



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



**Centro de Investigación y Desarrollo
de Educación en Línea**



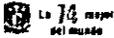
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO DE EDUCACIÓN EN LÍNEA
(CIDEL)**



22 de Septiembre al 13 de Octubre del 2007

Instructor:

Ing. Jorge Caudillo Gutiérrez



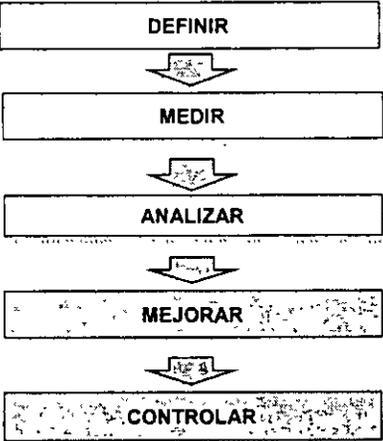
MODULO IV: <MEJORAR>

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Diplomado en Seis Sigma DECFI

RECAPITULANDO SIX SIGMA

¿Qué es Six Sigma?



```
graph TD; A[DEFINIR] --> B[MEDIR]; B --> C[ANALIZAR]; C --> D[MEJORAR]; D --> E[CONTROLAR];
```

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

EL ENFOQUE DE SIX SIGMA

Para obtener resultados, debemos enfocar nuestro esfuerzo en la Y o en la X?

<ul style="list-style-type: none"> ● Y ● Dependiente ● Salida ● Efecto ● Síntoma ● Monitor 	<ul style="list-style-type: none"> ● $X_1 \dots X_N$ ● Independiente ● Entrada-Proceso ● Causa ● Problema ● Control
--	--

© 1994 Six Sigma Academy

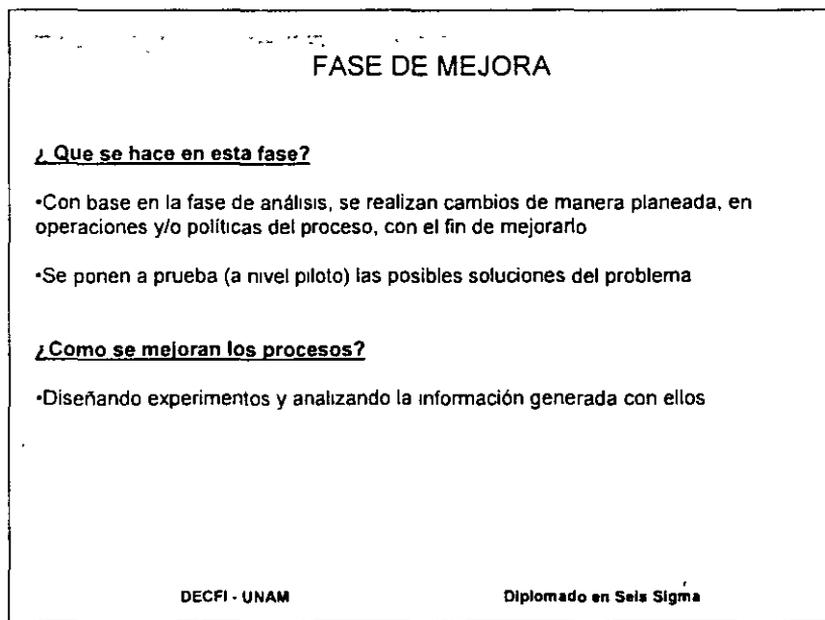
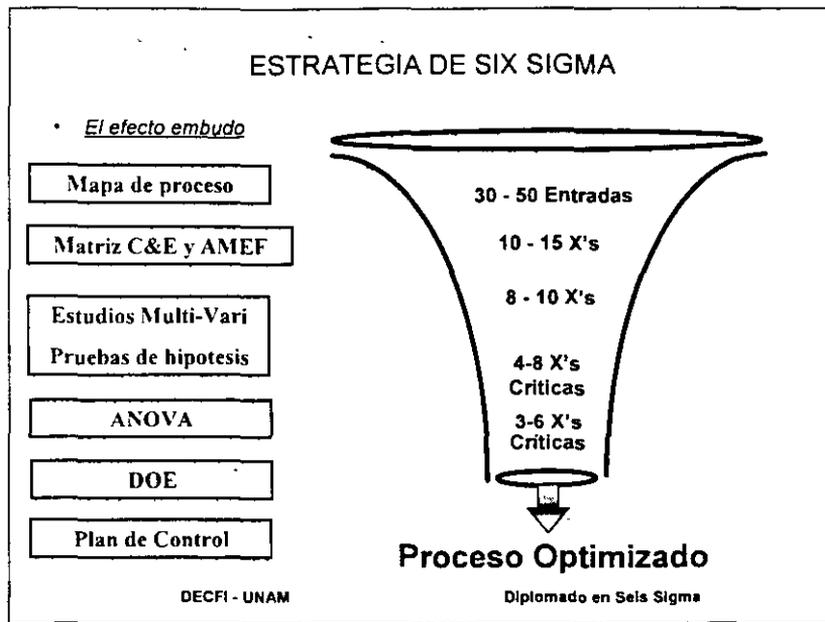
Enfocarse en las X en lugar de la Y, como lo hemos hecho históricamente

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

PRUEBAS ESTADÍSTICAS

		Factor (X)	
		CONTINUO	DISCRETO
Respuesta (Y)	CONTINUO	ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y DE CORRELACIÓN	ANOVA, PRUEBAS DE Z Y T, ALTERNATIVAS NO PARAMÉTRICAS
	DISCRETO	REGRESIÓN LOGÍSTICA	PRUEBA DE JI-CUADRADA, PRUEBA DE PROPORCIONES

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma



FASE DE MEJORA

OBJETIVO:

1. Aplicar los principios del diseño experimental a problemas relacionados con la optimización de procesos y/o servicios
2. Analizar los resultados obtenidos en experimentos, utilizando Minitab e interpretar los resultados obtenidos con el mismo.

CONTENIDO TEMÁTICO:

- Análisis de Varianza
- Introducción al Diseño de Experimentos
- Experimentos Factoriales Completos
- Experimentos Factoriales 2^k
- Experimentos Factoriales fraccionados 2^k
- Superficies de respuesta
- Elementos de diseño robusto: Diseños Plackett-Burman

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma



Unidad I Análisis de Varianza

<ANOVA>

Diplomado en Seis Sigma
DECFI

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

OBJETIVOS:

COMPRENDER, APLICAR E INTERPRETAR:

- ANOVA DE UNA VIA (One Way)
- ANOVA DE DOS VIAS (Two Way)
- ANOVA DE TRES VIAS (Three Way)
- ANOVA BALANCEADA (MÚLTIPLES VARIABLES)
- GLM (MODELO LINEAL GENERAL)
- USAR MINITAB, PARA EFECTUAR UN ANÁLISIS ANOVA/GLM

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

¿QUÉ ES ANÁLISIS DE VARIANZA?

• Una técnica para determinar una significancia estadística de la relación entre una variable dependiente ("Y") y una o varias variables independientes ("X") que han sido organizadas dentro de dos o más grupos discretos o niveles

-ANOVA se utiliza para datos continuos en "Y" con niveles discretos en "X"

-Un procedimiento que determina si las medias de las respuestas en cada nivel han sido o no extraídas de la misma población (¿Son diferentes?)

-Una forma de seleccionar las pocas "X" vitales

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

TERMINOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VARIANZA

- Factor: Una variable independiente
- Nivel: Un valor discreto o establecido para un factor

$$Y = f(X)$$

Y	25	22	81	78
X	40	40	150	150

1 Factor con dos niveles . 40 y 150

•Datos Balanceados: Número igual de observaciones para cada factor y combinación de nivel. El ejemplo de arriba está balanceado, ya que hay dos observaciones para cada nivel.

•Datos No balanceados: Número desigual de observaciones para cada factor y combinación de nivel

Y	25	77	81	78
X	40	150	150	150

1 Factor con dos niveles . 40 y 150, pero en este caso existen tres valores "Y" para el nivel 150 y un solo valor para el nivel 40

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

CUANDO USAR EL ANÁLISIS DE VARIANZA?

