

Introducción al diseño de experimentos

Diplomado: Diseño Profesional de Experimentos

Modulo: Fundamentos del diseño experimental

Econ. Morales Alberto Alexis Adonai

2025



1 El diseño de experimentos en la actualidad

- 1 El diseño de experimentos en la actualidad
- 2 Definiciones básicas en el diseño de experimentos

- 1 El diseño de experimentos en la actualidad
- 2 Definiciones básicas en el diseño de experimentos
- 3 Etapas en el diseño de experimentos

- 1 El diseño de experimentos en la actualidad
- 2 Definiciones básicas en el diseño de experimentos
- 3 Etapas en el diseño de experimentos
- 4 Consideraciones prácticas sobre el uso de métodos estadísticos

- 1 El diseño de experimentos en la actualidad
- 2 Definiciones básicas en el diseño de experimentos
- 3 Etapas en el diseño de experimentos
- 4 Consideraciones prácticas sobre el uso de métodos estadísticos
- 5 Principios básicos

- 1 El diseño de experimentos en la actualidad
- 2 Definiciones básicas en el diseño de experimentos
- 3 Etapas en el diseño de experimentos
- 4 Consideraciones prácticas sobre el uso de métodos estadísticos
- 5 Principios básicos
- 6 Clasificación y selección de los diseños experimentales

Objetivos

- Conocer el papel fundamental que juega el diseño de experimentos en el mejoramiento de procesos y en la investigación.
- Indentificar los principios básicos y los conceptos adecuados en el diseño de experimentos.
- Describir las etapas importantes en la investigación experimental.

- Aleatorización, bloqueo, diseño de experimentos, error aleatorio, experimento, factores controlables, factores estudiados, matriz de diseño, niveles, planeación, proceso de deducción, proceso de inducción, tratamiento, repetición, unidad experimental y variable de respuesta.

Sección 1

El diseño de experimentos en la actualidad

El diseño de experimentos en la actualidad

En la actualidad, es frecuente hacer experimentos o pruebas con la intención de resolver algún problema o comprobar una idea (conjetura, hipótesis); por ejemplo si se desea hacer unos cambios en materiales o condiciones de un proceso, probar varias temperaturas en una máquina para encontrar el mejor resultado o crear algún químico nuevo con la intención de lograr mejoras o eliminar un problema.

Es común que las pruebas o experimentos se realicen sobre el proceso con base en el ensayo y error, apelando a la experiencia y a la intuición, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a las interrogantes.

El diseño de experimentos en la actualidad

Algo similar ocurre con el análisis de los datos experimentales, donde más que hacer un análisis riguroso de toda la información obtenida y tomar en cuenta la variación, se realizan análisis más informales, “intuitivos”.

Es tal el poder de la experimentación que, en ocasiones, se logran mejoras a pesar de que el experimento se hizo con base en el ensayo y error. Aunque en situaciones con cierta complejidad no será suficiente aplicar este tipo de experimentación.

El *diseño estadístico de experimentos* es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. Consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para poder obtener datos que, al analizarse estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas.

Ejemplos de problemas que se pueden resolver con el diseño y el análisis de experimentos

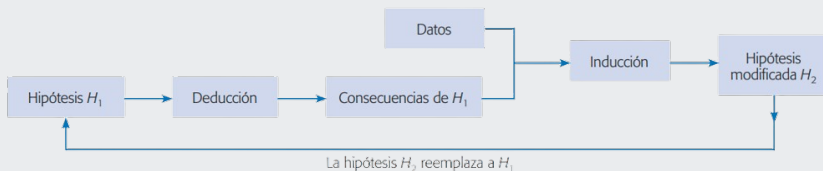
- Comparar dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
- Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
- Determinar los factores (las x vitales) de un proceso que tiene impacto sobre una o más características del producto final.
- Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
- Reducir el tiempo de ciclo del proceso.

Concepto de diseño de experimentos (DDE)

- El *diseño de experimentos* (DDE) es un conjunto de técnicas activas, en el sentido que no esperan que el proceso mande las señales útiles, sino que éste se *manipula* para que proporcione la información que se requiere para su mejoría.

