

Diseño
Estadístico de
Experimentos
para el
Mejoramiento
de Calidad en
Pymes
Colombianas

OSCAR PALACIO LEÓN*

«Ningún maestro podrá enseñar nada a sus estudiantes. Lo máximo que puede hacer un buen maestro por sus alumnos es aumentar en ellos el deseo de aprender; porque cada cual aprende en la medida de su deseo»
Charles Pierce

INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo se pretende, dar a conocer las consideraciones en el diseño de experimentos, requeridas durante el proceso de aprendizaje, a partir de la utilización de métodos estadísticos que lo hacen más eficiente y aplicable a problemas industriales en el futuro más cercano por parte de los profesionales en ingeniería industrial.

Este estudio partirá del marco conceptual, dejando constancia de algunos hechos o fenómenos que de una u otra manera, le han dado sentido a ésta y han traído una serie de repercusiones tanto positivas y negativas al mismo tiempo, en el uso de esta herramienta por parte del investigador industrial.

* Ingeniero Industrial de la Universidad Libre, con postgrado en Evaluación y Desarrollo de Proyectos y Estudiante de tercer semestre de Maestría en Investigación Operativa y Estadística. Docente adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital FJ.C.

Así mismo, se describe uno de los métodos a través de una aplicación industrial sencilla, y finaliza este ensayo con unas conclusiones.

Marco Conceptual

1. ¿Qué es el diseño experimental?

Un experimento es una prueba o ensayo que realiza el hombre cada vez que se ha formulado preguntas acerca del mundo que lo rodea, por lo cual el concepto "diseño de experimentos" no es nada nuevo. El hombre ha desarrollado, también, un plan sistemático para la resolución de problemas, lo que ha llegado a ser conocido como "método científico". Esencialmente, este plan consta de los siguientes elementos:

1. Situación y definición del problema.
2. Formulación de una hipótesis para explicarlo.
3. Obtención de datos.
4. Confrontación de la hipótesis con los datos.
5. Aceptación o rechazo de la hipótesis según esté o no de acuerdo con los datos.

La confrontación de la hipótesis con los datos y la aceptación o rechazo de ella son materias de juicio crítico, y cualquier camino es bueno para ello, si el juicio puede ser hecho en forma más objetiva que subjetiva.

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

El proceso o sistema bajo estudio puede representarse por medio del modelo de la figura 1. Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (a menudo un material) en una salida que tiene una o más respuestas observables. Un experimento diseñado con eficiencia debería cumplir los siguientes cinco criterios:

1. Dar medidas insesgadas de los principales efectos.
2. Proporcionar estimación insesgada de la variabilidad de los principales efectos.
3. Cuando sea necesario, el experimento deberá informar de la posible interacción de los principales efectos.
4. Hacer al error experimental tan pequeño como sea posible.
5. Dar una estimación de este error.

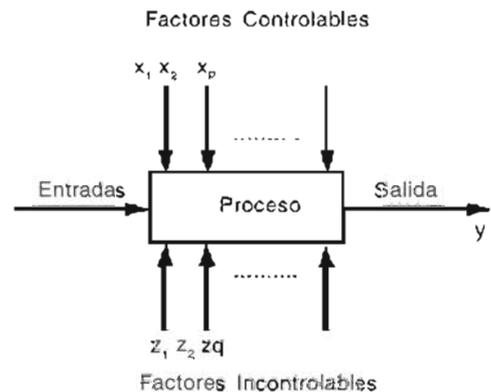


Figura 1. Modelo general de un proceso o sistema

Estos criterios no pueden ser estudiados mediante una descuidada colección de datos, sino que el experimento debe ser previamente

“Los objetos sobre los cuales se hacen mediciones se denominan unidades experimentales”

planificado para responder a determinadas inquietudes específicas, algunas de las cuales son:

1. ¿Cuál es el fin del experimento?
2. ¿Cuáles son el tiempo, el equipo y los métodos utilizables?
3. ¿Cuáles son los principales efectos que deben ser medidos?
4. ¿Qué información previa debe tenerse sobre éste u otro experimento similar?
5. ¿Es probable que interaccionen entre sí los efectos principales, y, si esto sucede, es importante tal interacción?
6. ¿Qué variabilidad puede esperarse de los principales efectos y del error desconocido?
7. ¿Cuál es la norma con la que intentamos medir las diferencias en los efectos?
8. ¿A qué niveles podemos considerar significativas las diferencias?

2. Nomenclatura de los experimentos diseñados estadísticamente

El experimento diseñado estadísticamente fue usado primero en ensayos agrícolas, sometiendo determinadas parcelas a tratamiento, para observar los rendimientos o efectos. En consecuencia, parte de la nomenclatura de un diseño experimental resultó algo extraña

para el ingeniero. Así, al hablar de “tratamiento” se refiere a alguna condición, tal como presión o temperatura, que se ha impuesto al sujeto del experimento.

“Un factor cuantitativo es un factor que puede tomar valores correspondientes a los puntos de una recta real. Los factores que no son cuantitativos se denominan cualitativos”

3. “Tests” de significación

Una característica del experimento diseñado estadísticamente, no existente en el diseño clásico, es proporcionar una prueba estadística de que existe, o no, una diferencia significativa.

Una prueba estadística no es una prueba en el estricto sentido del término, sino que es sólo una probabilidad, alta, de que una determinada hipótesis sea verdadera o falsa. Una hipótesis estadística es una suposición sobre la población que está siendo ensayada. El procedimiento para ensayar una hipótesis es:

1. Formular la hipótesis de que no existe una diferencia significativa. Se designa simbólicamente por (H₀).
2. Formular la hipótesis contraria (H_A).
3. Seleccionar la prueba estadística apropiada, la cual depende de lo que el investigador esté comparando y de lo que desee conocer.
4. Adoptar el nivel de significación de la prueba. Este nivel es escogido de forma arbitraria por

el investigador y depende del riesgo que quiera asumir, aceptando un error tipo 1.

5. Volver a realizar la prueba y recoger el dato requerido.
6. Aplicar la prueba de significación adecuada y aceptar o rechazar a la hipótesis nula (H₀).

“Las variables experimentales independientes se denominan factores”

4. *El análisis de la varianza*

La información obtenida a partir de un experimento diseñado estadísticamente puede ser analizada por el método conocido como “análisis de varianza” o ANOVA. Se trata de una técnica consistente en aislar y estimar las varianzas separadas que contribuyen a la total varianza de un experimento. Es entonces posible ensayar si ciertos factores producen significativos resultados diferentes de las variables ensayadas.

5. *Modelos de Anova*

Existen tres clases de modelos de ANOVA (fijo, casual y mixto), que dependen del origen de los datos y del uso a que van a ser destinados los modelos.

1. Un modelo fijo es aquel en el que se investigan todos los posibles efectos.
2. Un modelo causal es aquel en el que se investiga una muestra de los posibles efectos.

3. Un modelo mixto es aquel en el que algunos de los efectos son causales y otros son fijos.

En general, cuando el ANOVA se usa para analizar datos existentes, es un modelo fijo. Cuando se usa como método de inferencia estadística, es un modelo causal o mixto.

“Al grado de intensidad de un factor se le llama nivel”

6. *Componentes de la varianza*

Todo análisis de varianza requiere la cuantificación de los siguientes elementos:

1. Fuente de variación.
2. Grados de libertad.
3. Suma de cuadrados.
4. Cuadrado medio
5. Valor esperado del cuadrado medio.
6. Estadístico de Fischer.
7. Tipos de diseño experimental

En la actualidad existen una gran variedad de diseños que permiten evaluar un experimento de acuerdo al objetivo buscado por el investigador y a su disponibilidad de recursos. Los diseños más utilizados entre otros son:

1. Aleatorizados.
2. Bloques.

3. Cuadrados latinos.
 - ◆ Mejorar en el rendimiento del proceso.
4. Cuadrados greco-latinos.
 - ◆ Menor variabilidad y mayor apego a los requerimientos nominales u objetivos.
5. Factoriales.
 - ◆ Menor tiempo de desarrollo.
6. Técnica de confusión en el diseño factorial.
 - ◆ Menores costos globales.
7. Superficies de respuesta.
8. Tecnología informática empleada

“Un tratamiento es una combinación específica de niveles de un factor o de factores”

En diseño de experimentos a nivel académico se emplea el siguiente software en la actualidad:

- ◆ MINITAB.
- ◆ SAS.
- ◆ SPSS.

9. Aplicaciones del diseño experimental

Los métodos de diseño experimental tienen amplia aplicación en muchas disciplinas. En efecto, es un medio de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. También se emplea extensamente en el desarrollo de nuevos procesos. La aplicación de técnicas de diseño experimental en una fase temprana del desarrollo de un proceso pueden dar por resultado:

Los métodos de diseño experimental también tienen un contenido importante en las actividades de diseño de ingeniería, en las cuales se desarrollan nuevos productos y se mejoran otros ya existentes. Algunas aplicaciones del diseño experimental en esta rama de la ingeniería son:

- ◆ Evaluación y comparación de configuraciones de diseño básicas.
- ◆ Evaluación de materiales alternativos.
- ◆ Selección de parámetros de diseño de modo que el producto funcione bien en una amplia variedad de condiciones de uso real.

“La variabilidad es la harina del molino de la estadística”

APLICACIÓN INDUSTRIAL

Un empresario desea determinar la eficacia de cuatro tipos distintos de máquinas (A, B, C y D) en la producción de tornillos. Para ello, anota el número de tornillos defectuosos cada día de una semana en dos turnos de trabajo, con los resultados que recoge la Tabla 1. Hacer un análisis de varianzas para determinar al nivel de significación 0.05 si hay diferencia a) entre las máquinas y b) entre los turnos.

Tabla 1

MÁQUINA	PRIMER TURNO					SEGUNDO TURNO				
	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V
A	6	4	5	5	4	5	7	4	6	8
B	10	8	7	7	9	7	9	12	8	8
C	7	5	6	5	9	9	7	5	4	6
D	8	4	6	5	5	5	7	9	7	10

Solución

Para este experimento en particular se aconseja utilizar un diseño de dos factores con repetición.

Los datos se organizan de modo equivalente en la tabla 2, en la que los dos factores, máquinas y turnos, quedan indicados. Hay dos turnos para cada máquina. Los días de la semana pueden considerarse como repeticiones del trabajo de cada máquina. La variación total para todos los datos de la Tabla 2 es de 150,4.

Tabla 2

FACTOR I: MAQUINA	FACTOR II: ENSAYO	RÉPLICAS					TOTAL
		L	M	M	J	V	
A	1	6	4	5	5	4	24
	2	5	7	4	6	8	30
B	1	10	8	7	7	9	41
	2	7	9	12	8	8	44
C	1	7	5	6	5	9	32
	2	9	7	5	4	6	31
D	1	8	4	6	5	5	28
	2	5	7	9	7	10	38
TOTAL		57	51	54	47	59	268

Con el fin de considerar los dos factores, se limita la atención al total de valores de repetición correspondientes a cada combinación de factores. Recogidos en la Tabla 3 hacen de ésta una tabla de dos factores con entrada única. La variación total para la Tabla 3, que llamaremos variación subtotal, que es la sumatoria al cuadrado de cada uno de los valores de dicha tabla dividido sobre el número de replicas del experimento, a la cual se le debe descontar la suma-

Tabla 3

MAQUINA	PRIMER ENSAYO	SEGUNDO ENSAYO	TOTAL
A	24	30	54
B	41	44	85
C	32	31	63
D	28	38	66
TOTAL	125	143	268

total de la misma al cuadrado dividido sobre el total de datos analizados, cuyo valor para este caso es de 65,6.

Las demás variaciones se recogen en la Tabla 4, el análisis de varianza. La tabla da también el número de grados de libertad correspondiente a cada tipo de variación. Así pues, como hay cuatro filas en la Tabla 3, la variación debido a filas tiene tres grados de libertad, mientras que la variación debida a las dos columnas tiene un grado de libertad. Para hallar los grados de libertad debidos a la interacción, se puede establecer que la Tabla 3 tiene ocho entradas; luego los grados de libertad totales son siete. Puesto que tres de ellos se deben a las filas y uno a las columnas, los restantes se deben a la interacción. Puesto que hay cuarenta entradas en la tabla original (Tabla 1), el total de grados de libertad es treinta y nueve. De modo que los grados de libertad debidos a la variación residual son treinta y dos.

Tabla 4 (ANOVA)

F.V.	gl	CS	CM	F
Filas (máquinas)	3	51	17.000	6.420
Columnas (turnos)	1	8,1	8.100	3.060
Interacción	3	6,5	2.167	0.817
Variación residual	32	84,8	2.650	
Total	39	150,4		

Para continuar con el análisis del experimento se debe comparar el estadístico de F calculado contra el estadístico de F teórico, los cuales se recogen en la Tabla 5.

Tabla 5

F.V.	FC	F1
Filas (máquinas)	6.420	2.900
Columnas (turnos)	3.060	4.150
Interacción	0.817	>1

De la Tabla 5 se puede concluir que:

- ◆ Se puede apreciar que la interacción no es significativa; esto es, no se puede rechazar la hipótesis nula (Todas las medias de tratamiento (fila) son iguales).
- ◆ Se puede rechazar la hipótesis nula de que las filas tienen medias iguales. Ello equivale a decir que al nivel del 5% se puede concluir que las máquinas no son igualmente eficaces.
- ◆ El estadístico F calculado para columnas es menor que el estadístico F teórico; esto nos indica que no podemos rechazar la hipótesis nula de que las columnas tienen medias iguales. Lo que equivale a decir que al nivel del 0,05 no hay diferencia significativa entre los turnos.

CONCLUSIONES

- ◆ En las PYMES COLOMBIANAS sería ventajoso usar el diseño experimental para mejorar la productividad, reducir la variabilidad y obtener buenos productos y procesos de manufactura.
- ◆ Lo importante de este documento ha sido identificar los factores que afectan la cantidad de información en un experimento y utilizar este conocimiento para diseñar en el futuro inmediatos mejores experimentos.

- ◆ No pretendo con la realización de este ensayo condensar todo el tema del diseño de experimentos que es muy amplio, sino el darle a conocer para que mis colegas vean en la estadística una herramienta importante en su vida profesional futura.
- ◆ Todo investigador se enfrenta a dos difíciles tareas: -descubrir y entender las complejas relaciones que pueden existir entre varias variables, y -alcanzar este objetivo a pesar de que los datos están contaminados con error experimental.
- ◆ Uno de los más grandes inconvenientes que se presenta con el tema es la falta de difusión en los medios impresos dirigidos a los ingenieros industriales, y por ello el desconocimiento de este tema por parte de las directrices académicas de las facultades de ingeniería industrial en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- ◆ MURRAY R., Spiegel, *Estadística*, Segunda Edición en Español, España, McGrawHill, 1991, Páginas 396-399.
- ◆ MONTGOMERY C., Douglas, *Diseño y Análisis de Experimentos*, Primera Edición en Español, México, Grupo Editorial Iberoamérica S.A., 1991, Páginas 1-11.
- ◆ BOX P., George E., *Et-al, Estadística para Investigadores*, Primera Edición en Español, España, Editorial Reverté S.A., 1988, Páginas 1-16.
- ◆ MENDENHALL, William, *Es-al, Estadística Matemática con Aplicaciones*, Segunda Edición en Español, México, Grupo Editorial Iberoamérica S.A., 1994, Páginas 521-526.
- ◆ RON S., Kenett, *Et-al, Estadística Industrial moderna*, Primera Edición en Español, México, Internacional Thomson Editores S.A., 2000, Páginas 408-468.