La temperatura afecta el rendimiento?

Temp. °C	Rendimiento (g)				
25	36	33	35	34	32
30	35	37	36	35	38
35	35	39	37	38	39
40	34	31	35	32	34

ANOVA de 1 vía

Un sólo factor (X) con dos o más de dos niveles

La cantidad de instructores y el # de estudiantes afectan el nivel de satisfacción del curso?

(Unidad 1-5 escala)

Instructor	# de estudiantes		
	10	30	50
A	4.2	4.0	4.0
B	4.0	4.0	3.7
C	3.8	3.9	3.8
D	3.5	3.3	3.2

ANOVA de 2 vías

Dos factores (X) con dos o mas de dos niveles

La cantidad de harina, cantidad de azúcar, y temperatura del horno, impactan en el nivel de satisfacción de los clientes en cuanto al sabor de las galletas?

Cantidad de Harina	Cantidad de Azúcar	Mucha		Poca	
		Temp. 180°	Temp. 200°	Temp. 180°	Temp. 200°
10g	4.3	4.5	4.8	3.2	
15g	3.7	4.0	4.4	2.2	

(Unidad: 1-5 escala)

ANOVA de 3 vías

Tres factores (X) con dos o mas de dos niveles

De los preservativos A, B, C y D, cual afecta el rendimiento?

No.	Preservativo							
	A	B	A+B	C	D	A+D	B+D	D
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

ANOVA de Múltiples Variables

Factores múltiples (2 o mas) representados en multiples niveles

SUPUESTOS BÁSICOS PARA USAR ANOVA

Igualdad de Varianzas: Las varianzas poblacionales deberían ser iguales o (cercanas a la misma) a través de todos los niveles para un factor dado

Promedios Muestrales Normalmente Distribuidos: Las medias muestrales deben ser independientes y normalmente distribuidas. El teorema del límite central asegura esto (Los promedios muestrales casi siempre están distribuidos normalmente) Recuerde, la normalidad para la medición individual NO es un requisito, especialmente si el tamaño de muestra es grande

Datos Aleatorios: Los datos muestrales deben representar verdaderamente su variación poblacional. Para cada nivel, los datos muestrales deben ser seleccionados al azar en cada población.

Gage R y R Aceptable: El sistema de medición usado para recolectar los datos muestrales deben mostrar un gage R&R aceptable.

Usar ANOVA para responder a la pregunta:
 ¿Cuánto contribuye los niveles del factor ("X") a la variación total en la respuesta ("Y")?

ANOVA

Dentro del grupo



Entre grupos



$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{entre\ grupos} + \sigma^2_{dentro\ de\ grupos}$$

El efecto de los cambios son determinados por cambios en la variación total. El ANOVA separa las diferentes fuentes de variación para evaluar los cambios en los promedios.

CUALES SERIAN LOS VALORES DE F PARA LAS SIG. TABLAS:

1.0	1.5	2.0
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5

1.0	1.5	2.0
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6

1.0	1.5	2.0
31.5	42.5	42.7
10.5	21.4	31.7
10.1	10.8	10.2
42.9	31.3	10.4
21.0	10.5	21.5

1.0	1.5	2.0
11.5	22.2	41.4
12.6	20.3	40.3
11.9	23.4	42.3
13.4	22.3	43.4
13.3	21.5	41.4

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

PROBLEMA PRACTICO

Un ingeniero de desarrollo está utilizando un adhesivo específico para unir dos partes. Hay otros dos tipos de pegamentos que son factibles, pero requerirían de un nivel de control de proceso más alto. Si uno de los otros pegamentos muestra una fuerza de adhesión promedio de por lo menos 20, valdría la pena aplicar el control de proceso adicional y cambiar de proveedor.

Nivel 1 Adhesivo Actual	Nivel 2 Adhesivo Fórmula A	Nivel 3 Adhesivo Fórmula B
9	18	21
12	15	19
14	14	21
13	17	16
18	15	23

Con base en una muestra del 1er adhesivo y una α deseada del 5%, fue seleccionado un tamaño muestral de 5 para cada nivel de prueba, en este caso los resultados son tabulados de las 5 pruebas del adhesivo

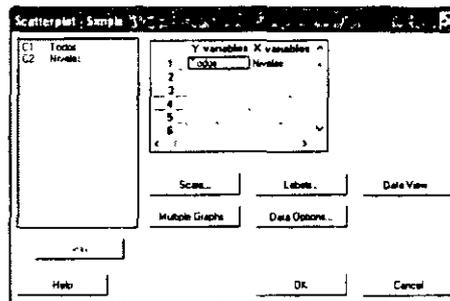
Ver Conjunto de datos en Anexo de ejercicios y tablas → Ejercicio : "Adhesivo"

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

¡PRIMERO GRAFICA LOS DATOS!

Graph>Scatter plot Simple



Hacer click en "OK"

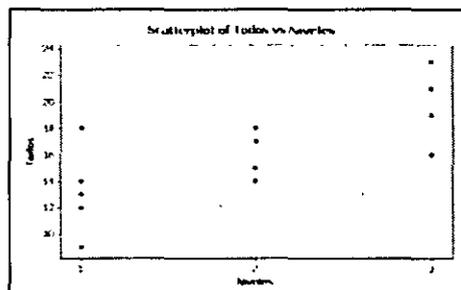
DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

DIAGRAMA DE DISPERSION

"Una gráfica vale más que mil palabras"

Observe la grafica



1 - ¿Los 3 pegamentos aparentan ser iguales?

2 - ¿Algún adhesivo parece tener una fuerza de adhesión mayor que 20?

La fórmula B Nivel 3, parece tener una fuerza de adhesión mayor que el Adhesivo Actual o de la fórmula A, sin embargo la apanencia de una diferencia NO significa que existe una diferencia estadísticamente significativa, requenmos de pruebas para llegar a está conclusión

PROBAR LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

Para probar si hay significancia estadística, primero necesitamos responder las siguientes preguntas claves:

- 1 - ¿Qué factor está siendo evaluado?
El tipo de adhesivo
- 2 - ¿Qué respuesta está siendo medida?
La fuerza de adhesión del pegamento
- 3 - ¿Qué es lo que quiero conocer realmente?
Podría cualquiera de los otros pegamentos darnos un promedio de fuerza de adhesión mayor que 20
- 4 - ¿Qué herramienta voy a usar para el análisis? Y ¿Por qué?
ANOVA 1 vía, por que tenemos 1 factor que es el pegamento con 3 niveles y tratamos de ver si alguno de los tres es diferente
- 5 - ¿Cuáles son las hipótesis NULA y ALTERNATIVA?
Ho : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ Ha: Al menos un μ_i no es igual

ANOVA EN MINITAB

Antes de usar Minitab para analizar los datos para el problema del adhesivo, veamos las opciones del menú:

- One-Way → Un factor, niveles >2 (datos apilados solamente)
- One-Way (Unstacked) → Niveles en diferentes columnas
- Two-Way → Dos factores, niveles >2
- Balanced ANOVA → Múltiples factores y niveles (Datos balanceados)
- General Linear Model → Múltiples factores y niveles (Datos NO balanceados)

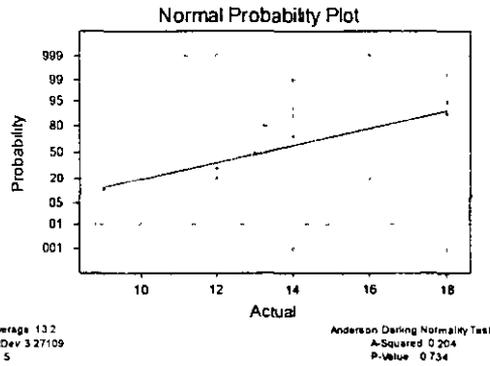
Balanced Anova y el General Linear Model (GLM) pueden comparar un máximo de 9 factores y 60 respuestas. GLM es la única herramienta que se puede usar para datos no balanceados

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

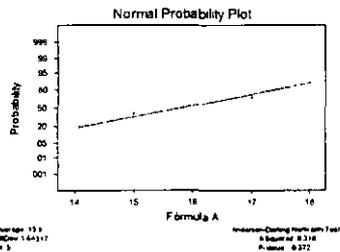
PASOS PARA REALIZAR EL ANOVA

1. Correr la prueba de normalidad para las tres muestras (Actual, formula A y formula B)

Stat > Basic Statistics > Normality Test

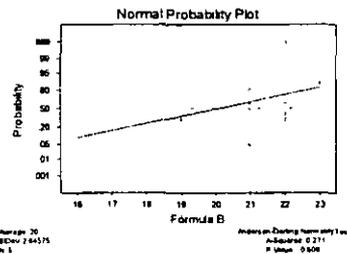


PASOS PARA REALIZAR EL ANOVA CONT.



