

EAN

Escuela de
Administración de
Negocios



MEJORAR

Diseño de Experimentos



Hacemos todo el tiempo experimentos

Cambiamos materiales, modificamos métodos de trabajo, tratamos de mejorar los alistos, etc.

El problema es que lo hacemos de una forma empírica, a prueba y error, y a pesar de ello logramos obtener mejoras.

Esto demuestra el gran poder de la experimentación.

The R&D manager survival toolbox



2012

© Carles Malet

Mejorar los Procesos

OBSERVACIÓN

Monitorear los procesos con herramientas estadísticas, hasta lograr obtener señales útiles que nos permitan hacer las mejoras.

Es un proceso pasivo donde se observa con cuidado y detenimiento a la espera de descubrir una mejora.

EXPERIMENTACIÓN

Es un proceso pro activo ya que hacemos cambios estratégicos y deliberados al proceso para provocar la ocurrencias de esas señales útiles que necesitamos para proponer las mejoras.

Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos (DOE) es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso por medio de pruebas planeadas adecuadamente.



Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos (DOE) es un conjunto de técnicas activas, en el sentido de que no esperan que el proceso mande las señales útiles, sino que éste se “manipula” para que proporcione la información que se requiere para su mejoría.



Diseño de Experimentos

El saber diseño de experimentos y otras técnicas estadísticas, en combinación con conocimientos del proceso, sitúan al responsable del mismo como un observador perceptivo y proactivo que es capaz de proponer mejoras y de observar algo interesante (oportunidades de mejora) en el proceso y en los datos donde otra persona no ve nada.



Experimento

Es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio de una o varias propiedades del producto o resultado

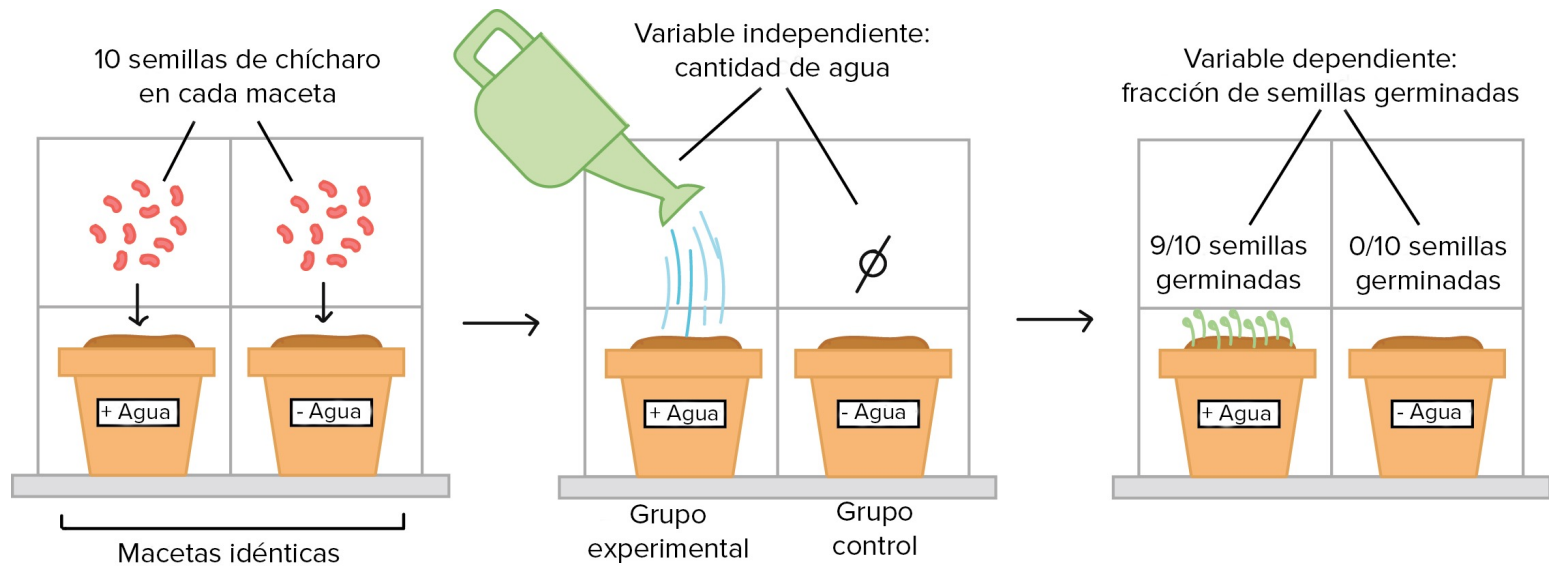


Unidad Experimental

Pieza(s) o muestra(s) que se utiliza para generar un valor que sea representativo del resultado de la prueba.

Es el objeto o espacio al cual se aplica el tratamiento y donde se mide y analiza la variable que se investiga





1. VARIABLES
2. FACTORES
3. NIVELES

Variable de Respuesta

A través de esta(s) variable(s) se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental.

El objetivo de muchos estudios experimentales es encontrar la forma de mejorar la(s) variable(s) de respuesta. Por lo general, estas variables se denotan con la letra y .

Factores Controlables

Son variables de proceso y/o características de los materiales y los métodos experimentales que se pueden fijar en un nivel dado.

Se distinguen porque, para cada uno de ellos, existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación. Esto último es lo que hace posible que se pueda experimentar con ellos.

Factores No Controlables

Son variables que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso.

Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable cuando se cuenta con el mecanismo o la tecnología para ello.

Factores Estudiados

Son las variables que se investigan en el experimento para observar cómo afectan o influyen en la variable de respuesta.

En principio, cualquier factor, sea controlable o no, puede tener alguna influencia en la variable de respuesta que se refleja en su media o en su variabilidad.

Niveles y Tratamientos

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

Ejemplo

Si en un experimento se estudia la influencia de la velocidad y la temperatura, y se decide probar cada una en dos niveles, entonces cada combinación de niveles (velocidad, temperatura) es un tratamiento.

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

Error Aleatorio

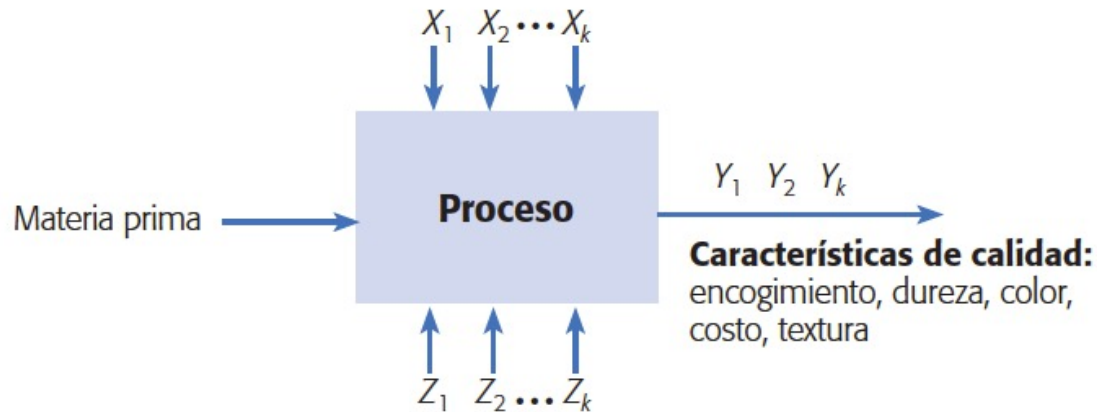
Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental.

Error Experimental

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

Factores de diseño (fáciles de controlar):

Tiempo de ciclo, presión del molde, velocidad de tornillo, temperatura, tiempo de curado, contenido de humedad



Factores de ruido (difíciles de controlar):

- Parámetros de calidad del proveedor
- Química del plástico
- Otras variables del proceso
- Variables ambientales

Cuando se corre un diseño experimental es importante que la variabilidad observada de la respuesta se deba principalmente a los factores estudiados y en menor medida al error aleatorio, y además que este error sea efectivamente aleatorio.

Matriz de Diseño

Es el arreglo formado por los tratamientos que serán corridos, incluyendo las repeticiones.

Tabla 2. Matriz de diseño de experimentos $L_{18}(2 \times 3^7)$

N° de corrida	Nivel del factor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5	120	131	90	6	23	20	14
2	5	120	69	60	44	11	28	8
3	5	120	24	44	29	35	36	12
4	5	150	131	90	44	11	36	12
5	5	150	69	60	29	35	20	14
6	5	150	24	44	6	23	28	8
7	5	180	131	60	6	35	28	12
8	5	180	69	44	44	23	36	14
9	5	180	24	90	29	11	20	8
10	8	120	131	44	29	11	28	14
11	8	120	69	90	6	35	36	8
12	8	120	24	60	44	23	20	12
13	8	150	131	60	29	23	36	8
14	8	150	69	44	6	11	20	12
15	8	150	24	90	44	35	28	14
16	8	180	131	44	44	35	20	8
17	8	180	69	90	29	23	28	12
18	8	180	24	60	6	11	36	14

Planeación

Son actividades encaminadas a entender, delimitar el problema u objeto de estudio y seleccionar variables de respuesta y factores. Concluye con la especificación de los tratamientos a realizar y con la organización del trabajo experimental.



Principios Básicos

1. Aleatorización
2. Repetición
3. Bloqueo

Aleatorización

Consiste en hacer corridas experimentales en orden aleatorio (al azar); este principio aumenta la posibilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla.

Repetición

Es correr más de una vez un tratamiento o una combinación de factores.

Es preciso no confundir este principio con medir varias veces el mismo resultado experimental.

Repetir es volver a realizar un tratamiento, pero no inmediatamente después de haber corrido el mismo tratamiento, sino cuando corresponda de acuerdo con la aleatorización.

Bloqueo

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

Por ejemplo, si se quieren comparar cuatro máquinas, es importante tomar en cuenta al operador de las máquinas, en especial si se cree que la habilidad y los conocimientos del operador pueden influir en el resultado.

1. Diseños para comparar dos o más tratamientos
 - Diseño completamente al azar
 - Diseño de bloques completos al azar
 - Diseño de cuadros latino y grecolatino

2. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre una o más variables de respuesta
 - Diseños factoriales 2^k
 - Diseños factoriales 3^k
 - Diseños factoriales fraccionados 2^{k-p}

3. Diseños para la optimización de procesos
 - Diseños para el modelo de primer orden
 - Diseños factoriales 2^k y 2^{k-p}
 - Diseño de Plakett-Burman
 - Diseño simplex
 - Diseños para el modelo de segundo orden
 - Diseño de composición central
 - Diseño de Box-Behnken
 - Diseños factoriales 3^k y 3^{k-p}

4. Diseños robustos
 - Arreglos ortogonales (diseños factoriales)
 - Diseño con arreglos interno y externo

5. Diseños de mezclas
 - Diseño simplex-reticular
 - Diseño simplex con centroide
 - Diseño con restricciones
 - Diseño axial



Experimentos con un solo factor

Análisis de Varianza

El Nivel de Confianza

Si se desea comparar tres o más máquinas, varios proveedores, cuatro procesos, tres materiales o cinco dosis de un fármaco es el momento de aplicar ANOVA.

¿Qué efecto tendría sobre el nivel de confianza si aplicáramos pruebas t de student a todos los posibles pares de medias?

Diseño Completamente al Azar y ANOVA

Muchas comparaciones, como las antes mencionadas, se hacen con base en el diseño completamente al azar, que es el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos, dado que sólo consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio

Tratamientos				
T_1	T_2	T_3	...	T_k
Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	...	Y_{k1}
Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	...	Y_{k2}
Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	...	Y_{k3}
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
Y_{1n_1}	Y_{2n_2}	Y_{3n_3}	...	Y_{kn_k}

El elemento Y_{ij} en esta tabla es la j -ésima observación que se hizo en el tratamiento i ; n_i es el tamaño de la muestra o las repeticiones observadas en el tratamiento i . Es recomendable utilizar el mismo número de repeticiones en cada tratamiento.

Se recomiendan entre 5 y 30 mediciones por tratamiento, dependiendo de la variabilidad observada.

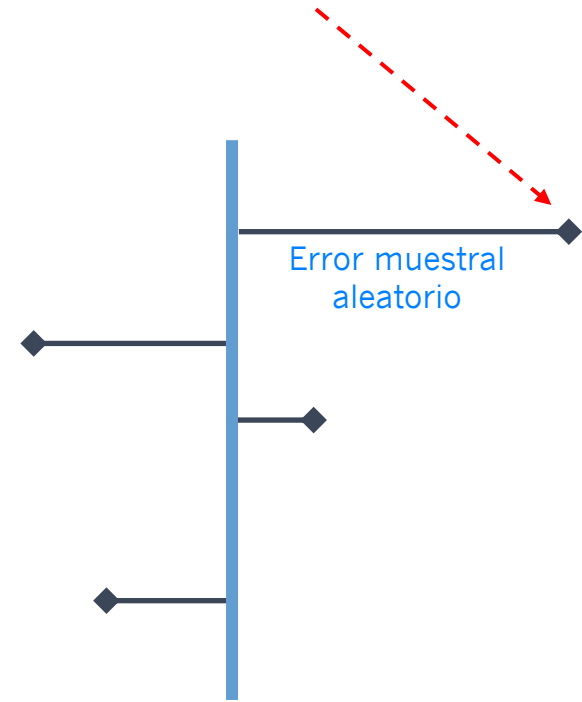
Modelo Estadístico Lineal

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ es el parámetro de escala común a todos los tratamientos llamado media global, τ_i ; es un parámetro que mide el efecto del tratamiento i y ε_{ij} es el error atribuible a la medición Y_{ij} .

Modelo de Efectos Fijos

Resultados del estudio



CASO EN QUE TODOS LOS TRATAMIENTOS QUE SE TIENEN SE PRUEBAN, ES DECIR, SE SUPONE UNA POBLACIÓN PEQUEÑA DE TRATAMIENTOS, LO CUAL HACE POSIBLE COMPARARLOS A TODOS.

Análisis de Varianza (ANOVA)

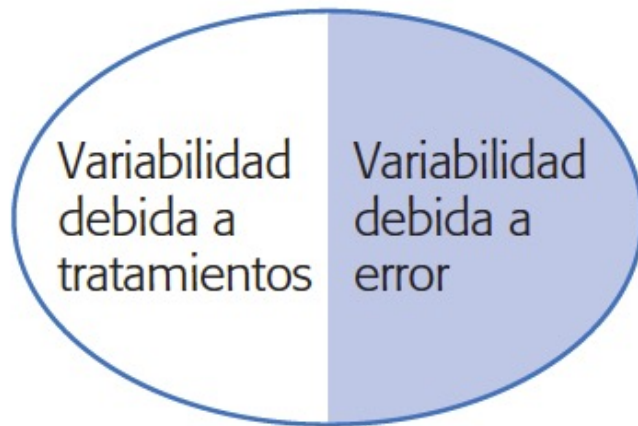
Consiste en separar la variación total observada en cada una de las fuentes que contribuye a la misma.

En el caso de diseños completamente al azar se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina claramente sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto, es decir, podemos concluir que las medias son diferentes.

$$H_o: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

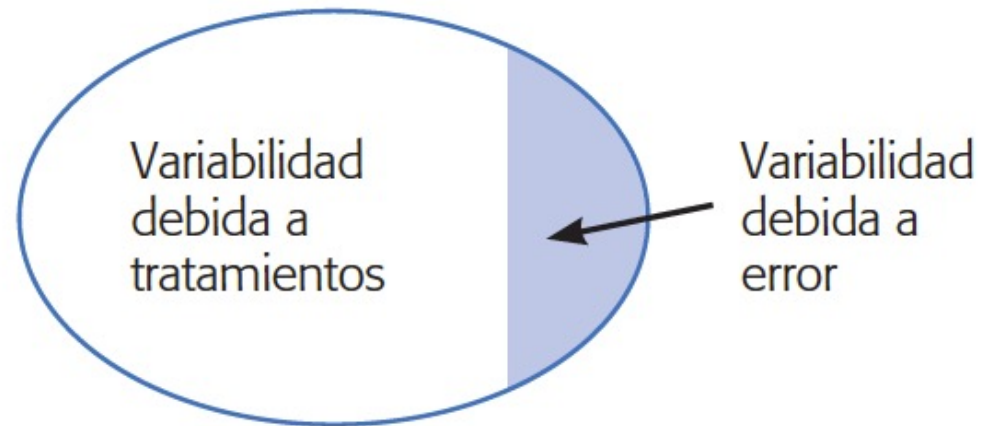
$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

a)
Variabilidad total



No hay efecto de tratamiento

b)
Variabilidad total



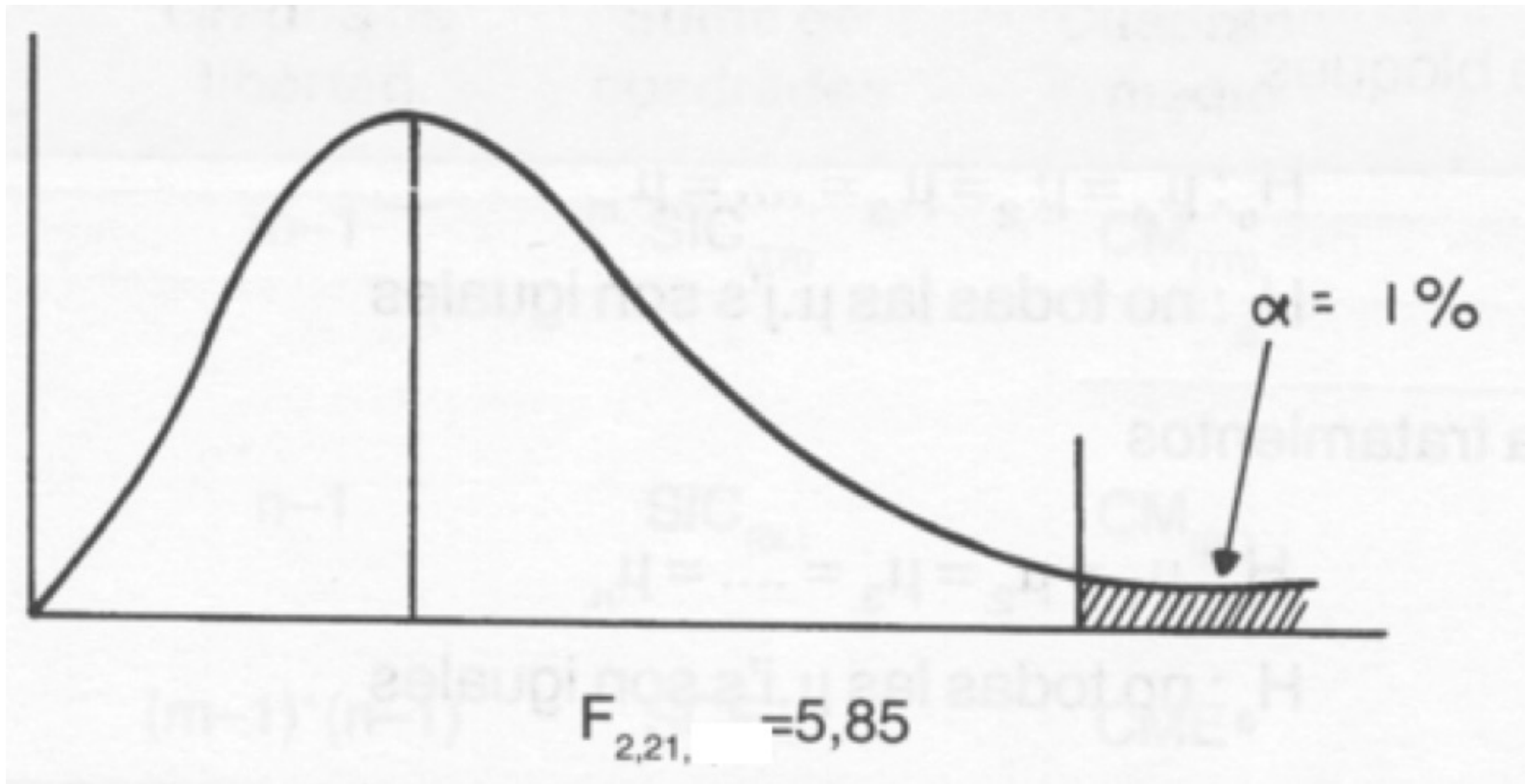
Sí hay efecto de tratamiento

Procedimiento

- Consiste en comparar las dos estimaciones de σ , una basada en la varianza entre medias muestrales y otra basada en la varianza dentro de las muestras.
- La conclusión se obtiene una vez que se compare el valor de F calculado como el cociente de ambas varianzas con el F teórico.



Se Rechaza la H_0 cuando:
 $F_c > F_t$



ANOVA

Fuente de Variación	Suma de los Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F
Tratamientos	SST	$k - 1$	MST	$\frac{MST}{MSE}$
Error	SSE	$n - k$	MSE	MSE
Total	SC total	$n - 1$		

- Los grados de libertad en el numerador equivalen al número de tratamientos menos 1
- Los grados de libertad en el denominador son el número total de observaciones menos el número de tratamientos
- $MST = SST / (K - 1)$ Y $MSE = SSE / (n - k)$

- ┌ En donde:
- ┌ **T_c** es el total de la columna para cada tratamiento
- ┌ **n_c** es el número de observaciones (tamaño de la muestra) para cada tratamiento
- ┌ **n** es el número total de observaciones

$$SSTotal = \sum(X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$SST = \sum\left(\frac{T_c^2}{n_c}\right) - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$SSE = SSTotal - SST$$

Ejercicio

Para comparar la efectividad de tres tipos diferentes de pintura fosforescente usados para pintar cuadrantes de indicadores de instrumentación náutica, se pintan ocho cuadrantes con cada una de las pinturas. Luego se iluminan los cuadrantes con luz ultravioleta y se mide el tiempo en segundos que los números del cuadrante quedan iluminados después de apagar la luz. La información generada se presenta en el siguiente cuadro.

¿Se puede afirmar con un α de 1% que las diferencias observadas entre las medias de los tipos de pintura son significativas o se deben simplemente al azar?

	Tipo de Pintura			
Cuadrante	1	2	3	
1	46.3	38.7	62.3	
2	48.2	53.6	64.7	
3	42	49.3	56.2	
4	41.8	47.3	60.2	
5	48.9	51.4	53.6	
6	51	53.9	55.5	
7	49.7	43.6	61.8	
8	50.1	48.8	54.5	
Total	378	387	469	1233
Promedio	47.3	48.3	58.6	51.4

$$SSTotal = \sum(x^2) - \frac{\sum(x)^2}{n}$$

$$SSTotal = 64,411.04 - \frac{(1,233.40)^2}{24}$$

$$SSTotal = 1,024.55$$

$$SST = \sum \left(\frac{T_c^2}{n_c} \right) - \frac{\Sigma(x)^2}{n}$$

$$SST = \left(\frac{378^2}{8} + \frac{387^2}{8} + \frac{469^2}{8} \right) - \frac{(1,233.40)^2}{24}$$

$$SST = 628.14$$

$$SSE = SST_{\text{Total}} - SST$$

$$SSE = 1,024.55 - 628.14 = 396.41$$

Fuente de Variación	Suma de los Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	Fc
Tratamientos	628.14	2	314.07	16.64
Error	396.41	21	18.88	
Total	1024.55	23		

Tabla A. 6 (Continuación) Valores críticos de la distribución F
 $F_{0,01}(v_1, v_2)$

V ₂	V ₁								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56
x	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41

Fuente de Variación	Suma de los Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	Fc
Tratamientos	628.14	2	314.07	16.64
Error	396.41	21	18.88	
Total	1024.55	23		

$$F_c \quad F_t$$

$$16.64 \quad > \quad 5,78$$

Se rechaza la hipótesis nula, no existe suficiente evidencia estadística para aceptar la Ho de igualdad de medias con un α de 0,01. Por lo tanto, la efectividad de cada tipo de pintura es diferente.

Comparaciones o pruebas de Rango Múltiples

Después de que se rechazó la hipótesis nula en un análisis de varianza, es necesario ir al detalle y ver cuáles tratamientos son diferentes.

Cuando no se rechaza la hipótesis nula el objetivo del análisis está cubierto y la conclusión es que los tratamientos son iguales.

Método de Tukey

Consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico dado por:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha} (k, n-k) \sqrt{CME/n_c}$$

En donde CME es el cuadrado medio del error, n_c es el número de observaciones por tratamiento, k es el número de tratamientos, $n-k$ es el número de grados de libertad para el error, α es el nivel de significancia prefijado y el estadístico $q_{\alpha} (k,n-k)$ son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado.

Tabla A10. Puntos Porcentuales del Estadístico Rango Estudentizado (5%) para la Prueba de Tukey

f	p															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	18.10	26.70	32.8	37.20	40.50	43.10	45.40	47.30	49.10	50.60	51.90	53.20	54.30	55.40	56.30	
2	6.09	8.28	9.80	10.89	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.39	14.75	15.08	15.38	15.65	15.90	
3	4.50	5.88	6.83	7.51	8.04	8.47	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.16	10.35	10.52	10.60	
4	3.93	5.00	5.76	6.31	6.73	7.06	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.67	8.80	
5	3.61	4.54	5.18	5.64	5.99	6.28	6.52	6.74	6.93	7.10	7.25	7.39	7.52	7.64	7.75	
6	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.04	7.14	7.24	
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.35	5.59	5.80	5.99	6.15	6.29	6.42	6.54	6.65	6.75	6.84	
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	
9	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	
10	3.15	3.88	4.33	4.66	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.12	6.20	
11	3.11	3.82	4.26	4.58	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98	6.06	
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88	5.95	
13	3.06	3.73	4.15	4.46	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.56	5.64	5.72	5.79	
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65	5.72	
16	3.00	3.65	4.05	4.34	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	
17	2.98	3.62	4.02	4.31	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.55	5.61	
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.83	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	
19	2.96	3.59	3.98	4.26	4.47	4.64	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.32	5.39	5.46	5.53	
20	2.95	3.58	3.96	4.24	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.50	
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	
30	2.89	3.48	3.84	4.11	4.30	4.46	4.60	4.72	4.83	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82	4.90	4.98	5.05	5.11	5.17	
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	
120	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56	4.64	4.71	4.78	4.84	4.90	4.95	
∞	2.77	3.32	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55	4.62	4.68	4.74	4.80	4.84	

Método de Tukey

$$T_{\alpha} = q_{\alpha} (k, n-k) \sqrt{CM_E/n_c}$$

$$T_{\alpha} = 3.58 \times \sqrt{18.88/8}$$

$$T_{\alpha} = ?$$

Método de Tukey

$$T_{\alpha} = q_{\alpha} (k, n-k) \sqrt{CM_E/n_c}$$

$$T_{\alpha} = 3.58 \times \sqrt{18.88/8}$$

$$T_{\alpha} = 5.50$$

	Tipo de Pintura		
Cuadrante	1	2	3
1	46.30	38.70	62.30
2	48.20	53.60	64.70
3	42.00	49.30	56.20
4	41.80	47.30	60.20
5	48.90	51.40	53.60
6	51.00	53.90	55.50
7	49.70	43.60	61.80
8	50.10	48.80	54.50
Total por tratamiento	378.00	386.60	468.80
n	8	8	8
Media muestral por tratamiento	47.25	48.33	58.60
Desviación respecto a la media global	-4.14	-3.07	7.21

Media global

51.39

Método de Tukey

Método de Tukey				
Diferencia poblacional	Diferencia muestral en valor absoluto		T_{0.05}	Decisión
$\mu_1 - \mu_2$	1.08	\leq	5.50	No significativa
$\mu_1 - \mu_3$	11.35	\geq	5.50	Significativa
$\mu_2 - \mu_3$	10.28	\geq	5.50	Significativa



Solución con Excel

Libro1 - Excel

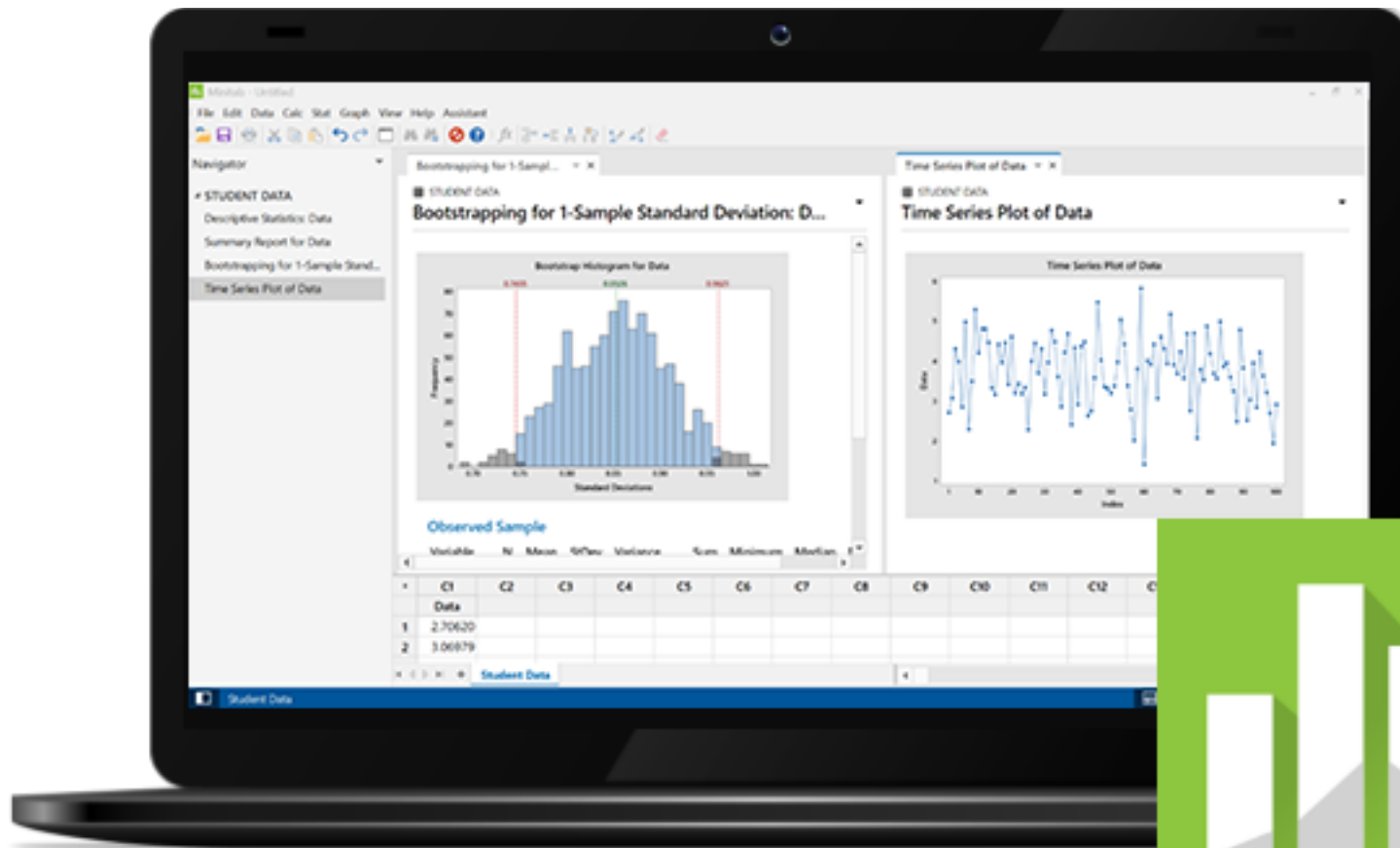
Inicio | Insertar | Disposición de página | Fórmulas | Datos | Revisar | Vista | Programador | Ayuda | ¿Qué desea hacer?

Calibri | 11 | Fuente | Alineación | Número | Estilos | Celdas | Edición

Formato condicional | Dar formato como tabla | Normal | Bueno | Incorrecto | Neutral | Cálculo | Celda de co... | Celda vincul... | Entrada

Insertar | Eliminar | Formato | Autosuma | Rellenar | Borrar | Ordenar y filtrar | Buscar y seleccionar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2		Muestra	Marca 1	Marca 2	Marca 3																		
3		1	3.86	5.64	4.50																		
4		2	3.82	5.30	7.37																		
5		3	3.79	4.99	7.46																		
6		4	3.74	4.71	4.89																		
7		5	3.68	4.27	5.20																		
8		6	3.59	3.95	5.12																		
9		7	3.50	3.82	5.16																		
10		8	3.35	3.69	4.50																		
11		9	3.19	3.53	4.48																		
12		10	3.02	3.38	4.00																		
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							
36																							
37																							
38																							



Solución con Minitab

Copiamos a Minitab

The screenshot displays the Minitab software interface. At the top, the title bar reads "Minitab - Sin título". Below it is a menu bar with options: Archivo, Editor, Datos, Calc, Estadísticas, Gráfica, Editor, Herramientas, Ventana, Ayuda, Asistente. A toolbar with various icons is positioned below the menu bar. The main workspace is divided into two panes. The top pane, titled "Sesión", shows a timestamp "27/10/2019 18:52:18" and a welcome message: "Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda." The bottom pane, titled "Hoja de trabajo 1 ***", contains a data table with 28 columns (C1 to C28) and 16 rows. The first three columns are labeled "Marca 1", "Marca 2", and "Marca 3". The data values are as follows:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28
	Marca 1	Marca 2	Marca 3																									
1	3.86	5.64	4.50																									
2	3.82	5.30	7.37																									
3	3.79	4.99	7.46																									
4	3.74	4.71	4.89																									
5	3.68	4.27	5.20																									
6	3.59	3.95	5.12																									
7	3.50	3.82	5.16																									
8	3.35	3.69	4.50																									
9	3.19	3.53	4.48																									
10	3.02	3.38	4.00																									
11																												
12																												
13																												
14																												
15																												
16																												

Diagrama de Cajas Simultáneos

En general, cuando los diagramas no se traslapan es probable que los tratamientos correspondientes sean diferentes entre sí, y la probabilidad es mayor en la medida que los diagramas están basados en más datos. Cuando se traslapan un poco puede ser que haya o no diferencias significativas, y en cualquier caso es conveniente utilizar una prueba estadística para determinar cuáles diferencias son significativas.

Gráfico de Medias

Cuando se rechaza H_0 mediante el ANOVA, y se concluye que no hay igualdad entre las medias poblacionales de los tratamientos, pero no se tiene información específica sobre cuáles tratamientos son diferentes entre sí, el gráfico de medias (means plot) permite hacer una comparación visual y estadística de las medias de los tratamientos (métodos de ensamble).

Normalidad

Un procedimiento gráfico para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos consiste en graficar los residuos en papel o en la gráfica de probabilidad normal que se incluye casi en todos los paquetes estadísticos. Esta gráfica del tipo X-Y tiene las escalas de tal manera que si los residuos siguen una distribución normal, al graficarlos tienden a quedar alineados en una línea recta; por lo tanto, si claramente no se alinean se concluye que el supuesto de normalidad no es correcto.