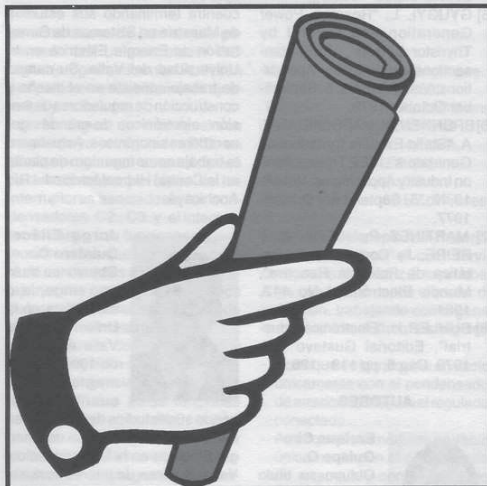


La calidad de bienes y servicios y la experimentación industrial



□ Hernando Solano Hurtado, Ms.C.
Matemático
Profesor Departamento de Producción e Investigación de Operaciones.
Universidad del Valle

□ Waldo Duque Santa, Ph.D.
Ingeniero Mecánico
Profesor Titular
Departamento de Diseño y Procesos de Manufactura
Universidad del Valle

RESUMEN

El presente artículo resalta, con carácter divulgativo, el importante rol del Diseño Experimental, dentro de una estrategia de experimentación en el Mejoramiento de la Calidad de los sistemas de Manufactura y Servicios. Se analiza el papel de las interacciones entre las variables que caracterizan un proceso productivo y su importancia en la evaluación de la investigación industrial.

ABSTRACT

This paper shows up the important role of the Experimental Design, emphasizing its divulgative aspects, in the context of the Quality Improvement of Service and Manufacturing Systems.

The interaction between the different variables involved in the productive process behaviour are analyzed for the industrial evaluation research.

PALABRAS CLAVES (KEYWORDS)

Control de Calidad. Diseño Experimental. Diseños Factoriales.

1. INTRODUCCION

Dentro de la gestión de Calidad Total, la investigación y desarrollo de nuevos procesos, productos y

servicios, se ha visto especialmente fortalecida en nuestros días, en gran medida por el perfeccionamiento de algunas técnicas estadísticas aplicadas a la industria, tales como el Diseño Experimental, que fue desarrollado en Gran Bretaña por el Inglés Ronald A. Fisher, a mediados de los años veinte.

En un comienzo Fisher realizó sus primeros experimentos en el área de la agricultura, aprovechando su trabajo en aquella época, en la estación experimental de Rothmsted en Londres y más adelante como catedrático en la Universidad de Cambridge, en donde perfeccionó el procedimiento denominado *Análisis de Varianza*, herramienta que creó como ayuda complementaria al análisis de sus investigaciones. En términos muy amplios, un *Diseño Experimental* es una metodología, o procedimiento, (el más adecuado entre otras cosas) que permite estudiar la causalidad y medir la magnitud del efecto e influencia de ciertas características llamadas *factores o tratamientos* sobre un sistema (la *respuesta*), que bien puede ser de producción, de bienes o de servicios.

Por ejemplo, en un servicio de atención al cliente, el tiempo de espera en una ventanilla o dependencia, se considera como la *respuesta* y el número de empleados, el día y la hora de la semana, los *factores o variables experimentales*, que influyen en el servicio, los cuales toman distintos valores o categorías que se denominan *niveles*.

En el mundo de los negocios, observamos como el Diseño Experimental está ganando cada vez más adeptos entre la medianas y grandes organizaciones, principalmente en la agroindustria y en el sector automotriz; en donde los grandes clientes exigen cada vez más a sus pequeños y medianos proveedores de partes, productos y servicios que no solamente cumplan su función, sino que las superen y además sean altamente competitivos en precios, confiabilidad y preci-

sión, aspectos estos que generalmente quedan consignados en acuerdos contractuales que se rigen por las conocidas Normas ISO 9000.

2. LA MEJORA CONTINUA DE LOS PROCESOS

Según G. Box [1], *Todo proceso u operación, además de un resultado tangible, debe ser capaz de generar suficiente información que permita su mejoramiento continuo.*

En el caso de los procesos industriales, tradicionalmente lo que se ha venido haciendo es aprender del proceso, a través de la recolección de información clave, extraída periódicamente, aprovechando los métodos estadísticos de Shewart para el control estadístico de los procesos (SPC), procedimientos que se apoyan en el análisis de los datos recolectados, para determinar cuando hay un hecho no habitual y estudiar las posibles causas que lo han provocado. En realidad con esta medida lo que se está haciendo es "escuchar" el proceso y estar atentos a lo que dice, para aprender sobre las causas de variabilidad que lo afectan y evaluar, al mismo tiempo, las acciones dirigidas a prevenir las posibles fallas, a fin de mejorar, con el tiempo, el sistema productivo.