P Value > 0.05

¡Por lo tanto se dice que las tres muestras son normales!



DECFI - UNAM

PASOS PARA REALIZAR EL ANOVA CONT.

2. Verificar la homogeneidad de varianzas
 Usar "Test For Equal Variances" para comparar varianzas.

Prueba Barlett contra
 Levene .. ¿Cuál usar?

Barlett →
 Datos normales

Levene →
 Datos no normales

Stat > ANOVA > Test For Equal Variances

Test for Equal Variances

Response: Todos

Factors: Nivelos

Confidence level: 95.0

Title: Prueba de Homogeneidad

Help OK Cancel

DECFI - UNAMDiplomado en Seis Sigma

PASOS PARA REALIZAR EL ANOVA CONT.

95% Confidence Intervals for Sigmas

Factor Levels

1
2
3

Bartlett's Test

Test Statistic 1.589

P-Value 0.452

Levene's Test

Test Statistic 0.358

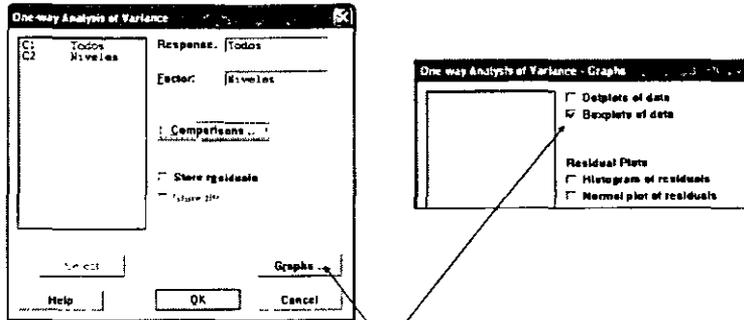
P-Value 0.706

Usar la prueba de Barlett para Datos Normales . Con un valor de p de 0.452 no podemos afirmar una diferencia de varianzas entre las 3 muestras del adhesivo

PASOS PARA REALIZAR EL ANOVA CONT.

3. Efectuemos el ANOVA en el ejemplo de adhesivo usando MINITAB

Stat > ANOVA > One way
(Usar One way de ANOVA porque solo hay un factor de "X")



La opción Graphs, producirá un Boxplot de los datos

LA SALIDA ANOVA DE MINITAB

Comparar el valor de p con el valor de $\alpha = 0.05$ (generalmente). Si $p < 0.05$ entonces los resultados son estadísticamente significativos

H_0 : todas las medias son iguales H_a : Al menos una media es diferente

One-way ANOVA: Todos versus Niveles

Analysis of Variance for Todos

Source	DF	SS	MS	F	P
Niveles	2	117.73	58.87	8.66	0.005
Error	12	81.60	6.80		
Total	14	199.33			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

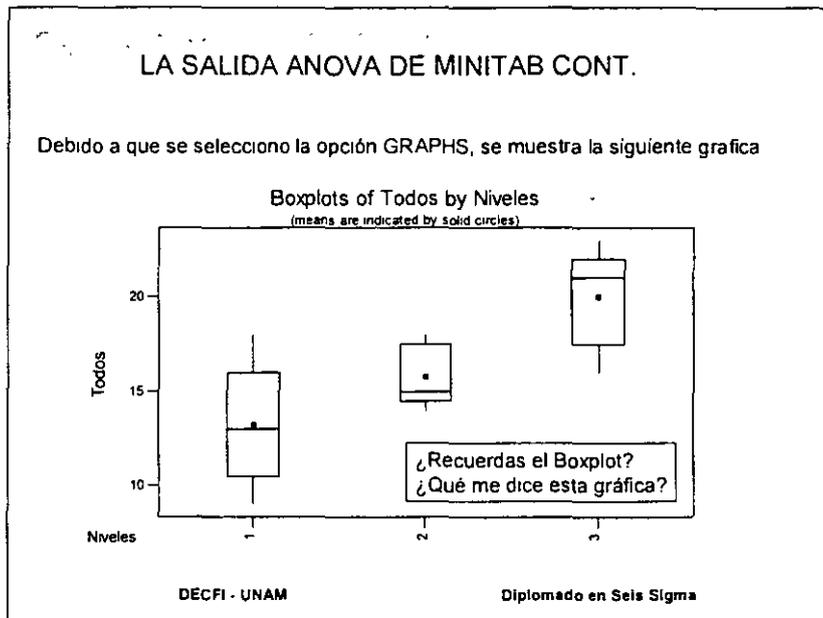
Level	N	Mean	StDev
1	5	13.200	3.271
2	5	15.800	1.643
3	5	20.000	2.646

Pooled StDev = 2.608 14.0 17.5 21.0

Valor de p < 0.05 acepto H_a

Los intervalos de confianza representan el 95% del rango de confianza para cada una de las medias de fuerzas de adhesión de las formulas de adhesivo. Si estas se traslapan, las medias probablemente **NO** son diferentes. Si los intervalos no se traslapan, entonces los niveles de las medias **SON** estadísticamente diferentes (Siempre observa el valor de p, para estar seguros)

Diplomado en Seis Sigma



EJERCICIO

Ahora realiza el análisis ANOVA, para el ejercicio "Carseat" que se muestra en el Anexo de ejercicios y tablas, aplica los siguientes pasos:

1. Realiza la prueba de normalidad de la resistencia del hilo
P=0.275 Son normales
2. La prueba de homogeneidad
Barlett's Test P = 0.301 Las varianzas son iguales
3. Realiza el ANOVA Oneway (en sus dos modalidades)
P = 0.026 Las medias no son iguales
4. Explica tus conclusiones
Si hay diferencia de resistencia de hilo entre los operadores

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

ANOVA DE DOS VIAS

Consideremos los siguientes datos:

X1	X2	Y
Tratamiento termco	Material	Result
A1	B1	28
A2	B1	37
A1	B2	30
A2	B2	35
A1	B3	24
A2	B3	25
A1	B4	32
A2	B4	33
A1	B1	30
A2	B1	33
A1	B2	27
A2	B2	31
A1	B3	27
A2	B3	26
A1	B4	30
A2	B4	31

ANOVA de 2 vías
Dos factores (X) con dos o mas de dos niveles

X1 con Niveles = 2
X2 con Niveles = 4

Desarrollemos el análisis siguiendo los Mismos los pasos que para la ANOVA de 1 via:

