

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

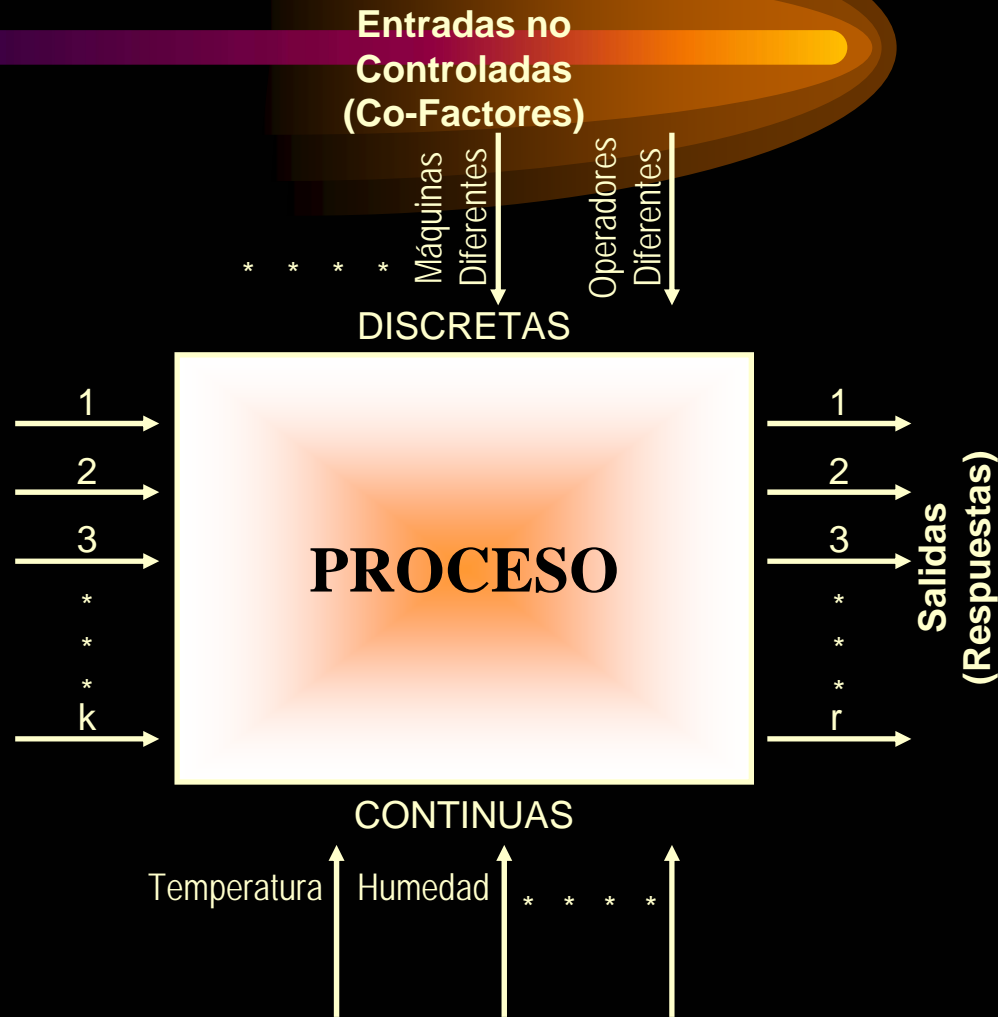
Aplicación de los diseños factoriales fraccionados



Victor Reyes

¿Qué el Diseño de Experimentos?