La otra estrategia de aprendizaje, mucho más dinámica que la anterior, se da a través del "diálogo" con los procesos. Consistente en provocar la presencia del fenómeno objeto de estudio en el proceso, con el fin de extraer conclusiones válidas sobre el mismo, a través de la experimentación. De esta manera se gana en calidad y, al mismo tiempo, se reducen costes en los procesos a través de esta modalidad de mejora continua, ingredientes de fundamental importancia dentro del marco de la competitividad y la productividad. En definitiva conviene distinguir dos estrategias de aprendizaje acerca de los procesos, las cuales se apoyan se

apoyan en el análisis de los datos (*escuchar* el proceso) y las que se fundamentan exclusivamente en la experimentación (*dialogar* con el proceso), ambas tienen sus ventajas y restricciones, especialmente cuando se trata de diseñar productos y procesos industriales, en donde resulta casi que imposible hacerlo solamente con consideraciones mecanicistas de tipo teórico.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA EXPERIMENTACION INDUSTRIAL

En la industria las técnicas de diseño y análisis de experimentos se utilizan, básicamente, en el diseño y mejora de productos, procesos y servicios. La complejidad de los productos y procesos hace que sea muy difícil encontrar modelos teóricos que los expliquen textualmente y que de su estudio se puedan determinar las condiciones óptimas del sistema. Una descripción aproximada, limitada a una región de interés, y obtenida a partir de la experimentación, puede ser de gran utilidad.

La experimentación en este contexto, se puede interpretar como la variación expresa de las condiciones habituales de funcionamiento del sistema, para ver como estos cambios afectan las características de los procesos y/o productos, a fin de adquirir un conocimiento más profundo que permita mejorarlos.

Para A. Prat [3], lo mismo que para Box [1], *"El problema básico del diseño de experimentos consiste en decidir que conjunto de pruebas se debería realizar para obtener el máximo de información con un mínimo de esfuerzo"*, porque la experimentación, requiere una inversión en tiempo, unas primeras materias primas y recursos, que hace que el número de pruebas a realizar tenga que ser forzosamente limitado. Se debe, por tanto, planificar la manera de emplear los recursos disponibles para la investigación.

4. EL CONCEPTO DE INTERACCIÓN

La calidad de un proceso, producto o servicio ha de ser medible, definida además por una o más características de calidad cuantificables. Esta característica de calidad es la que se pretende optimizar. Optimizar puede tomar significados diferentes según la característica de calidad de que se trate; en algunos casos se desea el valor más grande posible (por ejemplo, maximizar la producción, las utilidades, la facturación, la producción de energía eléctrica, el rendimiento de una reacción química), otras veces interesará que sea mínima (los costes de fabricación, las tasas de accidentalidad, la producción defectuosa, el consumo energético, etcétera) y en otros casos lo que se pretende es conseguir exactamente el valor nominal (el contenido neto en un proceso de llenado, el diámetro de una balinera, etcétera).

El enfoque clásico del Diseño de Experimentos, que se apoya en una planeación completamente intuitiva de la experimentación (nada aconsejable desde luego aunque parezca correcta), presenta serios limitantes cuando se trata de optimizar procesos. Por ejemplo, si el proceso a considerar, es el maquinado o torneado de piezas de acero de fabricación nacional, cuya característica de calidad es la *rugosidad o acabado superficial* de la pieza (la cual está influenciada entre otras por la velocidad y profundidad del corte y por el avance de la herramienta de corte, así como por la habilidad del operario y otras características que se sospecha pueden influir en la calidad del torneado), la estrategia consiste en fijar el valor de todas las variables que afectan la respuesta en este caso la rugosidad, excepto una de ellas, por ejemplo el avance, y observar con cual de sus diferentes valores la rugosidad es mínima. En seguida se fija esta variable en su "mejor" valor y se repite el procedi-

miento escogiendo otro de los factores (la velocidad de corte, por ejemplo), fijando las restantes, y así sucesivamente hasta haber experimentado con todas las variables, tomándolas de una en una. Lo que se obtiene realmente con esta estrategia es el valor de cada una de las variables que hace óptima la calidad del acabado superficial (rugosidad mínima) cuando las otras variables están fijas en un valor determinado. Si se cambia el valor de alguna, seguramente que también cambiará el valor de las otras que optimizan la rugosidad y el valor del óptimo.

Esta situación se da en virtud de que los efectos de las variables sobre la respuesta, no siempre son aditivos. Cuando no lo son, se dice que hay un efecto de **Interacción** entre variables. Un ejemplo típico muy conocido de interacción entre variables citado por A. Prat [3], es el siguiente: el efecto de un medicamento antigripal es el de disminuir la fiebre para dar una sensación de bienestar; tomar dosis moderadas de alcohol produce sobre el organismo una sensación de euforia. Si se toma el medicamento con una dosis moderada de alcohol no se obtiene como se podría esperar, una sensación de euforia y bienestar (la suma de los efectos de las dos variables) sino una sensación de mareo y somnolencia. Los efectos no se suman, sino que tienen una interacción. Las interacciones son, en resumen, la causa de comportamientos inesperados en los procesos industriales, lo que ocurre con alguna frecuencia, causando sorpresa y desconcierto; por ejemplo, el aumento de la temperatura en una reacción química produce, en un día una disminución en el rendimiento de la reacción y en otro día, un aumento; este hecho aparentemente desconcertante es provocado casi siempre por este fenómeno.

