

Lección 4.1: Ejercicio de un Factorial 2^3

Alfaomega

Alfaomega-UAQro-CIMAT

2016

Índice

- 1 Presentación
- 2 Motivación
- 3 Ideas para planear y realizar Diseño factorial 2^3
- 4 Diseño factorial 2^3 sin réplicas
 - Qué es un efecto?
 - Hipótesis estadísticas
 - Resumen efectos principales
 - Estudio de los efectos interacción
 - Hipótesis sobre el efecto de interacción?
 - Cálculo del efecto de interacción
 - Resumen estadístico de la interacción
 - Interpretación y conclusiones
 - Cierre de proyecto
- 5 Análisis estadístico mediante paquetes estadísticos
- 6 Comentarios adicionales
- 7 Prácticas

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

- 1 Descripción de ideas y actividades que se realizarán en esta lección.
 - Primero se mostrará una serie de ideas para motivar la posibilidad de planear un experimento.
 - Se describe la estrategia para aleatorizar las unidades experimentales UE en un diseño de tres factores con dos niveles: 2^k .
 - Se presenta un caso de estudio para describir la planeación, realización y análisis de este tipo de diseño.
 - En cada caso, se plantean una serie de preguntas para madurar en los conceptos de estrategia experimental y análisis estadístico.
 - La finalidad consiste en comprender la metodología estadística que se aprendió desde los niveles básicos.
 - Mediante el uso del lenguaje de programación R, se estudiará la parte operativa con el fin de reforzar el conocimiento estadístico de los resultados. Lección 4.3
- 2 El procedimiento del caso de estudio se puede repetir en actividades que realizamos en nuestros trabajos, estudios o investigaciones en medicina, biología, sicología entre otras áreas.
- 3 Algunos ejercicios se resolverán usando paquetes estadísticos comerciales. Lecciones 4.2 y 4.4

Objetivos

- Conocer diferentes conceptos estadísticos en la etapa de mejora en la elaboración de un proyecto mediante la experimentación.
- Comprender algunas estrategias de diseño de experimentos factoriales en la mejora de procesos.
- Utilizar el lenguaje de programación R para realizar la parte operativa del análisis estadístico. Lección 4.3
- Aprender a interpretar los resultados del análisis estadístico que generan diversos paquetes comerciales. Lección 4.4
- Aplicar la metodología estadística para optimizar procesos en la industria. Lección 9.1

Objetivos

- Conocer diferentes conceptos estadísticos en la etapa de mejora en la elaboración de un proyecto mediante la experimentación.
- Comprender algunas estrategias de diseño de experimentos factoriales en la mejora de procesos.
- Utilizar el lenguaje de programación R para realizar la parte operativa del análisis estadístico. Lección 4.3
- Aprender a interpretar los resultados del análisis estadístico que generan diversos paquetes comerciales. Lección 4.4
- Aplicar la metodología estadística para optimizar procesos en la industria. Lección 9.1

Objetivos

- Conocer diferentes conceptos estadísticos en la etapa de mejora en la elaboración de un proyecto mediante la experimentación.
- Comprender algunas estrategias de diseño de experimentos factoriales en la mejora de procesos.
- Utilizar el lenguaje de programación R para realizar la parte operativa del análisis estadístico. Lección 4.3
- Aprender a interpretar los resultados del análisis estadístico que generan diversos paquetes comerciales. Lección 4.4
- Aplicar la metodología estadística para optimizar procesos en la industria. Lección 9.1

Objetivos

- Conocer diferentes conceptos estadísticos en la etapa de mejora en la elaboración de un proyecto mediante la experimentación.
- Comprender algunas estrategias de diseño de experimentos factoriales en la mejora de procesos.
- Utilizar el lenguaje de programación R para realizar la parte operativa del análisis estadístico. Lección 4.3
- Aprender a interpretar los resultados del análisis estadístico que generan diversos paquetes comerciales. Lección 4.4
- Aplicar la metodología estadística para optimizar procesos en la industria. Lección 9.1

Objetivos

- Conocer diferentes conceptos estadísticos en la etapa de mejora en la elaboración de un proyecto mediante la experimentación.
- Comprender algunas estrategias de diseño de experimentos factoriales en la mejora de procesos.
- Utilizar el lenguaje de programación R para realizar la parte operativa del análisis estadístico. Lección 4.3
- Aprender a interpretar los resultados del análisis estadístico que generan diversos paquetes comerciales. Lección 4.4
- Aplicar la metodología estadística para optimizar procesos en la industria. Lección 9.1

¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

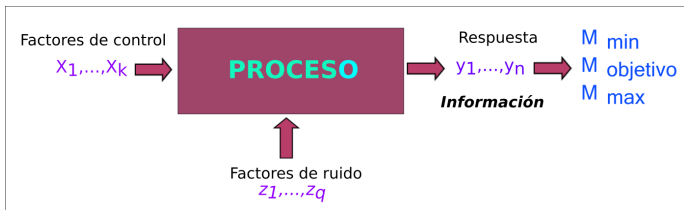
¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

¿Por qué surge la necesidad de planear y realizar experimentos?

- Buscar ahorro
- Mejorar productos y servicios
- Ganar nuevos mercados
- Incrementar ventas
- Estudiar nuevos procedimientos en diversas áreas para encontrar mejores soluciones
- Beneficio social
- Ganar preferencia

Características y metas de un proceso



- ¿Qué elementos intervienen para alcanzar las metas M ? *Los factores de control (X) y ruido (Z)*
- ¿Cómo se miden los avances? Mediante el estudio de *la o las variables de respuesta*.

¿Cómo se obtienen los valores M?

Mediante una planeación experimental.

Por ejemplo, en un caso de siete factores se pueden realizar 8 pruebas experimentales con el fin de estudiar que factor tiene mayor relevancia en una investigación.

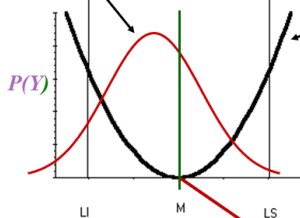
| Tratamiento | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | y_1 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | y_2 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | y_3 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | y_4 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | y_5 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | y_6 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | y_7 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | y_8 |

Detalles de estos diseños se muestran lecciones 5.1 y 5.2.

¿Cuál es el impacto en el proceso de alcanzar el valor de M ?

Voz del proceso

Voz del cliente



$$P = k[(Y(x_1, \dots, x_k) - M)^2]$$

$$P = k[(Y(X|Z) - M)^2]$$

$$X = (x_1, \dots, x_k), \quad Z = (z_1, \dots, z_k)$$

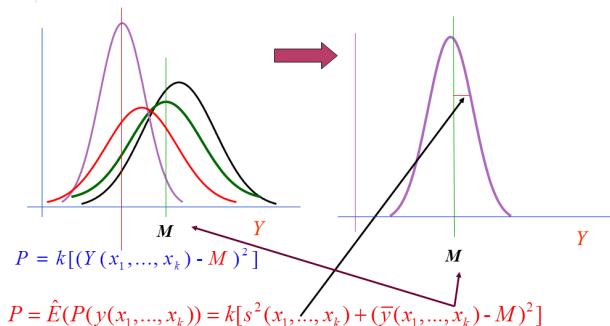
P Mide la pérdida ocasionada por no tener el valor M y varianza grande. La meta es que mediante un diseño de experimento factorial se alcance el valor M y se reduzca la varianza al rededor de M .

La meta final del experimento es alcanzar el valor M y reducir la varianza

Es decir:

¿Cómo alcanzar estas metas? Mediante la estimación de la media y varianza usando los resultados experimentales.

En las gráficas se señalan los valores de los parámetros. **Un buen trabajo experimental**

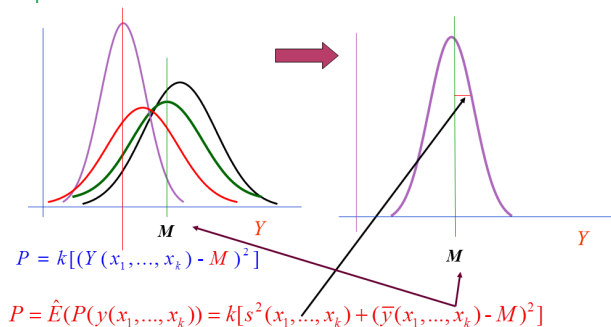


La meta final del experimento es alcanzar el valor M y reducir la varianza

Es decir:

¿Cómo alcanzar estas metas? Mediante la estimación de la media y varianza usando los resultados experimentales.

