

---

# **TAGUCHI**

## **JAVIER MEJIA NIETO**

- Profesor Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT.
- Ingeniero Mecánico, UPB, Medellín.

---

## 1. VARIEDAD Y CALIDAD

### VARIABILIDAD FUNCIONAL Y PROBLEMAS DE CALIDAD

El problema con las fuentes naturales de energía es su variabilidad. Ejemplo: La generación de electricidad con la energía del viento. El mismo problema ocurre en mayor o menor grado en los productos y servicios provistos por el hombre. Las máquinas se dañan, la energía eléctrica falla, los trenes llegan tarde, los techos gotean. La razón por la cual se establecen especificaciones es prevenir muchos de estos problemas.

Considerando la pérdida causada por la variabilidad el Dr. Taguchi define la calidad de un objeto así: *"Calidad es la pérdida que un proceso ocasiona a la sociedad luego de embarcarse"*.

El significado de pérdida puede restringirse a dos categorías:

1. Pérdida causada por la variabilidad de la función.
2. Pérdida causada por efectos dañinos colaterales.

Entonces un artículo con buena calidad cumple sus funciones sin variabilidad y ocasiona poca pérdida por sus efectos colaterales incluyendo el costo de usarlo.

El control de calidad tiene que ver con la reducción de los dos tipos de pérdida que un producto puede ocasionar a la sociedad luego de ser embarcado.

### PROBLEMAS DE VARIEDAD Y PROBLEMAS DE CALIDAD

La industria manufacturera desarrolla sus actividades en 6 etapas:

1. Planeación de producto, incluye:
  - Estimación de la demanda para una función dada a un precio dado.
  - Establecimiento de la vida del diseño.
2. Diseño del producto; es decir, diseñar el producto que tenga las funciones que se decidieron en la etapa de planeación.
3. Diseño del proceso de producción.

4. Producción.

5. Mercadeo, que incluye informar al mercado de la existencia del nuevo producto.

6. Ventas.

La mayoría de los problemas de calidad se hacen ver sólo después del uso del producto y para evitar traicionar la confianza del público una compañía debe desarrollar y producir artículos competitivos en calidad.

Ejemplo: La gente que compra productos textiles se fijan en la moda, color, el diseño, el tamaño y el material. Si luego de lavar, el color destiñe, significa que el color que le gustó al consumidor cambió, es decir, es un cambio en la función. El encogimiento sería un problema similar.

El color, la moda y otras propiedades sirven para clasificar los productos en variedades. Aumentar el número de tamaños es cuestión de aumentar el número de variedades y se relacionaría con la calidad como medida de la pérdida por la no disponibilidad de los tamaños exactos, ejemplo: las personas con cuellos grandes y brazos cortos tendrían problemas para encontrar sus tamaños, lo cual nos muestra la necesidad de fábricas y almacenes especializados en tamaños poco usuales.

En resumen, el problema de variedad es proveer una amplia selección de colores y tamaños que satisfagan las necesidades individuales. La decisión de cuánta demanda habrá para estos colores, estilos y tamaños a un precio dado es un problema de planeación del producto. Es decir, cómo segmentar el mercado, diseño y precio de las variedades son problemas que involucran planeación, ventas y diseño.

Al principio, qué también se venda un producto depende de su función (variedad) y su precio. Si es inferior en calidad, los compradores harán reclamos o dejarán de comprarlo y todo el esfuerzo y gasto de desarrollo del producto, encontrar mercado y todo lo demás, será una pérdida.

Mejor calidad significa proveer la misma utilidad (Función) con menos pérdida para el consumidor, o sea menos espacio ocupado, menos fallas, menos disipación de energía y una vida de servicio más larga.

---

Cuando el consumidor ve la calidad en el producto, regresa y lo adquiere de nuevo.

Las extrafunciones son básicamente cuestión de variedad. Ejemplo: Un equipo de televisión que pueda proyectar Video-Cintas. Debe hacerse una clara distinción entre variedad y calidad.

