

# PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

## Diseño estadístico de experimentos

El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas.

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa forma clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras.

## Problemas típicos

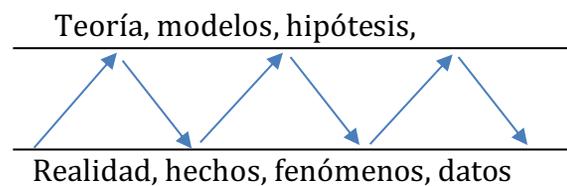
1. Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
2. Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
3. Determinar los factores (vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
4. Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad), por ejemplo, donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
5. Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
6. Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
7. Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
8. Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales.

## Mejora de procesos

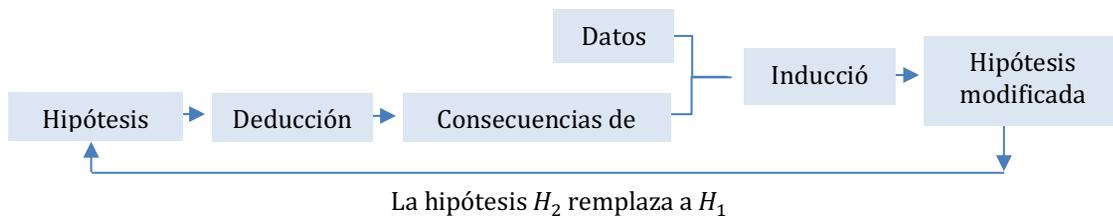
Cuando se quiere mejorar un proceso, existen dos maneras básicas de obtener la información necesaria:

- Observar o monitorear vía herramientas estadísticas, hasta obtener señales útiles que permitan mejorarlo; se dice que ésta es una estrategia pasiva.
- Hacer cambios estratégicos y deliberados al proceso para provocar dichas señales útiles (Experimentar)

## Proceso interactivo de la experimentación



El proceso de generación de aprendizaje y conocimiento como un ciclo de retroalimentación.

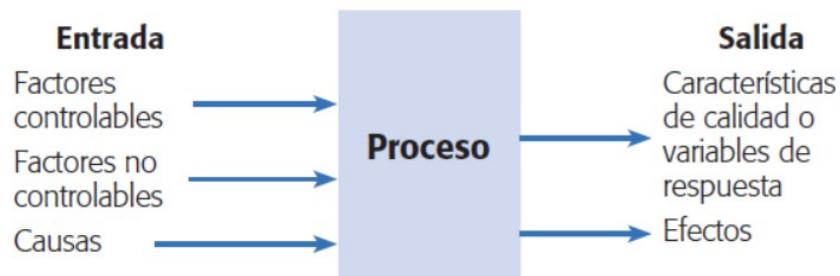


## Definiciones básicas

**Experimento:** 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, el experimento permite aumentar el conocimiento acerca del sistema.

**Unidad experimental:** La *unidad experimental* es la pieza(s) o muestra(s) que se utiliza para generar un valor que sea representativo del resultado del experimento o prueba.

**Variable(s) de respuesta:** A través de esta(s) variable(s) 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. Por lo general, estas variables se denotan con la letra *y*.



¿Cuáles características de calidad se van a medir?

¿Cuáles factores controlables deben incluirse en el experimento?

¿Qué niveles debe utilizar cada factor?

¿Cuál diseño experimental es el adecuado?

**Factores controlables:** Son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado y existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación (*temperatura, cantidad de reactivo, presión, etc.*) Se les llaman *variables de entrada*, las *x de un proceso* o simplemente *factores*.

**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. Por ejemplo, luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, el ánimo de los operadores, 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. Para que un factor pueda ser estudiado es necesario que durante el experimento se haya probado en, al menos, *dos niveles o condiciones*.

**Niveles y tratamientos:** Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman *niveles*. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama *tratamiento o punto de diseño*.

Ejemplo de puntos de diseño o tratamientos para un experimento donde se estudia la influencia de la velocidad y la temperatura.