En las gráficas se señalan los valores de los parámetros. **Un buen trabajo experimental**



El diseño factorial ayuda a desarrollar, cambiar o mejorar un proceso

Las siguientes dos transparencias describen:

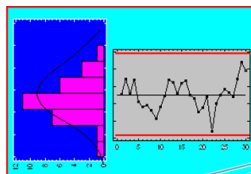
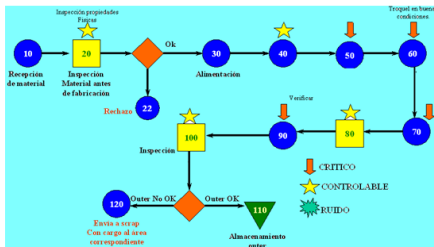
- El diagrama de flujo de un proceso o sistema y su relación con el desempeño.
- El diagrama de flujo y el esquema general de un proceso.

Proponga un ejemplo de su área de interés que contenga estos elementos.

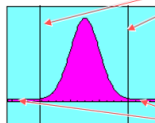
La variable de salida una característica de calidad

Valoración de los datos en el tiempo

Valoración de las necesidades del cliente

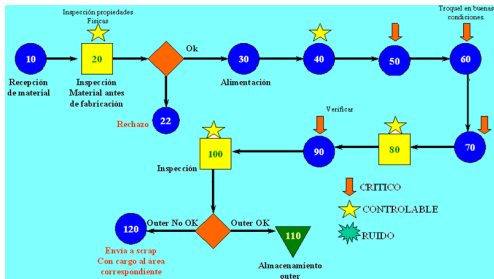


Necesidades del cliente

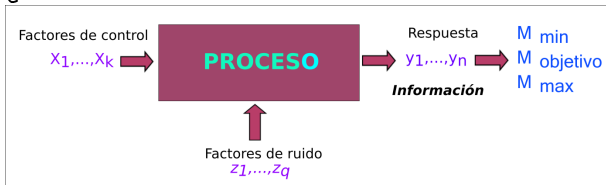


Frecuencia de no conformes

La variable de salida una característica de calidad



¿Qué elementos intervienen para alcanzar esas metas?
 ¿Cómo se miden los avances?



Características de calidad

Variables de interés en algunos procesos

| | |
|-------------|----------------------|
| Viscosidad | Degradación |
| Dureza | Fatiga |
| Tensión | Vida de las lámparas |
| Elasticidad | Reacciones químicas |
| Producción | Número de defectos |
| Color | Tiempo entre fallas |
| Costo | Datos financieros |
| Actividad | Vida de anaquel |

Beneficios del diseño de experimentos

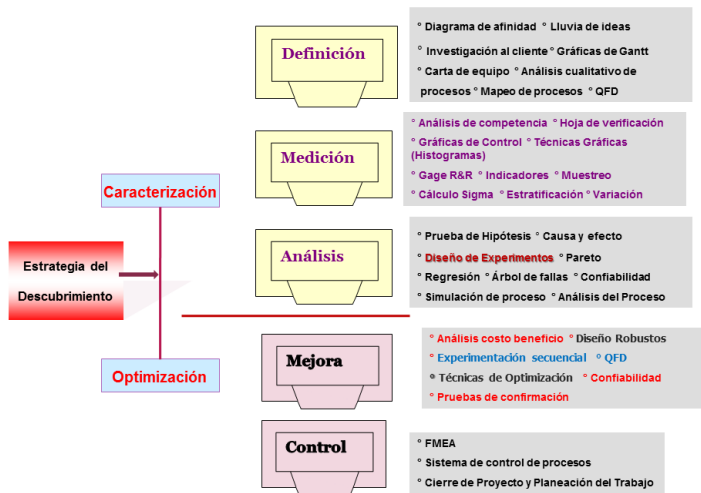
Para una organización reflejados en el rendimiento del negocio:

- Buscar **ahorro**
- **Mejorar** productos y servicios
- **Nuevos** mercados
- **Incrementar** ventas
- **Beneficio** social
- Ganar **preferencia**
- Reducción de defectos
- Bajos costos
- Alta satisfacción del cliente
- Cortos tiempos de ciclo
- Procesos predecibles
- Mejora de tratamientos médicos



sipoc: relación entre proveedores, entradas, proceso, salida y clientes

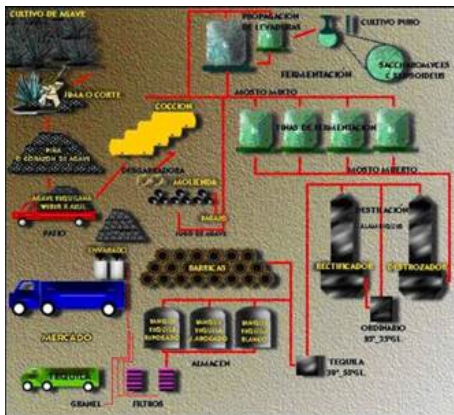
Modelo para caracterizar y optimizar proceso



Guía para seguir el desarrollo del estudio o investigación de un tema. Ésta contiene cinco etapas y cada una de ellas es relevante. La medición, análisis y mejora son tratadas en particular en esta lección.

Descripción de la relación entre diferentes procesos

En la práctica un proceso interactúa con varios sistemas. En varias lecciones del libro se presentarán diferentes casos de interrelación entre sistemas, fenómenos o personas.



Caso de estudio: Elasticidad de un plástico

Requerimiento del cliente

Una empresa necesita de un plástico para su proceso. Le solicita a su proveedor que la elasticidad del plástico debe cumplir un rango específico de calidad.

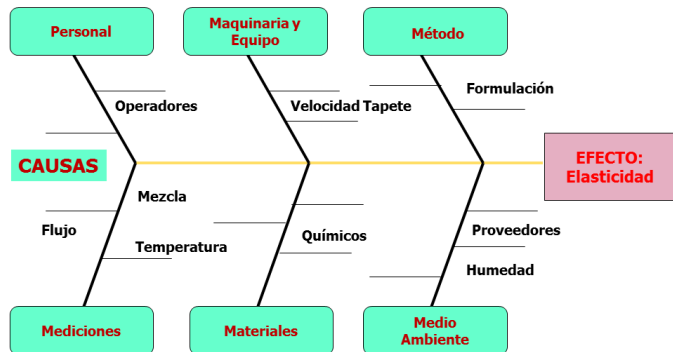
El valor estándar de la elasticidad que determinan debe estar entre 65 y 70 unidades.

El planteamiento y el análisis estadístico de este ejemplo aplicado, es un ejercicio muestra de lo que se plantea en este tema. La solución se realiza paso a paso para que los usuarios comprendan los detalles conceptuales desde el planteamiento del diseño hasta el análisis estadístico y la interpretación.

Descripción del estudio de caso

Un proceso manufactura plásticos para la industria automotriz. La variable de calidad es la elasticidad del plástico y se requiere alcanzar un valor de especificación. los factores que intervienen en el proceso se muestran en el siguiente diagrama.

Diagrama Espina de Pescado



Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|----------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|----------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|----------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|----------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|-----------------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|-----------------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Ejemplo de un Diseño Factorial 2^3

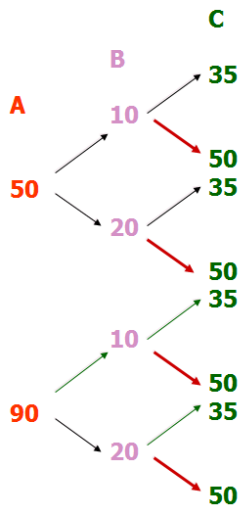
Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles)

- **Producto:** Elaboración de un plástico en la industria automotriz.
- **Objetivo:** Producir un plástico con una elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:** Elasticidad.

| | |
|-----------------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas

- ¿Qué esquema experimental se utilizará?
- ¿Cómo se realiza el experimento?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?