1. Prueba de Normalidad
2. Homogeneidad de Varianzas
3. ANOVA (Star > ANOVA > Two-Way)

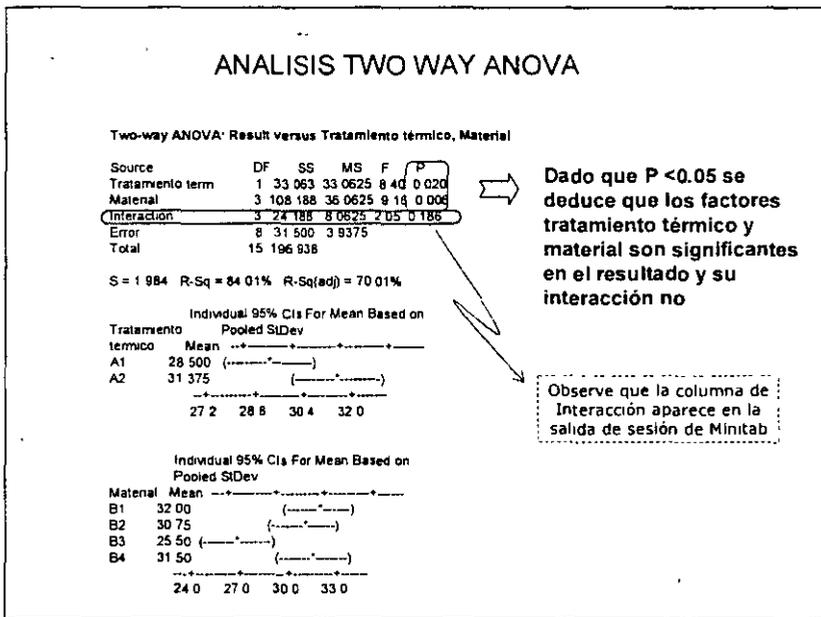
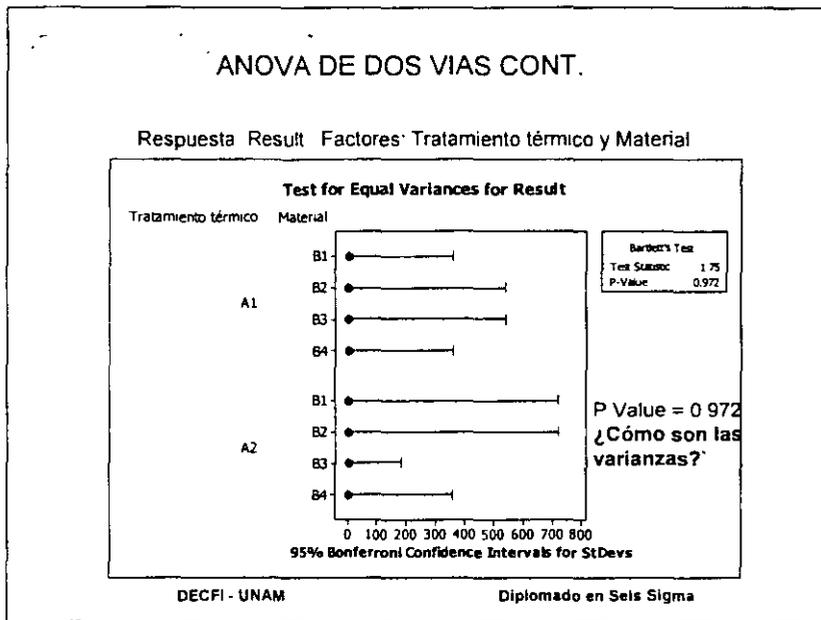
Ver Conjunto de datos en Anexo de ejercicios y tablas → Ejercicio : **2Way con replica**

Diplomado en Seis Sigma

ANOVA DE DOS VIAS CONT.

P Value = 0.897 Los datos son normales

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma



ANALISIS DEL TAMAÑO DE MUESTRA

X1	X2	Y
Tratamiento térmico	Material	Result
A1	B1	28
A2	B1	37
A1	B2	30
A2	B2	35
A1	B3	24
A2	B3	25
A1	B4	32
A2	B4	33
A1	B1	30
A2	B1	33
A1	B2	27
A2	B2	31
A1	B3	27
A2	B3	26
A1	B4	30
A2	B4	31

La evaluación estadística del impacto de la interacción fue posible gracias al tamaño de muestra

Veamos que sucede si tenemos mismos factores, mismos niveles, pero un tamaño de muestra menor

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

ANALISIS DEL TAMAÑO DE MUESTRA CONT.

Consideremos ahora los siguientes datos:

Tratamiento térmico	Material	Result
A1	B1	28
A2	B1	37
A1	B2	30
A2	B2	35
A1	B3	24
A2	B3	25
A1	B4	32
A2	B4	33

Ver Conjunto de datos en Anexo de ejercicios y tablas → Ejercicio : **2Way sin replica**

Procedamos a realizar el análisis de ANOVA de Dos vías

Stat > ANOVA > Two-Way

Y analicemos la salida de sesión de Minitab

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

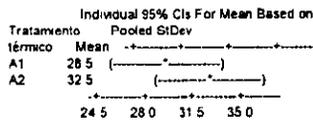
ANALISIS DEL TAMAÑO DE MUESTRA CONT.

Two-way ANOVA: Result versus Tratamiento térmico, Material

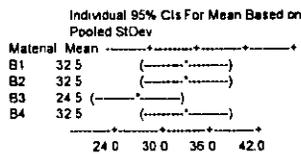
Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamiento térmico	1	32.0000	4.36	0.128	
Material	3	96.0000	4.36	0.128	
Error	3	22.7333			
Total	7	150			

⇒ Dado que $P > 0.05$ se deduce que los factores **NO** son significantes

S = 2.708 R-Sq = 85.33% R-Sq(adj) = 65.78%



Observe que la columna de Interacción **NO** aparece en la salida de sesión de Minitab



COMPARATIVO DE ANALISIS CON REPLICA VS. SIN REPLICA

Tamaño de muestra grande (con repeticiones)	Two-way ANOVA, Data versus A B Analysis of Variance for Data	A y B son Significantes																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>DF</th> <th>SS</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1</td> <td>33.06</td> <td>33.06</td> <td>8.40</td> <td>0.020</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3</td> <td>108.19</td> <td>36.06</td> <td>9.18</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td>Interaction</td> <td>3</td> <td>24.19</td> <td>8.06</td> <td>2.05</td> <td>0.185</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>8</td> <td>31.50</td> <td>3.94</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>15</td> <td>196.94</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Source	DF	SS	MS	F	P	A	1	33.06	33.06	8.40	0.020	B	3	108.19	36.06	9.18	0.005	Interaction	3	24.19	8.06	2.05	0.185	Error	8	31.50	3.94			Total	15	196.94				<0.05
Source	DF	SS	MS	F	P																																	
A	1	33.06	33.06	8.40	0.020																																	
B	3	108.19	36.06	9.18	0.005																																	
Interaction	3	24.19	8.06	2.05	0.185																																	
Error	8	31.50	3.94																																			
Total	15	196.94																																				
		Porque hay diferencia?																																				
Tamaño de muestra pequeño (Sin Repeticiones)	Two-way ANOVA, Data versus A B Analysis of Variance for Data	A y B son insignificantes																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>DF</th> <th>SS</th> <th>MS</th> <th>F</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1</td> <td>32.00</td> <td>32.00</td> <td>4.36</td> <td>0.128</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3</td> <td>96.00</td> <td>32.00</td> <td>4.36</td> <td>0.129</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>3</td> <td>22.00</td> <td>7.33</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7</td> <td>150.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Source	DF	SS	MS	F	P	A	1	32.00	32.00	4.36	0.128	B	3	96.00	32.00	4.36	0.129	Error	3	22.00	7.33			Total	7	150.00				>0.05						
Source	DF	SS	MS	F	P																																	
A	1	32.00	32.00	4.36	0.128																																	
B	3	96.00	32.00	4.36	0.129																																	
Error	3	22.00	7.33																																			
Total	7	150.00																																				

La diferencia radica en el tamaño de muestra que causa diferencia en la precisión estadística

De 20 a 30 repeticiones son recomendadas para hacer un juicio correcto
Si los efectos son juzgados insignificantes basados en el valor de P-value considerar entonces la siguiente regla:

Si el valor de F (ratio de la vanación y variación del error de cada factor) es mayor que 2.0 entonces es sintoma de que se requerirá mayor tamaño de muestra

CUALES SERIAN LOS VALORES DE F PARA LAS SIG. TABLAS:

1.0	1.5	2.0
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5
31.5	31.5	31.5

1.0	1.5	2.0
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6
11.5	21.1	40.6

1.0	1.5	2.0
31.5	42.5	42.7
10.5	21.4	31.7
10.1	10.8	10.2
42.9	31.3	10.4
21.0	10.5	21.5

1.0	1.5	2.0
11.5	22.2	41.4
12.6	20.3	40.3
11.9	23.4	42.3
13.4	22.3	43.4
13.3	21.5	41.4

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

ANOVA DE MULTIPLES FACTORES

Situación: Un equipo de Six Sigma tiene como meta mejorar el tiempo que requiere "El ciclo de entrada de pedido" reduciendo su promedio actual de 10.8 minutos hasta uno menor a 9.0. Esta magnitud de reducción de tiempo del ciclo mejorara la productividad global de la empresa y reducirá en gran medida los costos telefónicos. Se propusieron como las "X" potenciales que podían afectar el tiempo del ciclo de toma de pedido.

