

Diseño y Análisis de Experimentos:

**Diseño y Análisis de Experimentos
en Minitab versión 14**

*Segunda versión.
Noviembre 2004*

*Autores:
David González, PhD
Wilfredo F. Yushimito*

Tabla de Contenido

Instrucciones	2
Capítulo 1: Un sólo Factor aleatorizado	3
Capítulo 2: Bloque Completo Aleatorizado	7
Capítulo 3: Cuadrado Latino.....	10
Capítulo 4 : Cuadrado Latino con Réplicas	13
Capítulo 5: Cuadrados Greco-Latinos	16
Capítulo 6: Uso de los Vectores con Patrones	19
Capítulo 7: Experimentos Factoriales 2^k	22
Capítulo 8: Experimentos Factoriales 2^k con Bloques.....	29
Capítulo 9: Experimentos Factoriales Fraccionarios 2^k	34
Capítulo 10: Experimentos Factoriales Fraccionarios 2^k con generadores arbitrarios	40
Capítulo 11: Superficie de Respuesta	45
Capítulo 12: Expected mean square	52
Capítulo 13: Gage R-R.....	56
Capítulo 14: Experimentos Nested	59
Capítulo 15: Experimentos Split Plot	61

Información e instrucciones

Este Manual es la segunda versión del Manual preparado por el Dr. David González para la versión 12 de Minitab y es básicamente una actualización de esos procedimientos para la versión 14 de Minitab así como algunos capítulos nuevos (del 12 al 15).

Como complemento a las instrucciones, se incluyen archivos de Minitab (mtw), para que los links desde este documento hacia los archivos funcionen, se recomienda poner los archivos en la misma carpeta que el Manual.

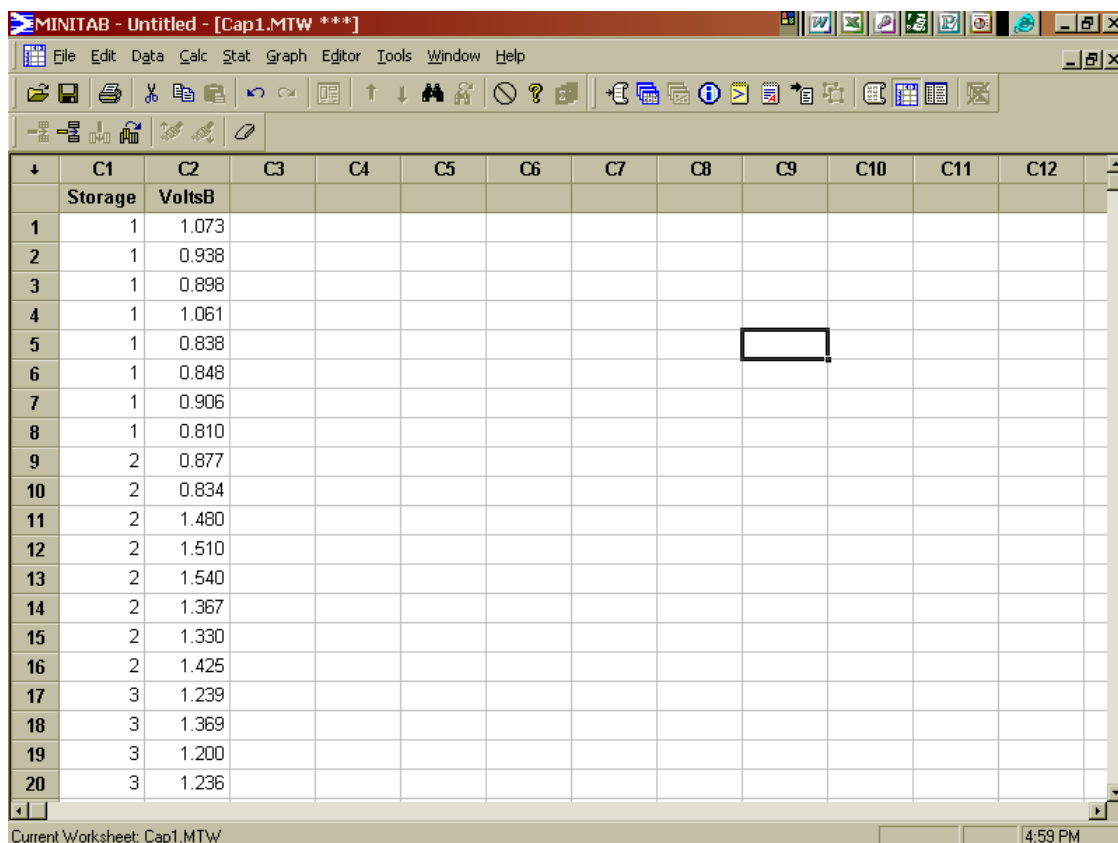
Esperamos que el Manual le sea de mucha utilidad y cualquier sugerencia para mejorarlo será bien recibida.

*David González, PhD
Wilfredo F. Yushimito.*

Capítulo 1: Un sólo Factor aleatorizado

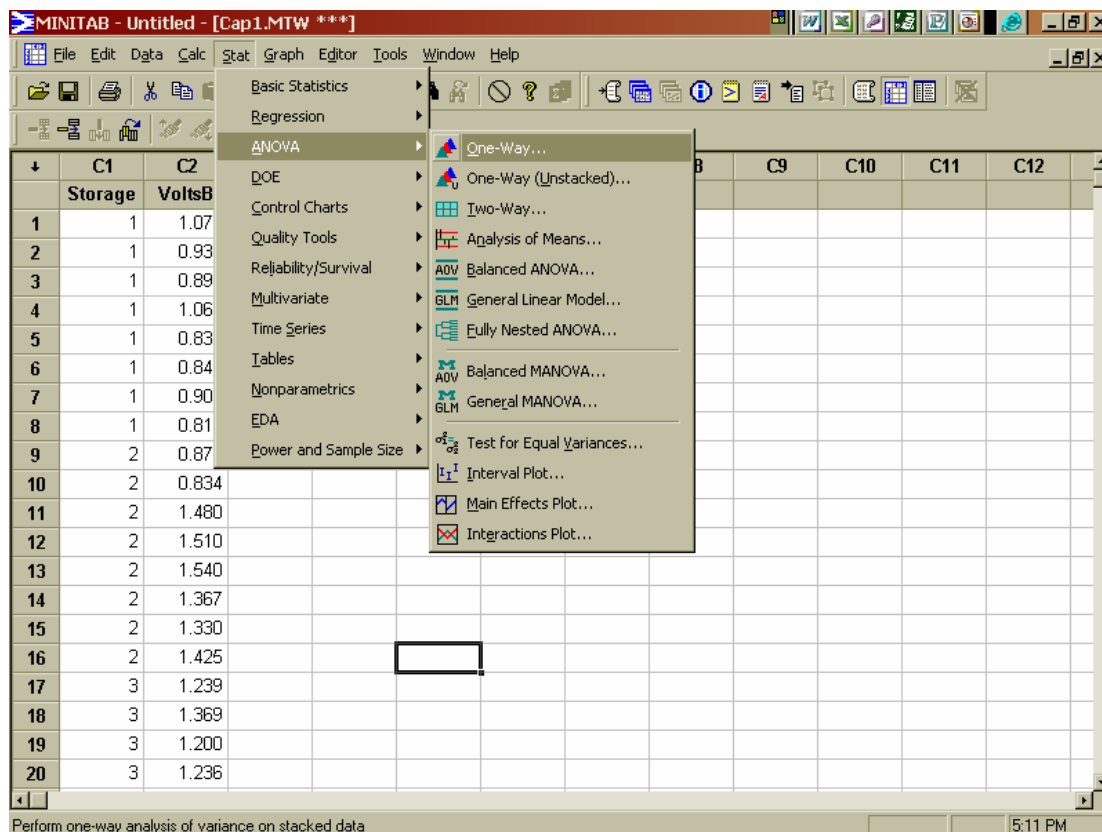
Para usar los Procedimientos en **Minitab** más o menos siempre seguimos una secuencia similar. Mostramos estos pasos de forma gráfica.

1. Entrada de datos. Tomemos el ejemplo del voltaje de cinco marcas de baterías. En la pantalla de **<<Cap1>>**, copiamos dos vectores de datos uno que identifica la marca de fila y el otro correspondiendo por fila la respuesta observada.



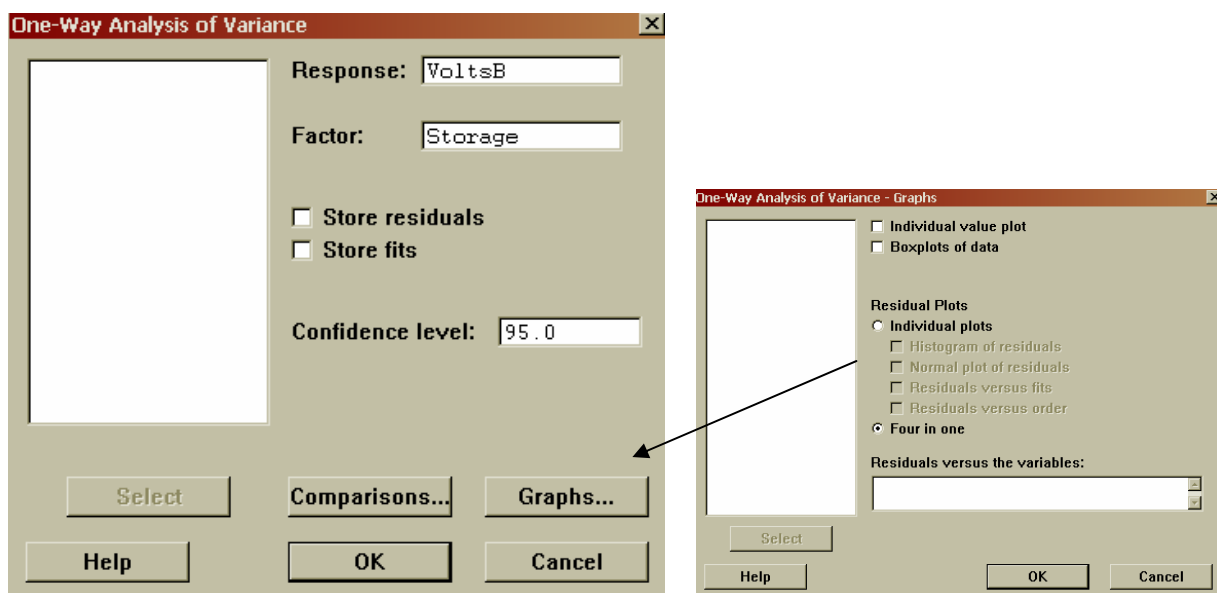
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Storage	VoltsB										
1	1	1.073										
2	1	0.938										
3	1	0.898										
4	1	1.061										
5	1	0.838										
6	1	0.848										
7	1	0.906										
8	1	0.810										
9	2	0.877										
10	2	0.834										
11	2	1.480										
12	2	1.510										
13	2	1.540										
14	2	1.367										
15	2	1.330										
16	2	1.425										
17	3	1.239										
18	3	1.369										
19	3	1.200										
20	3	1.236										

2. Como segundo paso se selecciona el procedimiento o prueba a realizar, en este caso queremos realizar un **ANOVA con un sólo factor**. Para ello debemos ir al Menú de Opciones que se presentan en la parte superior de la pantalla principal **<<Minitab>>**.
3. Seleccionamos primero la opción **<<Stat>>** y dentro de ésta escogemos la opción **<<ANOVA>>**. Dentro de esta opción entonces seleccionaríamos **<<OneWay>>**. Todos estos pasos se realizan casi simultáneamente como se muestra en la siguiente Figura.



4. Al seleccionar **<<Oneway>>** se presenta la pantalla **<<Oneway Analysis of Variance>>**. En ésta, usted debe indicar cual es el vector o columna correspondiente a la variable respuesta (**<<Response>>**) y la columna donde se encuentran los niveles del factor (**<<Factor>>**). Esto se hace colocando el puntero en la ventanilla para cada campo y oprimiendo el botón izquierdo del ratón dos veces consecutivas luego de llevarlo hasta el nombre de la columna. También puede hacerse usando el botón **<<Select>>** luego de seleccionar el nombre de la columna.

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab



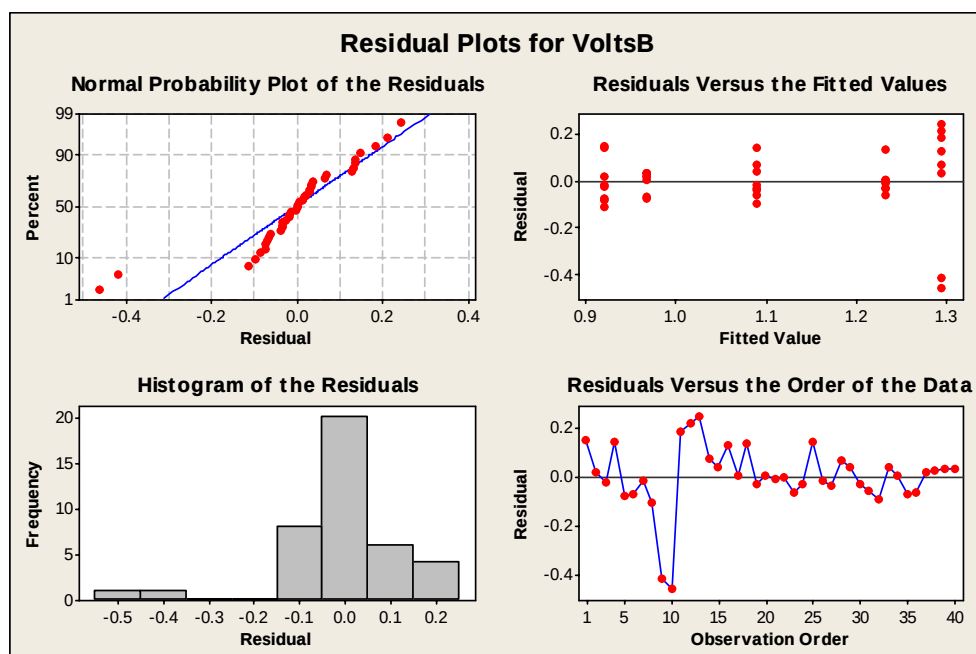
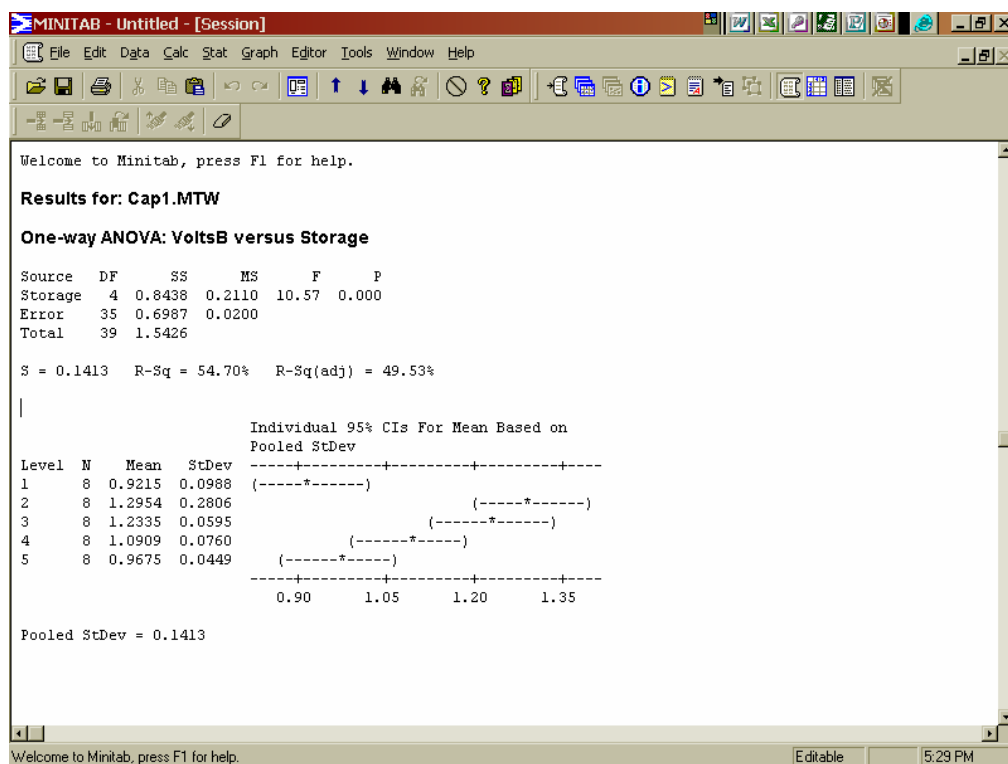
En el botón <<Graph>> tiene la opción de imprimir los gráficos para hacer el análisis de residuales (puede hacer gráficas independientes o graficarlos todas juntas).

5. Finalmente oprima el botón <<OK>> y el análisis de sus datos será presentado en la pantalla conocida como <<Session>>.

Recuerde:

- Para interpretar los resultados, verifique el valor del p-value y compárelo contra el nivel de significancia.
- Otra forma es comparando los intervalos de confianza pero siempre es más efectiva el ANOVA.
- Recuerde hacer el análisis de residuales para que su ANOVA tenga validez.

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab



Capítulo 2: Bloque Completo Aleatorizado

Trabajaremos ahora en un ejemplo para Bloques Completos aleatorizados.

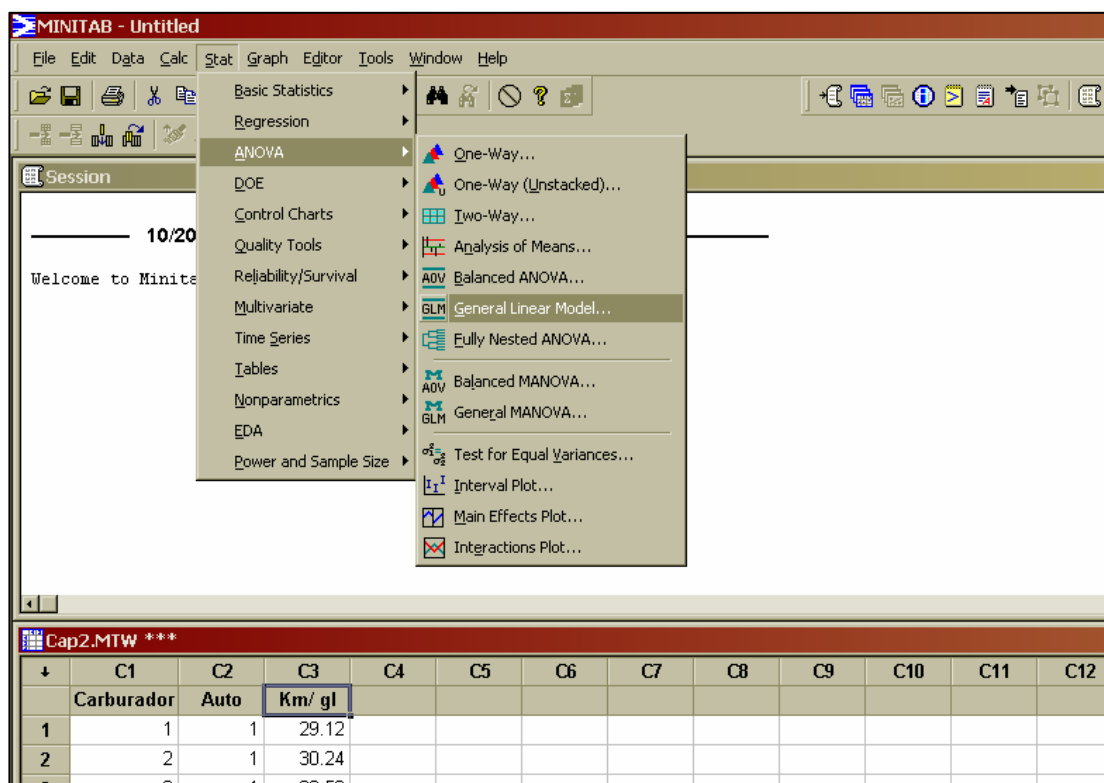
1. Ingreso de datos: Tomemos como ejemplo los datos presentados para los distintos dispositivos de carburador cuando el experimento envuelve cinco autos. En la pantalla de **<<Cap2>>**, copiamos tres vectores de datos uno que identifica el tipo de carburador, el otro corresponde al auto y finalmente la variable respuesta (kilómetros por galón) en correspondencia por fila con el factor y el efecto bloqueado.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	Carburador	Auto	Km/ gl															
1	1	1	29.12															
2	2	1	30.24															
3	3	1	30.56															
4	4	1	32.64															
5	1	2	43.84															
6	2	2	44.52															
7	3	2	44.98															
8	4	2	47.94															
9	1	3	56.96															
10	2	3	55.84															
11	3	3	56.99															
12	4	3	61.21															
13	1	4	71.12															

2. El segundo paso sería seleccionar el procedimiento o prueba a realizar, en este caso queremos realizar un ANOVA con un factor y un efecto bloqueado. Para realizar este paso debemos buscar entre las opciones que se presentan en la parte superior del Menú principal de **<<Minitab>>**.
3. Seleccionamos primero la opción **<<Stat>>** y dentro de ésta escogemos la opción **<<ANOVA>>**. Dentro de esta opción se puede escoger entre estas dos opciones **<<Balanced Anova>>** ó **<<General Linear Model>>**.

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

Al igual que en el primer ejemplo, todos estos pasos se realizan casi simultáneamente como se muestra en la siguiente Figura. Para este ejemplo, trabajaremos con la segunda opción **<<General Linear Model>>**.



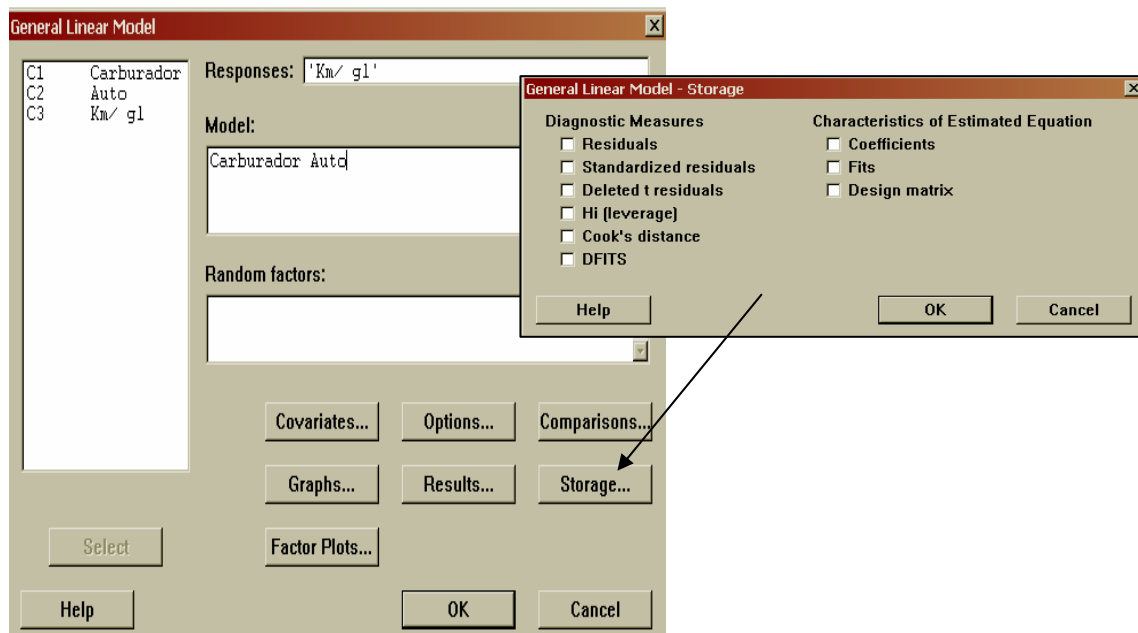
4. Al seleccionar **<<General Linear Model>>** se presenta la siguiente pantalla (véase la siguiente Figura). En ésta usted debe indicar cual es el vector o columna correspondiente a la variable respuesta (**<<Response>>**) y el modelo que está considerándose (**<<Model>>**).

Note que este casillero tiene que incluir tanto el factor carburador como el bloque autos. Esto se hace colocando el puntero en la ventana para cada campo y oprimiendo el botón izquierdo del ratón dos veces consecutivas luego de llevarlo hasta el nombre de la columna. También puede hacerse usando el botón **<<Select>>** luego de seleccionar el nombre de la columna.

Observe que existe una ventanilla **<<Covariates>>** que es opcional, la utilización de ésta será discutida en capítulos posteriores.

La función **<<Graphs>>** es idéntica a la discutida en el Capítulo 1.

La función **<<Storage>>** permite almacenar en una variable (dentro del Worksheet) los residuales y los valores obtenidos a través del modelo (Fits).



5. Finalmente oprima el botón <<OK>> y el análisis de sus datos será presentado en la pantalla conocida como <<Session>>.