Esquema experimental: Diseño factorial 2³

| Factores de Control: | Valores | |
|----------------------|---------|---------|
| | nivel 1 | nivel 2 |
| A: Temperatura (oC) | 50 | 90 |
| B: Mezcla (g) | 10 | 20 |
| C: Flujo (g/min) | 35 | 50 |

¿Qué esquema experimental se utilizará?

| Prueba | Factores | | |
|--------|-------------------|-------------|----------------|
| | Temperatura °C | Mezcla g | Flujo g/min |
| 1 | 50 | 10 | 35 |
| 2 | 90 | 10 | 35 |
| 3 | 50 | 20 | 35 |
| 4 | 90 | 20 | 35 |
| 5 | 50 | 10 | 50 |
| 6 | 90 | 10 | 50 |
| 7 | 50 | 20 | 50 |
| 8 | 90 | 20 | 50 |

¿Cómo se realiza el experimento?: Se aleatoriza cada prueba

Resultados experimentales

| Prueba | Factores | | | Resultados de la prueba |
|--------|----------------|----------|-------------|-------------------------|
| | Temperatura °C | Mezcla g | Flujo g/min | |
| 1 | 50 | 10 | 35 | 64 |
| 2 | 90 | 10 | 35 | 88 |
| 3 | 50 | 20 | 35 | 68 |
| 4 | 90 | 20 | 35 | 76 |
| 5 | 50 | 10 | 50 | 38 |
| 6 | 90 | 10 | 50 | 74 |
| 7 | 50 | 20 | 50 | 38 |
| 8 | 90 | 20 | 50 | 56 |

Después de completar todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores.

Se aleatoriza cada uno de los ocho tratamientos.

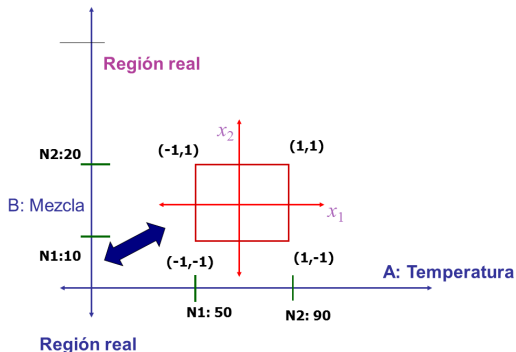
A continuación se realiza el experimento y se anotan las respuestas.

Observe que en este caso sólo se tiene una observación por tratamiento en tal situación nos referiremos a un diseño sin réplicas.

Transformación de la situación real al estandarizado

Transformación de la región experimental real Líneas azules.
Región codificada líneas rojas.

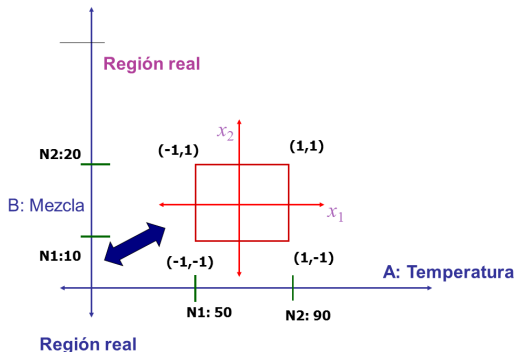
$$x_1 = \frac{X_1 - \bar{X}}{0.5 * rango} \text{ rango} = X_{max} - X_{min}$$



Transformación de la situación real al estandarizado

Transformación de la región experimental real Líneas azules.
Región codificada líneas rojas.

$$x_1 = \frac{X_1 - \bar{X}}{0.5 * rango} \text{ rango} = X_{max} - X_{min}$$



Diseño Factorial 2^3 , planeación, análisis y conclusión.

Diseño factorial con tres factores cada uno de ellos tiene dos valores (denominados niveles).

- **Producto:**Elaboración de una Plástico que se utilizará en la industria automotriz.
- **Objetivo:**Producir una Plástico con una Elasticidad entre 65-70.
- **Variable de Respuesta:**Elasticidad.

| | |
|-----------------------------|---------|
| Factores de Control: | Valores |
| Temperatura (oC) | 50, 90 |
| Mezcla (g) | 10, 20 |
| Flujo (g/min) | 35, 50 |

Preguntas sobre la estrategia experimental y análisis

- ¿Qué esquema experimental se utilizará? Como se planteó un diseño 2^3
- ¿Cómo se realiza el experimento? Se aleatoriza cada uno de los 8 tratamientos

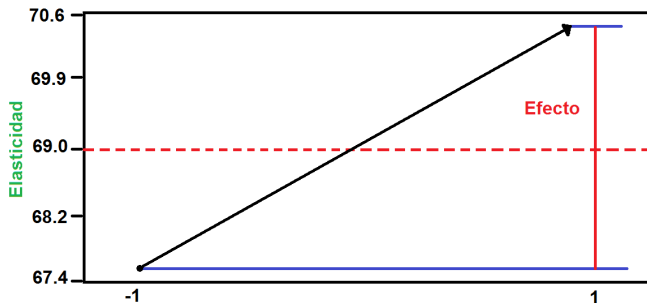
Las siguientes preguntas se irán contestando en las sucesivas transparencias

- ¿Qué es un efecto?
- ¿Qué factor tiene efecto sobre la elasticidad?
- ¿Cómo se plantea en términos de hipótesis estadísticas?
- ¿Cómo estimar el efecto de un factor o efecto principal?
- ¿Existe efecto de interacción entre los factores?
- ¿Cómo se plantea en términos de hipótesis estadísticas?

Qué es un efecto?

¿Qué factor tiene efecto sobre la Elasticidad?

El objetivo: Identificar que factores o interacciones ayudan en alcanzar el valor deseado en la Elasticidad.



¿Cómo se plantea el efecto de un factor en términos de hipótesis estadísticas?

El objetivo: Identificar que factores o interacciones ayudan en alcanzar el valor deseado en la Elasticidad.

Hipótesis de interés que se plantean en este proyecto. Por ejemplo para el factor C.

Hipótesis de trabajo:

Hipótesis (factor C): El **flujo** produce un resultado diferente en la Elasticidad

$$H_{C_0} : \mu(f_1) - \mu(f_2) = 0$$

$$H_{C_1} : \mu(f_1) - \mu(f_2) \neq 0$$

Si se rechaza la hipótesis nula se dice que hay efecto de del factor

¿Cómo se plantea el efecto de un factor en términos de hipótesis estadísticas?

El objetivo: Identificar que factores o interacciones ayudan en alcanzar el valor deseado en la Elasticidad.

Hipótesis de interés que se plantean en este proyecto. Por ejemplo para el factor C.

Hipótesis de trabajo:

Hipótesis (factor C): El **flujo** produce un resultado diferente en la Elasticidad

$$H_{C_0} : \mu(f_1) - \mu(f_2) = 0$$

$$H_{C_1} : \mu(f_1) - \mu(f_2) \neq 0$$

Si se rechaza la hipótesis nula se dice que hay efecto de del factor

Escriba las otras hipótesis

Hipótesis para los factores temperatura y mezcla.

$$H_{A_0} : \mu(t_1) - \mu(t_2) = 0 \quad H_{A_1} : \mu(t_1) - \mu(t_2) \neq 0$$

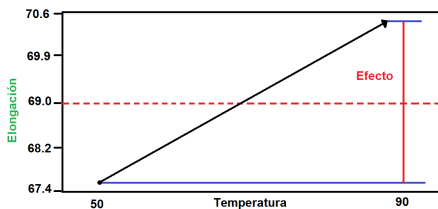
$$H_{B_0} : \mu(m_1) - \mu(m_2) = 0 \quad H_{B_1} : \mu(m_1) - \mu(m_2) \neq 0$$

Describe de manera gráfica el efecto de un factor

¿Cuál es el valor de la media que corresponde al punto en el nivel 50 de la temperatura? Obténgalo

¿Cuál es el valor de la media que corresponde al punto en el nivel 90 de la temperatura?

El efecto es la diferencia, ¿cuál es esta? $\hat{\delta}_A = \bar{y}_{2..} - \bar{y}_{1..}$



¿Cómo estimar el efecto de un factor o efecto principal

Estimación de efectos de los factores: Estimación Factor A

| Tra | A | B | C | R |
|-----|----|---|---|----|
| 1 | 50 | | | 64 |
| 2 | 90 | | | 88 |
| 3 | 50 | | | 68 |
| 4 | 90 | | | 76 |
| 5 | 50 | | | 38 |
| 6 | 90 | | | 74 |
| 7 | 50 | | | 38 |
| 8 | 90 | | | 56 |

| | | Tem | | mezcla | | flujo | |
|-------|-------|-----|------|--------|--|-------|--|
| Trat | elong | n1 | n2 | | | | |
| 1 | 64 | 64 | | | | | |
| 2 | 88 | | 88 | | | | |
| 3 | 68 | 68 | | | | | |
| 4 | 76 | | 76 | | | | |
| 5 | 38 | 38 | | | | | |
| 6 | 74 | | 74 | | | | |
| 7 | 38 | 38 | | | | | |
| 8 | 56 | | 56 | | | | |
| Total | | 208 | 294 | | | | |
| Obs | | 4 | 4 | | | | |
| Media | | 52 | 73.5 | | | | |

$$\text{Efecto} : \hat{\delta}_A = 73.5 - 52 = 21.5$$

Con estas operaciones se tiene calculado el efecto del factor A: temperatura. La cuestión es ver si este es significativo.

