

Prefacio

Prefacio

Desde sus inicios a principios del siglo pasado, el diseño estadístico de experimentos en la industria se ha caracterizado por ser una disciplina en constante crecimiento, como se constata en los innumerables artículos que aparecen cada año en revistas especializadas. No obstante, la gran mayoría de aplicaciones que se llevan a cabo en el ámbito que nosotros conocemos se circunscriben a un reducido número de técnicas, muchas de las cuales han sido replanteadas y mejoradas por los investigadores, pero sin que estas mejoras se hayan trasladado a la práctica, quizá por la dificultad implícita en el método o por el nivel sofisticado de conocimiento matemático y estadístico requerido para su correcta aplicación.

Se necesita contar con procedimientos que, sin soslayar su aspecto formal, sean fáciles de comprender y de aplicar en la industria. En este sentido, el objetivo que persigue esta tesis es el proporcionar algunos métodos alternativos simples que faciliten y fomenten su empleo, con el nexo común de perseguir aportaciones en aspectos prácticos de la aplicación del diseño de experimentos en la industria. Los temas que se tratan son:

- el problema de la aleatorización en los diseños factoriales para eliminar posibles tendencias desconocidas y los aspectos relacionados con el número de cambios en los niveles de los factores.

- una alternativa al uso del papel probabilístico normal para determinar la significación de los efectos.
- el análisis de los resultados en el diseño de parámetros de productos robustos, con el empleo del gráfico media-desviación.
- el error tipo II en la determinación de los efectos significativos.

El material se ha integrado en cuatro partes claramente diferenciadas, y que se corresponden con cada uno de los temas que se abordan. La primera estudia un requisito considerado indispensable en toda experimentación: aleatorizar el orden de realización de un diseño factorial para minimizar la influencia de factores desconocidos. Esta práctica tiene también algunos inconvenientes, en el caso de existir factores desconocidos parece razonable suponer que la influencia de ellos pueda presentar una cierta correlación con el orden de realización de los experimentos y en este caso existen órdenes de experimentación que en realidad anulan, o distribuyen homogéneamente, dicha influencia y otros que no lo hacen. La presencia de una tendencia lineal durante la ejecución de los diseños factoriales a dos niveles genera sesgos con comportamientos específicos, siendo muy poco probable el tener un orden de ejecución, seleccionado al azar, que disperse homogéneamente esta influencia entre todos los efectos. Otro aspecto importante a considerar, relacionado con el orden de realización de un diseño factorial es el número de cambios en los niveles de los factores que conlleva el orden obtenido después de aleatorizar. Uno de los aspectos que complican, en muchas ocasiones, la ejecución de un diseño factorial es el número de cambios que es necesario realizar en los valores de los factores, especialmente para aquellos que entrañan una dificultad especial, ya sea por exigir un gran esfuerzo, por ser necesario esperar un cierto tiempo o por otras razones de índole práctico o económico. Por tal razón puede ser conveniente que, durante la experimentación, se cuente con un mínimo número de cambios en los niveles de algunos de los factores en estudio. En esta primera parte se desarrolla el problema de la aleatorización de los órdenes de experimentación en los diseños factoriales completos o fraccionales, con 8 ó 16 experimentos; se plantea la necesidad de contar con órdenes que satisfagan las expectativas que la aleatorización produce cuando se

considera la existencia de tendencias en la respuesta. Se analiza la implicación que tiene el orden de experimentación en el número de cambios de nivel y se plantean unas hipótesis y consideraciones, bajo las cuales se han construido las tablas que se presentan y que creemos pueden resultar de utilidad para seleccionar órdenes de fácil ejecución (mínimo número de cambios en los niveles de los factores) sin renunciar a los objetivos que se pretenden con la aleatorización.