- Experimento
 - Cambio deliberado a una o más variables (o factores) para observar el efecto de estos cambios sobre una o más variables respuesta
 - Para contestar preguntas deliberadas
- Los experimentos diseñados proporcionan más información con menos experimentación



Diseño de Experimentos: Términos Comunes

- **Factor**
 - Variable controlada o no que influye en la respuesta
- **Nivel**
 - Valor de un factor que se está examinando en el experimento
- **Tratamiento**
 - Un nivel determinado asignado a un factor
- **Matriz de Diseño**
 - Conjunto de factores y niveles de un diseño experimental
- **Aleatorización**
 - Secuencia de experimentos y/o asignación de especímenes a los tratamientos diferentes
- **Replicación**
 - Repetición de una observación o medida en las mismas condiciones experimentales

Diseños Experimentales Factoriales

- En un experimento factorial se controlan diversos factores y se investigan sus efectos a dos o más niveles
- Plan experimental
 - Combinación de todos los factores en todos los niveles definidos
- Los más comunes son los diseños factoriales de dos niveles con **k** diferentes factores: 2^k
 - Número de corridas experimentales: 2^k

Modelo Lineal

- Son modelos empíricos que se ajustan a datos experimentales
- Ejemplo: Modelo de tres factores (dos niveles)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \varepsilon$$

Y: Respuesta

X_1, X_2, X_3 : Factores

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \beta_{123}$: Coeficientes lineales a determinar con los datos

ε : Error experimental

Efectos Principales e Interacciones

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \varepsilon$$

- Efectos principales
 - Efectos debido a los factores X's
- Interacciones
 - Efectos debido al conjunto de dos o más factores actuando simultáneamente

Factoriales Fraccionados

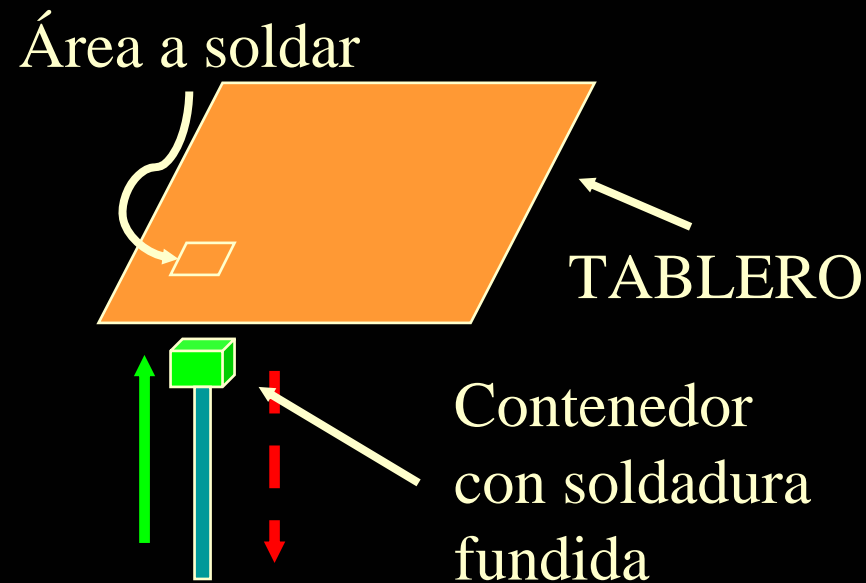
- Los Factoriales Completos 2^k
 - No. de corridas crece exponencialmente al aumentar los factores
 - Proporciona información sobre interacciones de muchos factores que generalmente no existe o es despreciable
- Factoriales Fraccionados: $2^k - p$
 - Fracción seleccionada de un factorial completo
 - Balanceados y ortogonales

Factoriales Fraccionados (2)

- Se utilizan para:
 - Analizar un gran número de factores al mismo tiempo
 - Seleccionar los factores más importantes que afectan a la respuesta
- Se confunden las interacciones de varios efectos (generalmente despreciables) entre sí o a veces con efectos principales
 - El grado de confusión es la resolución del diseño
 - En general, a mayor resolución, más experimentos

Ejemplo: Optimización de parámetros en soldadora de alta temperatura

- Máquina soldadora selectiva de alta temperatura (380°C)
- Máquina con un alto grado de automatización
 - El tablero se coloca en su sitio
 - La máquina eleva unos contenedores pequeños con soldadura fundida
 - Se mantienen un tiempo de contacto
 - Se retiran, se quita el tablero y se alimenta otro