¿Cómo estimar el efecto de un factor o efecto principal

Estimación de efectos de los factores: Estimación Factor A

| Tra | A | B | C | R |
|-----|----|---|---|----|
| 1 | 50 | | | 64 |
| 2 | 90 | | | 88 |
| 3 | 50 | | | 68 |
| 4 | 90 | | | 76 |
| 5 | 50 | | | 38 |
| 6 | 90 | | | 74 |
| 7 | 50 | | | 38 |
| 8 | 90 | | | 56 |

| | | Tem | | mezcla | | flujo | |
|-------|-------|-----|------|--------|--|-------|--|
| Trat | elong | n1 | n2 | | | | |
| 1 | 64 | 64 | | | | | |
| 2 | 88 | | 88 | | | | |
| 3 | 68 | 68 | | | | | |
| 4 | 76 | | 76 | | | | |
| 5 | 38 | 38 | | | | | |
| 6 | 74 | | 74 | | | | |
| 7 | 38 | 38 | | | | | |
| 8 | 56 | | 56 | | | | |
| Total | | 208 | 294 | | | | |
| Obs | | 4 | 4 | | | | |
| Media | | 52 | 73.5 | | | | |

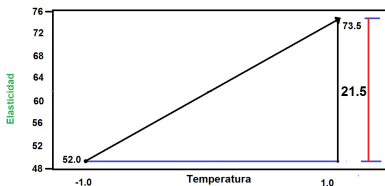
$$\text{Efecto} : \hat{\delta}_A = 73.5 - 52 = 21.5$$

Con estas operaciones se tiene calculado el efecto del factor A: temperatura. La cuestión es ver si este es significativo.

¿Cuál es el procedimiento que se seguiría para ver esta significancia?

Estimación del efecto del factor A

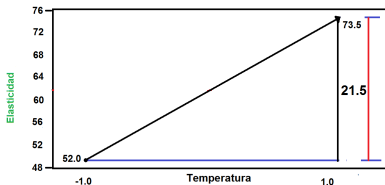
Efecto del Factor A: Temperatura en la elongación



| | | A | |
|-------|-------|-----|------|
| Trat | elong | n1 | n2 |
| 1 | 64 | 64 | |
| 2 | 88 | | 88 |
| 3 | 68 | 68 | |
| 4 | 76 | | 76 |
| 5 | 38 | 38 | |
| 6 | 74 | | 74 |
| 7 | 38 | 38 | |
| 8 | 56 | | 56 |
| Total | | 208 | 294 |
| Obs | | 4 | 4 |
| Media | | 52 | 73.5 |

Estimación del efecto del factor A

Efecto del Factor A: Temperatura en la elongación



$$\text{Efecto} : \hat{\delta}_A = 73.5 - 52 = 21.5$$

| | | A | |
|-------|-------|-----|------|
| Trat | elong | n1 | n2 |
| 1 | 64 | 64 | |
| 2 | 88 | | 88 |
| 3 | 68 | 68 | |
| 4 | 76 | | 76 |
| 5 | 38 | 38 | |
| 6 | 74 | | 74 |
| 7 | 38 | 38 | |
| 8 | 56 | | 56 |
| Total | | 208 | 294 |
| Obs | | 4 | 4 |
| Media | | 52 | 73.5 |

Estimación efectos de los factores B y C

| Tra | A | B | C | R |
|-----|----|----|----|----|
| 1 | 50 | 10 | 35 | 64 |
| 2 | 90 | 10 | 35 | 88 |
| 3 | 50 | 20 | 35 | 68 |
| 4 | 90 | 20 | 35 | 76 |
| 5 | 50 | 10 | 50 | 38 |
| 6 | 90 | 10 | 50 | 74 |
| 7 | 50 | 20 | 50 | 38 |
| 8 | 90 | 20 | 50 | 56 |

| | | tem | | mezcla | | flujo | |
|-------|-------|-----|------|--------|------|-------|------|
| Trat | elong | n2 | n2 | n1 | n2 | n1 | n2 |
| 1 | 64 | 64 | | 64 | | 64 | |
| 2 | 88 | | 88 | 88 | | 88 | |
| 3 | 68 | 68 | | | 68 | 68 | |
| 4 | 76 | | 76 | | 76 | 76 | |
| 5 | 38 | 38 | | 38 | | | 38 |
| 6 | 74 | | 74 | 74 | | | 74 |
| 7 | 38 | 38 | | | 38 | 38 | |
| 8 | 56 | | 56 | | 56 | | 56 |
| Total | | 208 | 294 | 264 | 238 | 296 | 206 |
| Obs | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Media | | 52 | 73.5 | 66 | 59.5 | 74 | 51.5 |

Estimación efectos de los factores B y C

| Tra | A | B | C | R |
|-----|----|----|----|----|
| 1 | 50 | 10 | 35 | 64 |
| 2 | 90 | 10 | 35 | 88 |
| 3 | 50 | 20 | 35 | 68 |
| 4 | 90 | 20 | 35 | 76 |
| 5 | 50 | 10 | 50 | 38 |
| 6 | 90 | 10 | 50 | 74 |
| 7 | 50 | 20 | 50 | 38 |
| 8 | 90 | 20 | 50 | 56 |

| | | tem | | mezcla | | flujo | |
|-------|-------|-----|------|--------|------|-------|------|
| Trat | elong | n2 | n2 | n1 | n2 | n1 | n2 |
| 1 | 64 | 64 | | 64 | | 64 | |
| 2 | 88 | | 88 | 88 | | 88 | |
| 3 | 68 | 68 | | | 68 | 68 | |
| 4 | 76 | | 76 | | 76 | 76 | |
| 5 | 38 | 38 | | 38 | | | 38 |
| 6 | 74 | | 74 | 74 | | | 74 |
| 7 | 38 | 38 | | | 38 | | 38 |
| 8 | 56 | | 56 | | 56 | | 56 |
| Total | | 208 | 294 | 264 | 238 | 296 | 206 |
| Obs | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Media | | 52 | 73.5 | 66 | 59.5 | 74 | 51.5 |

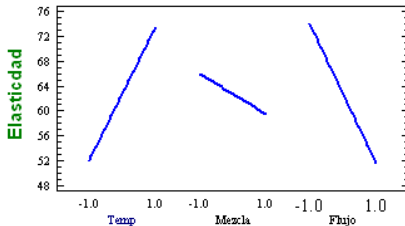
$$\hat{\delta}_B = 59.5 - 66 = -6.5$$

$$\hat{\delta}_C = 51.5 - 74 = -22.5$$

Resumen efectos principales

| | Factor A | Factor B | Factor C |
|---------|----------|----------|----------|
| Nivel 1 | 52.0 | 66.0 | 74.0 |
| Nivel 2 | 73.5 | 59.5 | 51.5 |
| Efecto | 21.5 | -6.5 | -22.5 |

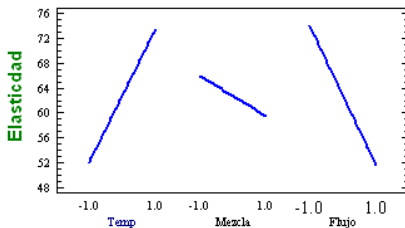
Efecto de los Factores, A, B y C



Resumen efectos principales

| | Factor A | Factor B | Factor C |
|---------|----------|----------|----------|
| Nivel 1 | 52.0 | 66.0 | 74.0 |
| Nivel 2 | 73.5 | 59.5 | 51.5 |
| Efecto | 21.5 | -6.5 | -22.5 |

Efecto de los Factores, A, B y C



$$\hat{\delta}_A = 21.5 \quad \hat{\delta}_B = -6.5 \quad \hat{\delta}_C = -22.5$$

¿Cuándo se dice que existe efecto de interacción?