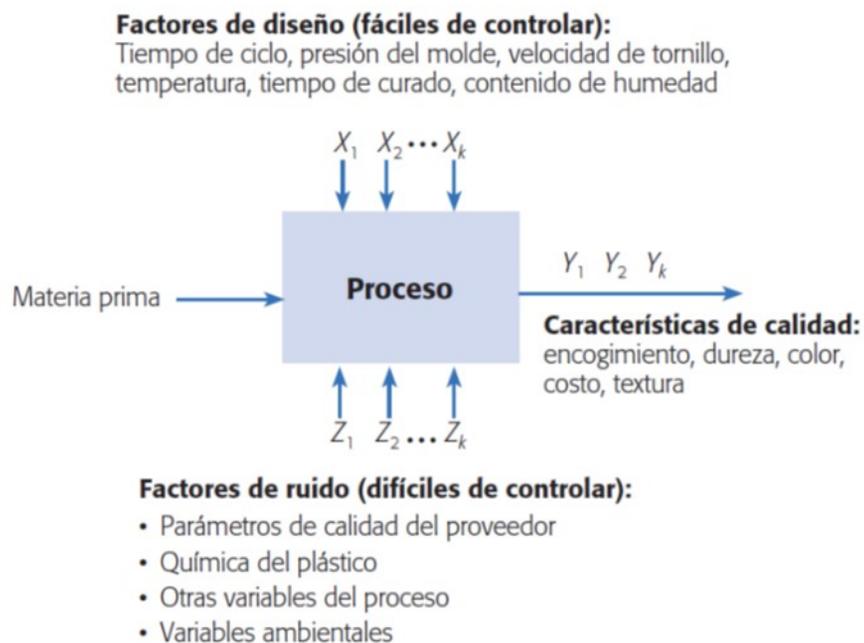
Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	Tratamiento	y
1	1	1	?
2	1	2	
1	2	3	
2	2	4	

**Error aleatorio:** Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental.

**Error experimental:** Componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento.

- Cuando se corre un diseño experimental es importante que la variabilidad observada de la respuesta se deba principalmente a los factores estudiados y en menor medida al error aleatorio, y además que este error sea efectivamente aleatorio.
- Cuando la mayor parte de la variabilidad observada se debe a factores no estudiados o a un error no aleatorio, no se podrá distinguir cuál es el verdadero efecto que tienen los factores estudiados, con lo que el experimento no alcanzaría su objetivo principal.

Por ejemplo, a continuación, se muestran los factores y variables en la fabricación de un envase de plástico.



## 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. El arreglo formado por los diferentes tratamientos que serán corridos, incluyendo las repeticiones, recibe el nombre de *matriz de diseño* o solo *diseño*.

### 1. Planeación y realización

Entender y delimitar el problema u objeto de estudio

Elegir las variables de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.

Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo con la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.

Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.

Planear y organizar el trabajo experimental.

Realizar el experimento.

### 2. Análisis

Los resultados experimentales son *observaciones 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 poblacionales (o a nivel proceso). La técnica estadística central en el análisis de los experimentos es el llamado análisis de varianza **ANOVA**.

### 3. Interpretación

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.

### 4. Control y conclusiones

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.

## Principios básicos

- **Aleatorización**

Consiste en hacer corridas experimentales en orden aleatorio (al azar); este principio aumenta la posibilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla. Una evidencia de incumplimiento o violación de este principio se manifiesta cuando el resultado obtenido en una prueba está muy influenciado por la prueba inmediata anterior.

- **Repetición**

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, sino 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.

Cuando no se hacen repeticiones no hay manera de estimar la variabilidad natural o el error aleatorio, y esto dificulta la construcción de estadísticas realistas en el análisis de los datos.

- **Bloqueo**

Consiste en nulificar o tomar en cuenta, en forma adecuada, todos los factores que puedan afectar la respuesta observada.

Al bloquear, se supone que el subconjunto de datos que se obtengan dentro de cada bloque (nivel particular del factor bloqueado), debe resultar más homogéneo que el conjunto total de datos.

### **Clasificación y selección de los diseños experimentales**

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 (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

De acuerdo con su objetivo los diseños se pueden clasificar como:

1. Diseños para comparar 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.

## Clasificación de los diseños experimentales

1. Diseños para comparar dos o más tratamientos
  - Diseño completamente al azar
  - Diseño de bloques completos al azar
  - Diseño de cuadros latino
2. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre una o más variables de respuesta
  - Diseños factoriales  $2^k$
  - Diseños factoriales  $3^k$
  - Diseños factoriales fraccionados  $2^{k-p}$
3. Diseños para la optimización de procesos
  - Diseños para el modelo de primer orden
    - Diseños factoriales  $2^k$  y  $2^{k-p}$
    - Diseño de Plankett-Burman
    - Diseño simplex
  - Diseños para el modelo de segundo orden
    - Diseño de composición central
    - Diseño de Box-Behnken
    - Diseños factoriales  $3^k$  y  $3^{k-p}$
4. Diseños robustos
  - Arreglos ortogonales (diseños factoriales)
  - Diseño con arreglos interno y externo
5. Diseños de mezclas
  - Diseño simplex-reticular
  - Diseño simplex con centroide
  - Diseño con restricciones
  - Diseño axial

**Referencia:**

Sánchez, I. (2022). Introducción al diseño de experimentos [Diapositiva de PowerPoint].

Academia.edu .

[https://www.academia.edu/29784459/\\_Introducci%C3%B3n\\_al\\_dise%C3%B1o\\_de\\_experimentos\\_Widescreen\\_1\\_](https://www.academia.edu/29784459/_Introducci%C3%B3n_al_dise%C3%B1o_de_experimentos_Widescreen_1_)