Diseño de experimentos en la investigación

Lo mencionado hasta el momento, también es válido en el campo de la investigación científica o aplicada, ya que a fin de cuentas, el objetivo es generar nuevas ideas y mejores respuestas a las interrogantes del investigador sobre el objetivo de estudio.



Sección 2

Definiciones básicas en el diseño de experimentos

El *diseño de experimentos* es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, mediante pruebas planeadas adecuadamente.

- Es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto o resultado, asimismo permite aumentar el conocimiento acerca del sistema. Al analizar los efectos (datos) se obtiene conocimiento acerca del proceso o fenómeno, lo cual permite mejorar la interpretación.

Unidad experimental

- Son las piezas o muestras que se utilizan para genera un valor que sea representativo del resultado del experimento o prueba.
- En cada diseño de experimentos es important definir de manera cuidadosa la unidad experimental, ya que ésta puede ser una pieza o muestra de una sustancia o un conjunto de pieas producidas, dependiendo del proceso que se estudia.
- Ejemplo: Si se investiga el porcentaje de piezas defectuosas, el proceso para producirlas implica que se producen muchas piezas al corto plazo, por lo que la unidad no puede ser solo una pieza, si no varias que se producen en las mismas condiciones experimentales.

Variables, factores y niveles

- **Variable(s) de respuesta.** Se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental, por lo que pueden ser características de la calidad de un producto y/o variables que miden el desempeño de un proceso.
- **Factores controlables.** Son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso y se distinguen porque, para cada uno de ellos, existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación. A los factores controlables se les llaman: *variables de entrada, condiciones de proceso, variables de diseño, parámetros del proceso, las x de un proceso o factores*. Ejemplo: Temperatura, tiempo, cantidad, velocidad, presión, etc.

- **Factores no controlables o de ruido.** Son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso. Ejemplo: ánimo de los operadores, calidad del material, variables ambientales (luz, humedad, partículas, ruido, etc).
- **Factores estudiados.** Son las variables que se investigan en el experimento, respecto de cómo influyen o afectan a la(s) variable(s) de respuesta. Pueden ser controlables o no controlables, a estos últimos quizá fue posible y de interperes controlarlos durante el experimento.

Variables, factores y niveles

- **Niveles y tratamientos.** Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman *niveles*. Es una combinación de niveles de todos los factores estudiados (*tratamiento o punto de diseño*). Ejemplo: Si en un experimento se estudia la influencia de la velocidad y temperatura, y se decide probar cada una en dos niveles, entonces cada combinación de niveles (velocidad , tempraruta) es un tratamiento.

Cuadro 1: Tabla de niveles de velocidad, temperatura y tratamiento

Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	Tratamiento	Y
1	1	1	
2	1	2	?
1	2	3	
2	2	4	

Error aleatorio y error experimental

Cuando se realizar un estudio experimental, la variabilidad observada en la respuesta no se podrá explicar por los factores estudiados. Esto se debe a que habrá un remanente de variabilidad que se debe a causas comunes o aleatorias, que generan la variabilidad natural del proceso, a ello se le llama *error aleatorio*.

Por ejemplo, será parte de este error aleatorio el pequeño efecto que tienen los factores que no se estudiaron, siempre y cuando se mantenga pequeño o despreciable, así como la variabilidad de las mediciones hechas bajo las mismas condiciones.

Sección 3

Etapas en el diseño de experimentos

Etapas en el diseño de experimentos

Un aspecto fundamental del diseño de experimentos es decidir cuáles pruebas o tratamientos se van a realizar y cuántas repeticiones de cada uno se requieren, de manera que se obtenga la máxima información al mínimo costo posible. El arreglo formado por los diferentes tratamientos que serán corridos, incluyendo las repeticiones, recibe el nombre de matriz de diseño o solo diseño.

Para que un estudio experimental sea exitoso, será necesario realizar, por etapas, diferentes actividades. En este sentido, la etapa más importante y la que se le debe dedicar mayor tiempo es la *planeación*.