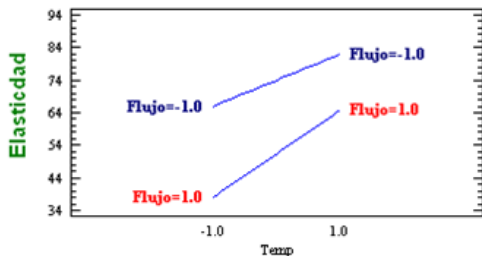
¿Qué significado tiene un efecto de interacción?

¿Existe efecto de interacción entre los factores?

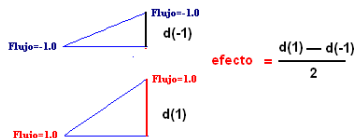
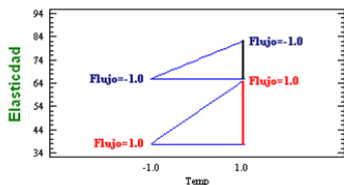
¿Cómo se interpreta un efecto de interacción?

¿Cómo se plantea en términos de hipótesis estadísticas?

Descripción gráfica del efecto de interacción



Descripción gráfica del efecto de interacción A y C

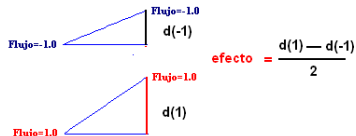
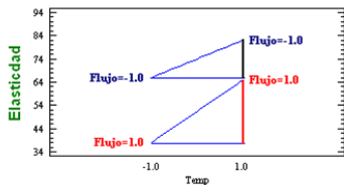


La distancia denotada por la **línea negra** señala el efecto de la temperatura en el nivel 1 del flujo.

La distancia descrita por la **línea roja** muestra el efecto de la temperatura en el nivel 2 del flujo.

Si el promedio de la diferencia de esas distancias es diferente de cero estadísticamente significativo, se dice que existe **efecto de interacción**

Descripción gráfica del efecto de interacción A y C

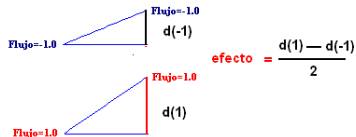
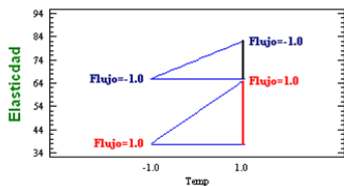


La distancia denotada por la **línea negra** señala el efecto de la temperatura en el nivel 1 del flujo.

La distancia descrita por la **línea roja** muestra el efecto de la temperatura en el nivel 2 del flujo.

Si el promedio de la diferencia de esas distancias es diferente de cero estadísticamente significativo, se dice que existe **efecto de interacción**

Descripción gráfica del efecto de interacción A y C



La distancia denotada por la **línea negra** señala el efecto de la temperatura en el nivel 1 del flujo.

La distancia descrita por la **línea roja** muestra el efecto de la temperatura en el nivel 2 del flujo.

Si el promedio de la diferencia de esas distancias es diferente de cero estadísticamente significativo, se dice que existe **efecto de interacción**

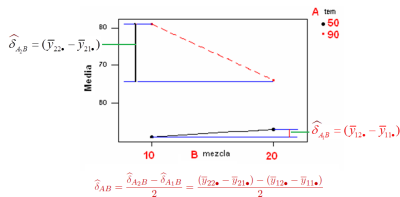
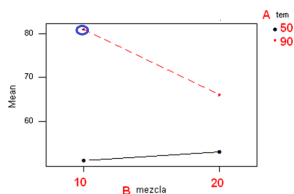
¿Cómo se interpreta un efecto de interacción?

¿Cómo se plantea en términos de hipótesis estadísticas?

Interacción entre los factores temperatura y mezcla.

La diferencias en la Elasticidad en los niveles de la mezcla se ven afectadas al cambiar la temperatura.

Descripción gráfica



Cálculo de la interacción entre los factores A y B es:

$$\hat{\delta}_{AB} = \frac{\hat{\delta}_{A_2B} - \hat{\delta}_{A_1B}}{2} = \frac{(\bar{y}_{22\bullet} - \bar{y}_{21\bullet}) - (\bar{y}_{12\bullet} - \bar{y}_{11\bullet})}{2}$$

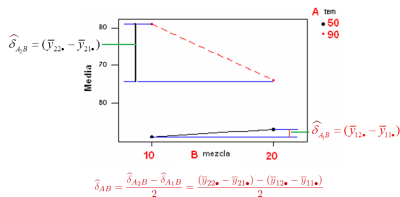
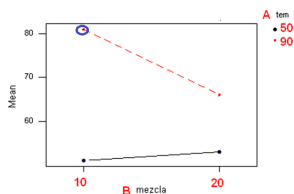
¿Cómo se interpreta un efecto de interacción?

¿Cómo se plantea en términos de hipótesis estadísticas?

Interacción entre los factores temperatura y mezcla.

La diferencias en la Elasticidad en los niveles de la mezcla se ven afectadas al cambiar la temperatura.

Descripción gráfica



Cálculo de la interacción entre los factores A y B es:

$$\hat{\delta}_{AB} = \frac{\hat{\delta}_{A2B} - \hat{\delta}_{A1B}}{2} = \frac{(\bar{y}_{22\bullet} - \bar{y}_{21\bullet}) - (\bar{y}_{12\bullet} - \bar{y}_{11\bullet})}{2}$$

Hipótesis para las interacciones entre factores

La hipótesis de interacción entre los factores A y B es:

$$H_{oAB} : \delta_{AB} = 0$$

$$H_{1AB} : \delta_{AB} \neq 0$$

La hipótesis de interacción entre los factores A y C es:

$$H_{oAC} : \delta_{AC} = 0$$

$$H_{1AC} : \delta_{AC} \neq 0$$

La hipótesis de interacción entre los factores B y C es:

$$H_{oBC} : \delta_{BC} = 0$$

$$H_{1BC} : \delta_{BC} \neq 0$$

Hipótesis para las interacciones entre factores

La hipótesis de interacción entre los factores A y B es:

$$H_{oAB} : \delta_{AB} = 0$$

$$H_{1AB} : \delta_{AB} \neq 0$$

La hipótesis de interacción entre los factores A y C es:

$$H_{oAC} : \delta_{AC} = 0$$

$$H_{1AC} : \delta_{AC} \neq 0$$

La hipótesis de interacción entre los factores B y C es:

$$H_{oBC} : \delta_{BC} = 0$$

$$H_{1BC} : \delta_{BC} \neq 0$$

Hipótesis para las interacciones entre factores

La hipótesis de interacción entre los factores A y B es:

$$H_{oAB} : \delta_{AB} = 0$$

$$H_{1AB} : \delta_{AB} \neq 0$$

La hipótesis de interacción entre los factores A y C es:

$$H_{oAC} : \delta_{AC} = 0$$

$$H_{1AC} : \delta_{AC} \neq 0$$

La hipótesis de interacción entre los factores B y C es:

$$H_{oBC} : \delta_{BC} = 0$$

$$H_{1BC} : \delta_{BC} \neq 0$$

Estimación del efectos de interacción AB.

Observe que los factores temperatura y mezcla tienen dos valores donde sus combinaciones coinciden, T1-T5 y T3-T7 para estimar A_1B_1

| T | A | B | C | Y |
|---|----|----|----|----|
| 1 | 50 | 10 | 35 | 64 |
| 2 | 90 | 10 | 35 | 88 |
| 3 | 50 | 20 | 35 | 68 |
| 4 | 90 | 20 | 35 | 76 |
| 5 | 50 | 10 | 50 | 38 |
| 6 | 90 | 10 | 50 | 74 |
| 7 | 50 | 20 | 50 | 38 |
| 8 | 90 | 20 | 50 | 56 |

| Factor | | B | | Dif |
|--------|-------|-------|-------|-----|
| | | n_1 | n_2 | |
| A | n_1 | 51 | 53 | 2 |
| | n_2 | 81 | 66 | -15 |
| Dif | | 30 | 13 | -17 |

$$A_1B_1 = \frac{64+38}{2} = 51 \quad A_1B_2 = \frac{68+38}{2} = 53$$

$$A_2B_1 = \frac{88+74}{2} = 81 \quad A_2B_2 = \frac{76+56}{2} = 66$$

$$\hat{\delta}_{A_1B} = 53 - 51 = 2 \quad \hat{\delta}_{A_2B} = 66 - 81 = -15$$

Finalmente la interacción AB es:

$$\hat{\delta}_{AB} = \frac{\hat{\delta}_{A_2B} - \hat{\delta}_{A_1B}}{2} = \frac{-15 - 2}{2} = \frac{-17}{2} = -8.5$$

Estimación de los efectos de interacción AB y BA

Gráficas

| Factor | | B | | Dif |
|--------|-------|-------|-------|-----|
| | | n_1 | n_2 | |
| A | n_1 | 51 | 53 | 2 |
| | n_2 | 81 | 66 | -15 |
| Dif | | 30 | 13 | -17 |

Haga la gráfica de la interacción AB siguiendo los valores de la columna del nivel 1 del factor B, enseguida use los valores de la columna 2 de ese mismo factor.