- La experiencia del empleado
- El turno
- La ubicación del centro receptor de llamadas ("Región")

La siguiente tabla representa los datos del tiempo de ciclo de las tres regiones receptoras de llamadas de la empresa

FACTOR	NIVELES	1	2	3
REGION	3	ESTE	CENTRO	OESTE
TURNO	3	MAÑANA	TARDE	NOCHE
EXPERIENCIA	2	SIN	CON	

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

ANOVA DE MULTIPLES FACTORES CONT.

Nota: Hay 5 observaciones por combinación de factor o celda, para un total de 90 observaciones (3 x 3 x 2 x 5 =90) quedando la tabla de la siguiente manera.

Observación	Region	Turno	Experiencia	Tiempo
1	1	1	1	14.78
2	1	1	2	15.28
3	1	1	3	14.24
4	1	1	4	17.02
5	1	1	5	15.64
6	1	2	1	14.71
7	1	2	2	14.11
8	1	2	3	14.94
9	1	2	4	17.11
10	1	2	5	15.11
11	1	3	1	14.14
12	1	3	2	14.11
13	1	3	3	14.64
14	1	3	4	14.94
15	1	3	5	14.11
16	2	1	1	14.74
17	2	1	2	17.14
18	2	1	3	14.24
19	2	1	4	14.24
20	2	1	5	15.14
21	2	2	1	14.11
22	2	2	2	14.11
23	2	2	3	14.11
24	2	2	4	14.11
25	2	2	5	14.11
26	2	3	1	14.11
27	2	3	2	14.11
28	2	3	3	14.11
29	2	3	4	14.11
30	2	3	5	14.11

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

Para Ver el Conjunto total de datos remitirse al Anexo de ejercicios y tablas → Ejercicio : "Tiempo de ciclo"

PRIMERO GRAFICAR LOS DATOS

Generar las tres graficas.

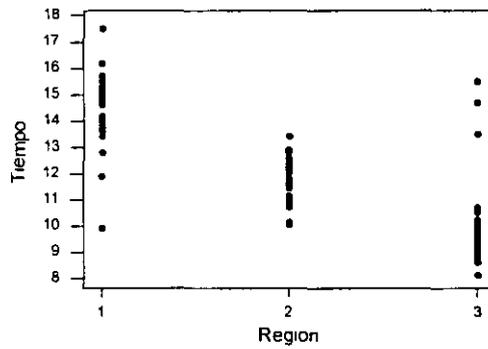
- Tiempo contra región
- Tiempo contra turno
- Tiempo contra experiencia

Graph>Scatter plot Simple

Presiona OK

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

PRIMERO GRAFICAR LOS DATOS CONT.

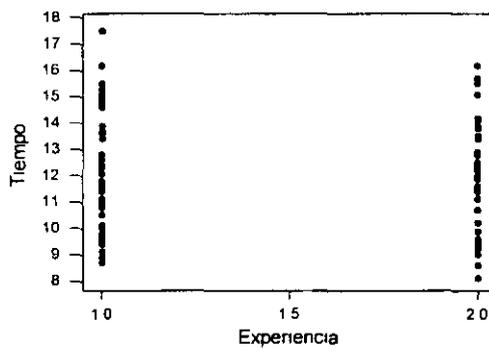


Parece que en la región ESTE (Nivel 1) tiene un tiempo de ciclo de tomar pedidos más alto que las demás operaciones

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

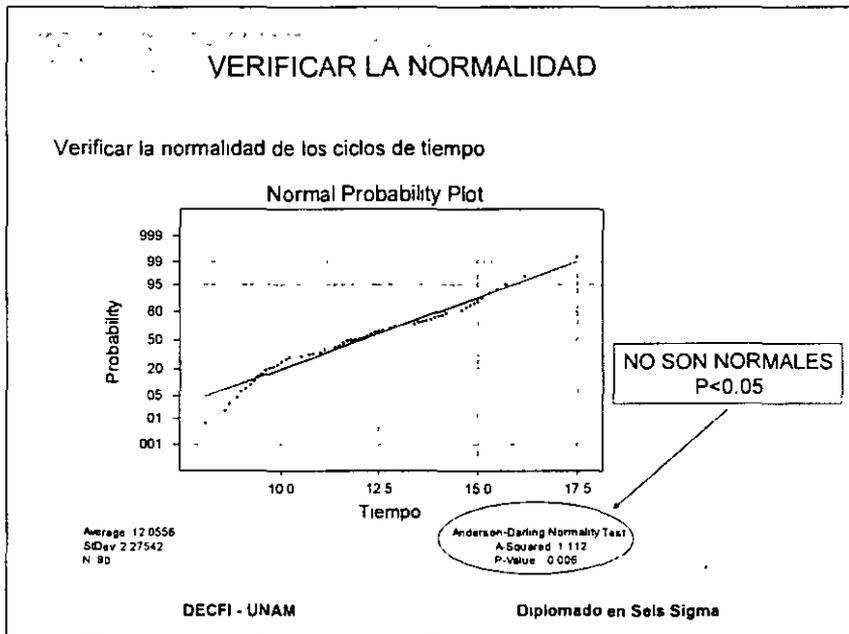
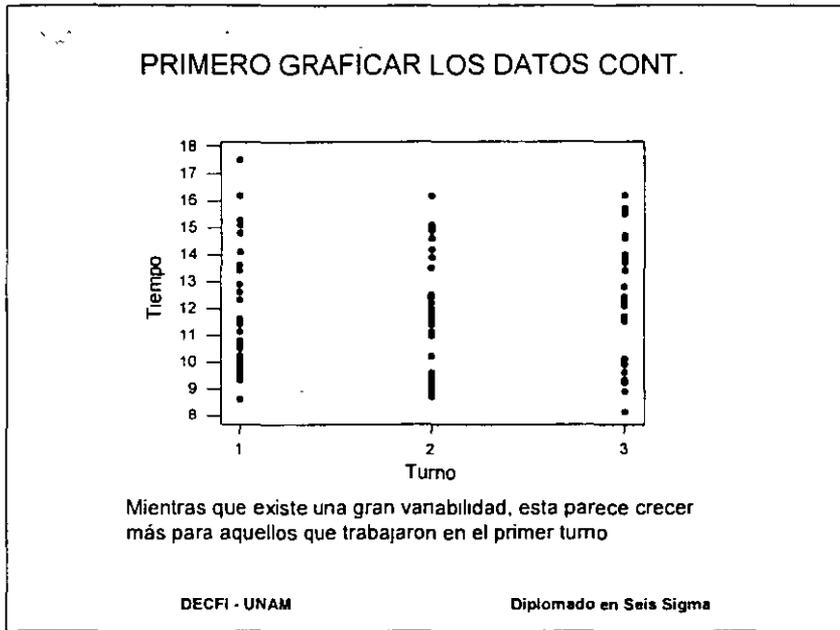
PRIMERO GRAFICAR LOS DATOS CONT.



Los empleados con más experiencia parece tener tiempos de ciclo más cortos que los recién entrenados

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma



VERIFICAR LA HOMOGENEIDAD

Stat>Anova>Test for Equal Variances
 Respuesta: Tiempo Factores: Región, Experiencia, Turno

95% Confidence Intervals for Sigmas

Factor Levels

1	1	1
1	1	2
1	2	1
1	2	2
1	3	1
1	3	2
2	1	1
2	1	2
2	2	1
2	2	2
2	3	1
2	3	2
3	1	1
3	1	2
3	2	1
3	2	2
3	3	1
3	3	2

Bartlett's Test
 Test Statistic: 49.273
 P-Value: 0.000

Levene's Test
 Test Statistic: 1.343
 P-Value: 0.192

Ya que los datos son No-normales, usar la prueba de LEVENE. Un valor de p de 0.192, no hay evidencia de decir que las varianzas son diferentes

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

EFECTUAR EL ANALISIS

Stat>ANOVA>Balanced ANOVA

Para dar a conocer al Minitab que deseas incluir cada interacción de los factores de ANOVA, debes insertar "Barras" entre los factores

Diplomado en Seis Sigma

EFECTUAR EL ANALISIS CONT.