El calentamiento instantáneo de una televisión es una cuestión de Calidad. Supongamos, la televisión se enciende 4 veces al día y tiene un diseño de vida de 8 años, el tiempo que el comprador pierde por tener que esperar 10 segundos hasta que la imagen aparezca en comparación con tener imagen instantánea puede calcularse:

$$10 \frac{\text{seg.}}{\text{vez}} \times 4 \frac{\text{veces}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 8 \text{ años} = 32 \text{ horas aprox.}$$

Si son 2 personas observando T.V. a la vez, pierden 64 horas durante la vida de servicio. Calculamos con ¥ 10 personas por minuto, da ¥ 38.000. Una televisión que da la imagen instantánea, gasta cierta cantidad de corriente aún al apagarse, para ver cuál es mejor, debe calcularse el costo de la electricidad durante 8 años.

¿Qué decir de los gustos? Tener un gusto diferente es asunto de variedad no de calidad. El arroz mal cocinado es asunto de calidad y no de gusto. A ciertos niveles de discusión puede ser difícil distinguir entre asuntos de variedad y calidad. La tendencia hacia una mayor variedad es una tendencia histórica. Es importante ir formando la sociedad en las direcciones de mayor variedad y mayor calidad.

## 2. PERDIDA POR VARIABILIDAD Y TOLERANCIA

Aparentemente sólo el 30% de los consumidores japoneses pueden encontrar zapatos que correspondan exactamente a sus pies, y el 50% dice que tiene problemas para encontrar la ropa precisa a su tamaño. La decisión de proveer cuáles tallas es labor de Planeación del Producto y el propósito del Diseño del Tamaño. Lo anterior indica lo poco satisfactorio de los suministros en estos campos.

### TOLERANCIA E INTERVALOS

Las camisas para los hombres se venden en un máximo de 100 tamaños, cada tamaño se define

por dos medidas: La medida del cuello y la longitud de la manga. Los tamaños del cuello se dan en intervalos de 1 cm y las longitudes de la manga en intervalos de 2 cm.

Una camisa cuello 40 cm le queda bien a una persona con un cuello de 40 cm. La persona que tenga un cuello de 40.5 cm debe comprar una camisa de 40 cm que le quedaría estrecha 0.5 cm o una 41 cm que le quedaría 0.5 cm floja; en dicho sistema hay una tolerancia de  $\pm 0.5$  cm.

El proveer productos que satisfagan necesidades de tantos consumidores como sea posible es un problema de estándares y una medida del progreso de la civilización.

De acuerdo con esto los tamaños pueden estandarizarse ahorrándole costos al consumidor, teniendo la desviación del tamaño óptimo lo suficientemente pequeña de tal forma que la pérdida sea también pequeña. La cuestión es entonces, el tamaño de la tolerancia, es decir el intervalo entre tamaños.

### DETERMINACION DEL INTERVALO DEL TAMAÑO DEL CUELLO

Para determinar el tamaño de una camisa deben tomarse muchas medidas: cuello, manga, hombro, espalda, pecho, etc. Para cada una de estas medidas puede obtenerse una distribución midiendo una muestra de la población consumidora.

Asumamos que M sea el tamaño exacto para cierta medida. La pregunta es ¿a qué desviación del tamaño M el consumidor rehusará comprar? Esta desviación es la tolerancia del consumidor.

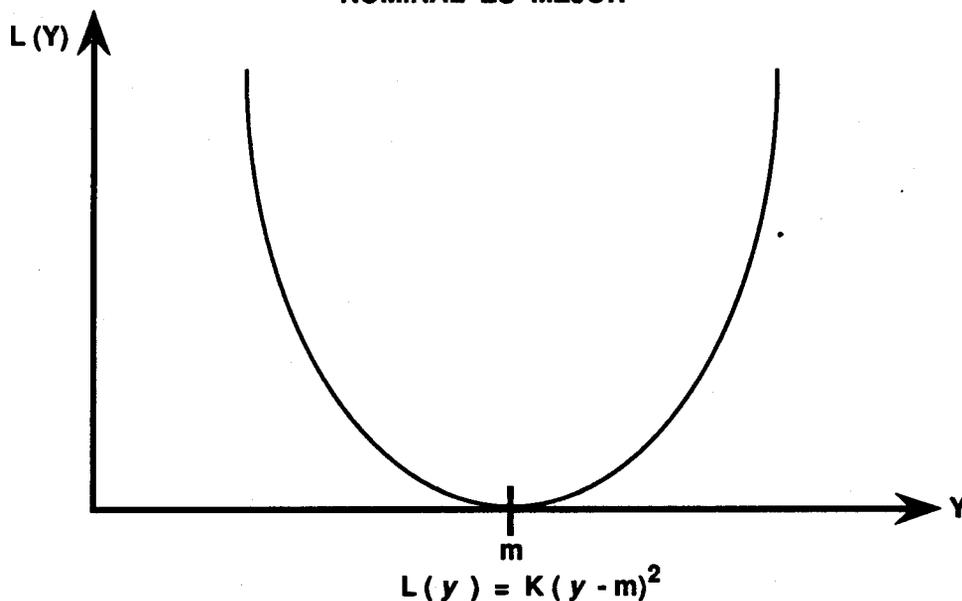
Para el cuello, si una persona no compra una camisa que es  $\Delta 1$  cm más pequeña que su tamaño exacto, así sea que le guste el color y el estilo, entonces  $\Delta 1$  es su tolerancia inferior. Si no compra una camisa que es  $\Delta 2$  cm más grande que su tamaño exacto porque le queda demasiado floja, entonces  $\Delta 2$  es su tolerancia superior.