De manera análoga trace la gráfica de la interacción BA.

Estimación de los efectos de interacción AC.

| T | A | B | C | Y |
|---|----|----|----|----|
| 1 | 50 | 10 | 35 | 64 |
| 2 | 90 | 10 | 35 | 88 |
| 3 | 50 | 20 | 35 | 68 |
| 4 | 90 | 20 | 35 | 76 |
| 5 | 50 | 10 | 50 | 38 |
| 6 | 90 | 10 | 50 | 74 |
| 7 | 50 | 20 | 50 | 38 |
| 8 | 90 | 20 | 50 | 56 |

| Factor | | C | | Dif |
|--------|-------|-------|-------|-----|
| | | n_1 | n_2 | |
| A | n_1 | 66 | 38 | -28 |
| | n_2 | 82 | 65 | -17 |
| Dif | | 30 | 21 | 11 |

$$A_1C_1 = \frac{66+68}{2} = 66 \quad A_1C_2 = \frac{38+38}{2} = 38$$

$$A_2C_1 = \frac{88+76}{2} = 82 \quad A_2C_2 = \frac{74+56}{2} = 65$$

$$\hat{\delta}_{A_1C} = 38 - 66 = -28 \quad \hat{\delta}_{A_2C} = 65 - 82 = -17$$

$$\hat{\delta}_{AC} = \frac{\hat{\delta}_{A_2C} - \hat{\delta}_{A_1C}}{2} = \frac{-17 - (-28)}{2} = \frac{11}{2} = 5.5$$

Haga la gráfica de la interacción AC siguiendo los valores de la columna del nivel 1 del factor C, enseguida use los valores de la columna 2 de ese mismo factor. De manera análoga trace la gráfica de la interacción CA.

Estimación del efecto de interacción BC

| Factor | | C | | Dif |
|--------|-------|-------|-------|-----|
| | | n_1 | n_2 | |
| B | n_1 | 76 | 56 | -20 |
| | n_2 | 72 | 47 | -25 |
| Dif | | -4 | -9 | -5 |

Finalmente la interacción BC es:

$$\hat{\delta}_{BC} = \frac{\hat{\delta}_{B_2C} - \hat{\delta}_{B_1C}}{2} = \frac{-25 - (-20)}{2} = \frac{-5}{2} = -2.5$$

Resultados estadísticos

Efectos estimados para elasticidad

| | |
|----------|-------|
| Promedio | 62.75 |
| A:Temp | 21.5 |
| B:Mezcla | -6.5 |
| C:Flujo | -22.5 |
| AB | -8.5 |
| AC | 5.5 |
| BC | -2.5 |

El siguiente paso es probar las hipótesis para saber si el efecto es estadísticamente significativo.

Análisis de la varianza

- El análisis de la varianza permite construir los estadísticos de prueba para verificar si los datos arrojados por el experimento apoyan las hipótesis nulas planteadas.
- Para ello se debe construir el cuadrado medio de los efectos y el cuadrado medio del error, recuerde que la variable que resulta de la razón entre estos cuadrados medios tiene una distribución de probabilidad F.
- La siguiente expresión permite calcular el cuadrado medio -CM- de cada factor y la interacción.

$$CM_{factor} = \frac{N\hat{\delta}_{factor}^2}{4},$$

donde $N = r2^k$, r réplicas

- En el caso particular de los diseños factoriales con dos niveles (2^k) tiene un grado de libertad, por lo que la suma de cuadrados SC es igual al cuadrado medio.
- Recuerde que la suma de cuadrados del error es la suma de las discrepancias de lo no explicado por el modelo al cuadrado.
- En particular en este caso, no alcanzan los grados de libertad para el error. Por lo que se confunde este error con el efecto de interacción triple.
- En las lecciones 4.2 y 4.3 se abordará el punto anterior con más detalle.

Análisis de la varianza

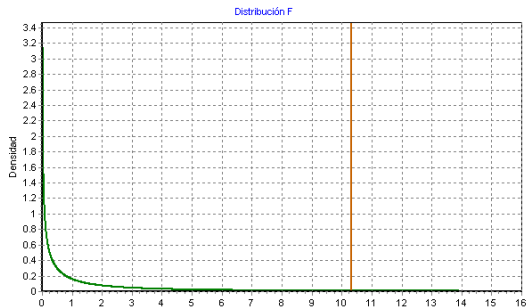
| Fuente | SC | gl | CM | Valor F | Valor p |
|---------------|--------|----|--------|---------|---------|
| A:Temp | 924.5 | 1 | 924.5 | 1849.00 | 0.0148 |
| B:Mezcla | 84.5 | 1 | 84.5 | 169.00 | 0.0489 |
| C:Flujo | 1012.5 | 1 | 1012.5 | 2025.00 | 0.0141 |
| AB | 144.5 | 1 | 144.5 | 289.00 | 0.0374 |
| AC | 60.5 | 1 | 60.5 | 121.00 | 0.0577 |
| BC | 12.5 | 1 | 12.5 | 25.00 | 0.1257 |
| error tota | 10.5 | 1 | 0.5 | | |
| Total (corr.) | 2239.5 | 7 | | | |

$$R^2 = 99.9777\% \quad R^2(\text{ajustada}) = 99.8437\%$$

Los factores significativos son A, B, C y AB. ¿Cómo se interpreta este resultado?

Distribución F

Valor de referencia para verificar H_0



Los tres factores y la interacción AB tienen efecto significativo.

Interpretación y conclusiones en esta etapa de mejora.

El modelo estadístico de este experimento es:

$$Y = 62.75 + 10.75A - 3.25B - 11.25C - 4.25AB$$

Nota. Observe que los coeficientes en el modelo representan la mitad del efecto del factor. Sólo se ha escrito los efectos e interacciones significativas.

¿Cuáles son los valores reales del proceso?

Con estos resultados se cumplen las expectativas del cliente quién había propuesto una Elasticidad entre 65 y 70.

Evalúe la importancia del modelo y su interpretación gráfica. Vea que además de esta solución propuesta puede proponer otros escenarios para encontrar otras soluciones que pueden resultar más económicas.

¿Cómo se aplica la etapa de control en este proyecto?

Interpretación y conclusiones en esta etapa de mejora.

El modelo estadístico de este experimento es:

$$Y = 62.75 + 10.75A - 3.25B - 11.25C - 4.25AB$$

Nota. Observe que los coeficientes en el modelo representan la mitad del efecto del factor. Sólo se ha escrito los efectos e interacciones significativas.

¿Cuáles son los valores reales del proceso?

Con estos resultados se cumplen las expectativas del cliente quién había propuesto una Elasticidad entre 65 y 70.

Evalúe la importancia del modelo y su interpretación gráfica. Vea que además de esta solución propuesta puede proponer otros escenarios para encontrar otras soluciones que pueden resultar más económicas.

¿Cómo se aplica la etapa de control en este proyecto?

Interpretación y conclusiones en esta etapa de mejora.

El modelo estadístico de este experimento es:

$$Y = 62.75 + 10.75A - 3.25B - 11.25C - 4.25AB$$

Nota. Observe que los coeficientes en el modelo representan la mitad del efecto del factor. Sólo se ha escrito los efectos e interacciones significativas.

¿Cuáles son los valores reales del proceso?

Con estos resultados se cumplen las expectativas del cliente quién había propuesto una Elasticidad entre 65 y 70.

Evalúe la importancia del modelo y su interpretación gráfica. Vea que además de esta solución propuesta puede proponer otros escenarios para encontrar otras soluciones que pueden resultar más económicas.

¿Cómo se aplica la etapa de control en este proyecto?

Interpretación y conclusiones en esta etapa de mejora.

El modelo estadístico de este experimento es:

$$Y = 62.75 + 10.75A - 3.25B - 11.25C - 4.25AB$$

Nota. Observe que los coeficientes en el modelo representan la mitad del efecto del factor. Sólo se ha escrito los efectos e interacciones significativas.