Ho: El factor no afecta a la respuesta (Sin diferencia)
 Ha: El factor afecta significativamente la respuesta (Diferencia)

ANOVA: Tiempo versus Region, Turno, Experiencia

Factor	Type	Levels	Values
Region	fixed	3	1 2 3
Turno	fixed	3	1 2 3
Experien	fixed	2	1 2

Analysis of Variance for Tiempo

Source	DF	SS	MS	F	P
Region	2	302.504	151.252	90.76	0.000
Turno	2	1.676	0.838	0.50	0.607
Experien	1	1.067	1.067	0.64	0.426
Region*Turno	4	2.162	0.540	0.32	0.951
Region*Experien	2	3.698	1.849	1.11	0.335
Turno*Experien	2	4.328	2.164	1.30	0.278
Region*Turno*Exp	4	25.383	6.346	3.81	0.007
Error	72	119.984	1.666		
Total	89	460.802			

Los factores representativos tienen valores p < 0.05

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

¿QUE NOS DICE EL ANALISIS ANOVA?

- La X potencial es la **Región**
- La interacción de tres vías entre los factores región, experiencia y turno es estadísticamente significativa
 ¿Podría haber una diferencia en los programas de capacitación o en las políticas de contratación en algunas regiones?
- De la columna "SS" (suma de cuadrados)
- El **ERROR** en el modelo representa 119, 984 de la variación total 460, 802 (**26%**)
- El **ERROR** es la vanación que no se puede explicar por los factores utilizados en el modelo
- Conclusión: Podría haber más "X" influyendo en este proceso**

DECFI - UNAM Diplomado en Seis Sigma

¿QUE PASA SI NO TIENES TODOS LOS DATOS?

•El General Linear Model (GLM) es la herramienta que debes utilizar.
 •El GLM puede manejar datos "NO BALANCEADOS" → conjunto de datos con observaciones desiguales por subgrupo. Los subgrupos desiguales pueden ocurrir por elección (Un experimento diseñado) o por accidente (Puntos de datos faltantes) Esto puede ocurrir a veces cuando usas ANOVA para analizar datos históricos o de línea base

•Los datos deben de ser de "Rango completo" (Con suficiente información para estimar todos los términos en el modelo). Pero no debes de preocuparte por esto ¡ Minitab te dirá si tus datos no son de rango completo ! (Si tus datos no son de rango completo, entonces necesitarás más puntos de datos)

•Veamos un ejemplo

¿Por que los datos no están balanceados?
 Por que hay números desiguales de observaciones por celda

	TEMP=10	TEMP=16
OXIGENO=2	n =3	n =3
OXIGENO=6	n =3	n =2
OXIGENO=10	n =1	n =3

Diplomado en Seis Sigma

EJEMPLO GENERAL LINEAR MODEL (GLM)

Aquí esta el conjunto de datos, observar los faltantes:
 -ROT es una variable de respuesta continua que está en función del oxígeno y temperatura
 -Temperatura esta representada por dos niveles : 10 y 16
 -Oxígeno tiene 3 niveles 2, 6 y 10

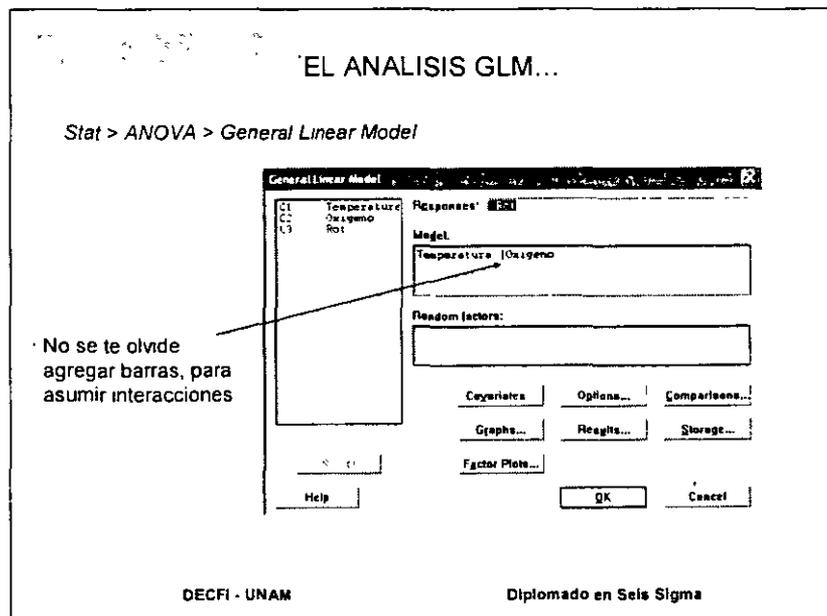
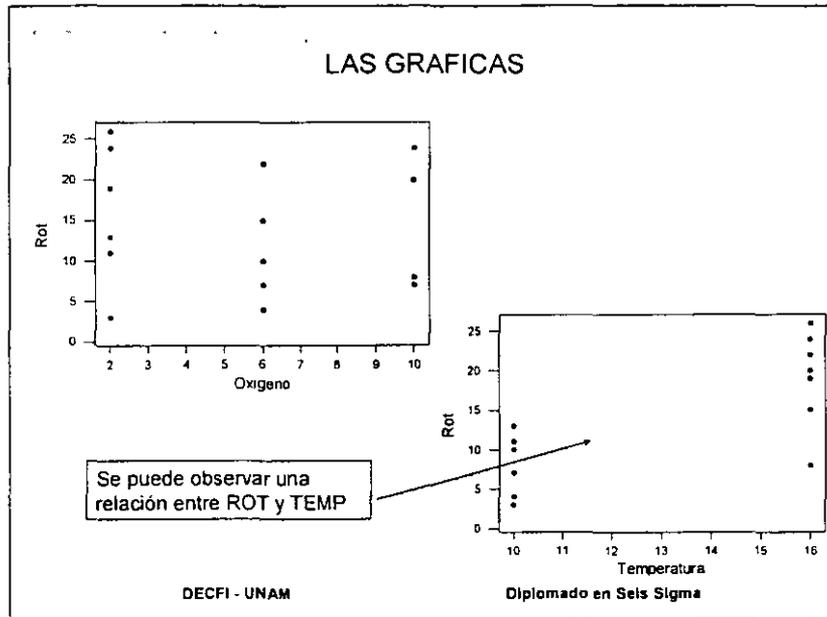
Temperatura	Oxígeno	Rot
10	2	13
10	2	11
10	2	3
10	6	10
10	6	4
10	6	7
10	10	7
10	10	
10	10	
16	2	26
16	2	19
16	2	24
16	6	15
16	6	
16	6	22
16	10	20
16	10	24
16	10	6

Observe los datos de respuesta faltantes

Ver conjunto de datos en Anexo de ejercicios y tablas →
 Ejercicio : "Rot"

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma



VENTANA DE SESION

General Linear Model: Rot versus Temperatura, Oxigeno

Factor	Type	Levels	Values
Temperat	fixed	2	10 16
Oxigeno	fixed	3	2 6 10

Analysis of Variance for Rot, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperat	1	528.04	453.19	453.19	15.50	0.003
Oxigeno	2	51.19	41.57	20.78	0.71	0.517
Temperat*Oxigeno	2	8.00	8.00	4.00	0.14	0.874
Error	9	263.17	263.17	29.24		
Total	14	850.40				

Unusual Observations for Rot

Obs	Rot	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	7.0000	7.0000	5.4075	0.0000	* X
18	8.0000	17.3333	3.1220	-9.3333	-2.11R

R denotes an observation with a large standardized residual.
 X denotes an observation whose X value gives it large influence.