Factores a Analizar

1. Wiper	mm/seg	10. Tiempo residencia en Solder Pot	seg
2. Área de Spray Flux	mm	11. Tiempo de Inmersión	seg
3. Distancia Horizontal	mm	12. Temperatura Solder Pot	°C
4. Distancia vertical	mm	13. Temperatura Precal. #1	°C
5. Precalentador #1	seg	14. Temperatura Precal. #2	°C
6. Precalentador #2	seg	15. Presión del Flux	psi
7. Distancia Horiz. de placa	mm	16. Sistema de Nitrógeno	CFH
8. Vel. hacia arriba Solder Pot	mm/seg		
9. Vel. hacia abajo Solder Pot	mm/seg		

Factores elegidos para el diseño

FACTORES

- X_1 Tiempo de Inmersión
- X_2 Temperatura de *Solder Pot*
- X_3 Distancia Horizontal de la la placa
- X_4 Temperatura Precalentador #1
- X_5 Temperatura Precalentador #2
- X_6 Presion del sistema de *Flux*
- X_7 Tiempo de precalentador #1
- X_8 Tiempo de precalentador #2
- X_9 Tiempo de residencia en *Solder Pot*
- X_{10} Velocidad hacia abajo solder pot
- X_{11} Sistema de Nitrógeno

RESPUESTA:
No. de defectos
por tablero

Dos Niveles
para cada
factor
(-1): Mínimo
(+1): Máximo

Factorial: 2^{11-7}

Corridos: $2^4 = 16$

Matriz de Diseño

RESULTADOS

No.	Ejec.	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	2	2
2	10	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	2	3	3
3	4	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	2	0	0
4	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	0	1
5	15	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	2	2	2
6	13	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	2	3	2
7	5	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0	1	2
8	8	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	0	0
9	11	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	3	3	2
10	14	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	2	2	1
11	2	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0	0	1
12	6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	0	0	1
13	17	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	2	2	3
14	12	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	2	2
15	3	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	3	3	1
16	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
17	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1

Generadores

- $X_5 = X_1 X_2 X_3$
- $X_6 = X_2 X_3 X_4$
- $X_7 = X_1 X_3 X_4$
- $X_8 = X_1 X_2 X_4$
- $X_9 = X_1 X_2 X_3 X_4$
- $X_{10} = X_1 X_2$
- $X_{11} = X_1 X_3$

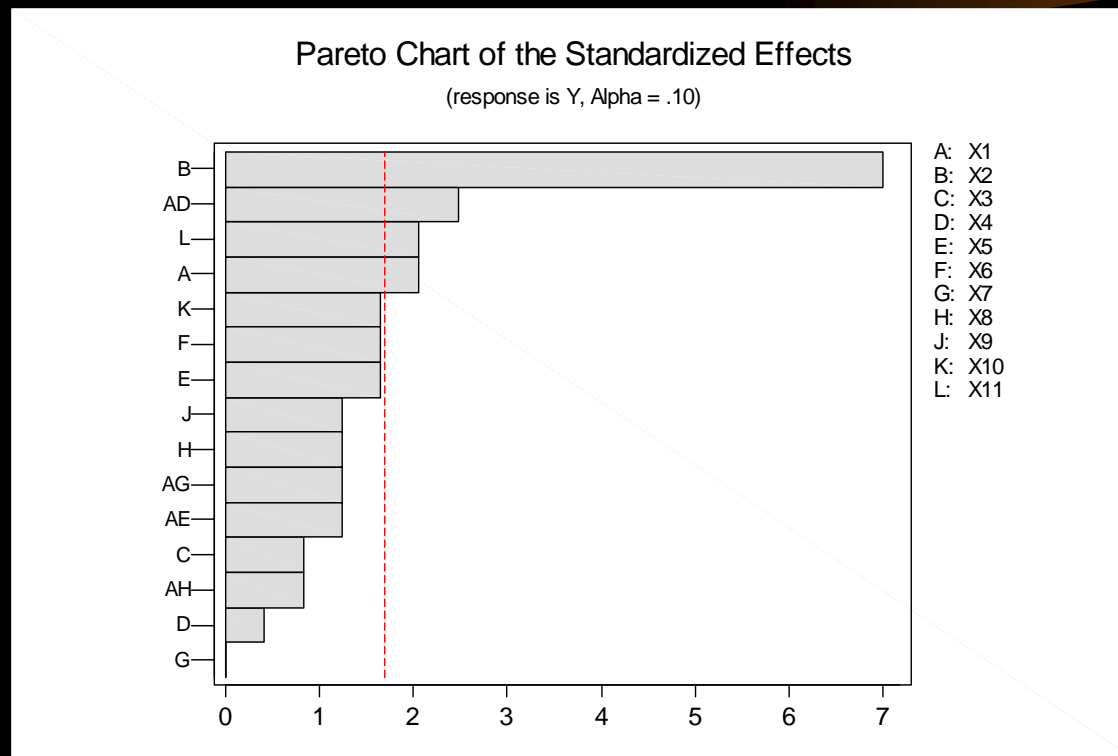
FACTORES:

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L

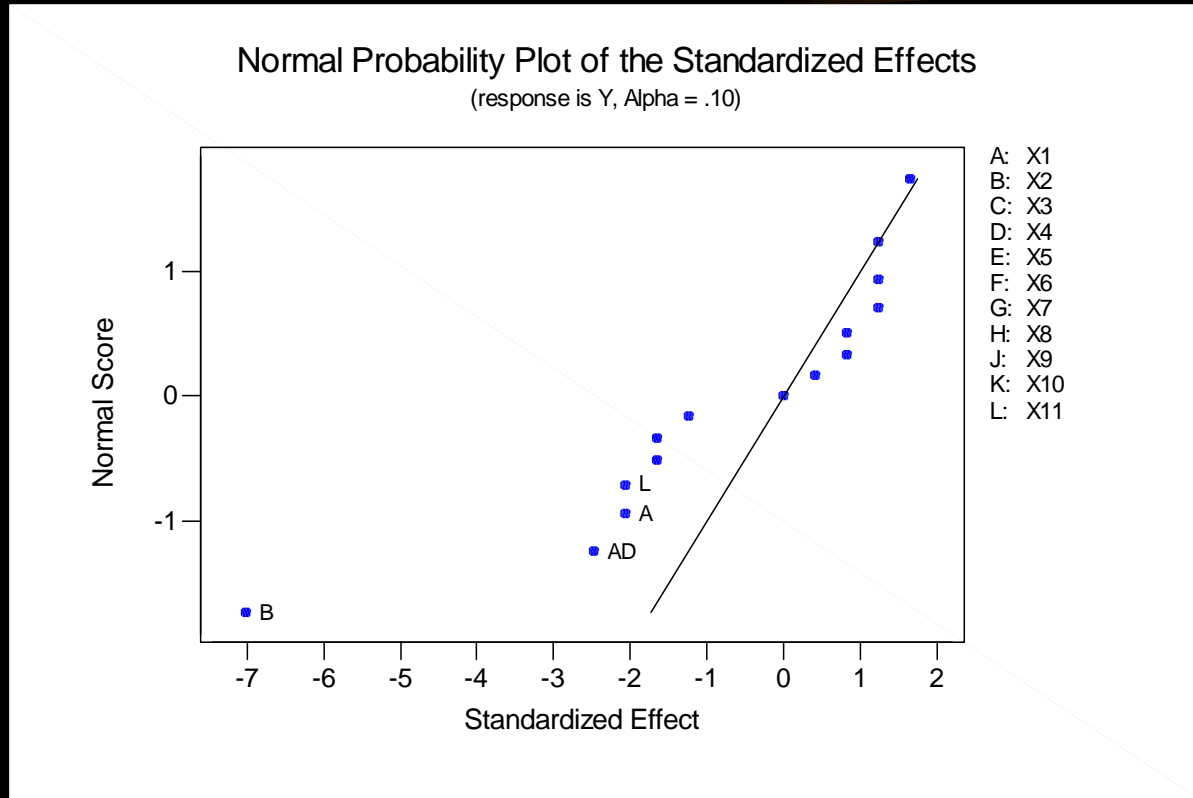
Confusión y Estructura de Alias

- A + BK + CL + FJ + BCE + BDH + BFG + CDG + CFH + DEF + EGH + EKL + GJK + HJL
- **B + AK + EL + GJ + ACE + ADH + AFG + CDF + CGH + CKL + DEG + DJL + EFH + FJK**
- C + AL + EK + HJ + ABE + ADG + AFH + BDF + BGH + BKL + DEH + DJK + EFG + FJL
- D + EJ + GL + HK + ABH + ACG + AEF + BCF + BEG + BJL + CEH + CJK + FGH + FKL
- E + BL + CK + DJ + ABC + ADF + AGH + AKL + BDG + BFH + CDH + CFG + GJL + HJK
- F + AJ + GK + HL + ABG + ACH + ADE + BCD + BEH + BJK + CEG + CJL + DGH + DKL
- G + BJ + DL + FK + ABF + ACD + AEH + AJK + BCH + BDE + CEF + DFH + EJL + HKL
- H + CJ + DK + FL + ABD + ACF + AEG + AJL + BCG + BEF + CDE + DFG + EJK + GKL
- J + AF + BG + CH + DE + AGK + AHL + BDL + BFK + CDK + CFL + EGL + EHK
- K + AB + CE + DH + FG + AEL + AGJ + BCL + BFJ + CDJ + DFL + EHJ + GHL
- L + AC + BE + DG + FH + AEK + AHJ + BCK + BDJ + CFJ + DFK + EGJ + GHK
- **AD + BH + CG + EF + AEJ + AGL + AHK + BCJ + BDK + BFL + CDL + CFK + DFJ + EGK + EHL + GHJ + JKL**
- AE + BC + DF + GH + KL + ABL + ACK + ADJ + BEK + BHJ + CEL + CGJ + DGK + DHL + EFJ + FGL + FHK
- AG + BF + CD + EH + JK + ABJ + ADL + AFK + BGK + BHL + CEJ + CGL + CHK + DEK + DHJ + EFL + FGJ
- AH + BD + CF + EG + JL + ACJ + ADK + AFL + BEJ + BGL + BHK + CGK + CHL + DEL + DGJ + EFK + FHJ