1. **Entender y delimitar el problema u objeto de estudio.** En la etapa de planeación se deben hacer investigaciones preliminares que conduzcan a entender y delimitar el problema u objeto de estudio, de tal forma que quede claro qué se va estudiar, por qué es importante y, si es un problema cuál es la magnitud del mismo.
2. **Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.** La elección de esta(s) variable(s) es vital, ya que en ella refleja el resultado de las pruebas. Por ello, se deben elegir aquellas que mejor reflejen el problema o que caractericen al objeto de estudio. Se debe tener confianza en que las mediciones que se obtengan sobre esas variables sean confiables.

3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta. No se trata de que el experimentador tenga que saber a priori cuáles factores influyen, puesto que precisamente para eso es el experimento, pero sí de que utilice toda la información disponible para incluir aquello que se considera que tiene mayor efecto.

4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento. Este paso también implica determinar cuántas repeticiones se harán para cada tratamiento, tomando en cuenta el tiempo, el costo y la precisión deseada.

5. Planear y organizar el trabajo experimental. Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental, por ejemplo, las personas que van a intervenir, la forma operativa en que se harán las cosas, etc.

6. Realizar el experimento. Seguir al pie de la letra el plan previsto en la etapa anterior, y en caso de algún imprevisto, determinar a qué persona se le reportaría y lo que se haría.

En esta etapa no se debe perder de vista que los resultados experimentales son *observacionales muestrales*, no poblacionales. Por ello, se debe recurrir a métodos estadísticos inferenciales para ver si las diferencias o efectos muestrales (experimentales) son lo suficientemente grandes para que garanticen diferencias poblaciones (o a nivel proceso). La técnica estadística central en el análisis de los experimentos es el llamado análisis de varianza ANOVA (Analysis of Variance, acrónimo en inglés).

Con el respaldo del análisis estadístico formal, se debe analizar con detalle lo que ha pasado en el experimento desde contrastar las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, hasta observar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar supuestos y elegir el tratamiento ganador, siempre con el apoyo de las pruebas estadísticas.

Para finalizar el estudio experimental, se recomienda decidir qué medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y para garantizar que las mejoras se mantengan, además, es preciso organizar una presentación para difundir los logros.

Sección 4

Consideraciones prácticas sobre el uso de métodos estadísticos

Consideraciones prácticas sobre el uso de métodos estadísticos

Es importante tomar en cuenta que aunque el uso de la metodología estadística, por lo general, ayuda a hacer más eficiente el proceso de investigación y de solución de problemas, es necesario reconocer que las metodologías estadísticas por sí solas no garantizan investigaciones exitosas, es por ello, que es importante considerar los siguientes puntos.

El conocimiento no estadístico es vital

Para utilizar los métodos estadísticos en general y en los diseños de experimentos, en particular, se requiere que el experimentador tenga un buen nivel de conocimiento técnico y práctico sobre el fenómeno o proceso que estudia, de tal manera que pueda vislumbrar con cierta facilidad cuáles son los aspectos clave del fenómeno y que sea capaz de plantear conjeturas precisas, vislumbrar el tipo de relaciones entre las variables de respuesta y los posibles factores a estudiar.

Reconocer la diferencia entre significancia estadística e importancia práctica

En ocasiones, un experimentador puede concluir que dos tratamientos son diferentes estadísticamente, pero que tales diferencias, aunque sean significativas, no necesariamente representan una diferencia que en la práctica sea importante.

Aportar más a la experimentación secuencial que a un experimento único y definitivo

A veces, los experimentadores novatos pretenden en una sola fase de experimentación contestar todas sus interrogantes sobre un proceso o fenómeno en particular. Sin embargo, esto puede llevar a experimentos muy extensos que consuman demasiados recursos y que retarden la generación de resultados. Es importante considerar como alternativas a diferentes fases de experimentación en forma secuencial, en las cuales se alcance paulatinamente una mayor precisión en los conocimientos y soluciones.