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

INTERPRETACION

Observa los valores p para los factores significativos

- Temperatura es significativa. $p < 0.05$
- No significativos: Oxigeno y la interacción
- El termino de error es grande respecto al total de SS

Posiblemente debes de buscar mas "X"

Notas: La observación 7 esta señalada porque tiene un valor indefinido para el residual estándar (error). Esto se debe a que hay un valor para Temperatura= 10 y Oxigeno =10, así que el valor ajustado es igual al valor observado

La observación 18 esta señalada por que tiene un residual de error muy grande

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

PRECAUCION!

CONOZCA LAS LIMITACIONES DEL MODELO ANOVA

En estos ejemplos hemos usado ANOVA para seleccionar mediante eliminación las potenciales pocas "X" vitales, basándonos en los datos históricos o de línea base fijados (Datos pasivos)

Esto no prueba que estas "X" son vitales

Se utiliza DOE (Diseño de Expenmentos) para probar que las "X" verdaderamente son vitales

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma



Unidad II Introducción al Diseño de Experimentos

Diplomado en Seis Sigma
DECFI

DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

OBJETIVOS:

IDENTIFICAR LOS OBJETIVOS DE UN EXPERIMENTO.

COMPRENDER LOS FUNDAMENTOS DE LA RECOPIACION DE DATOS PARA EXPERIMENTOS Y ASI AYUDAR A CONTROLAR LA VARIACION

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

¿QUE ES UN DOE?

- Es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios en las variables de entrada de un proceso o sistema, con el fin de optimizar la variable de salida.



DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

OBJETIVOS DEL DOE:

- Determinar las variables X (factores) que tienen **mayor influencia** en la respuesta Y .
- Determinar el **mejor valor** de las X que influyen en Y, de modo que Y tenga un **valor cercano al nominal** o especificación. Esto es permite desplazar el promedio de un proceso. Por ejemplo, usar una temperatura mas elevada de un tratamiento térmico puede aumentar la dureza y desplazarla hacia el centro de las especificaciones
- Determinar el **mejor valor** de las X que influyen en Y, de modo que la **variabilidad de Y sea pequeña**. Esto es, permite reducir la variación. Por ejemplo, un programa de capacitación de dos semanas para todos los telefonistas podría ser más efectivo que un programa de una semana, para así reducir la variación en el tiempo de toma de llamadas de un centro receptor de llamadas a otro.
- **Desplazar el promedio de un proceso y reducir la variación**. Por ejemplo, establecer un nivel más bajo en la concentración de la solución limpiadora nos conducirá a una mejor y más consistente limpieza de partes de un sistema de limpieza.

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

OBJETIVOS DEL DOE CONT.

¿Cuál es la diferencia con los objetivos de la fase de análisis?
¿No es lo mismo?

Analizar datos históricos no es experimentar

El análisis de datos históricos se refiere a observar pasivamente un proceso, evitando hacer cambios intencionales (Es decir, sin manipular el proceso durante la recolección de los datos de línea base)

El DOE se refiere a la manipulación activa de las variables independientes y la observación de los efectos sobre variables dependientes (Respuestas)

DOE permite estimar/predecir los efectos de las "X" sobre las "Y"

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

¿CÓMO PREPARAR UN EXPERIMENTO?

1.- Determinar el problema

Por ejemplo, un problema práctico puede ser: "Mejorar el rendimiento investigando el factor A y el factor B. Usar un alfa de 0.05"

2.- Seleccionar los factores, niveles y variables de respuesta

Por ejemplo, factores y niveles de interés pudieran ser definidos como "Valores codificados para los factores A y B en -1 y +1"

3.- Seleccionar el diseño apropiado y el tamaño de muestra basado en el efecto a ser detectado

4.- Crear una hoja de datos experimentales con los factores en sus respectivas columnas

- Aleatorizar las corridas en la hoja de datos.
- Conduzca el experimento y registre los resultados

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma

¿CÓMO ANALIZAR DATOS DE UN EXPERIMENTO?

5 - Construir una tabla de Análisis de Varianza (ANOVA) para el modelo completo

6 - Revisar la tabla de ANOVA y eliminar efectos con el valor de p
Quite estos efectos uno a la vez, empezando con las interacciones de más alto orden

7.- Investigar la significancia de las interacciones y efectos principales

8.- Enunciar el modelo matemático obtenido

9.- Calcular el porcentaje de contribución de cada factor y de cada interacción relativa al total "Suma de cuadrados"

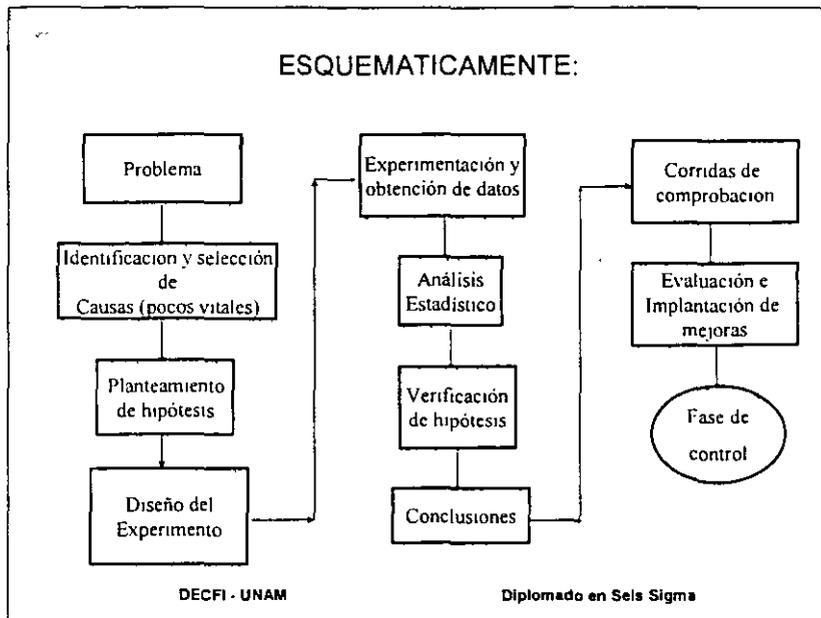
10.- Traducir el modelo matemático en términos del proceso y formular conclusiones y recomendaciones acerca de la combinación de factores y niveles óptimos

11 - Realizar una corrida confirmatoria con las condiciones óptimas y verificar que los resultados se encuentren en el rango predicho

12.- Planear el siguiente experimento o institucionalizar el cambio

DECFI - UNAM

Diplomado en Seis Sigma



- CONSIDERACIONES EN EL DOE**
- Documentar la información inicial
 - Verificar los sistemas de medición
 - Determinar si las condiciones base serán incluidas en el experimento (Esto es usualmente deseable)
 - Asegurarse de asignar claramente responsabilidades para la recolección de datos apropiada
 - Siempre realizar una prueba piloto para verificar y mejorar los procedimientos de recolección de datos
 - Cuidar y registrar cualquier fuente extraña de variación
 - Analizar los datos rápida y completamente y
- Siempre, siempre.
- Correr una o más pruebas confirmatorias para verificar resultados predichos

LAS OBSERVACIONES VARIAN:

Cuando las mediciones se repiten, generalmente uno obtiene diferentes respuestas . ¡esto es la variación!

1 - Variación SISTEMÁTICA

Las diferencias en las mediciones que son esperadas y las predecibles

Ejemplo: El volumen de ventas de asientos es diferente en la temporada de verano comparada con las ventas en la temporada navideña

2.- Variación ALEATORIA

Las diferencias en las mediciones que NO son predecibles.