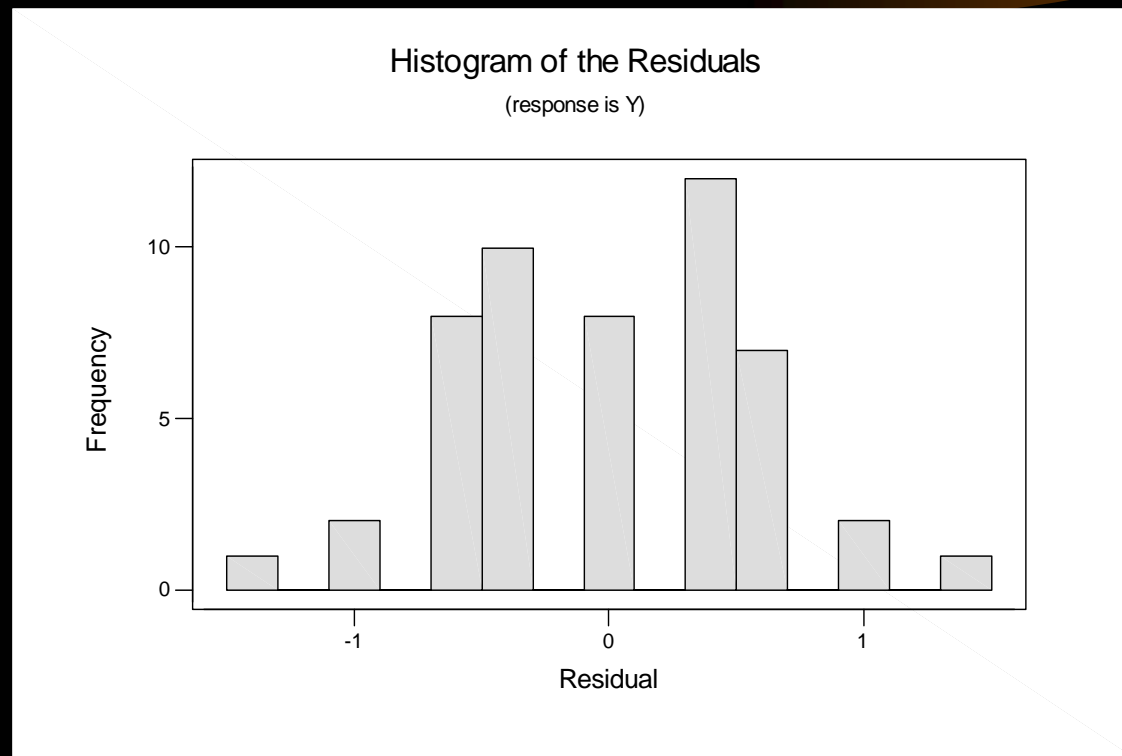
Análisis de los Resultados



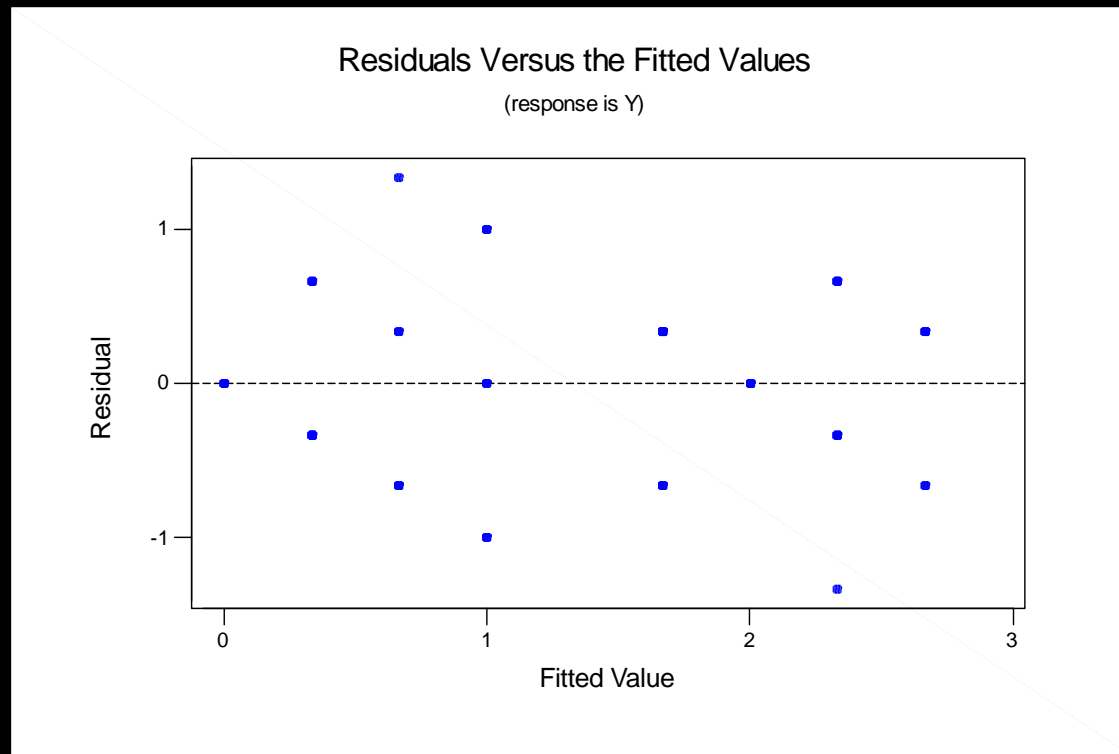
Análisis de resultados (2)



Verificación de supuestos: Residuales



Verificación de supuestos: Residuales (2)



Conclusión

- Un factor resultó determinante
- Una corrida rindió los mejores resultados (9)
 - Evaluar la estabilidad y si hay diferencias con otras 3 corridas (11, 12 y 16)
 - Corridas confirmatorias
- Para romper la ambigüedad – Corridas adicionales
- Los Diseños Factoriales fraccionados pueden llevar rápidamente a los valores óptimos de varios parámetros simultáneamente
- Puede optimizarse el proceso con EVOP