MINITAB - Untitled - [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

General Linear Model: Km/ gl versus Carburador, Auto

Factor	Type	Levels	Values
Carburador	fixed	4	1, 2, 3, 4
Auto	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5

Analysis of Variance for Km/ gl, using Adjusted SS for Tests

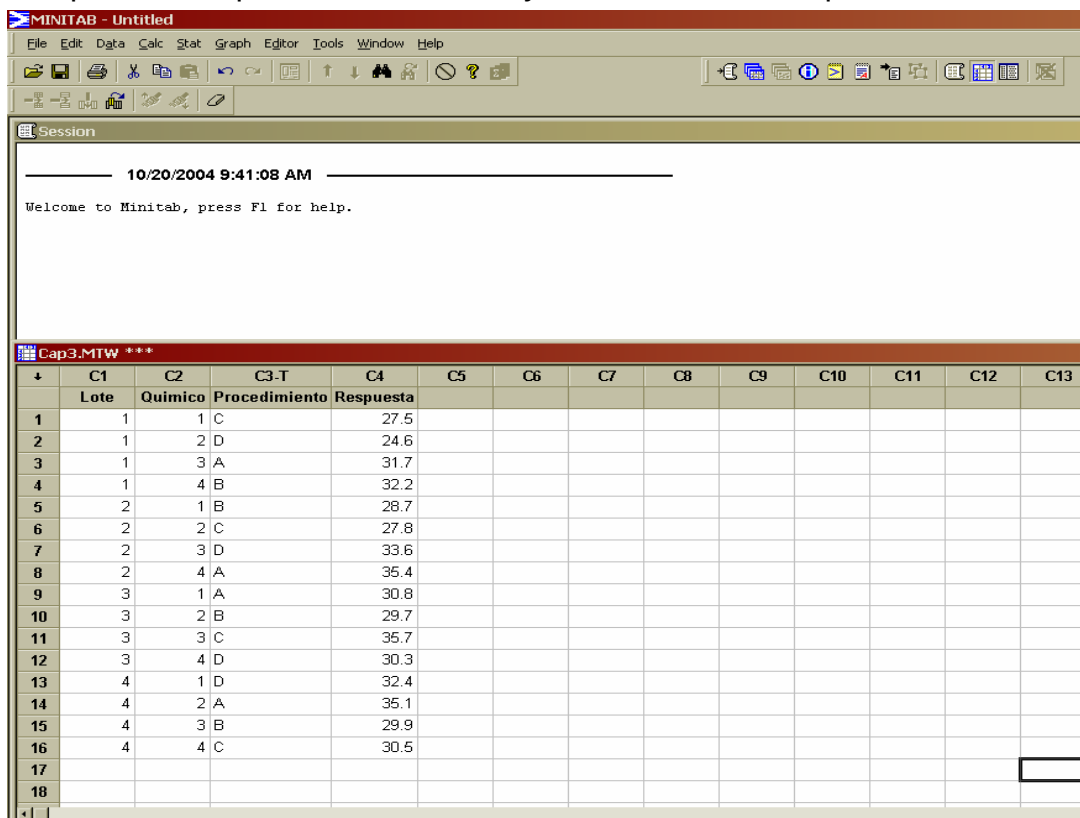
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Carburador	3	37.02	37.02	12.34	17.29	0.000
Auto	4	2785.08	2785.08	696.27	975.78	0.000
Error	12	8.56	8.56	0.71		
Total	19	2830.66				

S = 0.844718 R-Sq = 99.70% R-Sq(adj) = 99.52%

Capítulo 3: Cuadrado Latino

Trabajaremos ahora en un ejemplo para un experimento de Cuadrados Latinos.

1. Entrada de datos. Tomemos como ejemplo los datos presentados para los distintos procedimientos para obtener una sustancia cuando el experimento envuelve cuatro lotes de materia prima, cuatro químicos y cuatro procedimientos diferentes para elaborarlos. En la pantalla <<Cap3>>, copiamos cuatro vectores de datos uno que identifica el lote, el otro corresponde al químico, el tercero al procedimiento y finalmente la variable respuesta en correspondencia por fila con el factor y los dos efectos bloqueados.

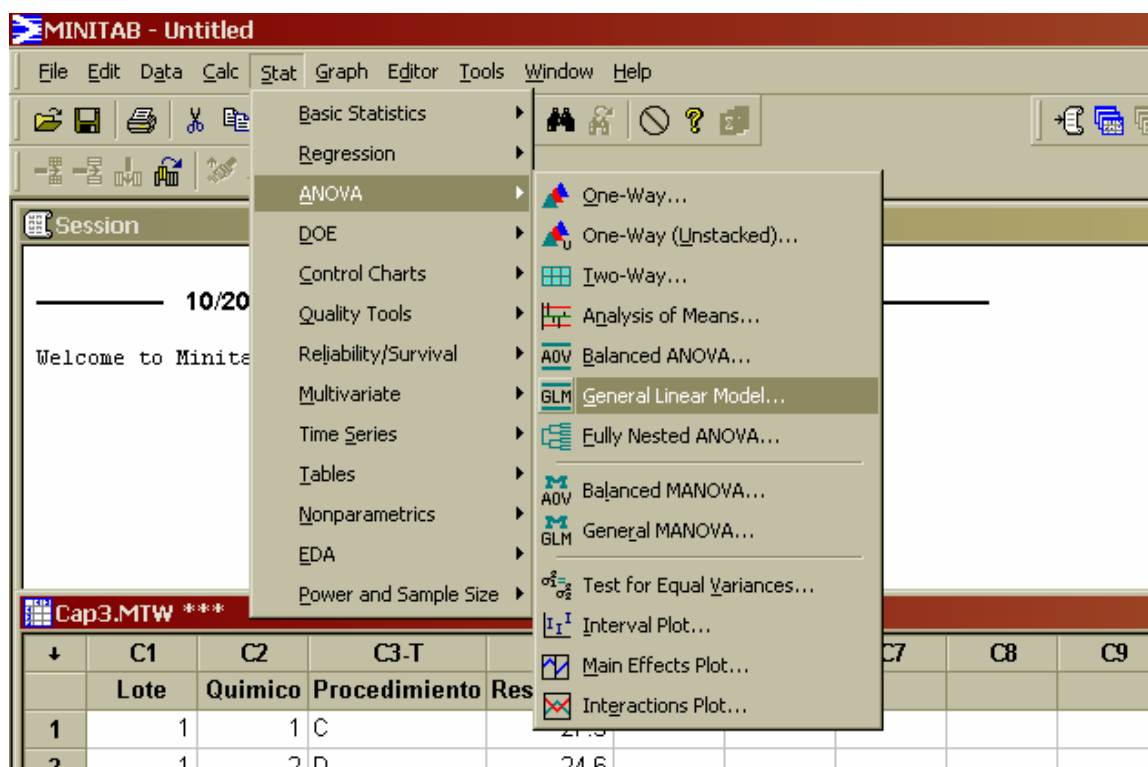


	C1	C2	C3-T	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	Lote	Químico	Procedimiento	Respuesta									
1	1	1	C	27.5									
2	1	2	D	24.6									
3	1	3	A	31.7									
4	1	4	B	32.2									
5	2	1	B	28.7									
6	2	2	C	27.8									
7	2	3	D	33.6									
8	2	4	A	35.4									
9	3	1	A	30.8									
10	3	2	B	29.7									
11	3	3	C	35.7									
12	3	4	D	30.3									
13	4	1	D	32.4									
14	4	2	A	35.1									
15	4	3	B	29.9									
16	4	4	C	30.5									
17													
18													

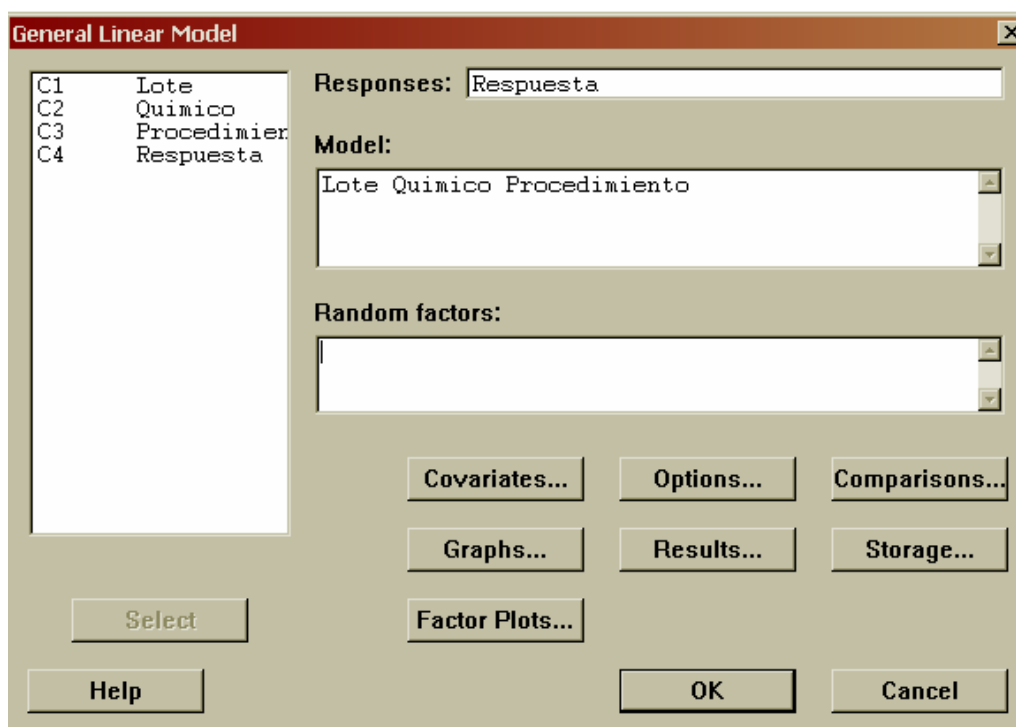
2. El segundo paso corresponde a la selección de la prueba a realizar. En este caso queremos realizar un ANOVA con un factor y dos efectos bloqueados. Para realizar esta prueba, debemos buscar entre las opciones del Menú principal de <<Minitab>>.
3. Seleccione primero la opción <<Stat>> y dentro de ésta escoja la opción <<ANOVA>>. Dentro de esta opción entonces puede seleccionar una de las siguientes dos opciones <<Balanced Anova>> ó <<General Linear Model>>.

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

Al igual que en el primer ejemplo, todos estos pasos se realizan casi simultáneamente como se muestra en la siguiente Figura. Para este ejemplo, al igual que en el Capítulo 2, la opción a utilizar será **<<General Linear Model>>**.



- Al seleccionar **<<General Linear Model>>** se presenta la siguiente pantalla (véase la Figura correspondiente). En ésta usted debe indicar cual es el vector o columna correspondiente a la variable respuesta (**<<Response>>**) y el modelo que está considerándose (**<Model>>**). Note que este casillero tiene que incluir tanto el factor procedimiento como los bloques lote y químico. Esto se hace colocando el puntero en la ventanilla para cada campo y oprimiendo el botón izquierdo del ratón dos veces consecutivas luego de llevarlo hasta el nombre de la columna. También puede hacerse usando el botón **<<Select>>** luego de seleccionar el nombre de la columna. Las opciones **<<Graphs>>** y **<<Storage>>** tienen las mismas funciones que se describieron en el Capítulo 1 y 2 correspondientemente.



5. Finalmente oprima el botón <<OK>> y el análisis de sus datos será presentado en la pantalla conocida como <<Session>>.

MINITAB - Untitled - [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

General Linear Model: Respuesta versus Lote, Quimico, Procedimiento

Factor	Type	Levels	Values
Lote	fixed	4	1, 2, 3, 4
Quimico	fixed	4	1, 2, 3, 4
Procedimiento	fixed	4	A, B, C, D

Analysis of Variance for Respuesta, using Adjusted SS for Tests

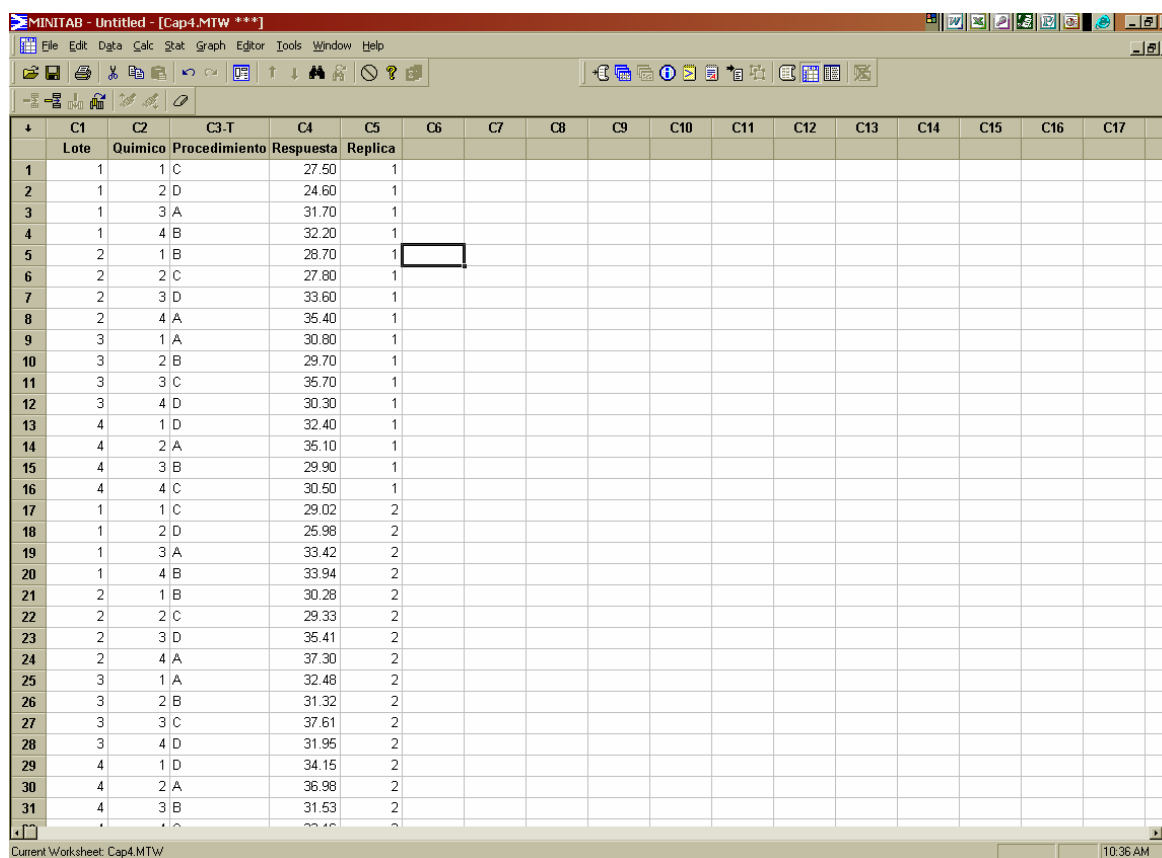
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Lote	3	21.927	21.927	7.309	0.75	0.561
Quimico	3	33.592	33.592	11.197	1.15	0.403
Procedimiento	3	27.277	27.277	9.092	0.93	0.481
Error	6	58.534	58.534	9.756		
Total	15	141.329				

S = 3.12340 R-Sq = 58.58% R-Sq(adj) = 0.00%

Capítulo 4 : Cuadrado Latino con Réplicas

Trabajaremos ahora en un ejemplo para un experimento de Cuadrados Latinos con réplicas.

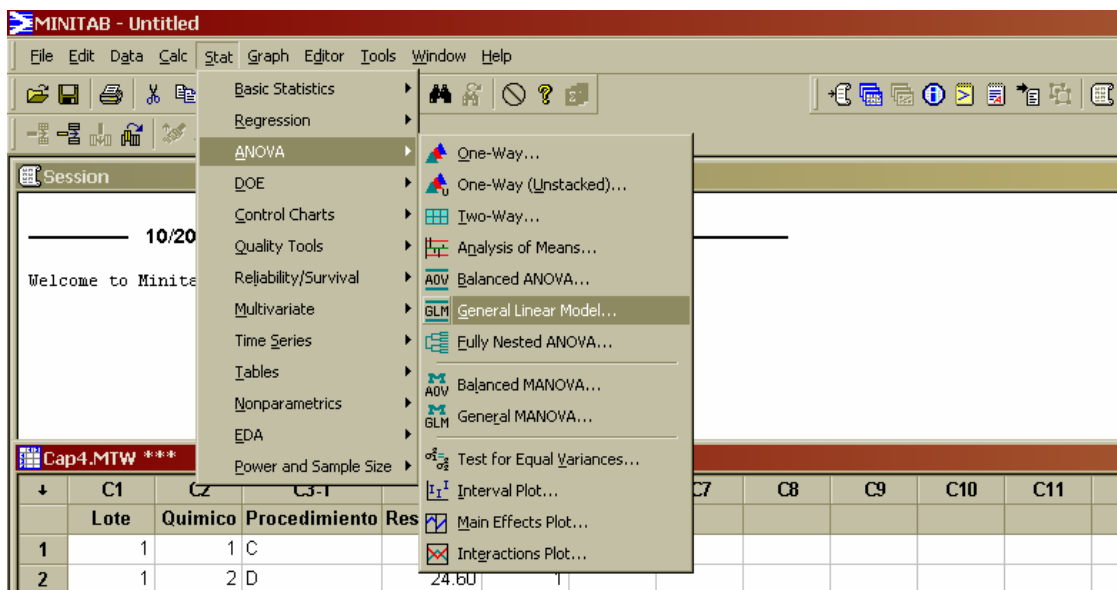
1. Ingreso de datos. Tomemos como ejemplo los datos presentados en el Capítulo 3. En la pantalla de <<Cap4>>, copiamos cuatro vectores de datos uno que identifica el lote, el otro corresponde al químico, el tercero al procedimiento y finalmente la variable respuesta en correspondencia por fila con el factor y los dos efectos bloqueados. A diferencia del ejemplo del Capítulo 3 (Cuadrados Latinos) debemos añadir un vector que representa la réplica (1 y 2), y entonces cada uno de los vectores constará de 32 filas. Esto se logra copiando las primeras 16 filas de los bloques, lote, químico y procedimiento y añadiendo los 25 tratamientos y respuestas de la segunda réplica.



	C1	C2	C3-T	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
	Lote	Químico	Procedimiento	Respuesta	Replica												
1	1	1	C	27.50	1												
2	1	2	D	24.60	1												
3	1	3	A	31.70	1												
4	1	4	B	32.20	1												
5	2	1	B	28.70	1												
6	2	2	C	27.80	1												
7	2	3	D	33.60	1												
8	2	4	A	35.40	1												
9	3	1	A	30.80	1												
10	3	2	B	29.70	1												
11	3	3	C	35.70	1												
12	3	4	D	30.30	1												
13	4	1	D	32.40	1												
14	4	2	A	35.10	1												
15	4	3	B	29.90	1												
16	4	4	C	30.50	1												
17	1	1	C	29.02	2												
18	1	2	D	25.98	2												
19	1	3	A	33.42	2												
20	1	4	B	33.94	2												
21	2	1	B	30.28	2												
22	2	2	C	29.33	2												
23	2	3	D	35.41	2												
24	2	4	A	37.30	2												
25	3	1	A	32.48	2												
26	3	2	B	31.32	2												
27	3	3	C	37.61	2												
28	3	4	D	31.95	2												
29	4	1	D	34.15	2												
30	4	2	A	36.98	2												
31	4	3	B	31.53	2												

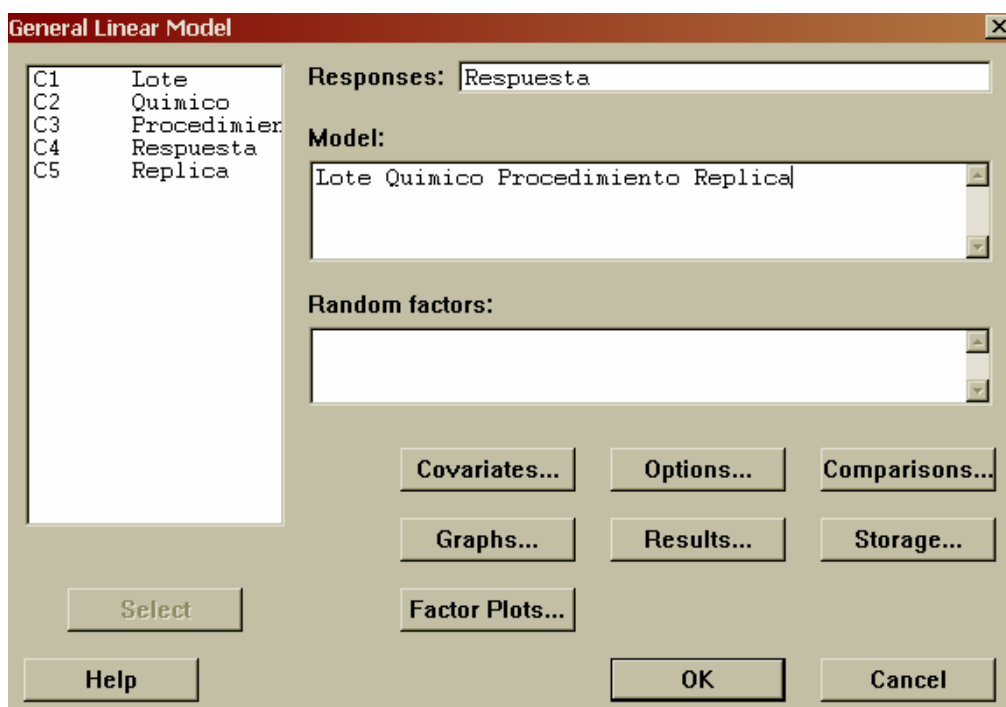
Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

2. El segundo consiste en seleccionar el procedimiento o prueba a realizar, en este caso queremos realizar un ANOVA con un factor, dos efectos bloqueados y dos réplicas. Para realizar este paso debemos buscar entre las opciones que se nos presentan en el Menú principal de <<Minitab>>.
3. Seleccione primero la opción <<Stat>> y dentro de ésta escoja la opción <<ANOVA>>. Dentro de esta opción escoja <<General Linear Model>> (también es posible realizar este experimento con la opción <<Balanced Anova>>).

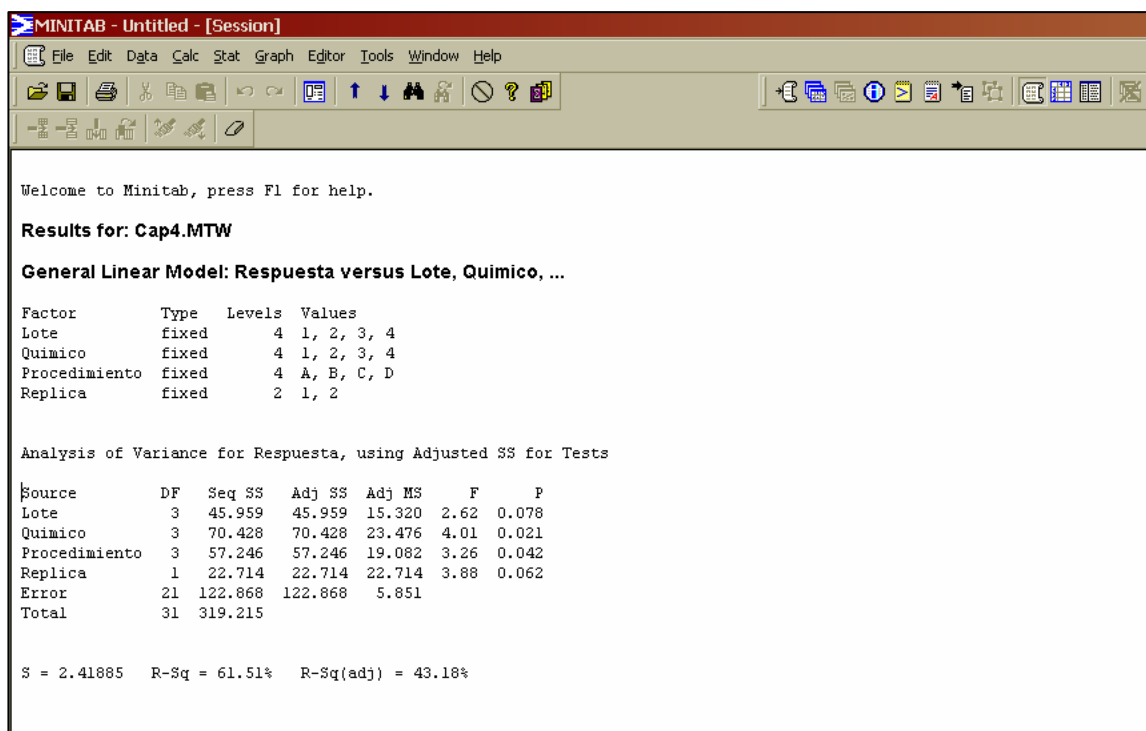


4. Al seleccionar <<General Linear Model>> se le presentará una pantalla en donde usted deberá indicar el vector o columna correspondiente a la variable respuesta (<<Response>>) y el modelo que está considerándose (<<Model>>).

Note que este casillero tiene que incluir tanto el factor procedimiento como los bloques lote, químico y finalmente el efecto de la réplica. Esto se hace colocando el puntero en la ventanilla para cada campo y oprimiendo el botón izquierdo del ratón dos veces consecutivas luego de llevarlo hasta el nombre de la columna. También puede hacerse usando el botón <<Select>> luego de seleccionar el nombre de la columna.



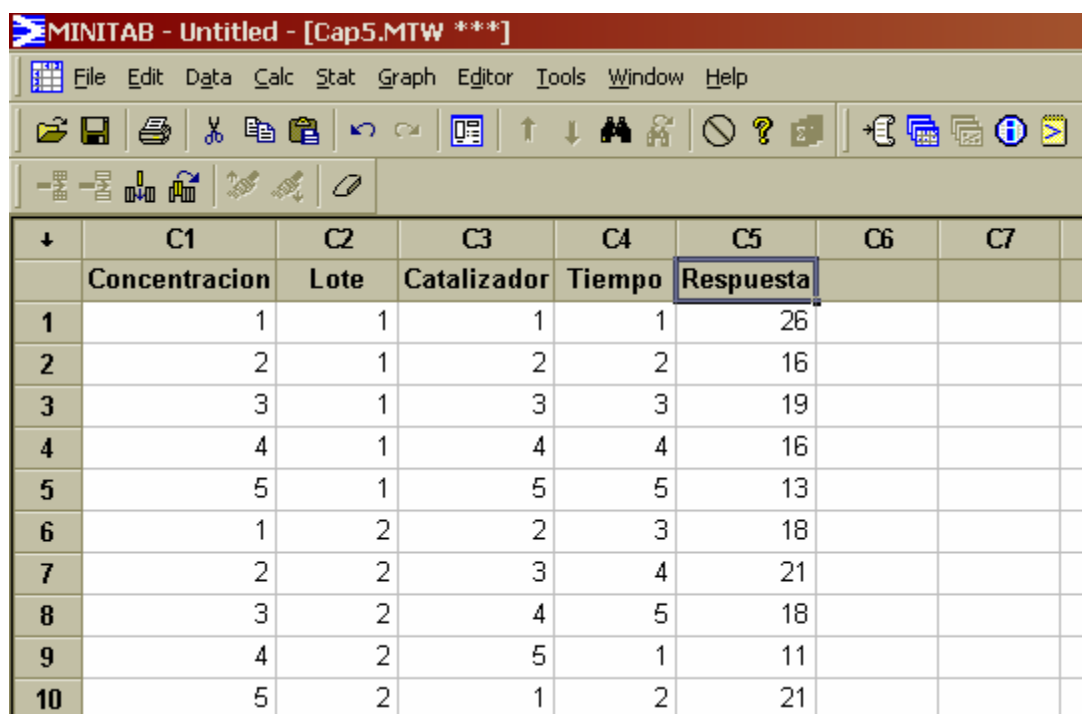
5. Finalmente oprima el botón <<OK>> y el análisis de sus datos será presentado en la pantalla conocida como <<Session>>.



Capítulo 5: Cuadrados Greco-Latinos

Trabajaremos ahora en un ejemplo para un experimento de Cuadrados Greco-Latinos.

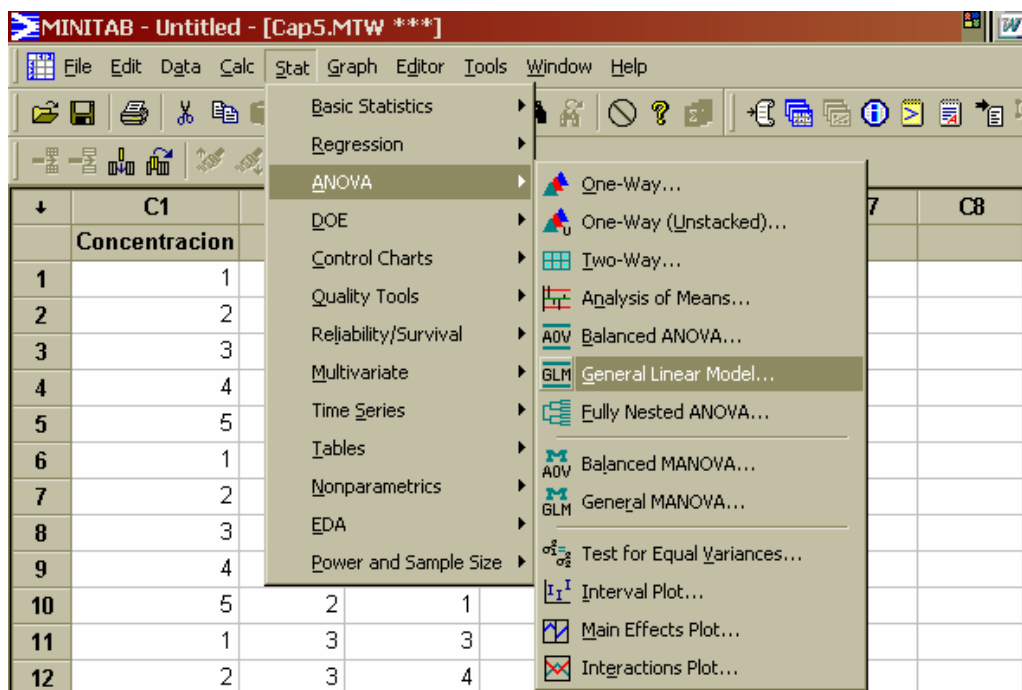
1. Entrada de datos. Tomemos como ejemplo los datos presentados para los distintos tiempos fijos en proceso químico cuando el experimento envuelve cinco lotes de materia prima, cinco concentraciones de ácido y cinco catalizadores. En la pantalla de **<<Cap5>>**, copiamos cinco vectores de datos uno que identifica la concentración de ácido, el segundo el lote, el tercero al catalizador, la cuarta columna corresponde al tratamiento tiempo y finalmente la variable respuesta en correspondencia por fila con el factor y los tres efectos bloqueados.



↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Concentracion	Lote	Catalizador	Tiempo	Respuesta		
1	1	1	1	1	26		
2	2	1	2	2	16		
3	3	1	3	3	19		
4	4	1	4	4	16		
5	5	1	5	5	13		
6	1	2	2	3	18		
7	2	2	3	4	21		
8	3	2	4	5	18		
9	4	2	5	1	11		
10	5	2	1	2	21		

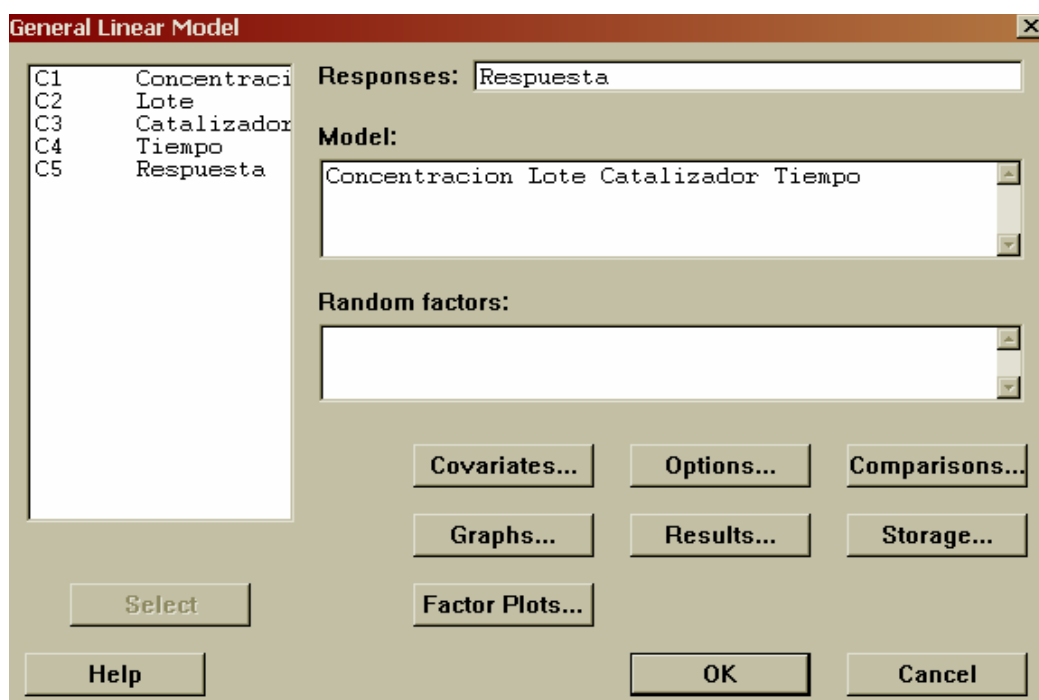
2. El segundo paso sería seleccionar el procedimiento o prueba a realizar, en este caso queremos realizar un ANOVA con un factor, tres efectos bloqueados y una réplica. Para realizar buscamos entre las opciones que se presentan en el menú principal de **<<Minitab>>**.
3. Seleccione primero la opción **<<Stat>>** y dentro de ésta escoja la opción **<<ANOVA>>**. Dentro de esta opción usted puede escoger entre las siguientes dos opciones **<<Balanced Anova>>** ó **<<General Linear Model>>**. Todos

estos pasos se realizan casi simultáneamente como se muestra en la siguiente Figura, que muestra los pasos usando la segunda opción **<<General Linear Model>>**.

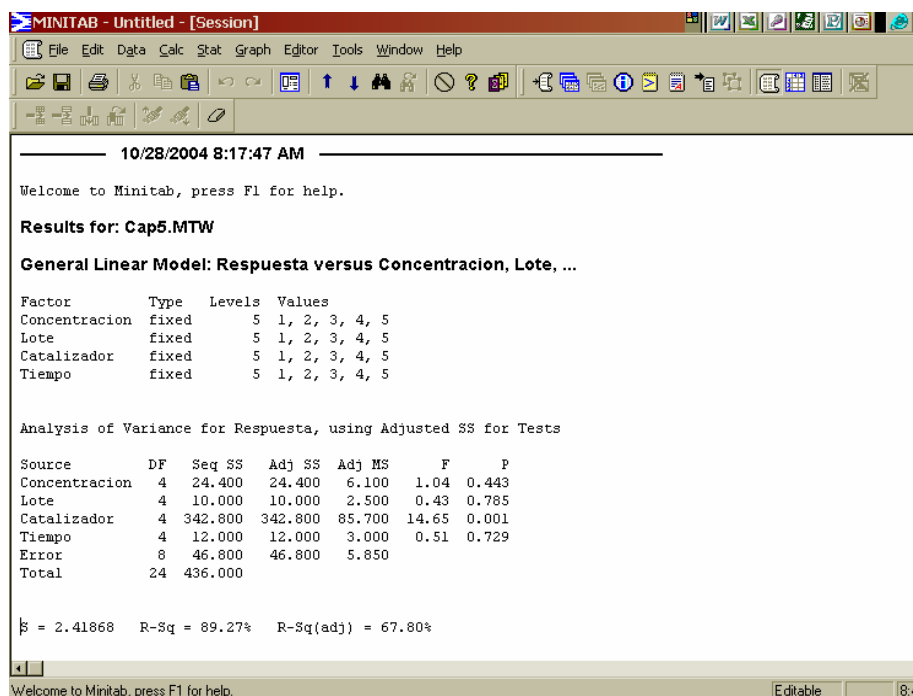


- Al seleccionar **<<General Linear Model>>** se presenta una pantalla en la que usted deberá indicar cuál es el vector o columna correspondiente a la variable respuesta (**<<Response>>**) y el modelo que está considerándose (**<<Model>>**). Note que este casillero tiene que incluir tanto el factor tiempo como los bloques: lote, concentración y catalizador. Esto se hace colocando el puntero en la ventanilla para cada campo y oprimiendo el botón izquierdo del ratón dos veces consecutivas luego de llevarlo hasta el nombre de la columna. También puede hacerse usando el botón **<<Select>>** luego de seleccionar el nombre de la columna.

Al igual que en los capítulos anteriores, los botones de **<<Storage>>** y **<<Graphs>>** nos permiten indicarle a Minitab qué resultados quiero almacenar en el Worksheet y qué gráficos quiero realizar respectivamente.



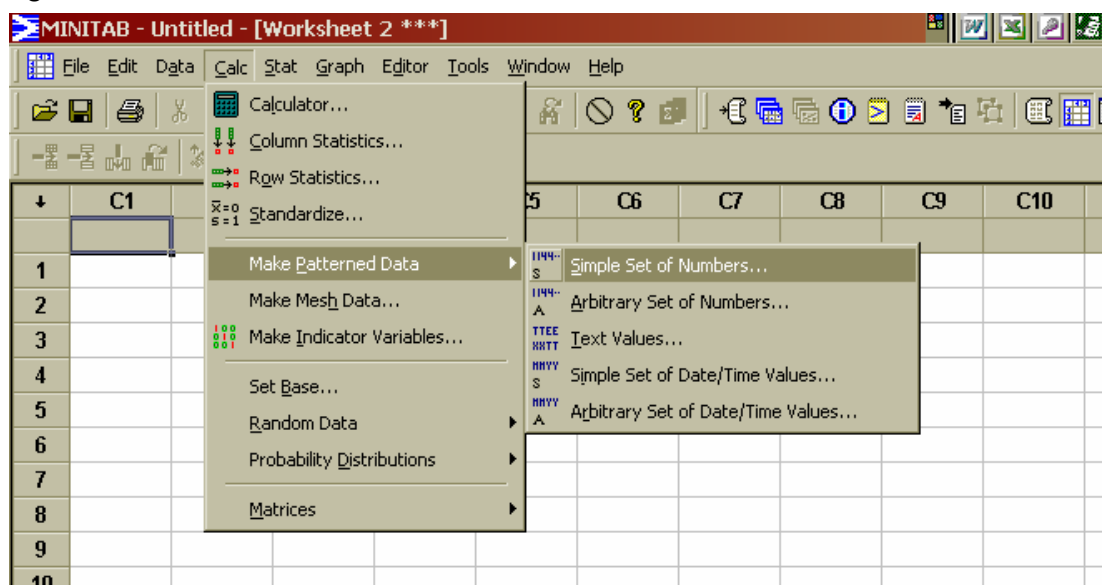
5. Finalmente oprima el botón <<OK>> y el análisis de sus datos será presentado en la pantalla <<Session>>.



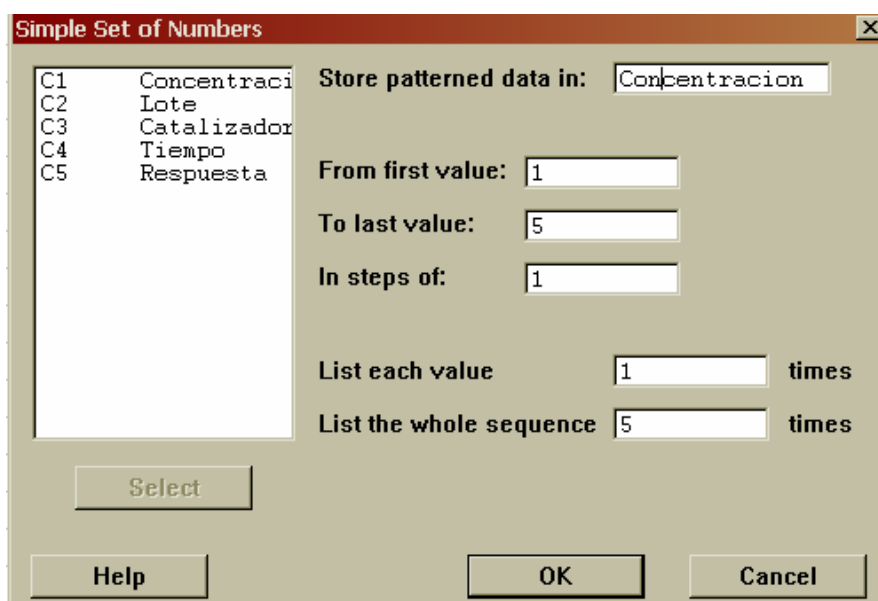
Capítulo 6: Uso de los Vectores con Patrones

En muchas ocasiones como, podemos notar en la pantalla <<Cap5>> del Capítulo 5, los vectores que entramos siguen una secuencia o patrón. Note que la columna **C1** (Concentraciones) repite la secuencia {1, 2, 3, 4, 5} mientras que la columna **C2** (Lotes) repite el patrón por número de Lote {1, 1, 1, 1, 1}. Existe un comando en Minitab para lograr esto muy fácilmente sin tener que hacer todas las entradas manuales.

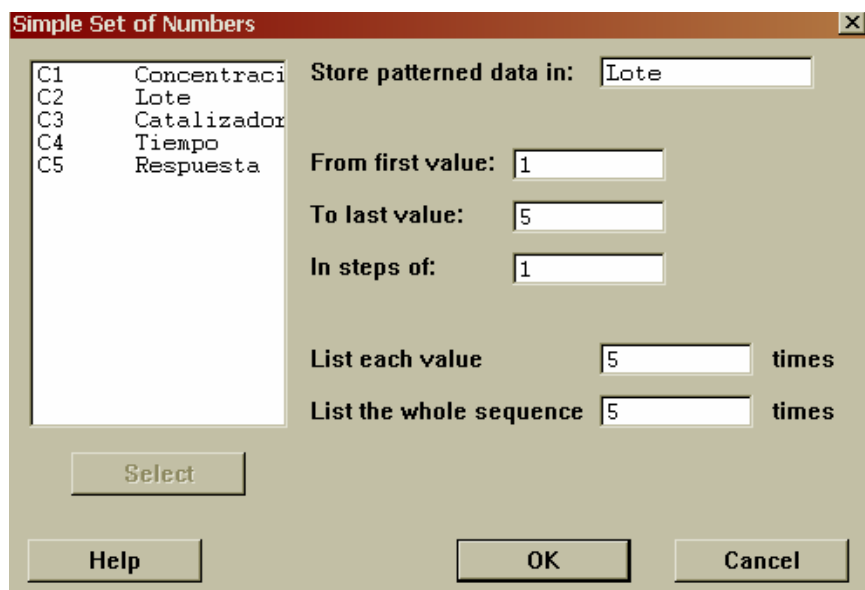
1. Para ejecutar este comando seleccionamos la opción <<Calc>> del Menú Principal <<Minitab>> y subsiguientemente las opciones <<Make patterned data>> y <<Simple Set of Numbers>> como se presenta en la siguiente Figura.



2. Dentro de la pantalla <<Simple Set of Numbers>> es que podemos generar esos vectores siguiendo la secuencia indicada. Por ejemplo: Para generar el vector de Concentración del ejemplo del Capítulo 5 (Cuadrados Greco-Latinos) definimos una secuencia del uno (1) al cinco (5) con incrementos de 1 y repetimos la secuencia 5 veces que es justamente lo que necesitamos. La siguiente figura muestra las entradas necesarias



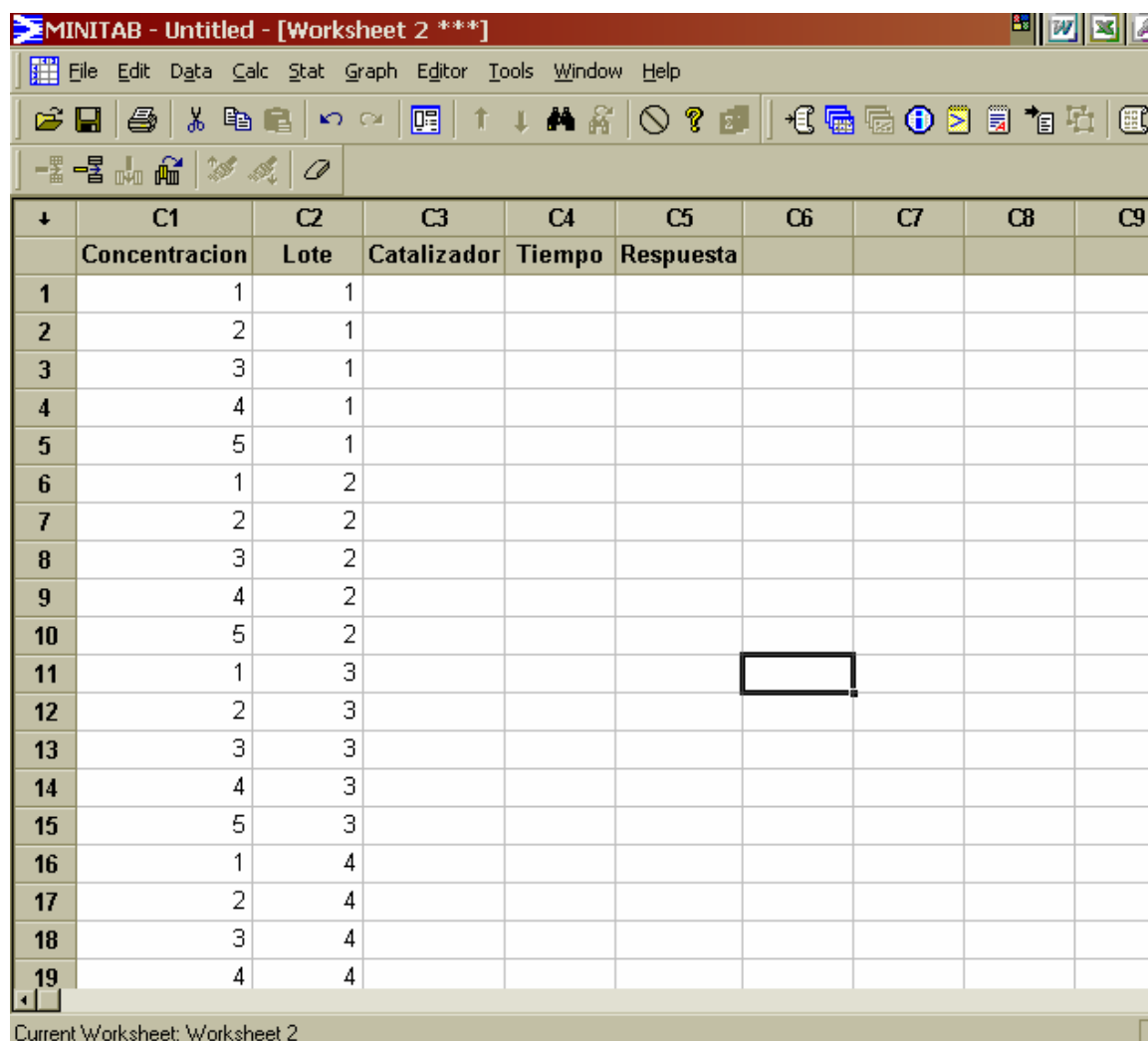
3. En el caso del vector definimos una secuencia del uno (1) al cinco (5) con incrementos de 1 y repetimos cada valor 5 veces que para lograr el vector deseado.



4. El resultado de ejecutar los pasos 2 y 3 de este procedimiento y oprimir <<OK>> dentro de la pantalla <<Simple Set of Numbers>> se muestra en las columnas **C1** y **C2** de la pantalla del Worksheet en el que está trabajando.

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

Nota: Las columnas para el catalizador y el tratamiento tiempo, al no seguir un patrón definido, deben ser entradas de forma manual así como el vector de variables respuestas.



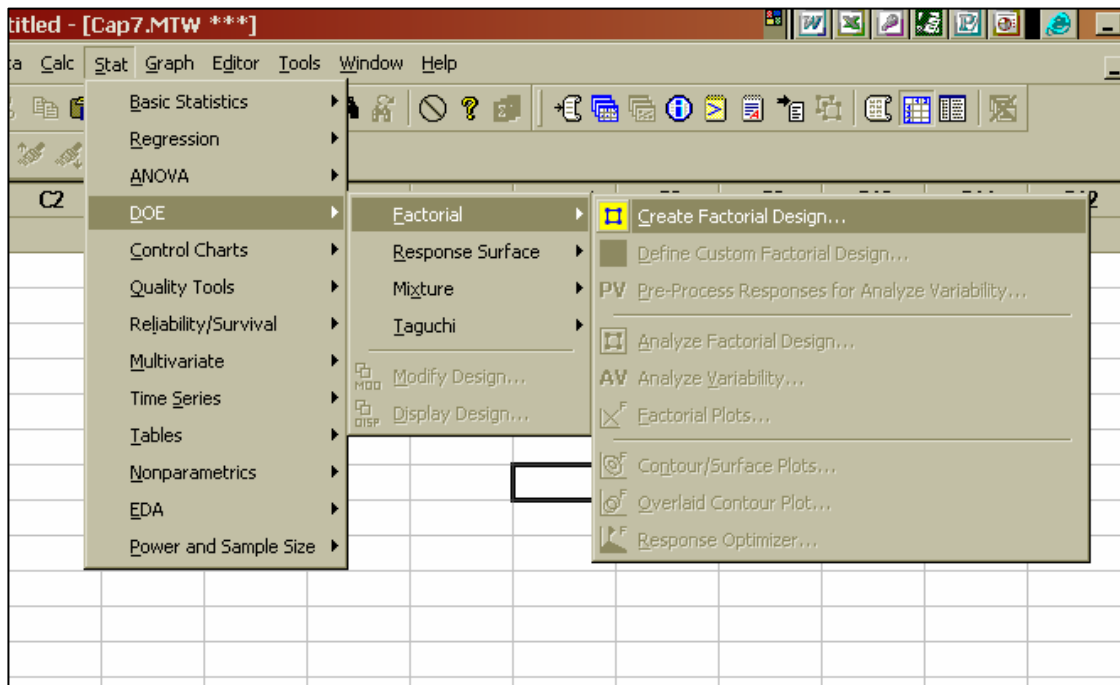
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Concentracion	Lote	Catalizador	Tiempo	Respuesta				
1	1	1							
2	2	1							
3	3	1							
4	4	1							
5	5	1							
6	1	2							
7	2	2							
8	3	2							
9	4	2							
10	5	2							
11	1	3							
12	2	3							
13	3	3							
14	4	3							
15	5	3							
16	1	4							
17	2	4							
18	3	4							
19	4	4							

Current Worksheet: Worksheet 2

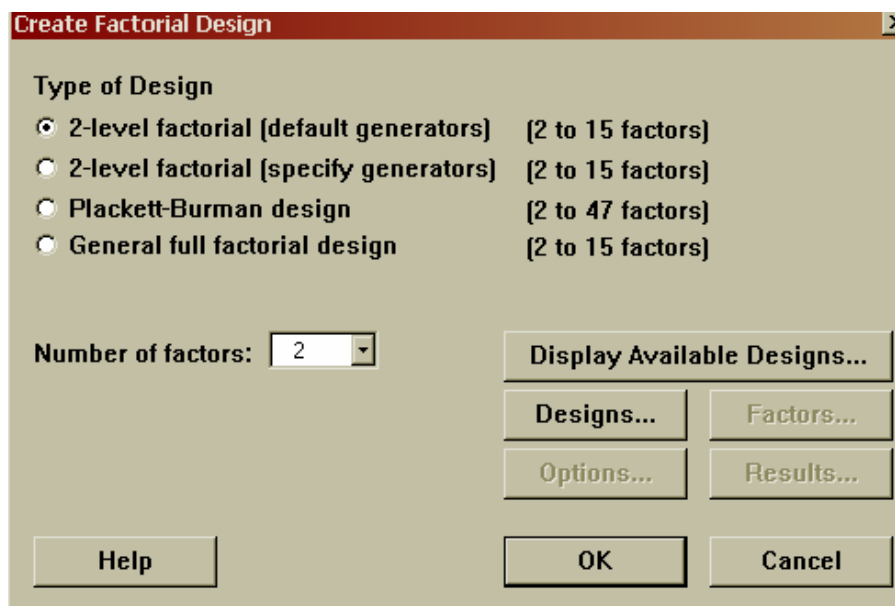
Capítulo 7: Experimentos Factoriales 2^K

En muchas ocasiones los experimentos cuentan con dos o más fuentes de variación de interés. En las primeras etapas de la experimentación los experimentos 2^K resultan ser muy efectivos. Considere por ejemplo una situación en la que dos factores, A y B, son de interés; considere también que se hacen cuatro repeticiones en cada condición experimental. Contrario a los procedimientos para ANOVA, en estos experimentos no comenzamos por entrar los datos si no por describirle el experimento a MINITAB que nos generará las columnas de los tratamientos debidamente codificadas.

1. El primer paso consisten en seleccionar la opción **<<STAT>>** del Menú Principal de **<<Minitab>>** y, dentro de esa opción, seleccionar la opción **<<DOE>>** luego **<<Factorial>>** y **<<Create Factorial Design>>** como se presenta en la siguiente Figura.

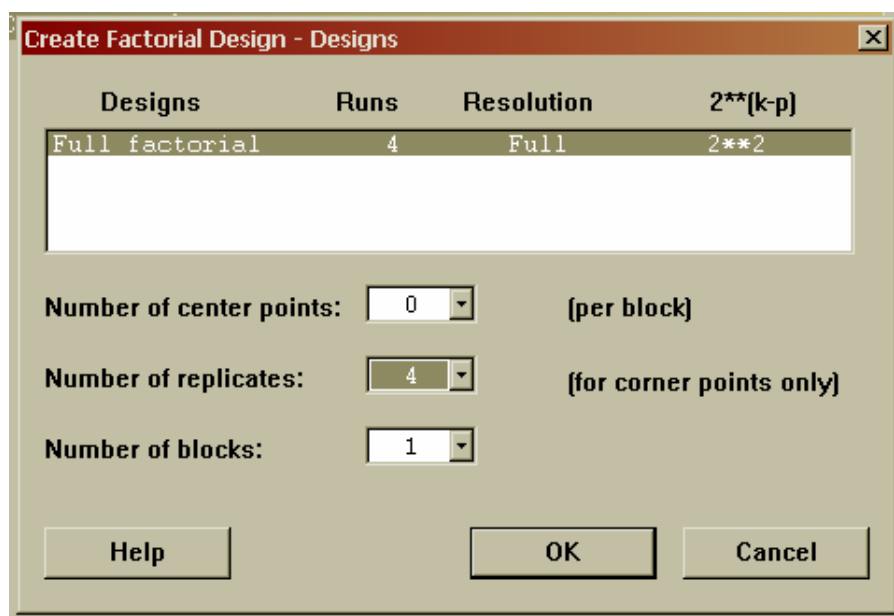


2. Como consecuencia de la acción anterior le debe aparecer la siguiente pantalla **<<Create Factorial Designs>>**.

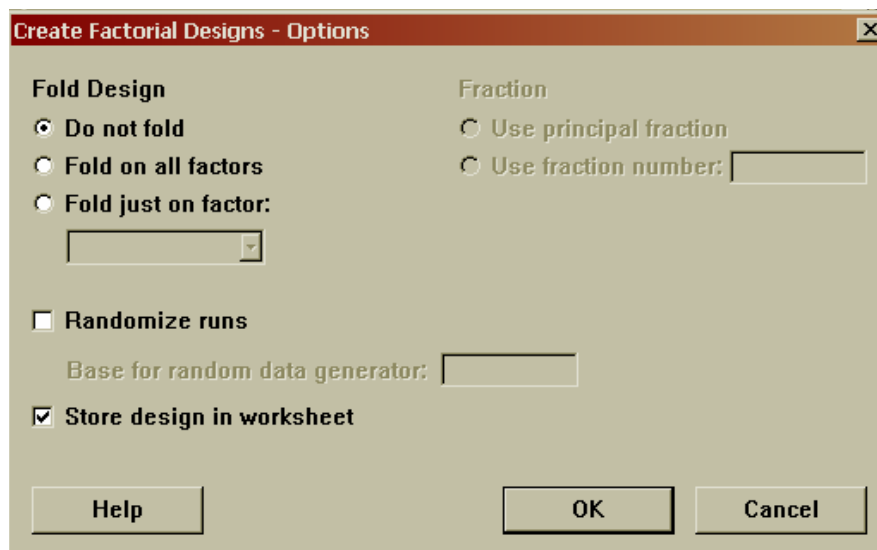


3. El primer paso en esta pantalla **<<Create Factorial Designs>>** será escoger el número de factores considerados en el experimento (en nuestro ejemplo son dos factores: A y B), por tanto en la casilla **<<Number of factors>>** usted deberá tener el número 2.

Luego debe oprimir el botón de la opción **<<Designs>>** para poder escoger su diseño, número de repeticiones y otras opciones. Al seleccionar esta opción aparecerá una nueva ventana llamada **<<Factorial Design - Designs>>**. En esta ventana indicará su diseño ('Full Factorial' para nuestro caso) y luego indicará que realizamos cuatro repeticiones por tratamiento, para esto en la casilla **<<Replicate>>**, usted deberá tener el valor de 4. Las otras opciones son que se muestran están relacionadas con la creación de puntos centrales y del número de bloques en el experimento. Finalice esta pantalla oprimiendo **<<OK>>**. Esto lo devolverá a la pantalla anterior **<<Create Factorial Designs>>**.



4. De vuelta en la pantalla <<Create Factorial Designs>>. Minitab genera la secuencia de tratamientos de manera aleatoria. Esto es muy útil en la medida en que nos indica la secuencia en que debemos ejecutar el experimento. Sin embargo, si se quisiera evitar esto, usted puede desactivar esa función al seleccionar el botón <<Options>> con el fin de facilitar la entrada de datos. Para ello, una vez que hay ingresado a <<Options>> desactive el comando <<Randomize Runs>> oprimiendo la marca de cotejo del casillero. Salga de esta ventana oprimiendo <<OK>>.



Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

- De vuelta a la pantalla **<<Factorial Designs>>** oprima **<<OK>>**. En caso usted tuviera una hoja de trabajo (Worksheet) abierta, MINITAB le preguntará si quiere guardar su antigua hoja de trabajo (**<<DATA>>**) ya que una nueva será generada automáticamente con su diseño. Oprima **<<NO>>** si ya ha guardado o no quiere conservar la pasada ventada **<<DATA>>**. MINITAB le creará la siguiente pantalla.

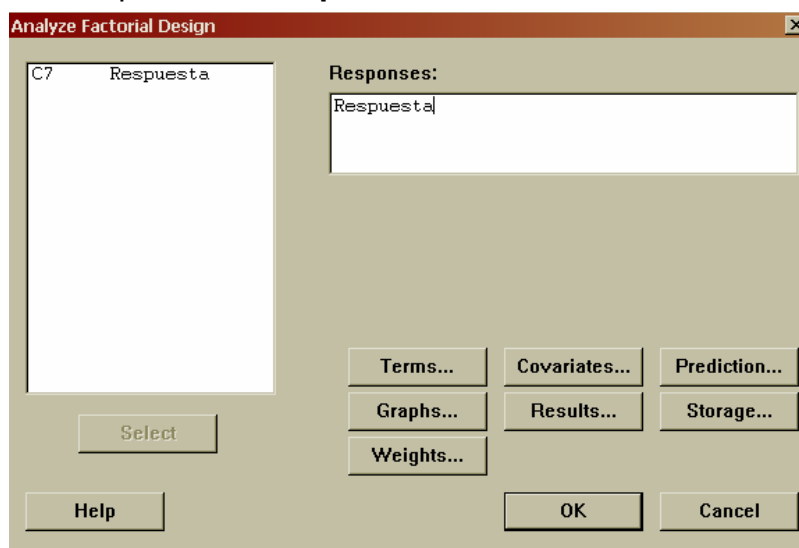
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B						
1	1	1	1	1	-1	-1						
2	2	2	1	1	1	-1						
3	3	3	1	1	-1	1						
4	4	4	1	1	1	1						
5	5	5	1	1	-1	-1						
6	6	6	1	1	1	-1						
7	7	7	1	1	-1	1						
8	8	8	1	1	1	1						
9	9	9	1	1	-1	-1						
10	10	10	1	1	1	-1						
11	11	11	1	1	-1	1						
12	12	12	1	1	1	1						
13	13	13	1	1	-1	-1						
14	14	14	1	1	1	-1						
15	15	15	1	1	-1	1						
16	16	16	1	1	1	1						
17												
18												
19												

- Note que luego de ejecutar el paso 4, Minitab crea las columnas de los tratamientos, lo único que usted tiene que ingresar a MINITAB es una columna con la respuesta del experimento. Proceda entonces a ingresar los datos (note que los tratamientos siguen un patrón, esto es consecuencia de quitar la opción **<<Randomize Runs>>**). Los datos a ingresar están en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1

A	B	Tratamiento	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4
-1	-1	(1)	18.2	18.9	12.9	14.4
1	-1	a	27.2	24	22.4	22.5
-1	1	b	15.9	14.5	15.1	14.2
1	1	ab	41	43.9	36.3	39.9

7. Una vez ingresados los datos, el siguiente paso consisten en regresar al paso 1 sólo que esta vez seleccionaría la secuencia: **<<STAT>>** seguida de **<<DOE>>** y **<<Analyze Factorial Design>>**. Esta acción resultará en la pantalla **<<Analyze Factorial Design>>**. Donde sólo es necesario indicar la columna de la variable respuesta **<<Response>>**.



7. Una vez indicada la variable respuesta, oprima **<<OK>>** y MINITAB le ofrecerá la pantalla de resultados en la ventana **<<Session>>**. La misma se presenta a continuación.

Factorial Fit: Respuesta versus A, B

Estimated Effects and Coefficients for Respuesta (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		23.831	0.6112	38.99	0.000
A	16.637	8.319	0.6112	13.61	0.000
B	7.537	3.769	0.6112	6.17	0.000
A*B	8.713	4.356	0.6112	7.13	0.000

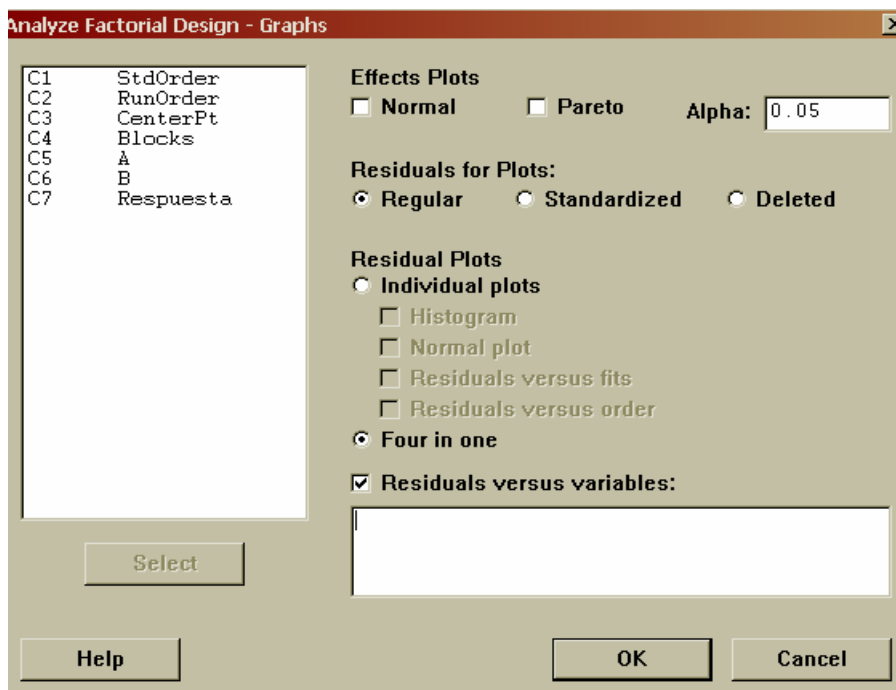
S = 2.44476 R-Sq = 95.81% R-Sq(adj) = 94.76%

Analysis of Variance for Respuesta (coded units)

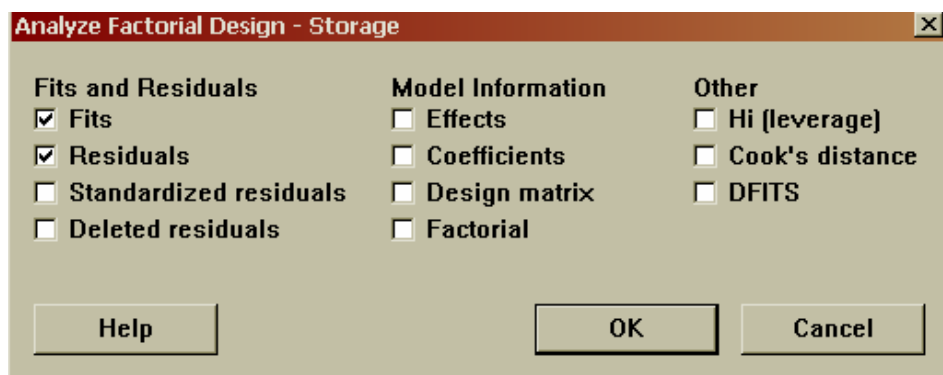
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1334.48	1334.48	667.241	111.64	0.000
2-Way Interactions	1	303.63	303.63	303.631	50.80	0.000
Residual Error	12	71.72	71.72	5.977		
Pure Error	12	71.72	71.72	5.977		
Total	15	1709.83				

8. Minitab también le permite realizar gráficos para poder hacer el análisis de los residuales. Para ello en la pantalla **<<Analyze Factorial Design>>** usted tiene un botón **<<Graphs>>** al presionarlo usted obtendrá una pantalla igual a la de la Figura siguiente, en ella usted podrá escoger entre las opciones que le ofrece

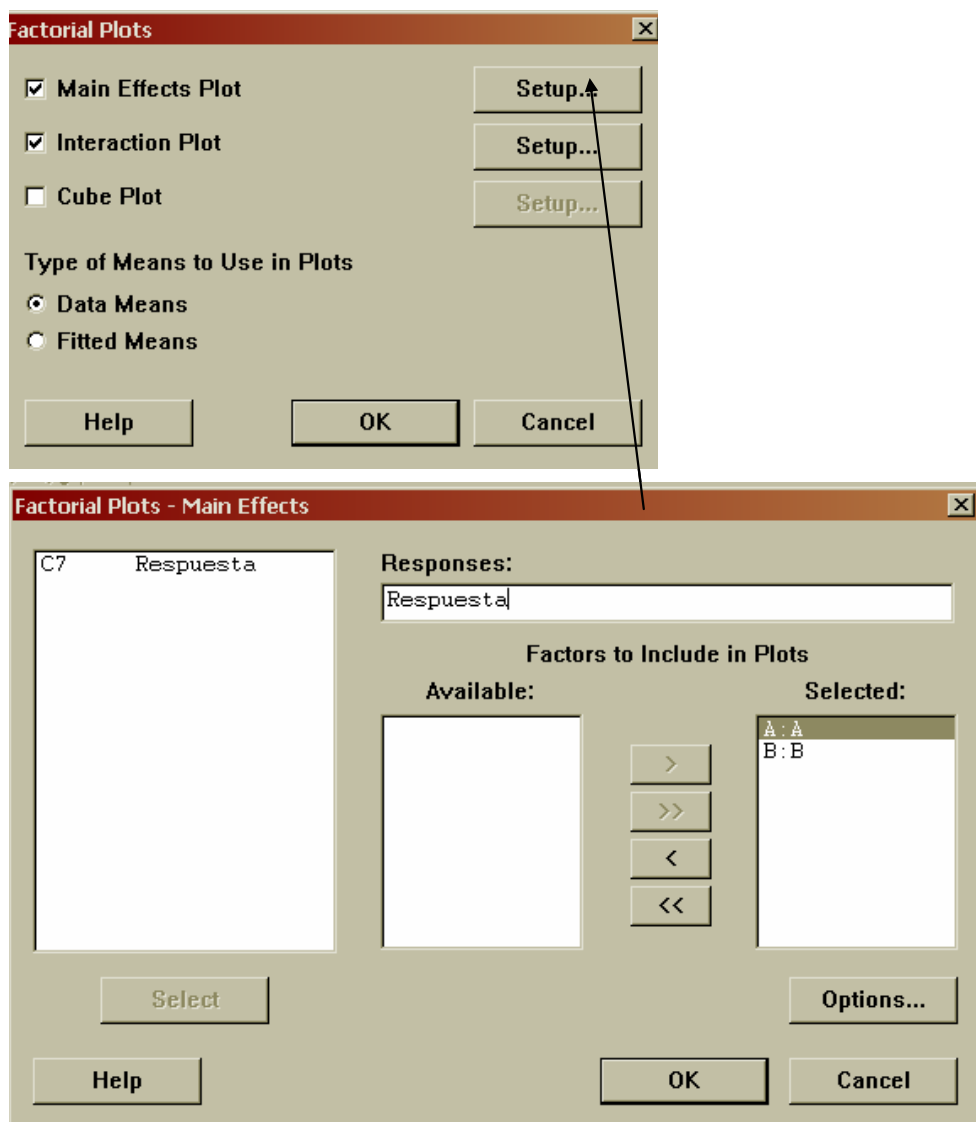
Minitab, que van desde el gráfico de “Daniels” (Normal Plot) y los ya indicados gráficos de residuales.



9. Los valores ajustados según el modelo (fits) y los residuales pueden almacenarse en el Worksheet, para eso utilice la opción **<<Storage>>** dentro de **<<Analyze Factorial Design>>**.



10. Finalmente, también puede graficar los efectos principales y las interacciones. Para ello debe realizar la siguiente secuencia: **<<DOE>>** luego **<<Factorial>>** y luego **<<Factorial Plot>>**.



Capítulo 8: Experimentos Factoriales 2^K con Bloques

En muchas ocasiones los experimentos 2^K no pueden ser ejecutados bajo condiciones homogéneas y necesitamos bloquear esas fuentes extrañas de variación. Consideremos el siguiente ejemplo: Se realiza un experimento factorial que considera 4 factores: A (Temperatura), B (Presión), C (Concentración) y D (Velocidad) que afectan el cambio (ratio) en un compuesto. Cada factor presenta dos niveles y los datos se obtienen a partir de una sola réplica (ver Tabla 8.1).

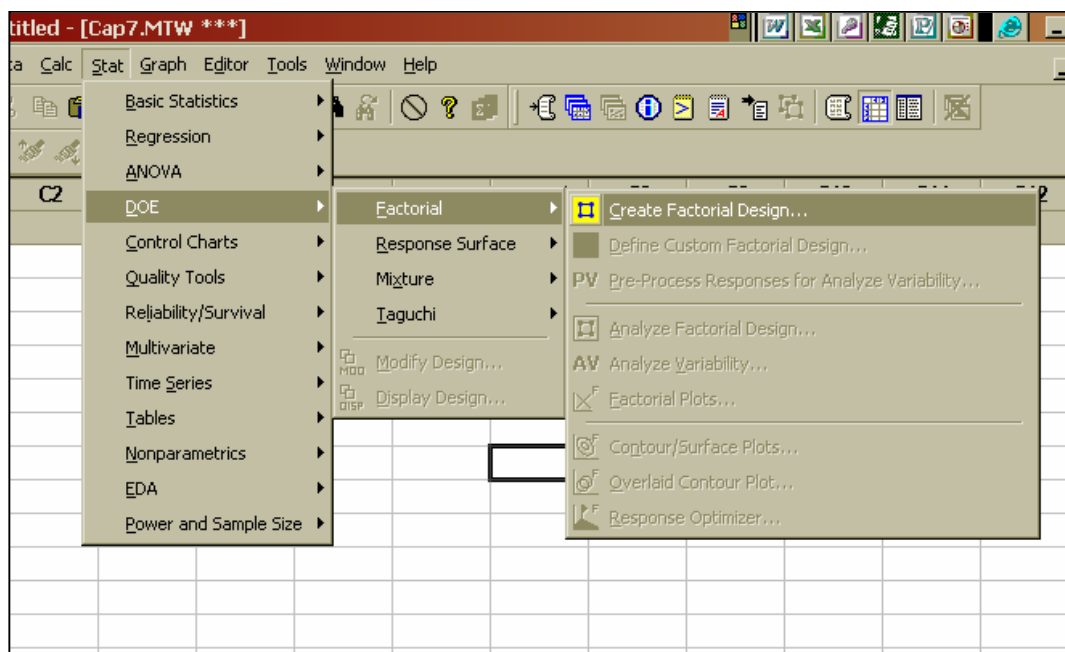
Tabla 8.1

A	B	C	D	Tratamiento	Razón de cambio
-1	-1	-1	-1	(1)	45
1	-1	-1	-1	a	71
-1	1	-1	-1	b	48
1	1	-1	-1	ab	65
-1	-1	1	-1	c	68
1	-1	1	-1	ac	60
-1	1	1	-1	bc	80
1	1	1	-1	abc	65
-1	-1	-1	1	d	43
1	-1	-1	1	ad	100
-1	1	-1	1	bd	45
1	1	-1	1	abd	104
-1	-1	1	1	cd	75
1	-1	1	1	acd	86
-1	1	1	1	bcd	70
1	1	1	1	abcd	96

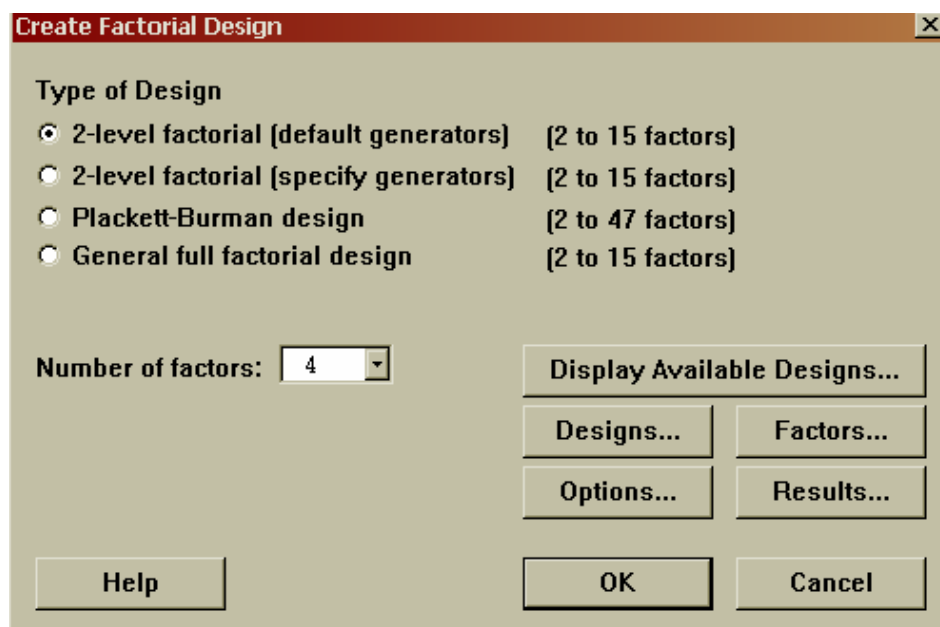
Suponga que sólo se pueden hacer 8 combinaciones por día. Por tanto el experimento 2^4 estará fundido en dos bloques.

El procedimiento para hacer análisis en MINITAB cuando hay bloques es similar al que vimos para experimentos factoriales 2^K . Contrario a los procedimientos para ANOVA en estos experimentos no comenzamos por entrar los datos si no por describirle el experimento a MINITAB que nos dará las columnas de los tratamientos debidamente codificadas.

1. El primer paso consiste en seleccionar la opción **<<STAT>>** del Menú Principal de **<<Minitab>>** y luego escoger las opciones **<<DOE>>** y **<<Create Factorial Design>>**.



2. Como consecuencia de la acción anterior la siguiente pantalla **<<Factorial Designs>>** aparecerá.

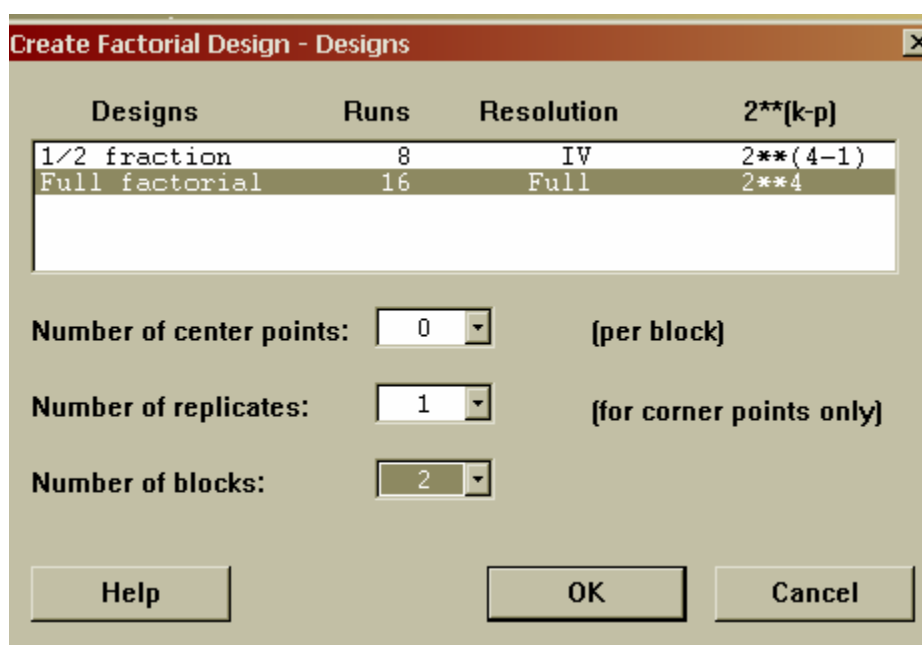


3. El primer paso en esta pantalla **<<Factorial Designs>>** será escoger el número de factores considerados en el experimento (en nuestro ejemplo cuatro A, B, C y D), observe que, en la Figura anterior, la casilla **<<Number of factors>>** está en 4.

Luego debe oprimir el botón de la opción **<< Designs>>** para poder escoger su diseño, número de repeticiones y otras opciones.

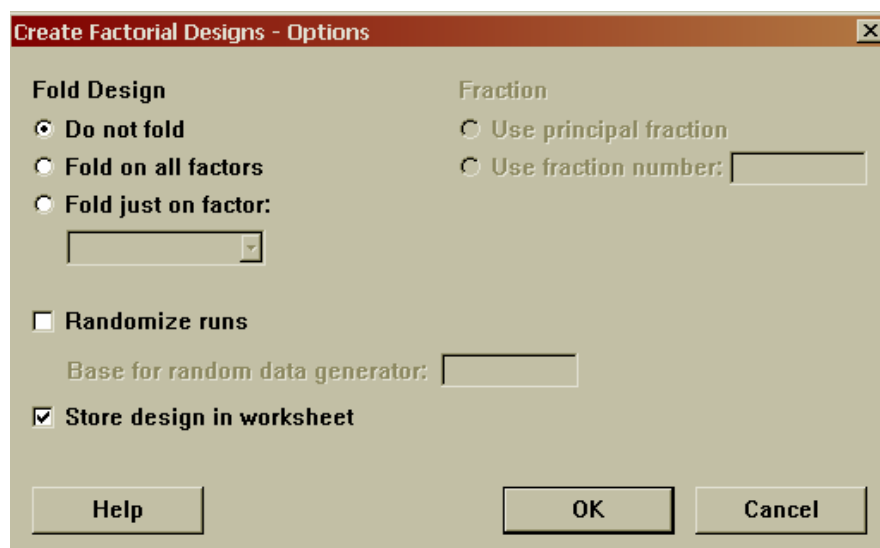
Al seleccionar esta opción aparecerá una nueva ventana llamada **<< Factorial Design - Designs>>**. En esta ventana indicará su diseño ('Full Factorial' para nuestro caso) y luego indicará que realizamos una repetición por tratamiento, ningún punto central y que el experimento se efectuó en dos bloques.

Finalice este paso, oprimiendo **<<OK>>** que lo devolverá a la pantalla anterior **<<Factorial Designs>>**.



4. Una vez en la pantalla **<<Factorial Designs>>** al momento de entrar los datos es buen, con el fin de facilitar la entrada de datos, desactivar el comando **<<Randomize Runs>>** dentro del botón **<<Options>>**.

Tal como se explicó en el Capítulo 7, este paso no lo ejecutamos cuando estamos diseñando el experimento ya que el esta opción nos brinda los tratamientos en forma aleatoria para ejecutar el experimento. Desactivando la opción indicada, logrará que los tratamientos en cada bloque aparezcan agrupados en la pantalla de **<<Data>>**. Para terminar con este paso, salga de esta ventana oprimiendo **<<OK>>**.

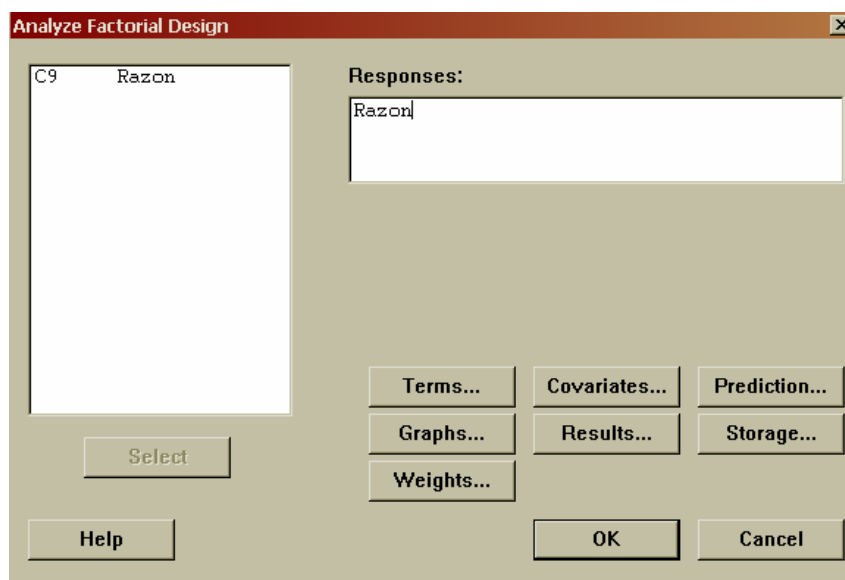


5. De vuelta a la pantalla <<Factorial Designs>> oprima <<OK>>. MINITAB le creará la siguiente pantalla.

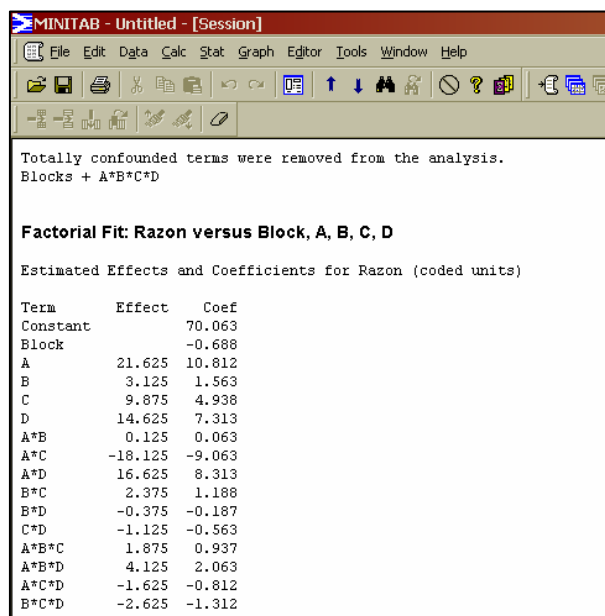
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	Razon			
1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1				
2	2	2	1	1	-1	1	-1	-1				
3	3	3	1	1	-1	-1	1	-1				
4	4	4	1	1	1	1	1	-1				
5	5	5	1	1	-1	-1	-1	1				
6	6	6	1	1	1	1	-1	1				
7	7	7	1	1	1	-1	1	1				
8	8	8	1	1	-1	1	1	1				
9	9	9	1	2	-1	-1	-1	-1				
10	10	10	1	2	1	1	-1	-1				
11	11	11	1	2	1	-1	1	-1				
12	12	12	1	2	-1	1	1	-1				
13	13	13	1	2	1	-1	-1	1				
14	14	14	1	2	-1	1	-1	1				
15	15	15	1	2	-1	-1	1	1				
16	16	16	1	2	1	1	1	1				
17												
18												
19												

6. Note que ya las columnas de los tratamientos fueron creados, lo único que usted tiene que ingresar a MINITAB es una columna con la respuesta (sombreada) del experimento. Una vez usted ingrese los datos (utilice la Tabla 8.1) deberá regresar al paso 1 sólo que esta vez seleccionaría la secuencia :

<<STAT>> seguida de <<DOE>> y <<Analyze Factorial Design>>. Esta acción lo llevará a la pantalla <<Analyze Factorial Design>>. Donde sólo es necesario indicar la columna de la variable respuesta <<Response>>.



7. Una vez indicada la variable respuesta, oprima <<OK>> y MINITAB le ofrecerá la pantalla de resultados en la ventana <<Session>>. La misma se presenta a continuación.



Totally confounded terms were removed from the analysis.
Blocks + A*B*C*D

Factorial Fit: Razon versus Block, A, B, C, D

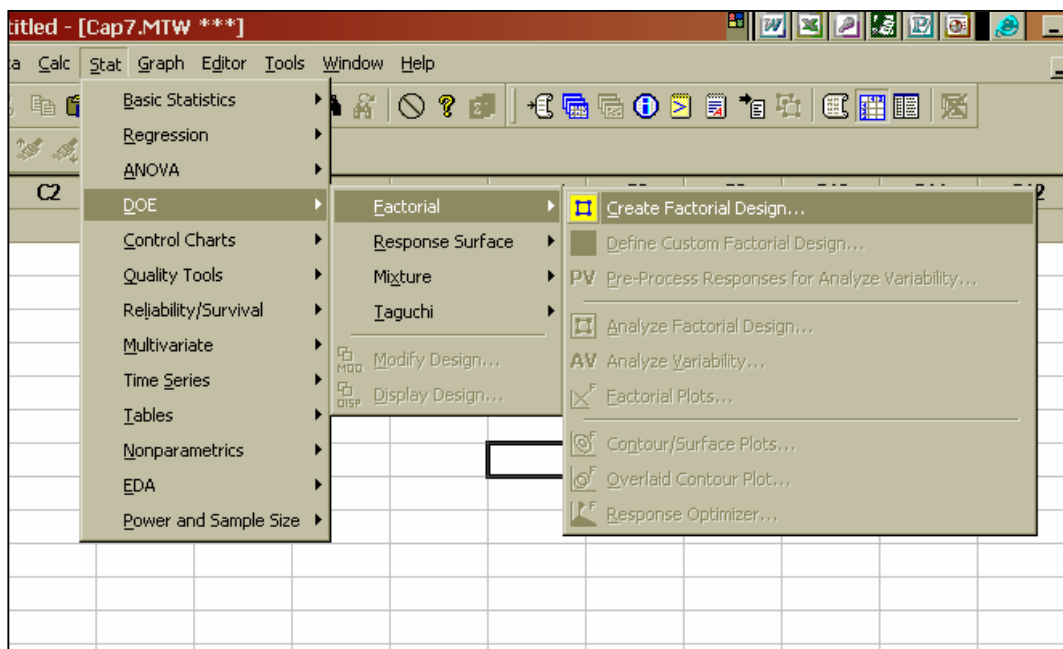
Estimated Effects and Coefficients for Razon (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		70.063
Block		-0.688
A	21.625	10.812
B	3.125	1.563
C	9.875	4.938
D	14.625	7.313
A*B	0.125	0.063
A*C	-18.125	-9.063
A*D	16.625	8.313
B*C	2.375	1.188
B*D	-0.375	-0.187
C*D	-1.125	-0.563
A*B*C	1.875	0.937
A*B*D	4.125	2.063
A*C*D	-1.625	-0.812
B*C*D	-2.625	-1.312

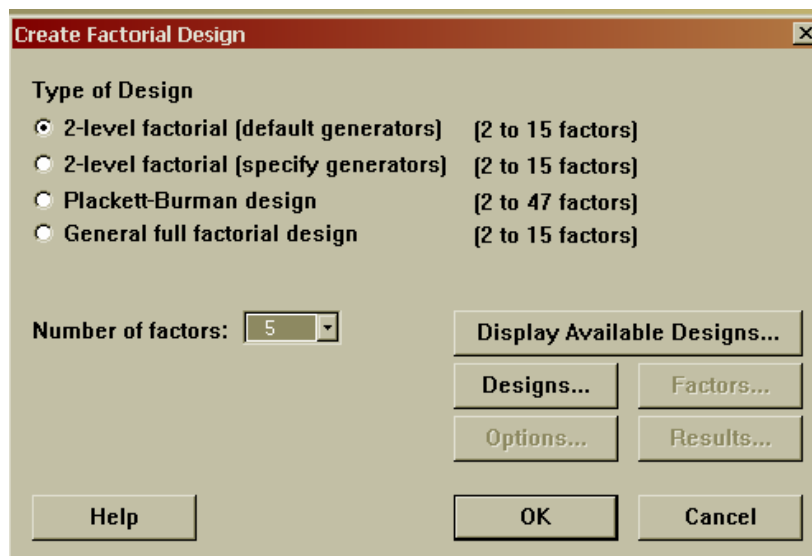
Capítulo 9: Experimentos Factoriales Fraccionarios 2^K

En muchas ocasiones los 2^K tratamientos no pueden ser ejecutados, especialmente cuando K, el número de factores considerados en el experimento es un número grande o considerable. Cuando esto sucede se considera efectuar solo una fracción de todos los tratamientos y llamamos a estos los experimentos factoriales fraccionarios 2^K . Considere el siguiente ejemplo: los factores A, B, C, D y E son de interés y donde se efectuó un experimento 2^{5-1} , o en otras palabras se efectuó la $\frac{1}{2}$ de una repetición completa de este experimento. El procedimiento para hacer análisis en MINITAB cuando el experimento es fraccionario es similar al que vimos para experimentos factoriales 2^K . Al igual que en ese caso, Minitab nos indica el diseño y sólo debemos ingresar los datos de la variable respuesta Veamos.

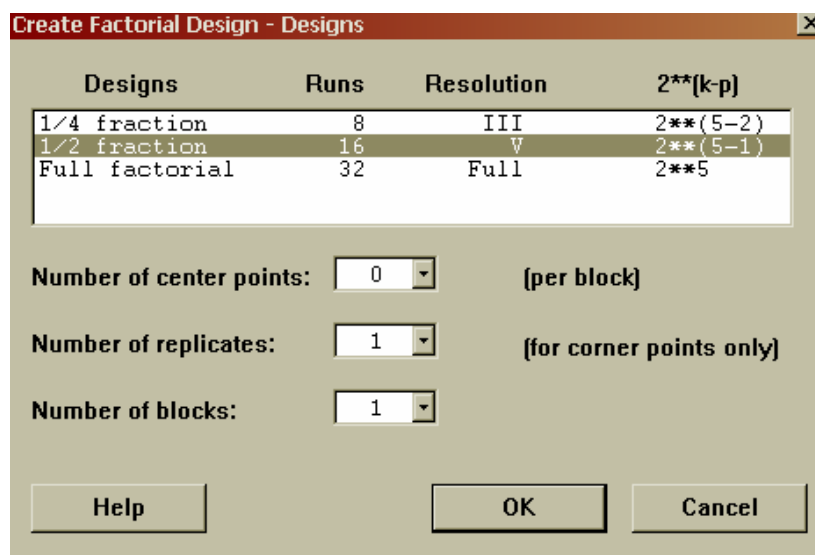
1. Comenzamos por seleccionar la opción **<<STAT>>** de la pantalla principal **<<Minitab>>** y subsiguientemente las opciones **<<DOE>>** luego **<<Factorial>>** y finalmente **<<Create Factorial Design>>** como se presenta en la siguiente Figura.



2. Como consecuencia de la acción anterior la siguiente pantalla **<<Factorial Designs>>** aparecerá.

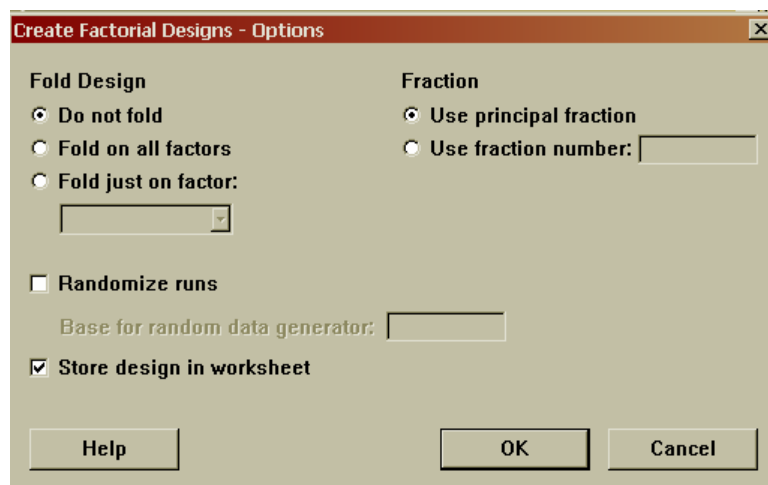


3. El primer paso en esta pantalla **<<Factorial Designs>>** será escoger el número de factores considerados en el experimento (en nuestro ejemplo cinco A, B, C, D y E). Note que dejamos los generadores por defecto (default generators) de MINITAB. Luego debe oprimir el botón de la opción **<<Designs>>** para poder escoger su diseño, número de repeticiones y otras opciones. Al seleccionar esta opción aparecerá una nueva ventana llamada **<<Factorial Design - Designs>>**. En esta ventana indicará su diseño ('1/2 fraction' para nuestro caso) y luego indicará que realizamos una repetición por tratamiento, ningún punto central y que el experimento se efectuó bajo condiciones homogéneas, o sea en un bloque. Finalice esta pantalla oprimiendo **<<OK>>**. Esto lo devolverá a la pantalla anterior **<<Factorial Designs>>**.

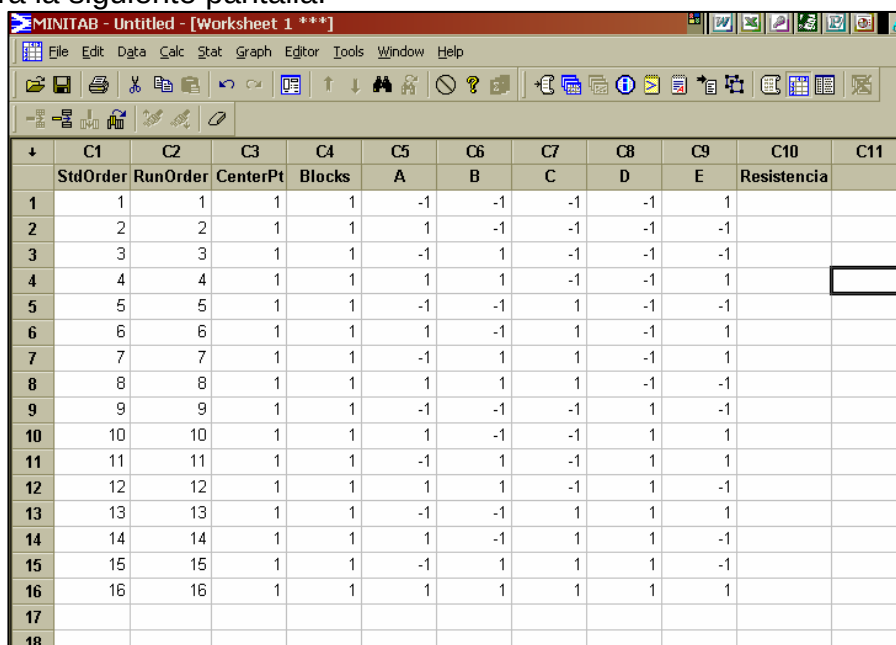


Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

4. De vuelta en la pantalla **<<Factorial Designs>>** al momento de entrar los datos es bueno seleccionar **<<Options>>** con el fin de facilitar el ingreso de datos. Para ello, desactive el comando **<<Randomize Runs>>** oprimiendo la marca de cotejo del casillero. Recuerdo que este paso no se debe realizar cuando estamos diseñando el experimento ya que el esta opción nos brinda los tratamientos en forma aleatoria. Salga de esta ventana oprimiendo **<<OK>>**.



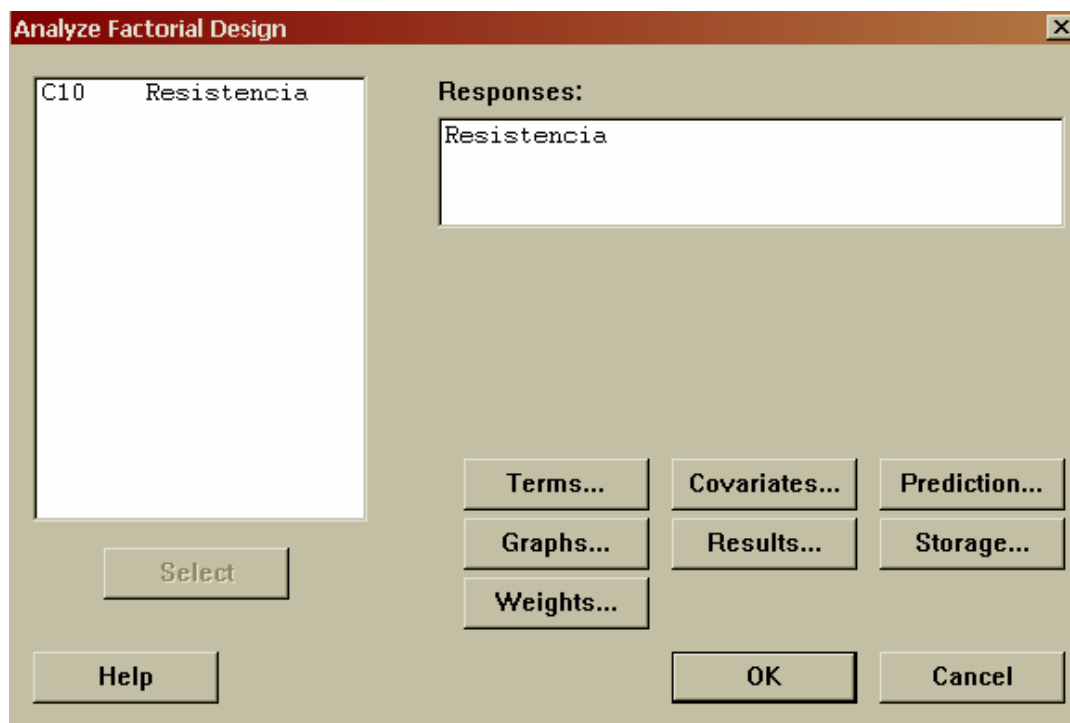
5. De vuelta a la pantalla **<<Factorial Designs>>** oprima **<<OK>>**. Inmediatamente MINITAB le preguntará si quiere guardar su antigua hoja de trabajo, en el caso en que tuviera una hoja de trabajo abierta, ya que una nueva se generará automáticamente con su diseño. Oprima **<<NO>>** si ya ha guardado o no quiere conservar la pasada ventada **<<DATA>>**. MINITAB le creará la siguiente pantalla.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Resistencia	
1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1		
2	2	2	1	1	1	-1	-1	-1	-1		
3	3	3	1	1	-1	1	-1	-1	-1		
4	4	4	1	1	1	1	-1	-1	1		
5	5	5	1	1	-1	-1	1	-1	-1		
6	6	6	1	1	1	-1	1	-1	1		
7	7	7	1	1	-1	1	1	-1	1		
8	8	8	1	1	1	1	1	-1	-1		
9	9	9	1	1	-1	-1	-1	1	-1		
10	10	10	1	1	1	-1	-1	1	1		
11	11	11	1	1	-1	1	-1	1	1		
12	12	12	1	1	1	1	-1	-1	-1		
13	13	13	1	1	-1	-1	1	1	1		
14	14	14	1	1	1	-1	1	1	-1		
15	15	15	1	1	-1	1	1	1	-1		
16	16	16	1	1	1	1	1	1	1		
17											
18											

6. Note que ya las columnas de los tratamientos fueron creados, lo único que usted tiene que ingresar en la hoja de trabajo es una columna con la respuesta (Resistencia) del experimento.

Una vez que usted ingrese los datos (utilice los datos de la Tabla 9.1) debe regresar al paso 1 sólo que esta vez seleccionaría la secuencia : <<STAT>> seguida de <<DOE>> luego <<Factorial>> finalmente, <<Analyze Factorial Design>>. Esta acción resultará en la pantalla <<Analyze Factorial Design>>. Donde sólo es necesario indicar la columna de la variable respuesta <<Response>>.



7. Una vez indicada la variable respuesta, oprima <<OK>> y MINITAB le ofrecerá la pantalla de resultados en la ventana <<Session>>. La misma se presenta a continuación.

BE + ACD
CD + ABE
CE + ABD
DE + ABC

|

Factorial Fit: Resistencia versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Resistencia (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		70.063
A	14.625	7.313
B	-11.375	-5.688
C	2.625	1.312
D	-4.375	-2.187
E	-8.875	-4.438
A*B	-11.375	-5.687
A*C	14.125	7.063
A*D	-10.875	-5.438
A*E	-6.875	-3.438
B*C	-16.875	-8.438
B*D	-4.875	-2.437
B*E	-2.875	-1.437
C*D	-10.375	-5.188

Current Worksheet: Worksheet 1 Editable 11

Tabla 9.1.

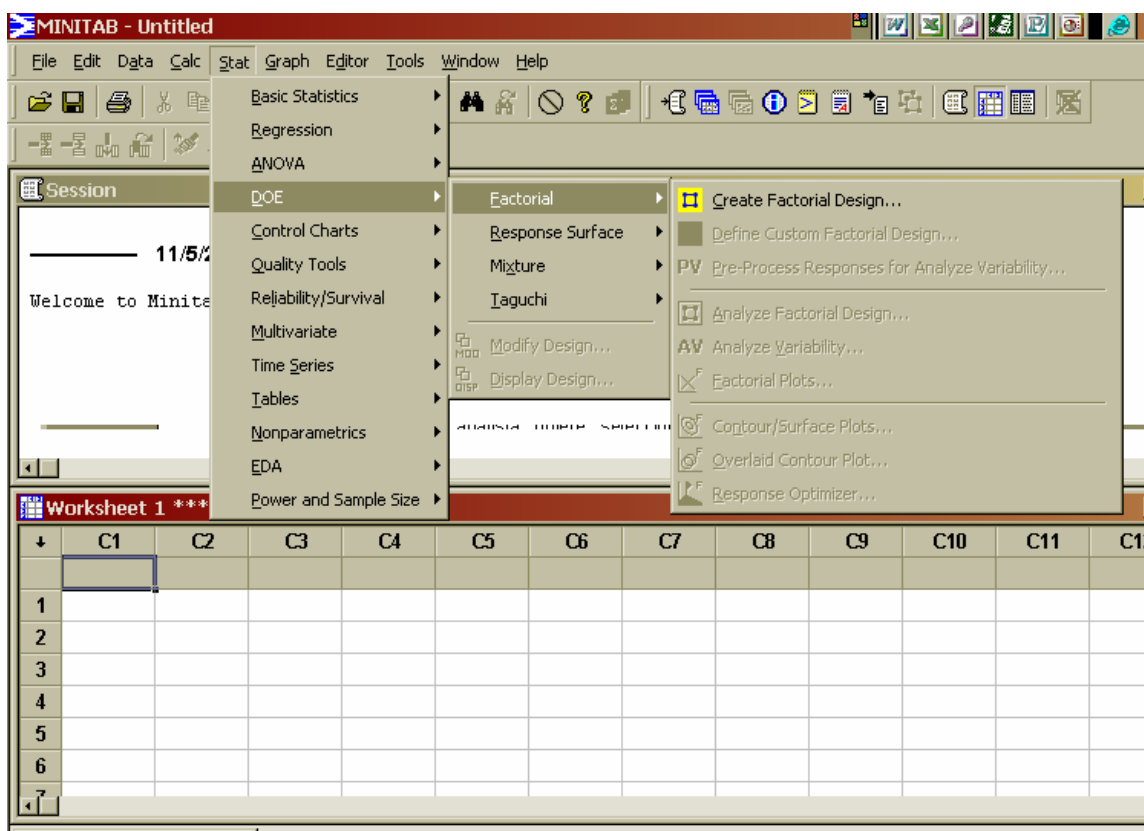
A	B	C	D	E	Resistencia
-1	1	1	1	-1	45
1	-1	-1	1	1	71
-1	-1	-1	-1	1	48
-1	-1	-1	1	-1	65
-1	-1	1	1	1	68
1	1	-1	-1	1	60
1	-1	-1	-1	-1	80
1	1	-1	1	-1	65
1	1	1	1	1	43
1	-1	1	1	-1	100
-1	1	1	-1	1	45
1	-1	1	-1	1	104
-1	1	-1	-1	-1	75
-1	1	-1	1	1	86
-1	-1	1	-1	-1	70
1	1	1	-1	-1	96

Capítulo 10: Experimentos Factoriales Fraccionarios 2^K con generadores arbitrarios

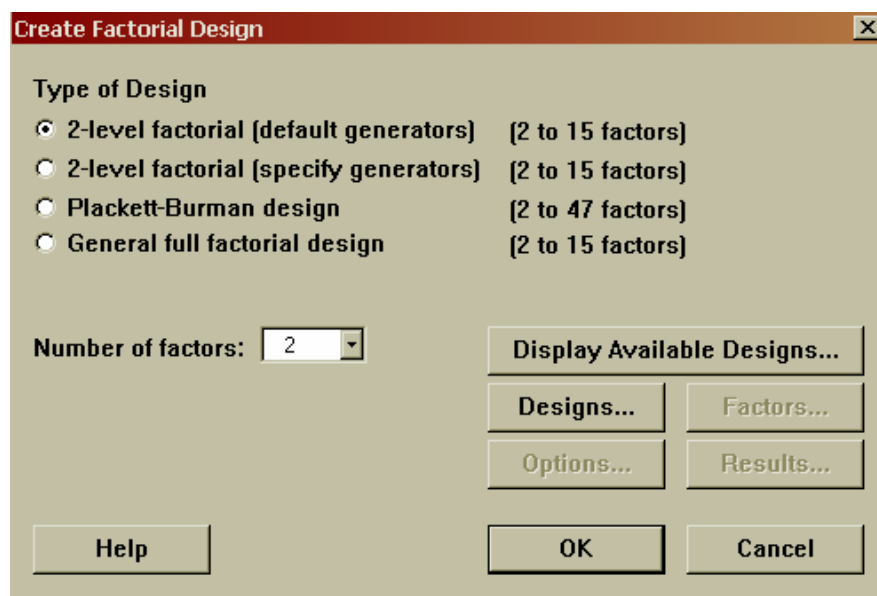
En el capítulo pasado vimos qué procedimiento seguir para hacer un experimento factoriales fraccionario 2^K aceptando los generadores que, por defecto nos da MINITAB.

En ocasiones el analista quiere seleccionar sus propios generadores, el procedimiento que sigue muestra un ejemplo para un 2^5 cuando los generadores utilizados para una fracción de $\frac{1}{4}$ son: ABD y ACE.

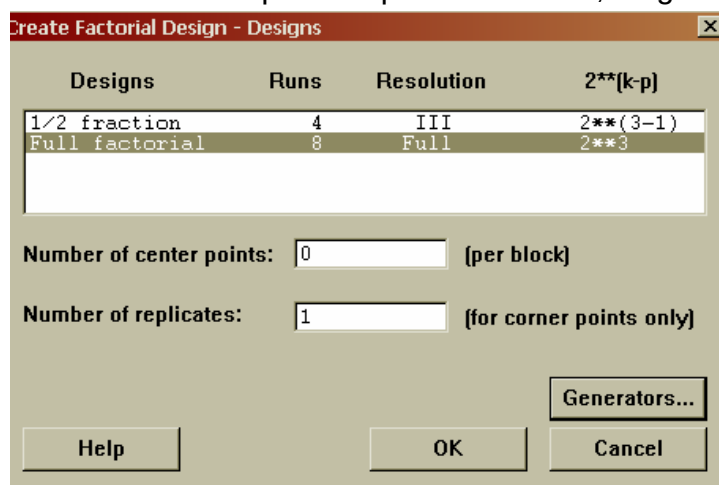
1. Comenzaremos por seleccionar la opción **<<STAT>>** de la pantalla principal **<<Minitab>>** e, inmediatamente, las opciones **<<DOE>>** luego **<<Factorial>>** finalmente **<<Create Factorial Design>>** como se presenta en la siguiente Figura.



2. Como consecuencia de la acción anterior la siguiente pantalla **<<Factorial Designs>>** aparecerá.

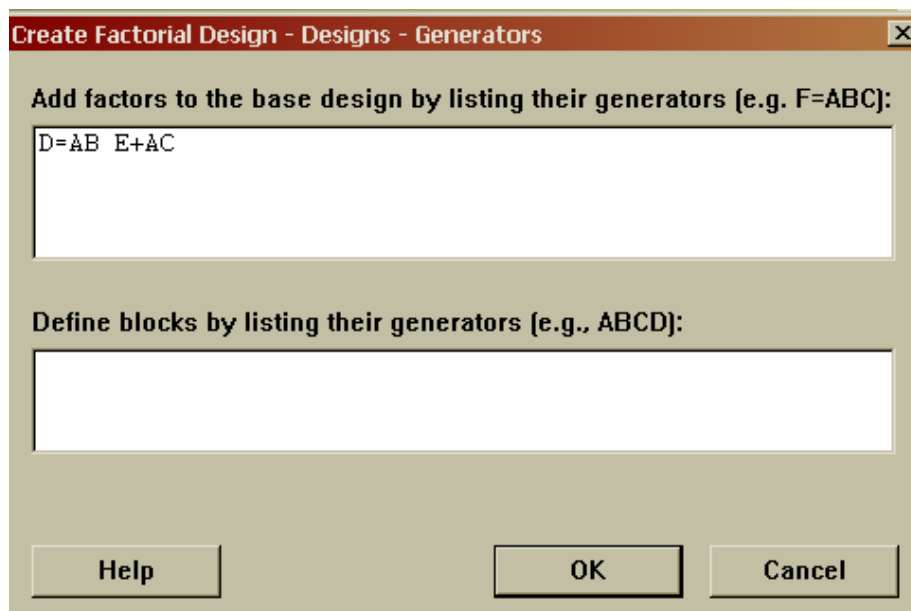


3. Como primer paso en esta pantalla **<<Factorial Designs>>** deberá seleccionar la opción en la que el usuario especifica los generadores **<<Specify generators>>**. Luego deberá especificar el número de factores considerados en el experimento (en nuestro ejemplo cinco A, B, C, D y E). Note que, aunque el experimento considera cinco factores A-E en el número de factores deberá indicar tres como el número de factores, porque los factores D y E serán utilizados para indicar los generadores deseados. Luego debe oprimir el botón de la opción **<<Designs>>** para poder escoger el diseño, número de repeticiones y otras opciones. Al seleccionar esta opción aparecerá una nueva ventana llamada **<<Factorial Design - Designs>>**. En esta ventana indicará el diseño completo ('full factorial', pero solo en los tres factores A, B, C) y luego indicará que realizamos una repetición por tratamiento, ningún punto central.



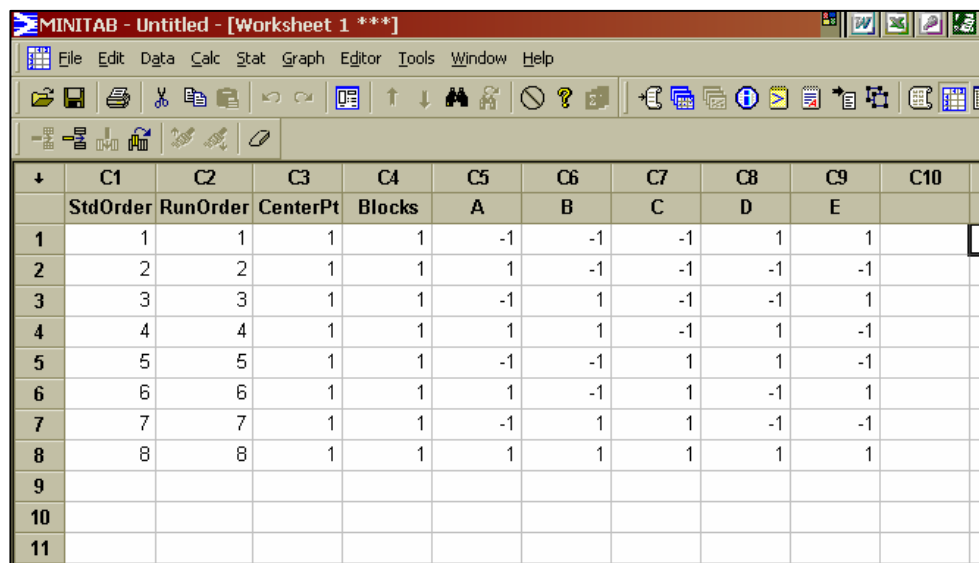
4. Oprima ahora la opción **<<Generators>>** que lo llevará a la pantalla **<<Factorial Design - Generators>>**.

En esta pantalla es que definimos nuestros nuevos factores en función de los generadores. Como indicamos al principio, los generadores seleccionados fueron ABD y ACE por lo tanto definimos $D = AB$ y $E = AC$. Es importante señalar que en MINITAB los factores tienen que definirse en orden alfabético y en función de los factores previamente definidos que en nuestro caso son A, B, C.



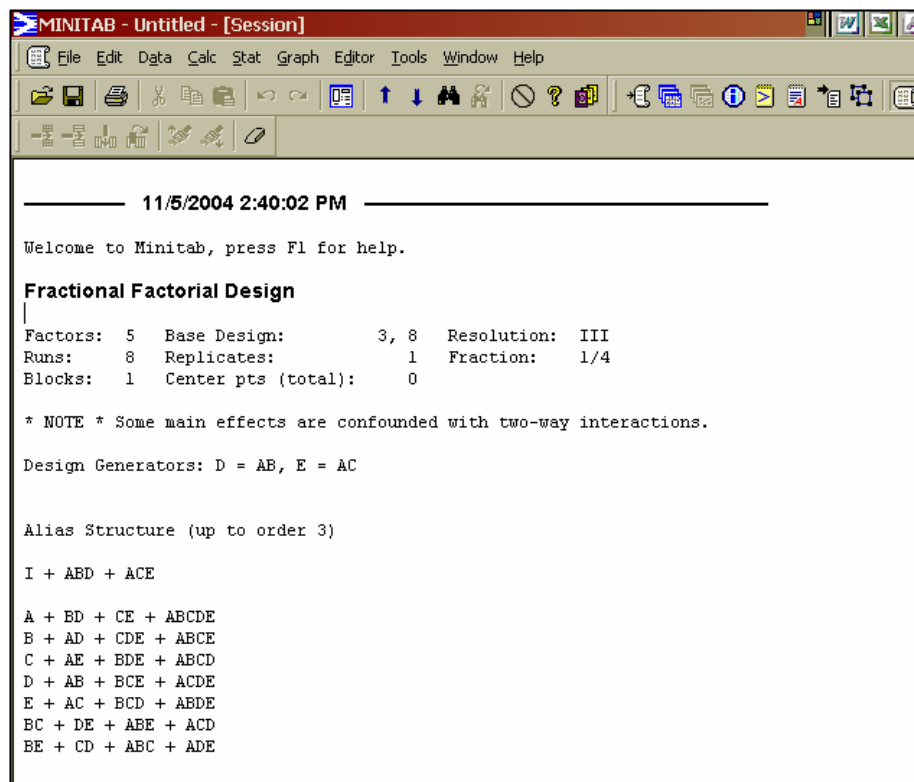
Finalice esta pantalla oprimiendo **<<OK>>**. Esto lo devolverá a la pantalla anterior **<<Factorial Designs - Designs>>**. Finalice esa pantalla oprimiendo **<<OK>>**. Esto lo devolverá a la pantalla anterior **<<Factorial Designs >>**.

5. En la pantalla **<<Factorial Designs>>** desactive el comando **<<Randomize Runs>>** oprimiendo la marca de cotejo del casillero, con esto le será más fácil ingresar los datos. Recuerde, sin embargo, que este paso no se debe ejecutar cuando estamos diseñando el experimento ya que el esta opción nos brinda los tratamientos en forma aleatoria. Salga de esta ventana oprimiendo **<<OK>>**.
6. De vuelta a la pantalla **<<Factorial Designs>>** oprima **<<OK>>**. Inmediatamente MINITAB le preguntará si quiere guardar su antigua hoja de trabajo (en caso tuviera alguna) ya que una nueva será generada automáticamente con su diseño. Oprima **<<NO>>** si ya ha guardado o no quiere conservar la pasada ventada. MINITAB le creará la siguiente pantalla.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	
2	2	2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	
3	3	3	1	1	-1	1	-1	-1	1	
4	4	4	1	1	1	1	-1	1	-1	
5	5	5	1	1	-1	-1	1	1	-1	
6	6	6	1	1	1	-1	1	-1	1	
7	7	7	1	1	-1	1	1	-1	-1	
8	8	8	1	1	1	1	1	1	1	
9										
10										
11										

En la pantalla <<Session>> de MINITAB se indicarán claramente la estructura de alias y los generadores utilizados



```

----- 11/5/2004 2:40:02 PM -----

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Fractional Factorial Design
|
Factors: 5   Base Design:      3, 8   Resolution: III
Runs:      8   Replicates:      1   Fraction: 1/4
Blocks:    1   Center pts (total): 0

* NOTE * Some main effects are confounded with two-way interactions.

Design Generators: D = AB, E = AC

Alias Structure (up to order 3)

I + ABD + ACE

A + BD + CE + ABCDE
B + AD + CDE + ABCE
C + AE + BDE + ABCD
D + AB + BCE + ACDE
E + AC + BCD + ABDE
BC + DE + ABE + ACD
BE + CD + ABC + ADE
    
```

6. Note que ya las columnas de los tratamientos fueron creados, lo único que usted tiene que facilitar a MINITAB ahora es una columna con la respuesta del experimento. Utilice los siguientes datos:

Tabla 10.1

A	B	C	D	E	Respuesta
-1	-1	-1	1	1	45
1	-1	-1	-1	-1	71
-1	1	-1	-1	1	50
1	1	-1	1	-1	69
-1	-1	1	1	-1	78
1	-1	1	-1	1	80
-1	1	1	-1	-1	90
1	1	1	1	1	65

7. Una vez usted entre los datos usted regresaría al paso 1 sólo que esta vez seleccionaría la secuencia : **<<STAT>>** seguida de **<<DOE>>**, **<<Factorial>>** **<<Analyze Factorial Design>>**. Los pasos restantes serían iguales a los discutidos en el Capítulo 9 (sólo debe ingresar la variable respuesta en la casilla **<<Responses>>**).

Capítulo 11: Superficie de Respuesta

El siguiente ejemplo muestra un diseño central compuesto para un modelo de segundo orden cuando se toman 3 puntos centrales. Las variables se presentan en forma codificada.

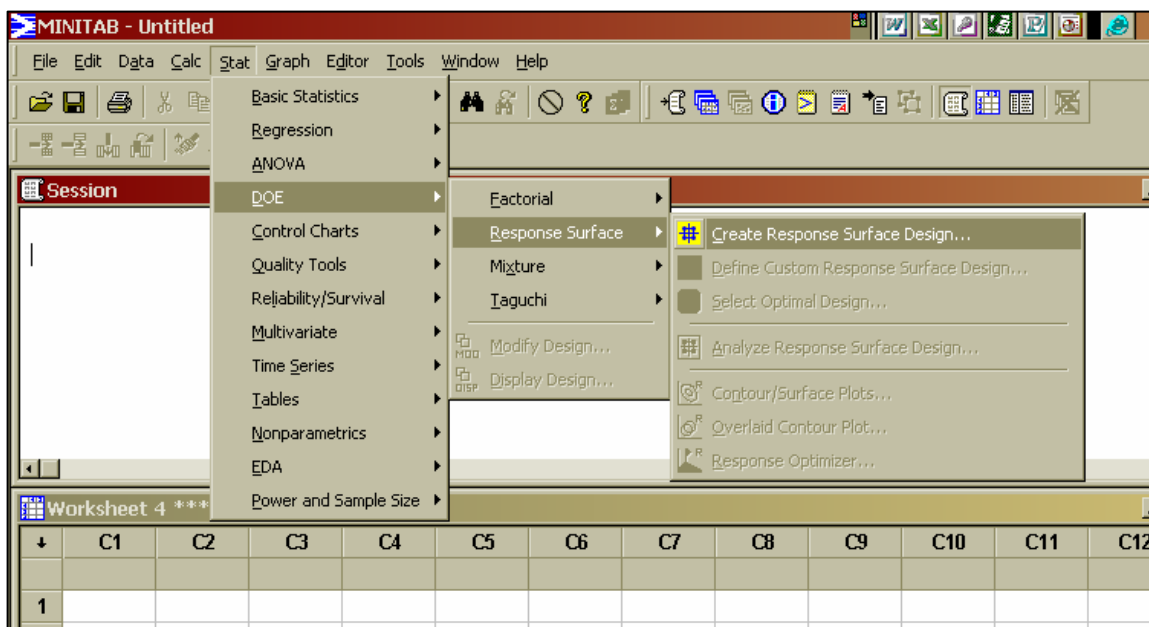
Tabla 11.1

A	B	Y
-1	-1	88.55
-1	1	86.29
1	-1	85.80
1	1	80.44
-1.414	0	85.50
1.414	0	85.39
0	-1.414	86.22
0	1.414	85.70
0	0	90.21
0	0	90.85
0	0	91.31

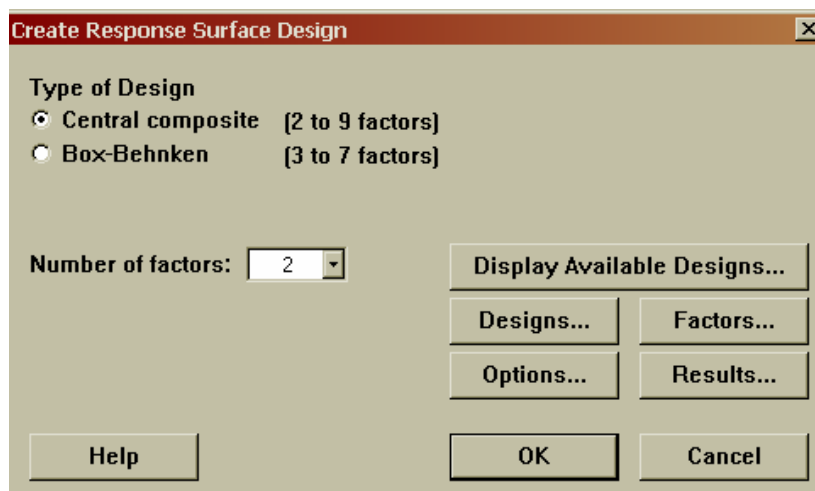
Contrario a los procedimientos para ANOVA en estos experimentos no comenzamos por entrar los datos si no por describirle el experimento a MINITAB que nos dará las columnas de los tratamientos debidamente codificadas, tal como se observa en la Tabla 11.1. Los valores de Y serán los únicos que se deberán ingresar a la hoja de trabajo una vez que Minitab nos dé el diseño.

El procedimiento para construir un diseño central compuesto es el siguiente:

1. Comience seleccionando la opción **<<STAT>>** del Menú Principal de **<<Minitab>>**. Dentro de esa opción elija sucesivamente las opciones **<<DOE>>** luego **<<Response Surface>>** y finalmente **<<Create Response Surface Design>>** como se presenta en la siguiente Figura.



2. Como resultado le aparecerá la siguiente pantalla: **<<Create Response Surface Designs>>** .



3. El primer paso en esta pantalla será escoger el número de factores considerados en el experimento (en nuestro ejemplo son dos A y B). Note que tenemos que seleccionar entre un diseño central compuesto y uno Box Behnken. Para el ejemplo de este capítulo, trabajaremos con el primer tipo.

4. Como siguiente paso, debe oprimir el botón de la opción **<<Designs>>** para poder escoger su diseño, número de puntos centrales y otras opciones. Al seleccionar esta opción aparecerá una nueva ventana llamada **<<Response Surface Design - Designs>>**. En esta ventana deberá indicar que se efectuaron tres puntos centrales, para ello de elegir la opción **<<Custom>>** (contrario a los valores por defecto que MINITAB ofrece) y escribir el número de puntos centrales, en este caso 3. De igual manera dejamos el valor por defecto de MINITAB para el valor de α . Observe que también puede aumentar el número de réplicas.
- Finalice esta pantalla oprimiendo **<<OK>>**. Esto lo devolverá a la pantalla anterior **<<Response Surface Design>>**.

Designs	Runs	Blocks	Center Points			Default Alpha
			Total	Cube	Axial	
Full	13	1	5	—	—	1.414
Full	14	2	6	3	3	1.414

Number of Center Points

☐ Default

☒ Custom: in cube, in axial block

Value of Alpha

☒ Default

☐ Face Centered

☐ Custom:

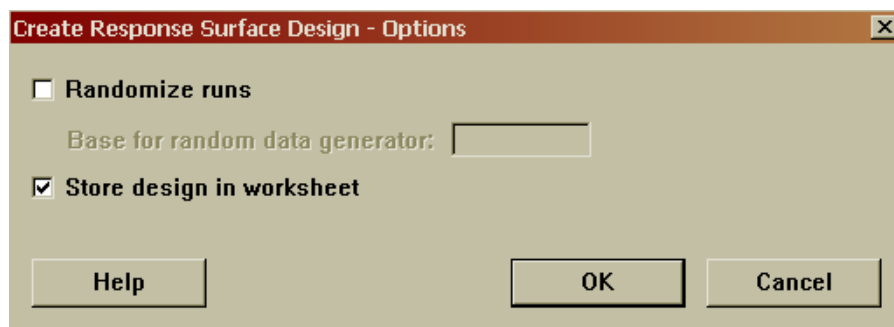
Number of replicates:

☐ Block on replicates

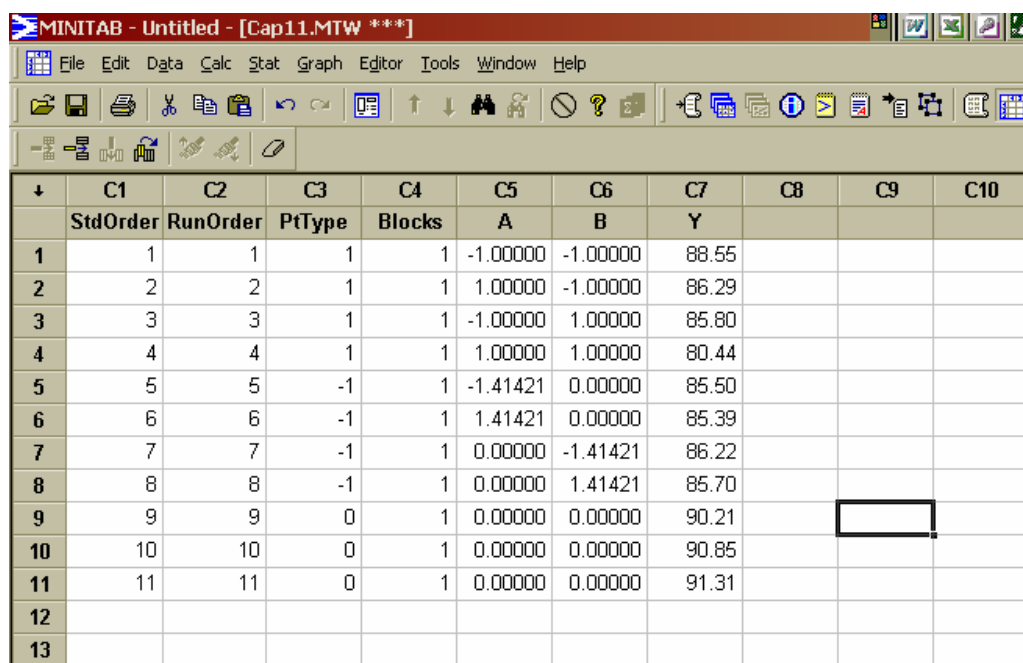
Help OK Cancel

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

- De vuelta a la pantalla **<<Response Surface Designs>>**, al momento de entrar los datos es bueno seleccionar **<<Options>>** con el fin de facilitar la entrada de datos. Para ello, desactive el comando **<<Randomize Runs>>** oprimiendo la marca de cotejo del casillero. Este paso no lo ejecutamos cuando estamos diseñando el experimento ya que el esta opción nos brinda los tratamientos en forma aleatoria que es en la forma necesaria para ejecutar el experimento. Salga de esta ventana oprimiendo **<<OK>>**.



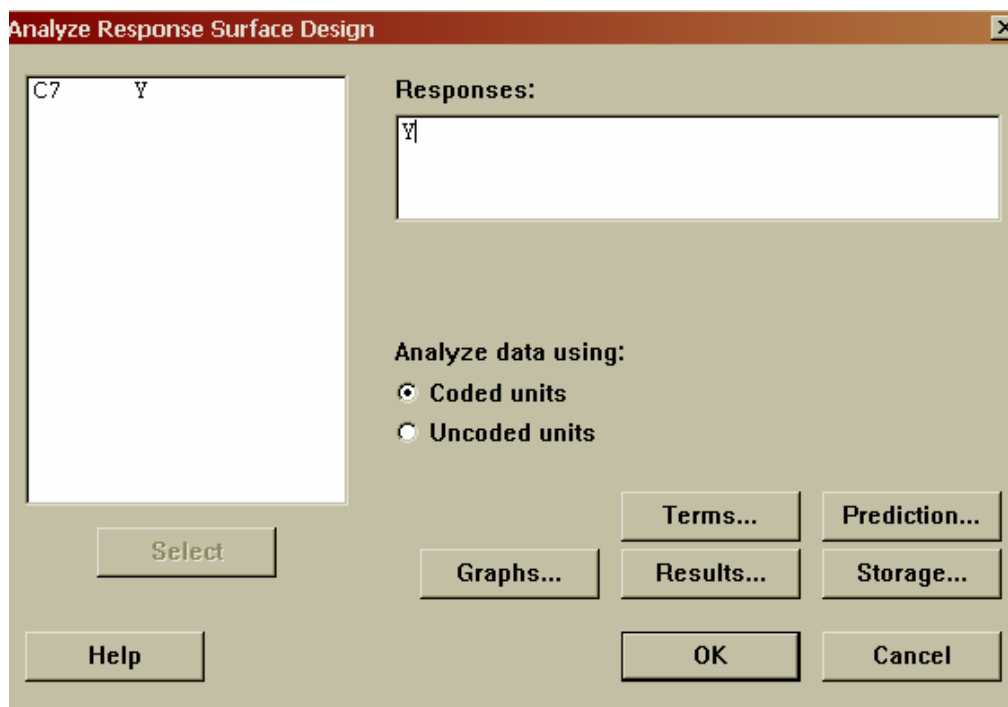
- De vuelta a la pantalla **<<Response Surface Design>>** oprima **<<OK>>**. Inmediatamente MINITAB le preguntará, si es que usted tienen una hoja de trabajo abierta, si quiere guardar su antigua hoja de trabajo ya que una nueva será generada automáticamente con su diseño. Oprima **<<NO>>** si ya ha guardado o no quiere conservar la pasada ventada. MINITAB le creará la siguiente pantalla. Note que ya las columnas de los tratamientos fueron creados, lo único que usted tiene que facilitar a MINITAB ahora es una columna con la respuesta del experimento, para ello utilice los datos de la Tabla 11.1.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	Y			
1	1	1	1	1	-1.00000	-1.00000	88.55			
2	2	2	1	1	1.00000	-1.00000	86.29			
3	3	3	1	1	-1.00000	1.00000	85.80			
4	4	4	1	1	1.00000	1.00000	80.44			
5	5	5	-1	1	-1.41421	0.00000	85.50			
6	6	6	-1	1	1.41421	0.00000	85.39			
7	7	7	-1	1	0.00000	-1.41421	86.22			
8	8	8	-1	1	0.00000	1.41421	85.70			
9	9	9	0	1	0.00000	0.00000	90.21			
10	10	10	0	1	0.00000	0.00000	90.85			
11	11	11	0	1	0.00000	0.00000	91.31			
12										
13										

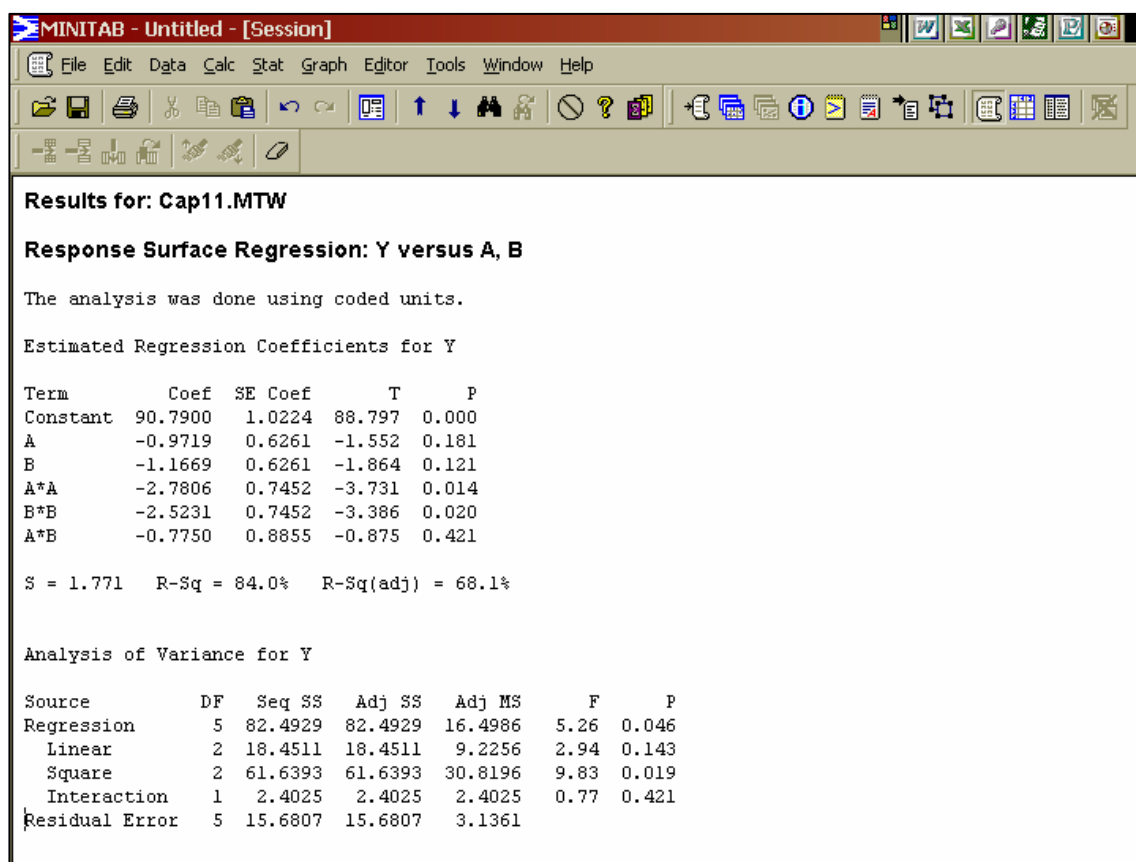
Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

6. Una vez usted ingresados los datos, debe regresar al paso 1 sólo que esta vez seleccionaría la secuencia : <<STAT>> seguida de <<DOE>> luego <<Response Surface>> finalmente, <<Analyze Response Surface Design Design>> Esta acción resultará en la siguiente pantalla:

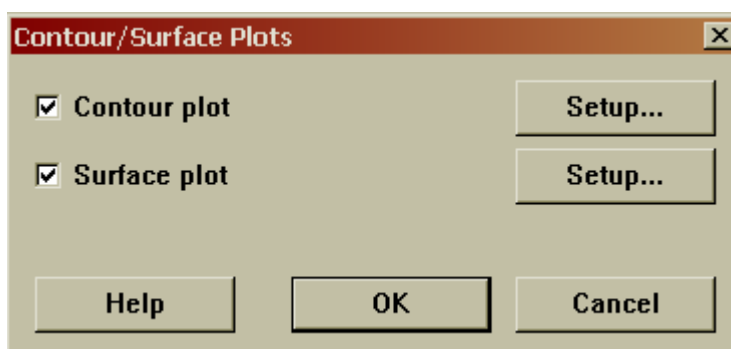


Como observa, en la casilla <<Response>> es necesario indicar la columna de la variable respuesta y si las variables están o no codificadas.

7. Una vez indicada la variable respuesta, oprima <<OK>> y MINITAB le ofrecerá la pantalla de resultados en la ventana <<Session>>. La misma se presenta a continuación.

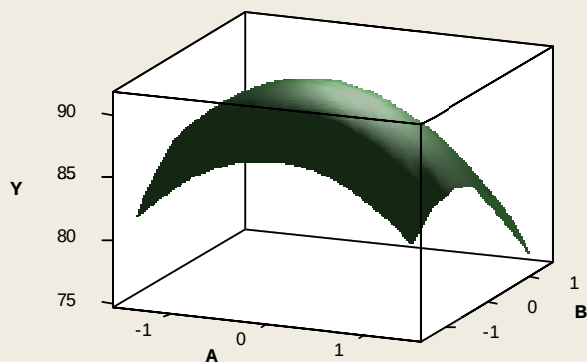


8. El gráfico de la superficie y el de contornos que se muestran se obtienen de seguir la secuencia : <<STAT>> seguida de <<DOE>>, <<Response Surface>> y finalmente <<Contour/Surface Plots>>

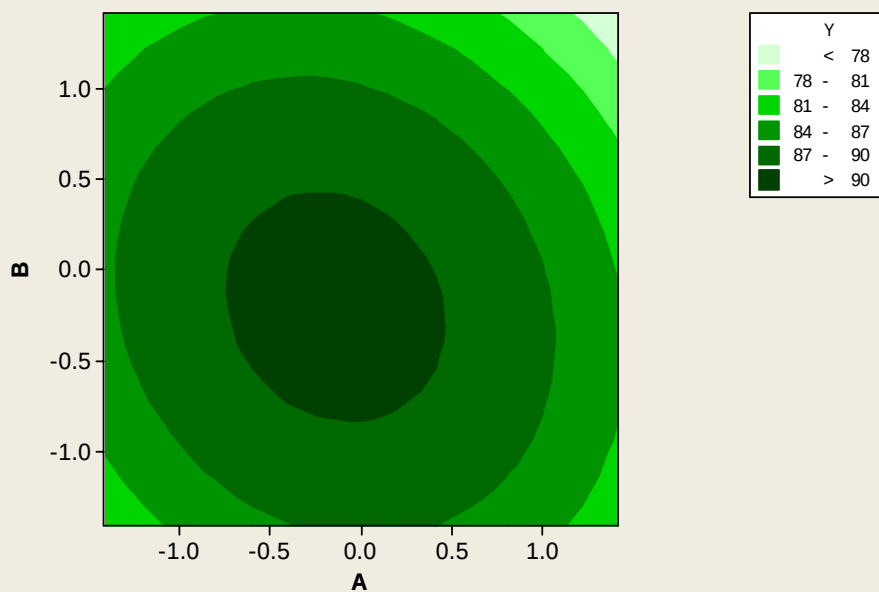


Antes de oprimir el botón <<OK>> recuerde ingresar a <<Setup...>> e indique las variables usadas están codificadas, de lo contrario Minitab no podrá hacer las gráficas.

Surface Plot of Y vs B, A



Contour Plot of Y vs B, A

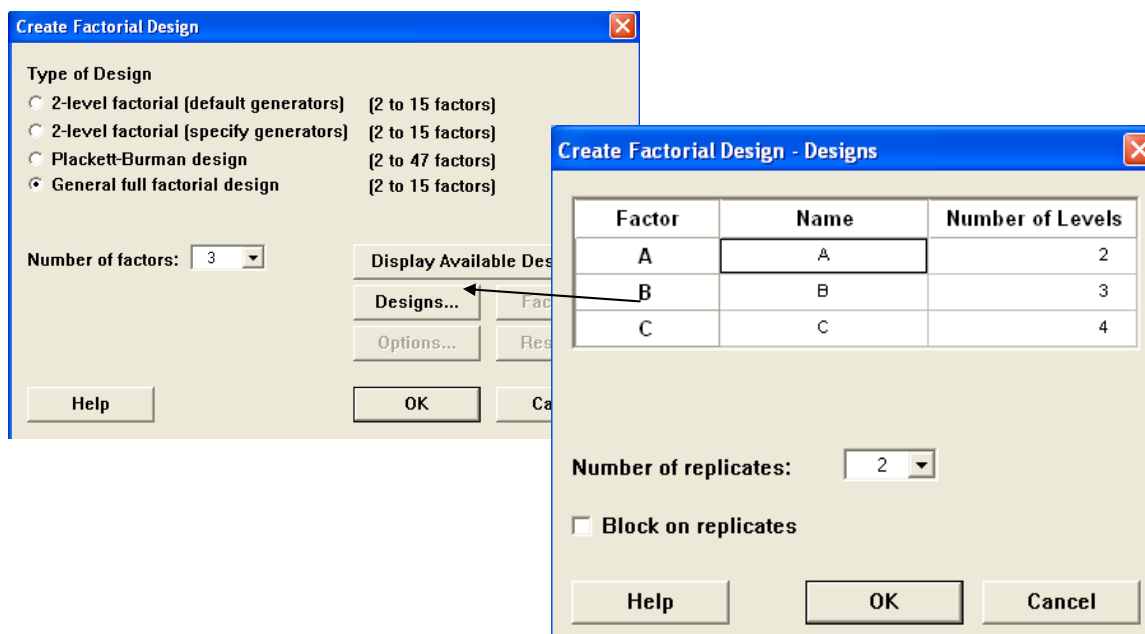


Capítulo 12: Expected mean square

En este capítulo, veremos cómo Minitab genera los Expected Mean Squares. Para esto vamos a generar un diseño de tres factores A, B, C con 2, 3 y 4 niveles respectivamente. También asumiremos que sólo A y B son aleatorios, mientras que C es fijo.

Los datos que usaremos serán generados aleatoriamente por una función de Minitab. El procedimiento para construir un diseño central compuesto es el siguiente:

1. Comience seleccionando la opción **<<STAT>>** del Menú Principal de **<<Minitab>>**. Dentro de esa opción elija sucesivamente las opciones **<<DOE>>** luego **<<Factorial>>** y finalmente **<<Create Factorial Design>>**.
2. Como resultado le aparecerá la siguiente pantalla: **<<Create Factorial Designs>>**. En esta pantalla usted deberá escoger el número de factores que, para este ejemplo son 3. También deberá escoger la opción **<<General Factorial Design>>** ya que los niveles no son los mismos. Finalmente tiene que indicar el diseño, para ellos utilice la opción **<<Designs...>>** y en la nueva ventana indique los niveles. Para este ejemplo, utilice como número de réplicas 2.



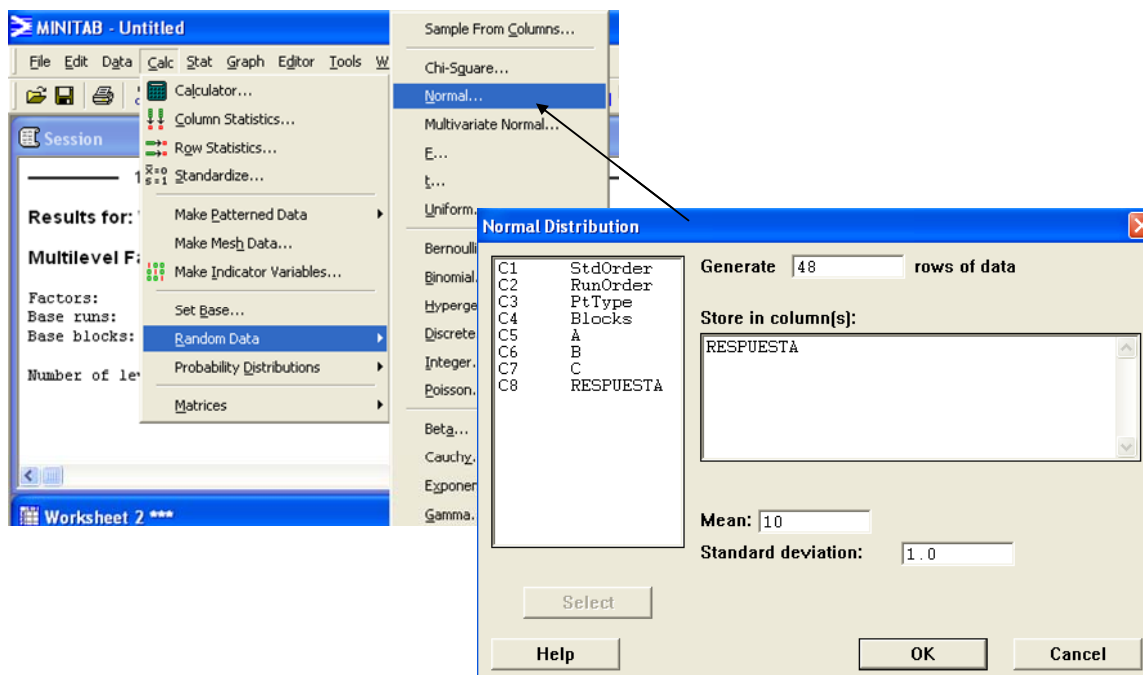
Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

- Finalice las ventanas haciendo clic en el botón **<<OK>>**. Minitab le generará la siguiente hoja de trabajo, usted, sólo debe darle nombre a la columna que contendrá la variable respuesta.

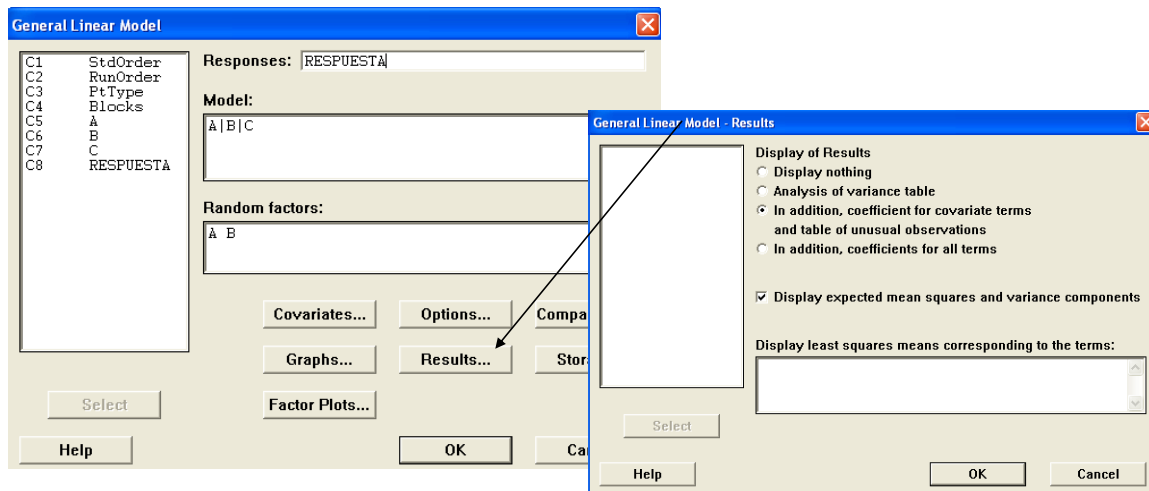
The screenshot shows the Minitab software interface. The top window is the 'Session' window, which displays the results for 'Worksheet 2' under the heading 'Multilevel Factorial Design'. The design parameters are: 3 Factors, 2 Replicates, 24 Base runs, 48 Total runs, 1 Base block, and 1 Total block. The number of levels for each factor is 2, 3, and 4. Below this, the 'Worksheet 2' window is visible, showing a data table with 15 columns (C1 to C15). The first 8 columns are labeled: C1 (StdOrder), C2 (RunOrder), C3 (PtType), C4 (Blocks), C5 (A), C6 (B), C7 (C), and C8 (RESPUESTA). The data rows are numbered 1 to 10 in the first column. The 'RESPUESTA' column (C8) is currently empty, indicating where the response data will be entered.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	RESPUESTA							
1	38	1	1	1	2	1	2								
2	39	2	1	1	2	1	3								
3	6	3	1	1	1	2	2								
4	28	4	1	1	1	1	4								
5	30	5	1	1	1	2	2								
6	47	6	1	1	2	3	3								
7	26	7	1	1	1	1	2								
8	9	8	1	1	1	3	1								
9	31	9	1	1	1	2	3								
10	48	10	1	1	2	3	4								

- El siguiente paso consisten en ingresar datos a la variable respuesta. Como se indicó en al inicio del capítulo, en este caso utilizaremos datos generados por Minitab. Para ello, deberá ir a la opción **<<CALC>>** del Menú Principal de **<<Minitab>>**. Dentro de esa opción elija sucesivamente las opciones **<<Random Data>>** y luego **<<Normal>>**. Con este generaremos datos que siguen una distribución normal.
- Al ingresar a esa opción le aparecerá una nueva ventana en donde deberá indicar la cantidad de datos (en este caso 48) y los parámetros de la distribución. Utilice los valores de 10 y 1 respectivamente. También indique que los datos se van a almacenar en la columna RESPUESTA.



6. Todos los pasos dados hasta el momento han sido para tener un diseño al cual poder calcular el Expected Mean Square por tanto no son necesarios si es que usted ya tiene un diseño. Los pasos para calcular el Expected Mean Square en Minitab empiezan realmente aquí: Vaya a la opción <<STAT>> del Menú Principal de <<Minitab>>. Dentro de esa opción elija sucesivamente las opciones <<ANOVA>> y luego <<General Linear Model>>.
7. En la ventana <<General Linear Model>> indique la variable respuesta y las variables que componen el modelo tal como está en la figura. Si observa bien, entre las variables del modelo aparece un símbolo de | este símbolo se pone para indicar que se incluyan las interacciones en el modelo. Asimismo, hay una casilla <<Random Factors>> usted debe poner ahí todas las variables que sean aleatorias ya que Minitab, por defecto, entiende que son fijas.



8. Luego de ingresar los datos del punto 7. Deberá hacer clic en el botón **<<Results>>** que le abrirá una nueva ventana en donde aparece una opción **<<Display expected mean squares and variance components>>**. Elija esa opción y luego de **<<OK>>** en esa ventana y la de **<<General Linear Model>>**. Los resultados le aparecerán en la ventana de Session.

MINITAB - Untitled - [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Analysis of Variance for RESPUESTA, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	5.1179	5.1179	5.1179	1.57	0.380 x
B	2	7.9785	7.9785	3.9892	**	
C	3	5.2601	5.2601	1.7534	0.50	0.726 x
A*B	2	0.5245	0.5245	0.2622	0.16	0.855
A*C	3	13.8777	13.8777	4.6259	2.64	0.128
B*C	6	2.9872	2.9872	0.4979	0.31	0.913
A*B*C	6	9.7780	9.7780	1.6297	2.23	0.075
Error	24	17.5602	17.5602	0.7317		
Total	47	63.0840				

x Not an exact F-test.
 ** Denominator of F-test is zero.

S = 0.855380 R-Sq = 72.16% R-Sq(adj) = 45.49%

Unusual Observations for RESPUESTA

Obs	RESPUESTA	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	12.0621	10.8390	0.6048	1.2230	2.02 R
31	9.6160	10.8390	0.6048	-1.2230	-2.02 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

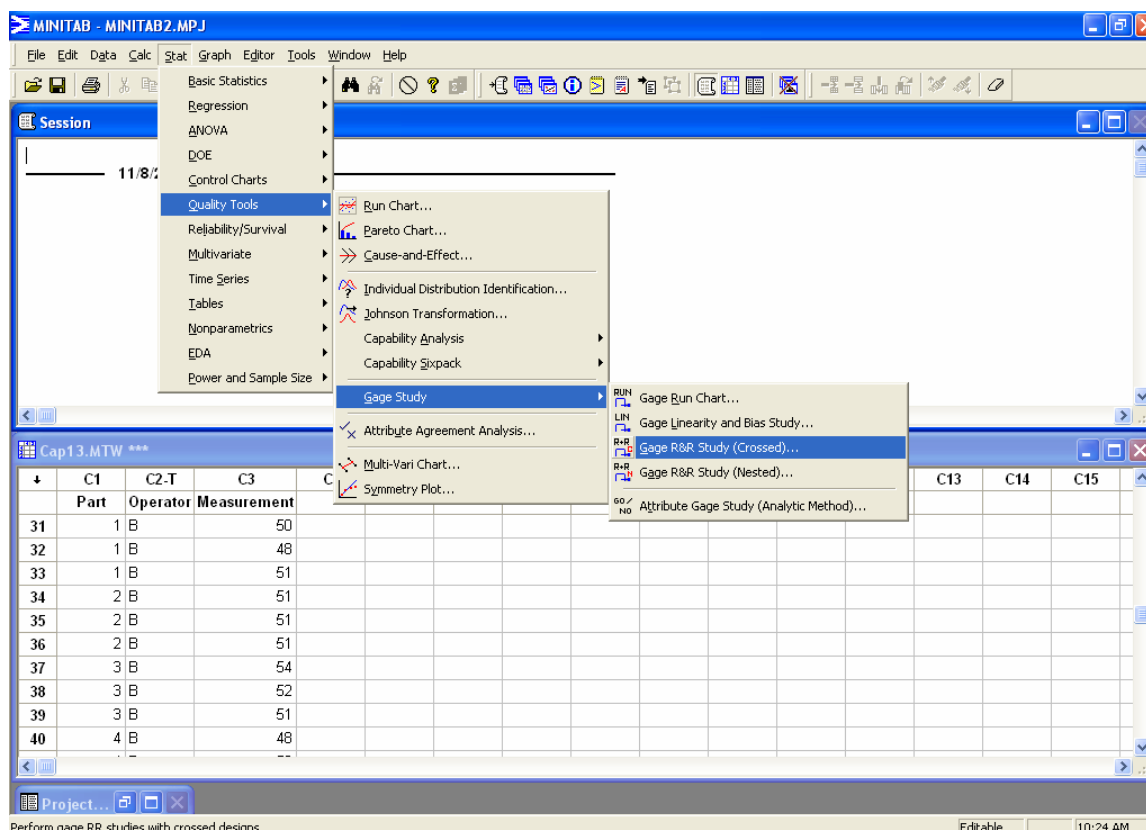
Expected Mean Squares, using Adjusted SS

Source	Expected Mean Square for Each Term
1 A	(8) + 2.0000 (7) + 6.0000 (5) + 8.0000 (4) + 24.0000 (1)
2 B	(8) + 2.0000 (7) + 4.0000 (6) + 8.0000 (4) + 16.0000 (2)
3 C	(8) + 2.0000 (7) + 4.0000 (6) + 6.0000 (5) + Q[3]
4 A*B	(8) + 2.0000 (7) + 8.0000 (4)
5 A*C	(8) + 2.0000 (7) + 6.0000 (5)
6 B*C	(8) + 2.0000 (7) + 4.0000 (6)
7 A*B*C	(8) + 2.0000 (7)
8 Error	(8)

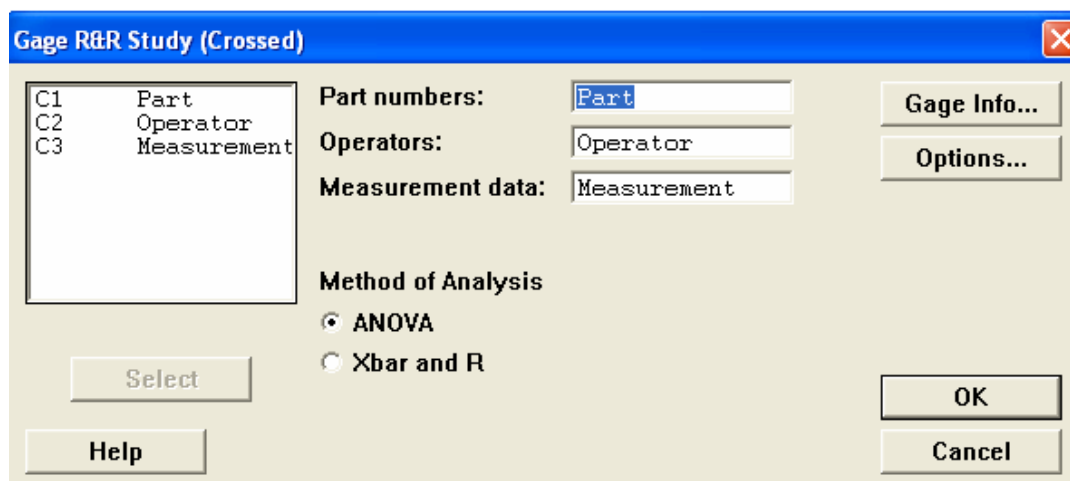
Capítulo 13: Gage R-R

En este capítulo, veremos cómo Minitab produce un ANOVA para analizar estudios de Reproducibilidad y Repetibilidad (R-R). El ejemplo que nos servirá para ilustrar esta función de Minitab consiste en lo siguiente: Se tienen dos operarios, cada operario realiza 3 mediciones a 10 piezas. Los datos para este ejemplo se encuentran en el archivo Cap13.mtw.

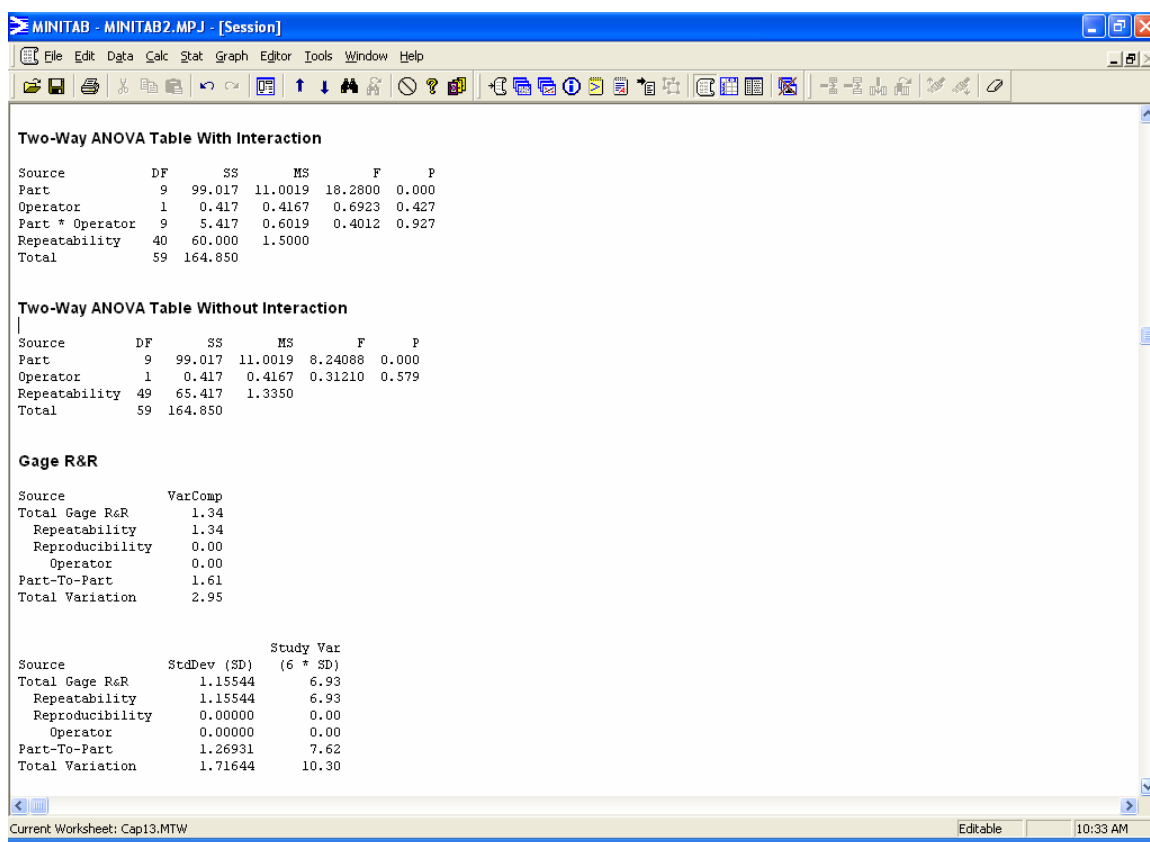
1. Abra el archivo indicado, y luego vaya al Menú Principal de **<<Minitab>>**. Dentro de esa opción elija sucesivamente las opciones **<<Quality Tools>>** luego **<<Gage Study>>** y finalmente **<<Gage R-R Study (Crossed)>>** tal como se muestra en la siguiente figura.

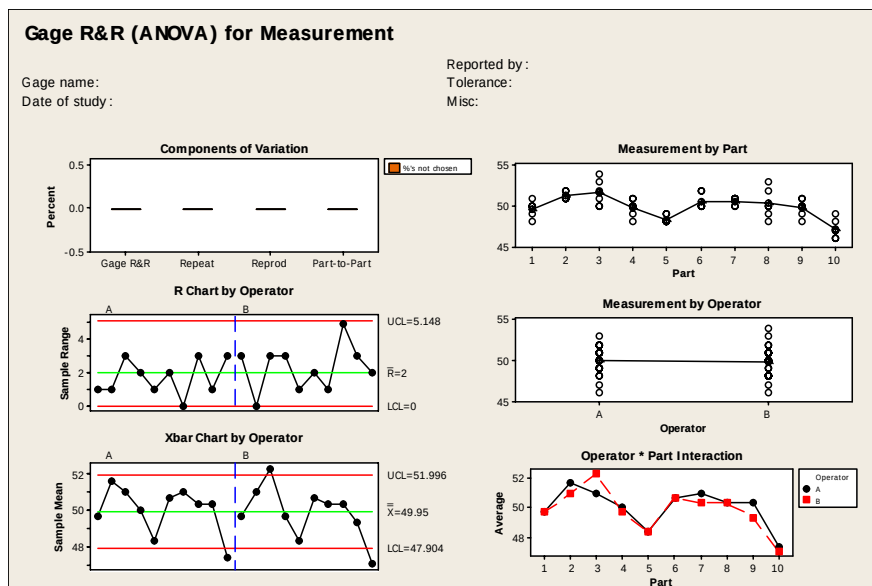


2. Le aparecerá una ventana en la que debe indicar qué columna contiene los datos de las partes, qué columna la de los operadores y qué columna la de las medidas. Luego tiene dos opciones: ANOVA y Xbar and R. Utilice la de ANOVA.

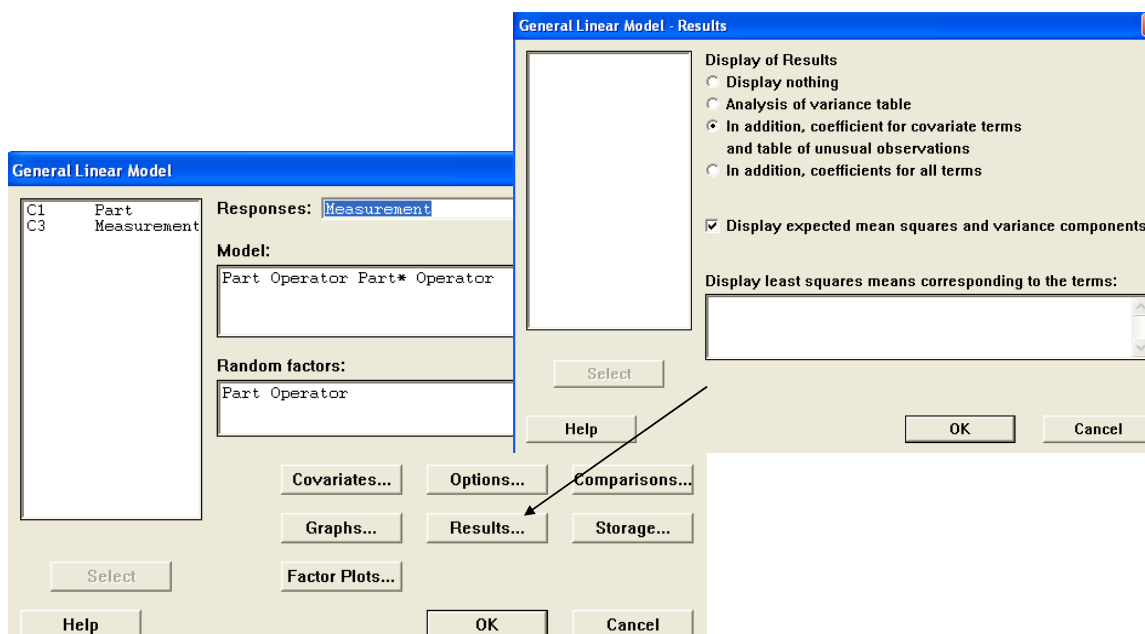


- De <<OK>> y obtendrá los resultados en la ventana de Session. También le parecerá unos gráficos que le servirán para complementar su análisis.





- Otra forma de obtener el mismo análisis de manera indirecta es utilizando la opción **<<General Linear Model>>**.
- En la ventana **<<General Linear Model>>** indique la variable respuesta y las variables que componen el modelo tal como está en la figura. Luego, presione el botón **<<Results>>** y elija opción de **<<Expected Mean Squares>>**.

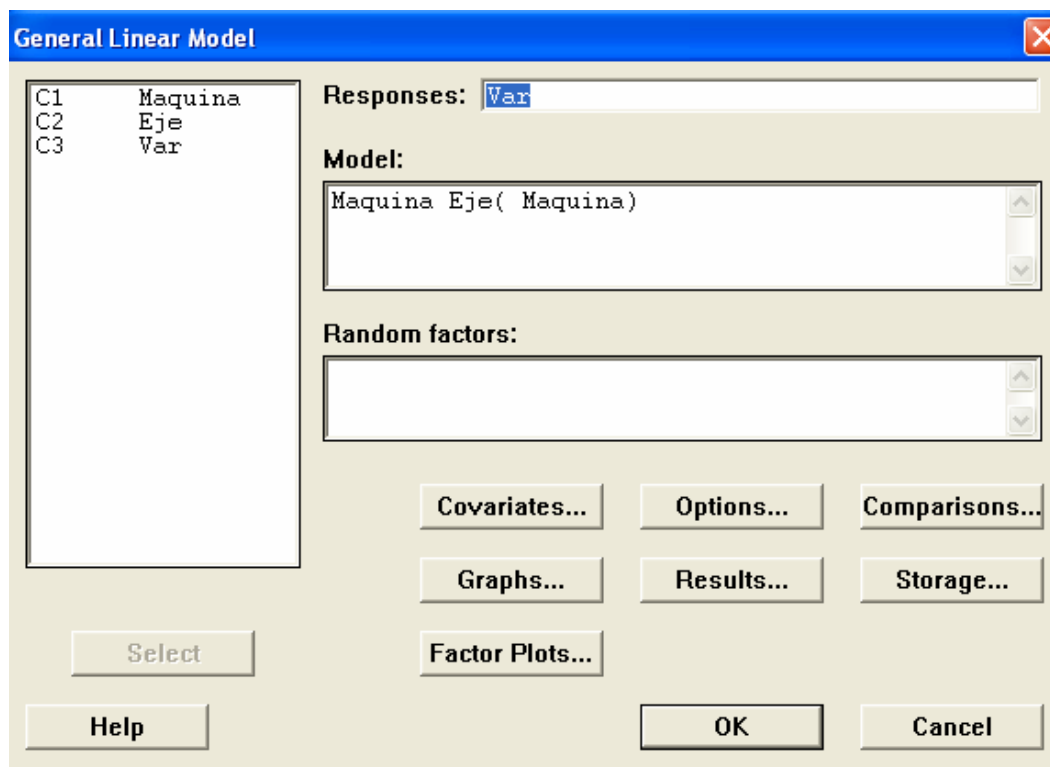


- Los resultados le aparecerán en la ventana de Session.

Capítulo 14: Experimentos Nested

En algunos casos se tienen experimentos “nested” es decir que hay factores que pertenecen a otro factor. Por ejemplo suponga que se tienen 3 máquinas y cada una de ellas tiene 2 ejes. Es evidente que cada uno de esos dos ejes pertenecen sólo a una máquina. En este capítulo, analizaremos ese experimento nested. Los datos se encuentran en la hoja de trabajo Cap.14.mtw. Suponga además que cada se toman 4 observaciones (digamos de la velocidad) por cada eje de cada máquina.

1. Como primer paso, deberá ir a al Menú Principal de **<<Minitab>>**. Dentro de esa opción elija sucesivamente las opciones **<<ANOVA>>** luego **<<General Linear Model>>**.
2. Dentro de la venta de **<<General Linear Model>>** usted deberá ingresar los datos tal como se muestra en la figura siguiente. Observe que luego de poner la variable EJES, se pone entre paréntesis la variable MAQUINA, esto le indicará a Minitab que EJES está “nested” en las MAQUINAS.



3. De **<<OK>>** y los resultados aparecerán en la ventana de Session.

Diseño y Análisis de Experimentos en Minitab

Results for: Cap14.MTW

General Linear Model: Var versus Maquina, Eje

Factor	Type	Levels	Values
Maquina	fixed	3	1, 2, 3
Eje(Maquina)	fixed	6	1, 2, 1, 2, 1, 2

Analysis of Variance for Var, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maquina	2	55.750	55.750	27.875	18.93	0.000
Eje(Maquina)	3	43.750	43.750	14.583	9.91	0.000
Error	18	26.500	26.500	1.472		
Total	23	126.000				

S = 1.21335 R-Sq = 78.97% R-Sq(adj) = 73.13%

Unusual Observations for Var

Obs	Var	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
17	19.0000	16.7500	0.6067	2.2500	2.14 R

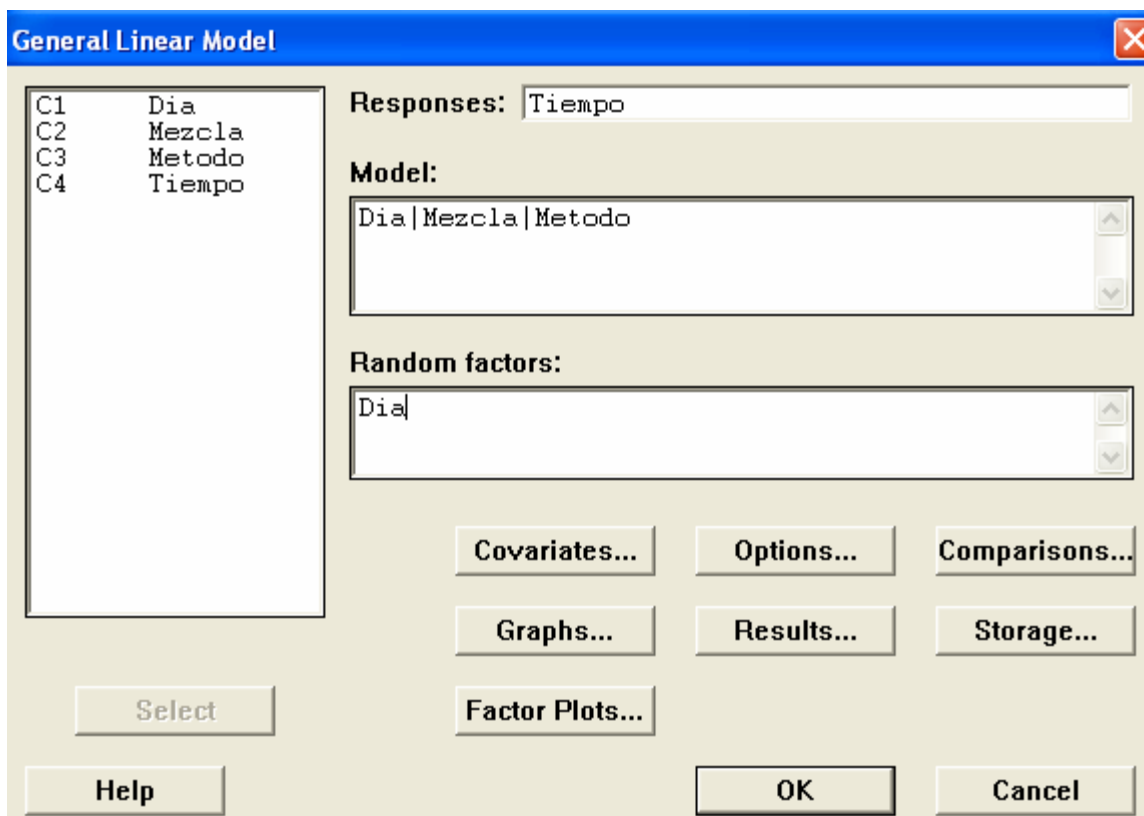
R denotes an observation with a large standardized residual.

Activate this window Editable 11:05 AM

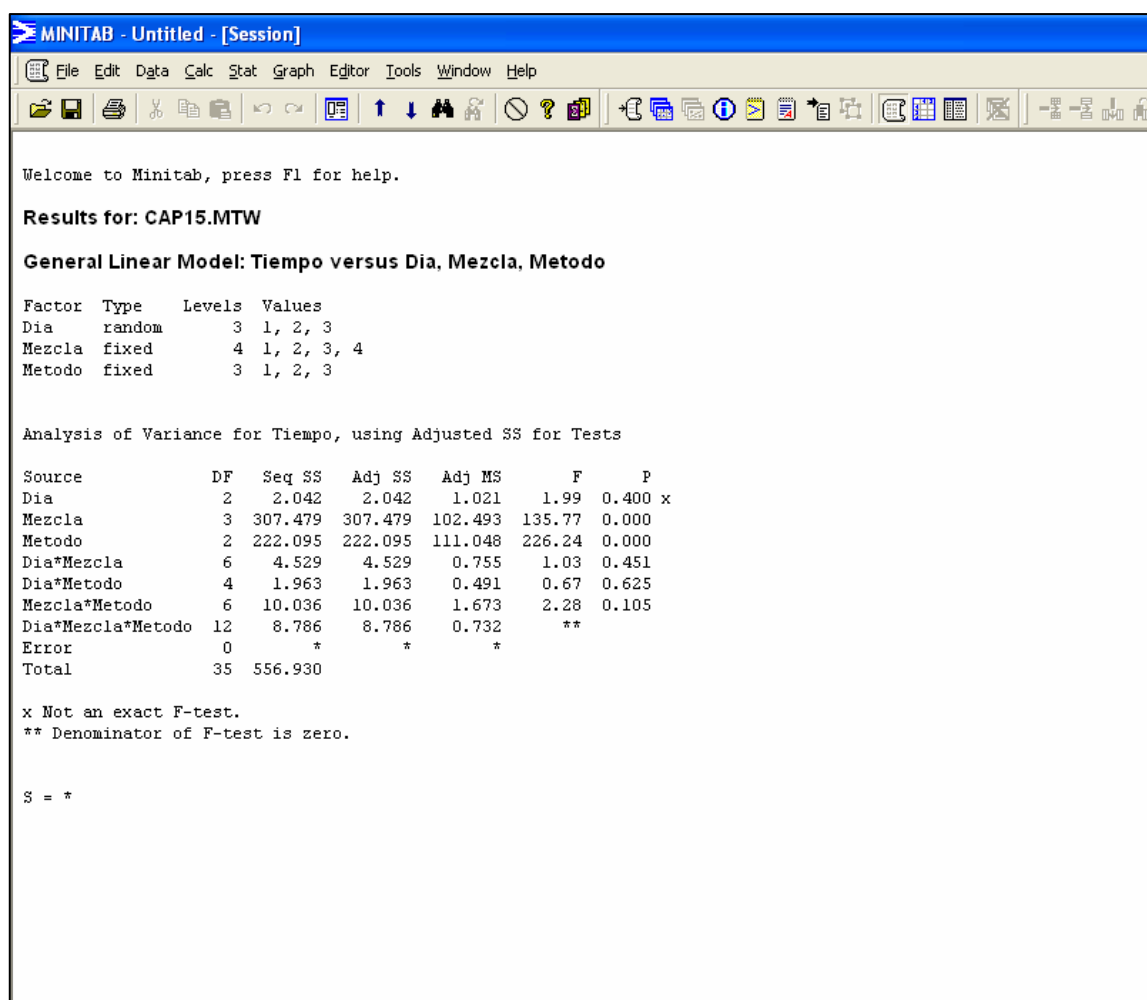
Capítulo 15: Experimentos Split Plot

Para ilustrar un experimento Split Plot, tomemos el siguiente ejemplo: Suponga que quiere probar 4 tipos de mezcla de pintura y le interesa saber además cómo responde (la variable respuesta en este caso es el tiempo de secado) la mezcla a 3 métodos de pintado. Suponga que sólo tiene 3 días para hacer la prueba. Este ejemplo es un tipo de experimento Split Plot. Ahora ilustraremos la forma de analizarlos a usando Minitab. Los datos del ejemplo se encuentran en el archivo Cap15.mtw.

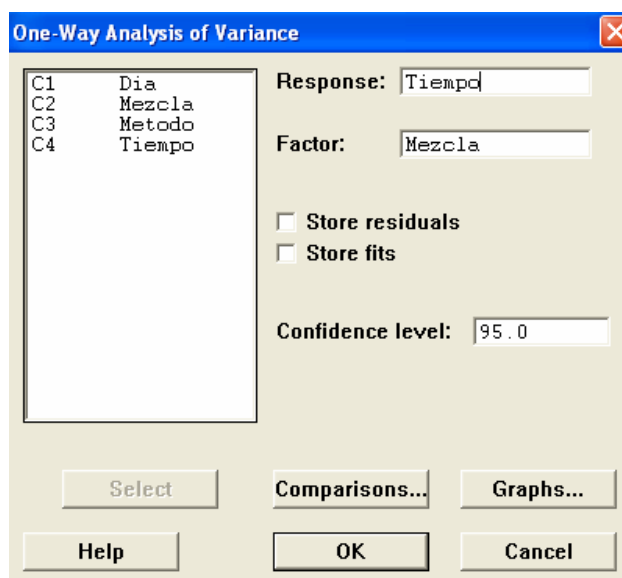
1. Luego de abrir el archivo indicado, vaya al Menú Principal de Minitab y elija la opción **<<STAT>>** luego **<<ANOVA>>** y finalmente **<<General Linear Model>>**.
2. Una vez que la ventana **<<General Linear Model>>** se abra, usted deberá ingresar la variable respuesta (Tiempo) en la celda **<<Responses>>** y en la celda **<<Model>>** deberá ingresar las variables: Día, Mezcla y Método, separadas por el símbolo | para que incluya la interacción. Finalmente en la celda **<<Random factors>>** ingrese la variable bloqueada: Día.



- Al presionar <<OK>> los resultados le aparecerán en la venta de **Session**. Observe que no podrá estimar el error y que le aparece una X junto a la variable que fue bloqueada.



- Con esto se termina la primera parte del análisis. Lo que resta es simplemente hacer un ANOVA para los factores relevantes. Por ejemplo: Haremos el ANOVA para la Mezcla, para ello elija la opción <<STAT>> luego <<ANOVA>> y finalmente <<One Way ANOVA>>.
- En la ventana <<One Way Analysis of Variante>> ingrese la variable respuesta (Tiempo) y el factor (Mezcla).



6. Al presionar el botón <<OK>> los resultados aparecerán en la ventana **Session**.