Ejemplo: Dos refrigeradores del mismo diseño, que han sido probados respecto a consumo de energía en dos días diferentes con el mismo técnico, en la misma caseta de prueba, con la misma temperatura ambiental, con los mismos instrumentos de medición,. Etc... probablemente darán dos resultados diferentes

CONSIDERACIONES PARA ESCOGER LOS SETTINGS DE LOS FACTORES

Conocimiento del Proceso: Hay que entender que las condiciones normales de operación en los procesos pueden limitar el rango para los factores de interés. Los settings óptimos pueden estar fuera de este rango. Por esta razón, hay que escoger los settings más intrépidos, nunca olvidándose de la seguridad

Riesgo: Siempre considere que esos settings más intrépidos podrían poner en peligro posiblemente a los equipos o a los individuos y por lo tanto deben evaluarse para calcular el riesgo. Evite settings que tengan un riesgo potencial alto

Costo: El costo siempre es una consideración. Tiempo, materiales, y / o limitaciones de recursos también pueden impactar el diseño

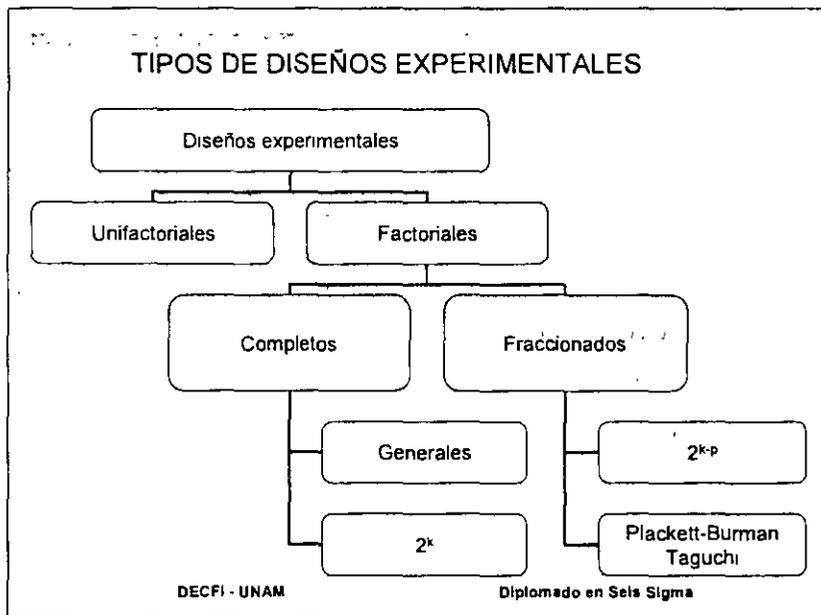
TIPOS DE DISEÑOS EXPERIMENTALES

Los diseños se clasifican de acuerdo a dos criterios.

1. Número de factores: unifactoriales y factoriales (multifactoriales).
2. Número de variables de respuesta: univariados y multivariados



DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma



DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Factores	niveles	Variable (s) de respuesta	constantes	Vanables de ruido	Equipos y/o instrumentos de medición para Y	Unidad experimental	Tipo de diseño experimental
1							
2							
3							
4							
5							

Actividad (30 minutos) Elegir por Equipos un proyecto y desarrollar para esté el diseño del experimento.

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma

GLOSARIO

Glosario

Factor: variable independiente o causa.

Niveles de factor: valores o categorías que el experimentador establece para cada factor.

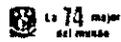
Variable de respuesta: variable dependiente o característica de calidad.

Constantes: condiciones del experimento que no cambian a lo largo del experimento.

Variables de ruido o factores de confusión: variables cuyos efectos son prácticamente imposibles de eliminar.

Unidad experimental: unidad o elemento de prueba sobre el cual se mide la variable de respuesta.

DECFI - UNAM
Diplomado en Seis Sigma



ANEXO Ejercicios y tablas

Diplomado en Seis Sigma
DECFI

Ejercicio	Actual	Fórmula A	Fórmula B	Todos	Niveles
Adhesivo	9	18	21	9	1
	12	15	19	12	1
	14	14	21	14	1
	13	17	16	13	1
	18	15	23	18	1
				18	2
				15	2
				14	2
				17	2
				15	2
				21	3
				19	3
				21	3
				16	3
				23	3

Ejercicio
Carseat

Tres inspectores de calidad participaron en un estudio gage R&R midiendo la resistencia (en kilogramos) de hilo para asientos de carro. Se desea comparar las medias y varianzas de sus mediciones y determinar si los operadores son factores significantes para el nivel de resistencia del hilo.

	Michelle	Kevin	Rob
	11.3	9.98	10.58
	10.62	8.68	9.46
	10.35	11.39	10.15
	10.23	9.16	10.39
	10.42	9.64	9.71
	12.64	8.49	9.48
	8.75	9.69	10.74
	10.49	11.14	10.16
	10.33	9.02	11
	10.04	9.47	12.54
	10.12	10.78	9.88
	9.89	9.78	10.1
	10.31	10.1	8.85
	10.46	10.27	12.52
	9.69	10.01	10.74
	9.29	9.01	9.19
	10.79	9.78	10.08
	10.15	9.99	10.51
	8.83	9.27	11.42
	8.47	10.41	12.12
	9.55	9.42	10.16
	11.03	9.27	12.06
	9.74	8.15	9.49
	11.21	8.68	11.05
	11.04	10.63	8.53

Ejercicio
Two Way Anova con replica

X1	X2	Y
Tratamiento térmico	Maternal	Result
A1	B1	28
A2	B1	37
A1	B2	30
A2	B2	35
A1	B3	24
A2	B3	25
A1	B4	32
A2	B4	33
A1	B1	30
A2	B1	33
A1	B2	27
A2	B2	31
A1	B3	27
A2	B3	26
A1	B4	30
A2	B4	31

Ejercicio
Two Way Anova Sin replica

Tratamiento térmico	Material	Result
A1	B1	28
A2	B1	37
A1	B2	30
A2	B2	35
A1	B3	24
A2	B3	25
A1	B4	32
A2	B4	33

Ejercicio

Tempo de ciclo	No	Region	Turno	Experiencia	Tempo
	1	1	1	1	14.8
	2	1	1	1	15.3
	3	1	1	1	16.2
	4	1	1	1	17.5
	5	1	1	1	13.6
	6	1	1	2	15.1
	7	1	1	2	14.1
	8	1	1	2	9.9
	9	1	1	2	13.4
	10	1	1	2	15.1
	11	1	2	1	13.9
	12	1	2	1	15.1
	13	1	2	1	14.6
	14	1	2	1	14.9
	15	1	2	1	15
	16	1	2	2	14.2
	17	1	2	2	11.9
	18	1	2	2	14.2
	19	1	2	2	13.9
	20	1	2	2	16.2
	21	1	3	1	13.7
	22	1	3	1	12.8
	23	1	3	1	14.6
	24	1	3	1	13.4
	25	1	3	1	14.7
	26	1	3	2	15.5
	27	1	3	2	14
	28	1	3	2	13.8
	29	1	3	2	15.7
	30	1	3	2	16.2
	31	2	1	1	11.1

32	2	1	1	108
33	2	1	1	10
34	2	1	1	126
35	2	1	1	134
36	2	1	2	107
37	2	1	2	114
38	2	1	2	129
39	2	1	2	116
40	2	1	2	123
41	2	2	1	11
42	2	2	1	114
43	2	2	1	118
44	2	2	1	116
45	2	2	1	111
46	2	2	2	122
47	2	2	2	125
48	2	2	2	11,1
49	2	2	2	124
50	2	2	2	12
51	2	3	1	121
52	2	3	1	101
53	2	3	1	123
54	2	3	1	11,7
55	2	3	1	124
56	2	3	2	128
57	2	3	2	116
58	2	3	2	122
59	2	3	2	115
60	2	3	2	115
61	3	1	1	97
62	3	1	1	105
63	3	1	1	10

64	3	1	1	94
65	3	1	1	98
66	3	1	2	95
67	3	1	2	102
68	3	1	2	86
69	3	1	2	93
70	3	1	2	107
71	3	2	1	96
72	3	2	1	95
73	3	2	1	87
74	3	2	1	91
75	3	2	1	89
76	3	2	2	92
77	3	2	2	135
78	3	2	2	9
79	3	2	2	102
80	3	2	2	94
81	3	3	1	10
82	3	3	1	96
83	3	3	1	147
84	3	3	1	89
85	3	3	1	155
86	3	3	2	81
87	3	3	2	93
88	3	3	2	92
89	3	3	2	96
90	3	3	2	99

Ejercicio Rot	Temperatura	Oxigeno	Rot	
	10		2	13
	10		2	11
	10		2	3
	10		6	10
	10		6	4
	10		6	7
	10		10	7
	10		10	
	10		10	
	16		2	26
	16		2	19
	16		2	24
	16		6	15
	16		6	
	16		6	22
	16		10	20
	16		10	24
	16		10	8