La segunda parte trata la representación de los efectos en papel probabilístico normal (ppn) para analizar su significación estadística (método propuesto por Daniel en 1959). Este es en muchos ambientes no sólo el método más utilizado sino también “el método” por excelencia; así es recogido en libros clásicos en el ámbito académico como el de Box, Hunter y Hunter (1978) o el de Montgomery (1997). Aunque la “Escuela de Taguchi” no los utiliza ni tampoco libros orientados a la divulgación y su utilización práctica, como el de Barrentine (1999) que utiliza el “diagrama de Pareto de los efectos”. El supuesto de que los efectos que son insignificantes tienden a caer a lo largo de una línea recta en este gráfico no es del todo claro en muchas aplicaciones. La ubicación de esta recta y la identificación de qué valores son significativos en ocasiones es difícil. El uso de esta técnica requiere tener claros conceptos estadísticos que si no se han entendido bien, o se olvidan, la acaban convirtiendo en una receta del tipo “los puntos que se separan de la recta son los significativos”, rodeada de cierto halo de misterio, y con la que se pueden cometer fácilmente “errores de bulto”. Se conjetura que el uso de un simple diagrama de puntos de los efectos proporciona prácticamente la misma información que su representación en papel probabilístico normal, con la ventaja de que es mucho más fácil de entender y de recordar y, por tanto, más difícil cometer errores importantes. La segunda parte se aboca a comparar la eficiencia del papel probabilístico normal frente al diagrama de puntos en la determinación de la significación estadística de los efectos. Se presentan todas las fases de un estudio comparativo, que con este fin se realizó con estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

El enfoque del Dr. Geinichi Taguchi a la ingeniería de la calidad ha tenido considerable impacto en la mejora de la calidad en la etapa de diseño. Empero, aun cuando el interés en el Método de Taguchi crece, algunos estadísticos e ingenieros expresan dudas y en ocasiones oposición a las ideas de Taguchi. En particular, para la metodología usada para diseñar parámetros, Box y Jones (1990) proponen un enfoque alternativo que denominan Experimentación por Objetivos. Grima (1993) desarrolla a partir de estas ideas una metodología para diseñar productos y procesos, que son robustos a las variaciones inducidas por variables internas o externas, en donde los mejores valores de los parámetros se localizan en un diagrama bivariado de la respuesta promedio y de su desviación estándar. La parte tercera de esta memoria está dividida en dos capítulos (capítulos 3 y 4); en el primero se comenta sucintamente algunas de las alternativas que se han creado para dar solución al problema del diseño de productos y procesos robustos. Consideramos que este capítulo proporciona una visión global de diversos enfoques, los cuales no suelen presentarse reunidos, encaminados a la solución de este problema. El capítulo 4 se dedica al estudio del gráfico Media Desviación (MD) propuesto por Grima (1993). Se desarrolla los temas relacionados a la modelación de la esperanza y la varianza de la respuesta, con un enfoque de superficie de respuesta. Se ilustra las etapas para construir el gráfico a través de un algoritmo computacional implementado como una macro del paquete estadístico Minitab. Se muestra la facilidad de implantación de esta metodología en un paquete de software estadístico de este tipo. Se contrasta el uso del gráfico MD con algunos de los procedimientos existentes para destacar su eficiencia y sencillez. Se considera el problema de incluir los costes en la búsqueda de las mejores condiciones en el diseño de productos robustos. Se muestra también la simplicidad con que se puede tratar el problema de analizar más de una respuesta. Así mismo se analiza las implicaciones que tiene la elección del plan experimental y la selección del modelo estimado.

En la última parte se trata el error tipo II en la selección de los efectos que se deben asumir como significativos. Se plantean algunas aclaraciones terminológicas y se propone el uso de un gráfico, que se ha denominado “alfa-beta”, que ayuda a elegir el valor crítico que conviene fijar para separar los efectos significativos de los que no lo son, a la vista de los

riesgos que se corren en cada caso. Se ha construido un valor para los efectos estimados, denotado “valor q ”, que tiene por objeto evidenciar la posibilidad del error tipo II y ayudar en el proceso de selección de los efectos que se considerarán significativos. Este valor corresponde, bajo el supuesto de normalidad, al valor β que se tiene cuando en la hipótesis alternativa el efecto posee un valor igual al de su estimación.

Finalmente se indica en un capítulo los resultados obtenidos y las futuras líneas de investigación que se pueden derivar de la presente memoria.

Barcelona, Abril de 2004.