¿Cuáles son los valores reales del proceso?

Con estos resultados se cumplen las expectativas del cliente quién había propuesto una Elasticidad entre 65 y 70.

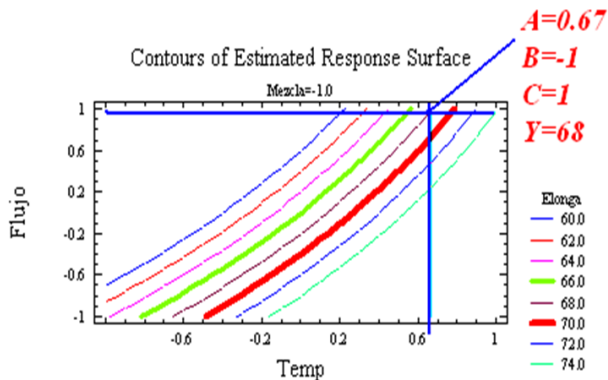
Evalúe la importancia del modelo y su interpretación gráfica. Vea que además de esta solución propuesta puede proponer otros escenarios para encontrar otras soluciones que pueden resultar más económicas.

¿Cómo se aplica la etapa de control en este proyecto?

Interpretación y conclusiones

Descripción gráfica

La gráfica de este modelo y la solución para una Elasticidad con un valor aproximado a 68.



En la lección 9.1, se explica con detalle esta gráfica

Así que una solución es $A=0.67$, $B=-1$ y $C=1$.

¿Cómo se sabe que realmente esta es una buen solución?

Se llevan a cabo pruebas confirmatorias, estas son entre 5 y 20. Lo ideal es asignar ese número de Plásticos al equipo para hacer las pruebas. En principio esto puede representar un costo importante, pero al ganar un cliente este se recupera

Se realizaron 8 pruebas adicionales con los resultados de la Elasticidad son: 67.5, 67, 68, 68, 68, 69, 68, 68. La media de estos valores es: 67.9 y una desviación estándar de 0.056. El planteamiento estadístico es:

$$H_0 : \mu = 68 \quad H_1 : \mu \neq 68$$

Se hace la prueba de hipótesis estadística y se tiene un intervalo del 95% confianza:

$$(67.43; 68.37)$$

Cómo el 68 esta contenido en ese intervalo no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el trabajo experimental fue exitoso en este caso. Es importante observar de la gráfica que existen otras soluciones, las cuales ofrecen resultados satisfactorio. Siga este análisis a través del paquete y anote sus observaciones.

Así que una solución es $A=0.67$, $B=-1$ y $C=1$.

¿Cómo se sabe que realmente esta es una buen solución?

Se llevan a cabo pruebas confirmatorias, estas son entre 5 y 20. Lo ideal es asignar ese número de Plásticos al equipo para hacer las pruebas. En principio esto puede representar un costo importante, pero al ganar un cliente este se recupera

Se realizaron 8 pruebas adicionales con los resultados de la Elasticidad son: 67.5, 67, 68, 68, 68, 69, 68, 68. La media de estos valores es: 67.9 y una desviación estándar de 0.056. El planteamiento estadístico es:

$$H - 0 : \mu = 68 \quad H_1 : \mu \neq 68$$

Se hace la prueba de hipótesis estadística y se tiene un intervalo del 95% confianza:

$$(67.43; 68.37)$$

Cómo el 68 esta contenido en ese intervalo no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el trabajo experimental fue exitoso en este caso. Es importante observar de la gráfica que existen otras soluciones, las cuales ofrecen resultados satisfactorio. Siga este análisis a través del paquete y anote sus observaciones.

Así que una solución es $A=0.67$, $B=-1$ y $C=1$.

¿Cómo se sabe que realmente esta es una buen solución?

Se llevan a cabo pruebas confirmatorias, estas son entre 5 y 20. Lo ideal es asignar ese número de Plásticos al equipo para hacer las pruebas. En principio esto puede representar un costo importante, pero al ganar un cliente este se recupera

Se realizaron 8 pruebas adicionales con los resultados de la Elasticidad son: 67.5, 67, 68, 68, 68, 69, 68, 68. La media de estos valores es: 67.9 y una desviación estándar de 0.056. El planteamiento estadístico es:

$$H_0 : \mu = 68 \quad H_1 : \mu \neq 68$$

Se hace la prueba de hipótesis estadística y se tiene un intervalo del 95% confianza:

$$(67.43; 68.37)$$

Cómo el 68 esta contenido en ese intervalo no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el trabajo experimental fue exitoso en este caso. Es importante observar de la gráfica que existen otras soluciones, las cuales ofrecen resultados satisfactorio. Siga este análisis a través del paquete y anote sus observaciones.

Así que una solución es $A=0.67$, $B=-1$ y $C=1$.

¿Cómo se sabe que realmente esta es una buen solución?

Se llevan a cabo pruebas confirmatorias, estas son entre 5 y 20. Lo ideal es asignar ese número de Plásticos al equipo para hacer las pruebas. En principio esto puede representar un costo importante, pero al ganar un cliente este se recupera

Se realizaron 8 pruebas adicionales con los resultados de la Elasticidad son: 67.5, 67, 68, 68, 68, 69, 68, 68. La media de estos valores es: 67.9 y una desviación estándar de 0.056. El planteamiento estadístico es:

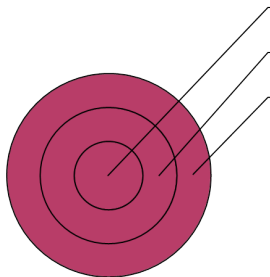
$$H - 0 : \mu = 68 \quad H_1 : \mu \neq 68$$

Se hace la prueba de hipótesis estadística y se tiene un intervalo del 95% confianza:

$$(67.43; 68.37)$$

Cómo el 68 esta contenido en ese intervalo no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el trabajo experimental fue exitoso en este caso. Es importante observar de la gráfica que existen otras soluciones, las cuales ofrecen resultados satisfactorio. Siga este análisis a través del paquete y anote sus observaciones.

Cierre de proyecto

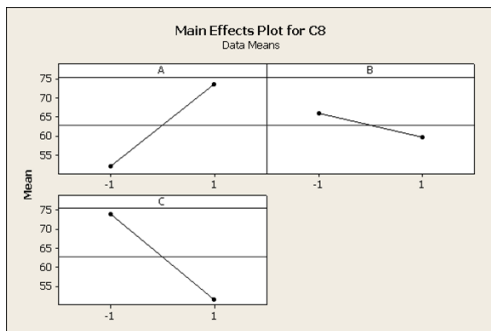


Cálculos en minitab

Resumen

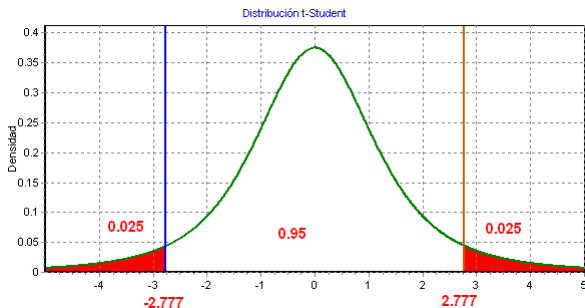
Nota: Aquí se presenta un breve resumen de los resultados estadísticos que se obtienen usando minitab. En la lección 4.5 se pondrán más detalle sobre el empleo de paquetes estadísticos

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|----------|--------|--------|---------|-------|-------|
| Constant | 62.75 | 2.610 | 24.04 | 0.000 | |
| Tem | 21.50 | 10.75 | 2.610 | 4.12 | 0.015 |
| Mezcla | -6.50 | -3.25 | 2.610 | -1.25 | 0.281 |
| Flujo | -22.50 | -11.25 | 2.610 | -4.31 | 0.013 |



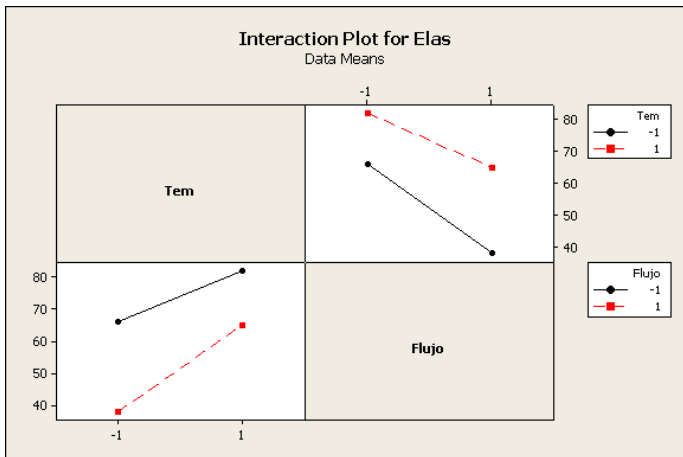
Análisis estadístico para evaluar los resultados del experimento