Sección 5

Principios básicos

Principios básicos

El diseño de experimentos trata de fenómenos que son observables y repetibles. Por lo tanto, sin el pensamiento estadístico, los conceptos de observabilidad y repetibilidad son inherentemente contradictorios. Cualquier cosa observada se aprecia con variabilidad; nada ocurre exactamente de la misma forma dos veces, incluso las mediciones del mismo evento varían. Entonces ¿Qué se quiere decir cuando la ciencia demanda que una observación sea repetible?, ¿qué repetición es realmente una repetición?, cuando un resultado es el mismo o difiere, ¿es confirmación o contradicción?

Se debe ser cuidadoso con la correcta planeación y el análisis de un experimento. El punto de partida para una correcta planeación es aplicar los principios básicos del diseño de experimentos: aleatorización, repetición y bloqueo.

Consiste en hacer las corridas experimentales en orden aleatorio y con material también seleccionado aleatoriamente. Este principio aumenta la probabilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla, lo cual es un requisito para la validez de las pruebas estadísticas que se realizan.

Es correr más de una vez un tratamiento o una combinación de factores. Es preciso no confundir este principio con medir varias veces el mismo resultado experimental. Repetir es volver a realizar un tratamiento, pero no inmediatamente después de haber corrido el mismo tratamiento, si no cuando corresponda de acuerdo con la aleatorización.

Las repeticiones permiten distinguir mejor qué parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cuál a los factores.

Consiste en nulificar o tomar en cuenta, en forma adecuada, todos los factores que puedan afectar a la respuesta observada. Al bloquear, se supone que el subconjunto de datos que se obtengan dentro de cada bloque, debe resultar más homogéneo que el conjunto total de datos. Por ejemplo, si se quieren comprar cuatro máquinas, es importante tomar en cuenta al operador de las máquinas, en especial si se cree que la habilidad y los conocimientos del operario pueden influir en el resultado.

Sección 6

Clasificación y selección de los diseños experimentales

Clasificación y selección de los diseños experimentales

Existen muchos diseños experimentales para estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Esta cantidad de diseños hace necesario saber cómo elegir el más adecuado para una situación dada y, por ende, es preciso conocer cómo es que se clasifican los diseños de acuerdo con su objetivo y su alcance.

Cinco aspectos que influyen en la selección de un diseño experimental

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian por lo general nos llevan a cambiar de diseño son:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a estudiar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relaciones factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

Clasificación del diseño experimental según objetivos

El *objetivo del experimento* se utiliza como un criterio general de clasificación de los diseños experimentales, mientras que los otros cuatro puntos son útiles para subclasificarlos, en este sentido, de acuerdo con su objetivo y sin pretender ser exhaustivos, los diseños se pueden clasificar como:

1. Diseños para comprobar dos o más tratamientos.
2. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s).
3. Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
4. Diseños para la optimización de una mezcla.
5. Diseños para hacer el producto o proceso insensible a factores no controlables.

Diseños experimentales (Parte 1)

Diseños para
comparar dos o
más tratamientos

- Diseño completamente al azar
- Diseño de bloques completos al azar
- Diseño de cuadros latino y grecolatino

Diseños para
estudiar el efecto
de varios factores

- Diseños factoriales 2^k
- Diseños factoriales 3^k
- Diseños factoriales fraccionados 2^{k-p}

Diseños para
la optimización
de procesos

- Diseños para el modelo de primer orden
- Diseños factoriales $2^k \vee 2^{k-p}$
- Diseño de Plackett-Burman
- Diseño simplex

Diseños experimentales (Parte 2)

Diseños robustos

- Diseños para el modelo de segundo orden
- Diseño de composición central
- Diseño de Box-Behnken
- Diseños factoriales $3^k \vee 3^{k-p}$

Diseños de mezclas

- Arreglos ortogonales
- Diseño con arreglos interno y externo
- Diseño simplex-reticular
- Diseño simplex con centroide
- Diseño con restricciones
- Diseño axial

- Pulido, G. H., & De la Vara, S. R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. Wiley.