Las interacciones no pueden ser detectadas en experimentos donde se mueve una variable cada vez

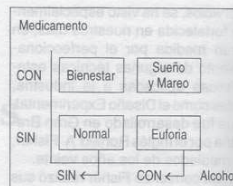


Figura 1

y se mantienen las otras fijas. Para poderlas detectar se deben mover simultáneamente los valores de todas las variables; hacer en definitiva, lo que no parece intuitivo y que se conoce como un **Diseño Factorial**.

Los diseños factoriales permiten optimizar la respuesta y, además, permiten conocer como afecta cada variable a la respuesta, y si hay interacciones. Comienzan a ser difundidos en las industrias líderes porque proporcionan una relación excelente entre el esfuerzo experimental y la información obtenida.

5. LA INFORMÁTICA: UNA ALTERNATIVA

Para construir, analizar e interpretar los diseños factoriales, deben de intervenir dos tipos de expertos: los que realmente conocen el proceso (operarios, supervisores, etcétera) que facilitan la información sobre la característica de calidad a optimizar, las variables que lo afectan y los valores de las variables con los cuales es razonable experimentar; y los expertos en diseño de experimentos que ayudan a construir el modelo experimental, dando las indicaciones sobre como realizarlo, para poder analizar los datos e interpretar los resultados. En las empresas siempre habrá expertos que conocen, palmo a palmo, el proceso, pero difícilmente habrá expertos en diseño de experimentos. Para solucionar en parte este problema, se consiguen, hoy en día, en el mercado, múltiples y poderosos paquetes de soft-

ware (SAS, SPSS, BMDP, DEX, MINITAB) diseñados y programados específicamente para ayudar a los técnicos en el diseño y análisis de diseños factoriales, y factoriales fraccionarios con factores a dos niveles.

Estos programas tienen como función básica, ayudar a los técnicos a plantear la estrategia de experimentación, con una secuencia de preguntas dirigidas a identificar la(s) característica(s) de calidad y las variables que pueden afectarla. Sirven también de guía para seleccionar el diseño más adecuado, teniendo en cuenta en qué fase de la experimentación se encuentra y cuál es el número máximo de experimentos que permite el presupuesto; ayudan a la realización de los experimentos de forma que el orden en que se realizan no pueda afectar el análisis posterior; a analizar los resultados y extraer conclusiones, determinando que variables afectan la característica de calidad, cuál es el efecto de cada una sobre la respuesta, qué variables interaccionan y de qué manera; y, finalmente, cuales son los valores que han de tomar las variables para optimizar la respuesta. El análisis se presenta en forma de tablas y gráficos, que hacen muy sencilla la interpretación.

En resumen, son productos dirigidos a la práctica totalidad de las empresas industriales que, por su generalidad y por su facilidad de uso, pueden ser ejecutados por

personas con pocos conocimientos específicos en el área del diseño de experimentos y que podrían significar una ayuda muy valiosa a la hora de buscar mejoras en procesos, productos o servicios, que incrementen su calidad.

6. CONCLUSION

La investigación industrial cuenta con una herramienta metodológica, el diseño experimental, que se constituye en una estrategia experimental para el mejoramiento continuo.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] BOX, GEORGE E.P., HUNTER, W.G., HUNTER, J. S. *Estadística para Investigadores*, Ed. Reverté, Barcelona 1988.
- [2] PEÑA, D., PRAT, A. *Cómo Controlar la Calidad*. Manuales IMPL. Ministerio de Industria y Energía. Madrid, 1986.
- [3] PRAT, A., TORT, X., GRIMA, P., POZUETA, L. *Métodos Estadísticos. Control y Mejora de la Calidad*. Ediciones UPC, 1994.
- [4] KACKAR, R. N. *Off-Line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method*. Journal of Quality Technology. Vol 17, No 4, 1985.

AUTORES

Hernando Solano Hurtado, matemático de la Universidad del Valle (1972); magister en estadística de la Universidad de Chile,



CIENES, Santiago de Chile (1978); magister en gestión de calidad en la empresa (1994); doctorando en estadística aplicada (1995) en la Universidad Politécnica de Cataluña, de Barcelona, España.

Profesor visitante de la Escuela Técnica Superior de Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, programa auspiciado por la Universidad Iberoamericana de Postgrado -UIP.

Ponente en el IV Congreso Español de la Calidad, 1995.

Profesor del Departamento de Producción e Investigación de Operaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle



Waldo Duque

Santa, ingeniero mecánico, M.Sc. en ingeniería mecánica, especialista comportamiento dinámico de máquinas-herramientas, Ph.D. en ingeniería de manufactura; Universidad Estatal de Campinas, Brasil.

Profesor titular, vicedecano de programas de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle.

El futuro jamás ha existido; hay que crearlo ¿Usted se atrevería?

Will Durant

73