Si distintas personas tienen distintas tolerancias con respecto a la misma medida, la tolerancia se establece en el punto en que el 50% de los consumidores no comprarán, llamado el punto LD50- (en ensayo de drogas designa la dosis en que la relación vida/muerte es 50:50).

---

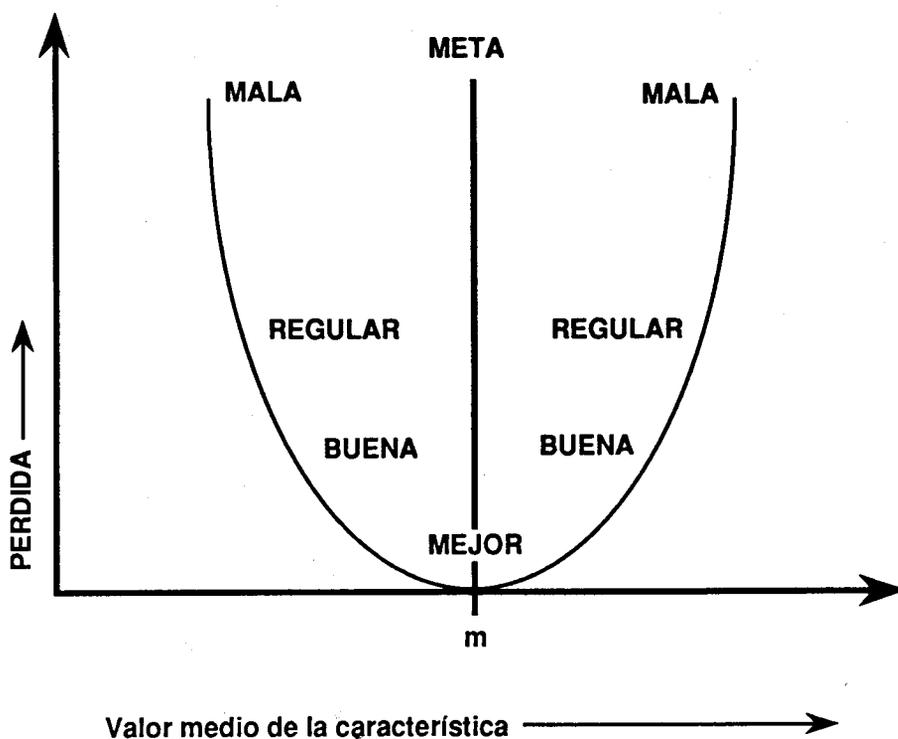
## FUNCION DE PERDIDA

"NOMINAL ES MEJOR"



- NOTA: 1) K es constante.  
2)  $y - m$  es la desviación del valor nominal.  
3) La pérdida es proporcional a la raíz de la desviación del valor nominal.

## TAGUCHI



La tolerancia del consumidor se expresa como un par ordenado:  $(-\Delta_1, +\Delta_2)$ .

Si  $Y$  es el tamaño de la camisa (cuello).

$M$  es el tamaño exacto del cuello del compador.

$L(Y)$  es la pérdida debida a la diferencia entre  $Y$  y  $M$ .

$L(Y)$  puede expresarse en una serie de Taylor alrededor de  $M$ , así:

$$L(Y) = L(M + Y - M)$$

$$= L(M) + \frac{L'(M)}{1!}(Y-M) + \frac{L''(M)}{2!}(Y-M)^2 + \dots$$

Asumimos que  $L(M) = 0$ , y como  $L(Y)$  es mínima en  $Y = M$  entonces  $L'(M) = 0$  (en puntos de máximo o mínimo la derivada es 0). De acuerdo con esto, el tercer término de la expansión de la función de pérdida es el término principal y la pérdida puede aproximarse así:

$$L(Y) = K(Y - M)^2 \quad (*)$$

La fórmula (\*) para la función de pérdida contiene el coeficiente desconocido  $K$ . Para encontrar  $K$ , necesitamos información acerca de las pérdidas  $D_1$  y  $D_2$  causadas al exceder las tolerancias  $\Delta_1$  y  $\Delta_2$ . En este caso, si se exceden las tolerancias, la camisa debe llevarse a un sastre y las pérdidas incluyen el trabajo adicional, la demora, el costo de llevar y traer la camisa y otros costos sociales.

Supongamos:

$$D_1 = D_2 = \text{¥} 4000$$

Cuando

$$Y < M, 4000 = K_1 (\Delta_1)^2, K_1 = \frac{4000}{\Delta_1^2}$$

$$Y > M, 4000 = K_2 (\Delta_2)^2, K_2 = \frac{4000}{\Delta_2^2}$$

Supongamos que

$$\Delta_1 = 0.5 \text{ cm}$$

$$\Delta_2 = 1.0 \text{ cm}$$

Entonces

$$K_1 = 16000 \quad \text{y} \quad K_2 = 4000$$

Entonces la función de pérdida está dada por:

$$(**) L(Y) = \begin{cases} 16000 (Y - m')^2, & (Y < m') \\ 4000 (Y - m')^2, & (Y > m') \end{cases}$$

El valor de  $M'$  puede determinarse así: Si los tamaños de los cuellos están provistos a intervalos de 1 cm, una persona con un cuello de 40.3 cm debe escoger una camisa de 40.0 cm o una de 41.0 cm.

¿Cuál de las 2 camisas conlleva una mayor pérdida? si compramos de acuerdo con (\*\*):

$$L(Y) = \begin{cases} 16000 (40.0 - 40.3)^2 = \text{¥} 1440 \\ 4000 (41.0 - 40.0)^2 = \text{¥} 1960 \end{cases}$$

Esta persona preferirá de acuerdo con lo anterior la camisa un poco estrecha.

Las dos pérdidas serían iguales si la persona tuviera un cuello de 40.33 cm (se deduce de la fórmula).

Cuando se está estableciendo el tamaño del intervalo, debe asumirse que todos los consumidores escogerán la menor pérdida.

Para calcular la pérdida promedio considerando que las medidas de los cuellos de las personas están distribuidas uniformemente en el intervalo entre 40.0 cm y 41.0 cm, llamaremos  $L$  a la pérdida promedio, así:

$$L = 16000 \int_{40.0}^{40.33} (x - 40.0)^2 dx + 4000 \int_{40.33}^{41.0} (x - 41.0)^2 dx$$

$$L = \text{¥} 593$$

La pérdida por tener que fabricar y vender un tamaño mayor extra puede asumirse como la diferencia entre el valor al por menor y el costo proporcional, en este caso será  $\text{¥} 1800$ .

Bajo estas circunstancias el intervalo de 1 cm para el cuello y el costo agregado por manufactura y venta sobrepasa la pérdida promedio al consumidor.

Si el intervalo se aumenta a 2 cm, la pérdida es:

$$L = 16000 \int_{40.0}^{40.67} (x - 40.0)^2 dx \left(\frac{1}{2}\right) + 4000 \int_{40.67}^{42.0} (x - 42.0)^2 dx \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$L = \text{¥}2370$$

Como este valor es mayor que ¥ 1800, el intervalo de 2 cm es muy amplio.

El intervalo ideal es aquel en que la pérdida del consumidor es igual a la pérdida del fabricante y del vendedor. Para este caso el valor  $\Delta$  resulta ser 1.8 cm según lo asumido anteriormente debe incrementarse el intervalo de 1 cm en 0.8 cm.

Este mismo tipo de cálculos puede hacerse para las otras medidas. En general el tamaño del intervalo óptimo no es el mismo que el rango de tolerancia del consumidor.

Para determinar el intervalo, debe tenerse en cuenta los costos de venta como el intervalo y los intereses, ya que el costo de mantener Stocks de tamaños para los cuales hay poca demanda es muy alto.

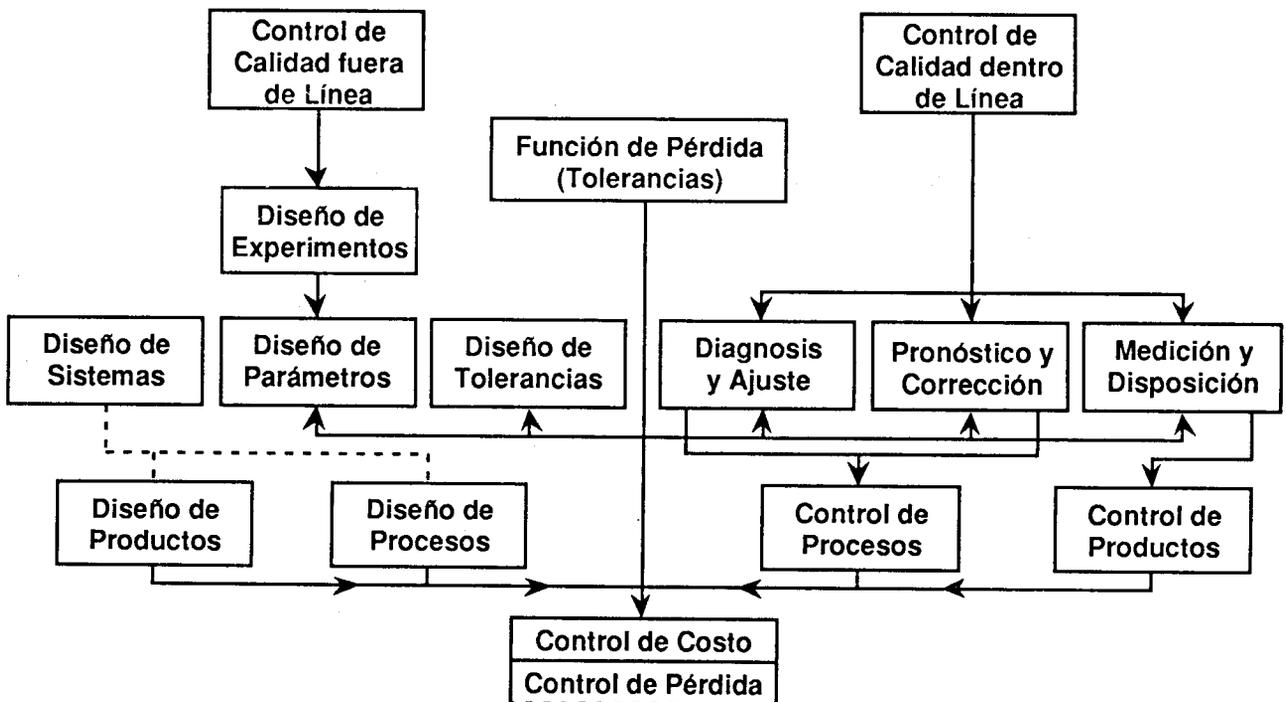
## BIBLIOGRAFIA

Taguchi, Genichi. Introduction to Quality Engineering. Tokio: ASIAN Productivity Organization, 1986.

Introducción a la Ingeniería de Calidad. Manual del curso de verano, 1989, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México.

## INGENIERIA DE CALIDAD TAGUCHI

OBJETIVO: REDUCIR LA VARIACION FUNCIONAL (AL MENOR COSTO)



**NOTA IMPORTANTE:** A partir de agosto próximo en coordinación con el Instituto Tecnológico de Monterrey, México, EAFIT realizará los cursos de:

- Técnicas de Mejora Industrial Continua y Sistemas Dinámicos de Planeación, Programación y Costeo de la Manufactura.

**INFORMES:** CENTRO DE EDUCACION CONTINUADA, EAFIT.