 1988, Vol. 30, N° 1 que contiene varias observaciones sobre el tema, al Journal of Quality Technology que en diferentes números tocan el tema y finalmente al compendio sobre Taguchi en "Taguchi Methods" – Selected papers on Methodology and Applications – ASI 1988.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

LIBROS:

L.1 Deming W.E

Calidad, Productividad y Competitividad – La Salida de la Crisis.

Ediciones Díaz de Santos S:A. (1989)

(Título Original: “Out of the Crisis” 1986)

L.2 Duncan A.

Control de Calidad y Estadística Industrial

Alfa-Omega (1989)

L.3 Gitlow y Gitlow S.

Como Mejorar la Calidad y Productividad con el Método Deming.

Editorial Norma (1989)

L.4 Ishikawa K.

¿Qué es el Control Total de Calidad?

Editorial Norma (1986)

L.5 Juran J.M. y Grina F.M.

Planificaciòn y Anàlisis de la Calidad

Editorial Reverte (1981)

L.6 Walton M.

Como Administrar con el Método Deming

Editorial Norma (1988)

ARTÍCULOS.

A.1 Adams B.M., Woodall W.H.

An Analysis of Taguchi's on line Process

Control Procedure under a Random – Walk Model

Technometrics, Nov. 1989. Vol. 31, N°4.

A.2 Bneke M., Leemis L.M., Shlegel R.E., Foote B.L.

**Spectral Analysis in Quality Control: A Control Chart based on the
Periodogram.**

Technometrics. February 1988, Vol. 30, N° 1.

A.3 Box George

Signal to Noise Ratios, Performance Criteria and Transformations.

Technometrics, February 1988. Vol. 30 N° 1.

A.4 Gunter B.

Discussion (Sobre Box: A.3)

Technometrics, February 1988. Vol. 30 N° 1.

A.5 Kacker R.

Off Line Quality Control. Parameter Design and the Taguchi Method.

Journal of Quality Technology. Oct. 1985. Vol. 17 N° 4.

A.6 Orsini, J.N.

On the Problem of Minimum total Cost of Inspection of Incoming items not in Statistical Control.

A.7 Phadke M.S., Taguchi G.

Selection on Quality characteristics and S/N Ratios for Robust Design.

En "Taguchi Methods". Selected papers on Methodology and Applications. ASI. 1988

A.8 Leon R.V., Shoemaker A.C., Kacker R.N.

Performance Measure Independent of Adjustment signal to Noise Ratios.

Technometrics. August 1987. Vol. 29. N° 3.

A.9 Mag Gregor J.F.

On Line Statistical Process Control

Chemical Engineering Progress. Oct. 1988

A.10 Sullivan L.P.

The Power of Taguchi Methods to Impact Change in U.S. Companies.

En "Taguchi Methods" ASI 1988.

A.11 Suich R.

The Control Chart under Inspection Error

Journal of Quality Technology. Oct. 1988. Vol. 20 N° 4.

A.12 Taguchi G.

Production of Motor Vehicles and Quality Control.

En "Taguchi Methods" ASI 1988.

A.13 Taguchi G., Phadke M.S.

Quality Engineering Through Design Optimization

En “Taguchi Methods”. ASI 1988.

A.14 Wang P.C.

A Simple Method for Analyzing Binary Data from Ortogonal Arrays –

Journal of Quality Technology. Oct. 1988. Vol. 20 N° 4.