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|----------|--------|--------|---------|-------|-------|
| Constant | 62.75 | 2.610 | 24.04 | 0.000 | |
| Tem | 21.50 | 10.75 | 2.610 | 4.12 | 0.015 |
| Mezcla | -6.50 | -3.25 | 2.610 | -1.25 | 0.281 |
| Flujo | -22.50 | -11.25 | 2.610 | -4.31 | 0.013 |

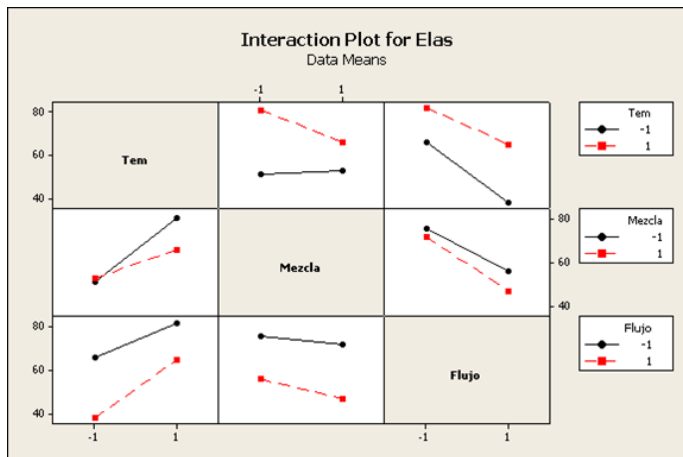


Minitab:

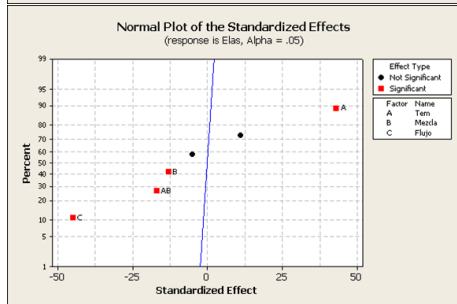
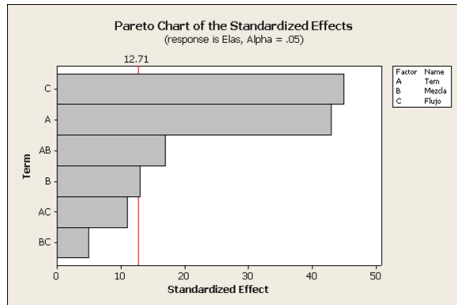
Efecto de interacción entre los factores A y C o C y A



Resumen gráfico



Análisis gráfico del efecto de los factores



Comentarios adicionales

Así si decide llevar a cabo un experimento con tres factores y dos niveles, el diseño experimental se muestra en la tabla de abajo. Vea que éste se representa con sus valores codificados.

Comentemos durante la sesión las ventajas de este esquema. Su relación con los problemas reales.

A continuación se realiza una práctica donde se aplique este esquema. Siga las instrucciones que se presentan en la sesión.

Tratamientos codificados

| Tra | I | A | B | C | AB | AC | BC | ABC | Y |
|-----|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----------|
| 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | Y_{111} |
| 2 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | y_{211} |
| 3 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | y_{121} |
| 4 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | y_{221} |
| 5 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | y_{112} |
| 6 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | y_{212} |
| 7 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | y_{122} |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | y_{222} |

Estimación de efectos

| Tra | I | A | B | C | AB | AC | BC | ABC | Y |
|-----|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----------|
| 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | Y_{111} |
| 2 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | y_{211} |
| 3 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | y_{121} |
| 4 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | y_{221} |
| 5 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | y_{112} |
| 6 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | y_{212} |
| 7 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | y_{122} |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | y_{222} |

$$\hat{\delta}_{BC} = \frac{y_{111} + y_{211} - y_{121} - y_{221} - y_{112} - y_{212} + y_{122} + y_{222}}{4}$$

Selección de los niveles de un factor

Seleccionar el número de niveles depende del objetivo que se desee alcanzar.

- En etapas iniciales de un proyecto por lo general se tienen muchos factores por lo que conviene emplear diseños con factores en dos niveles.
- En experimentación secuencial es conveniente usar factores con dos niveles.
- Si se desea conocer la existencia de un efecto de curvatura entonces los diseños en tres niveles son apropiados.
- En procesos de optimización existen diseños eficientes y el número de niveles varia entre dos y cinco niveles.

Nota. Usar de entrada diseños con tres niveles puede resultar costoso.

Rango de valores de un factor

Establecer el rango entre niveles de los factores cuantitativos esta en función de los objetivos que se deseen obtener.

- Si se experimenta en un proceso en función el rango deber ser pequeño para no causar daños en la producción.
- Si se quiere un cambio potencial en la variable de respuesta el rango debe ser bastante extenso.
- Sin embargo, si el rango es mucho más extenso que las especificaciones del cliente, los resultados del diseño no tendrá ningún significado práctico.

Los expertos de los procesos que se estudien pueden ayudar a determinar los mejores niveles cualitativos o cuantitativos, especialmente si son varios niveles.

Prácticas

La solución de la práctica 1 se presentará en lección 4.3 aplicando R y otros paquetes estadísticos. Se deja que el usuario la resuelva y luego verifique el resultado.

Ejemplo de un diseño 2^3

Repaso

En una investigación para disminuir el efecto de la contaminación, se elaboró un combustible sintético, los ingenieros del proceso realizaron un experimento controlando tres factores en dos niveles A: extracto de un semilla (5% y 10%), factor B: concentración de un etileno (15% y 25%), y el factor C la temperatura de destilación. Los niveles de emisión (respuesta), dos réplicas y el esquema de tratamientos se muestran a continuación:

| A | B | C |
|---|---|---|
| + | - | - |
| - | - | - |
| + | + | - |
| - | + | - |
| + | - | + |
| - | - | + |
| + | + | + |
| - | + | + |

| Trat | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | | S |
|------|----------------|----------------|----------------|-------|------|
| 1 | 32 | 24 | 23 | 26.33 | 4.93 |
| 2 | 19 | 21 | 25 | 21.67 | 3.06 |
| 3 | 37 | 39 | 32 | 36.00 | 3.61 |
| 4 | 44 | 41 | 38 | 41.00 | 3.00 |
| 5 | 27 | 28 | 25 | 26.67 | 1.53 |
| 6 | 50 | 54 | 47 | 50.33 | 3.51 |
| 7 | 24 | 20 | 18 | 20.67 | 3.06 |
| 8 | 51 | 45 | 57 | 51.00 | 6.00 |

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 1 a realizar del ejemplo

- Supongan que a ustedes les encomiendan realizar este experimento indique los detalles de como lo realizaran.
- Haga la gráfica del efecto de interacción de AB. (Explique paso a paso como la elabora)
- Estime el efecto de interacción y el cuadrado medio de AB.
- Estime los efectos de los tres factores y sus respectivas interacciones.
- Bosqueje un diagrama de Pareto e indique de manera intuitiva los efectos que considera significativos.
- Estime la varianza del proceso, (considere el resultado del primer experimento y las dos réplicas).
- Indique, cuál de los tres factores tiene efecto en la variabilidad-varianza.
- Mediante una prueba de hipótesis, diga si es significativo el efecto de interacción AB.

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales:

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales:

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales:

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales:

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales:

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales:

Actividades 2 a realizar del ejemplo

- Le dicen que sólo se pueden llevar a cabo cuatro experimentos diarios. Proponga la estrategia para llevar a cabo el experimento incluyendo las réplicas.
- Escriba el modelo para la media, indique en que valores se tiene un menor efecto de contaminación.
- Establezca los valores reales del proceso donde haya menor contaminación.
- Bosqueje un diagrama para la varianza, señale los efectos que pueden ser significativos.
- Construya el modelo para la varianza, diga donde se tiene la menor variabilidad.
- Diga los valores reales del proceso donde se tenga la menor variabilidad
- Sobre la inferencia de parámetros experimentales: