

# DISEÑO DE EXPERIMENTOS

## 1.- INTRODUCCIÓN

Este documento trata de dar una visión muy simplificada de la utilidad y la utilización del Diseño de Experimentos. En él se explican los conceptos clave de esta herramienta como aleatorización, ruido o error experimental, análisis de varianza, etc., y se detalla el proceso de diseño, realización y análisis de Experimentos que contemplan una única variable independiente.

## 2.- OBJETIVO Y ALCANCE

Definir las reglas básicas a seguir para el diseño, la realización y análisis de Experimentos, resaltando las situaciones en que puede o debe ser utilizado.

Es de aplicación a todos aquellos estudios y situaciones en las que se necesita ensayar hipótesis sobre una posible relación causa-efecto.

Su utilización será beneficiosa para el desarrollo y seguimiento de los proyectos abordados por los Equipos de Mejora y por todos aquellos individuos u organismos que estén implicados en proyectos de mejora de la calidad en las que concurren estas circunstancias.

Además, se recomienda su uso como herramienta de trabajo dentro de las actividades habituales de gestión.

## 3.- RESPONSABILIDADES

*a) Grupo de trabajo o persona responsable del estudio:*

- Seguir las reglas que se señalan en el procedimiento para su diseño, realización y análisis.
- Gestionar los recursos necesarios para la realización de los Experimentos.

*b) Dirección de Calidad:*

- Asesorar, a quien así lo solicite, en las bases para el diseño, realización y análisis de Experimentos.

## 4.- DEFINICIONES / CONCEPTOS

### 4.1.- EXPERIMENTO

#### Definición

El término "Experimento" se refiere a la creación y preparación de lotes de prueba que verifiquen la validez de las hipótesis establecidas sobre las causas de un determinado problema o defecto, objeto de estudio.

#### Concepto

En un Experimento, el experimentador escoge ciertos factores para su estudio, los altera deliberadamente de forma controlada y después, observa el efecto resultante.

El Experimento puede realizarse bien en laboratorio o bien en el exterior: En la fábrica, en unos almacenes, en los locales del usuario, etc.

### 4.2.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS

#### Definición

Metodología estadística destinada a la planificación y análisis de un Experimento.

#### Concepto

El Diseño de un Experimento debe garantizar que este cumpla ciertos requisitos mínimos:

- Debe poder comprobar las hipótesis objeto de estudio, no dejándose confundir por variables insospechadas (=ruido), como errores de medida desproporcionados, etc.
- Debe poder revelar la existencia de cualquier causa importante de variación, aunque no haya sido adelantada como hipótesis.
- Debe mantener los costes de experimentación a un nivel razonable, en comparación con el problema objeto de estudio.
- Debe tener un alto grado de seguridad en las respuestas.
- Si el Experimento se realiza en un laboratorio, éste ha de ser, respecto a las variables estudiadas, un buen indicador de las pruebas que se obtendrían en el taller o "in situ".
- Si el Experimento se realiza durante el desarrollo normal del proceso en estudio, se tendrá además cuidado de interferir lo menos posible en el trabajo normal y protegerse de las interferencias no autorizadas o involuntarias en la prueba por parte del personal adepto.

### 4.3.- VARIABLE

#### Definición

Característica de un objeto que puede ser observada y que puede tomar diferentes valores, tanto en el mismo objeto como entre diferentes objetos.

#### Concepto

En base a la posibilidad de medida se distinguen dos tipos fundamentales de variables:

##### Variables cualitativas:

Son aquellas cuyos valores, de carácter nominal, sólo pueden ser comparados como diferentes entre sí.

*Ejemplos: La variable "color" puede tomar los valores rojo, azul, amarillo, etc. La variable "empleado" puede tomar los valores Juan, José, Cristina, etc.*

##### Variables continuas:

Son aquellas cuyos valores, de carácter numérico, permiten realizar un mayor número de comparaciones. Una variable continua permite teóricamente, un infinito número de valores entre dos valores consecutivos. (En la realidad la precisión de los instrumentos de medida pone un límite operativo).

*Ejemplos: La variable "peso de la tableta de chocolate" puede tomar cualquier valor entre 95 y 110 gr. La variable "consumo de gasolina por 100 Km" puede tomar cualquier valor entre 9 y 15 litros etc.*

### 4.4.- SUJETO O UNIDAD EXPERIMENTAL

#### Definición

El sujeto o unidad experimental es la unidad básica sobre la que se efectúa el proceso de medida.

*Ejemplo: El contenido de azúcar en el zumo de naranja producido se medirá recogiendo cada hora una unidad experimental de 1 litro de zumo.*

### 4.5.- OBSERVACIÓN

#### Definición

Una observación es una toma de medida de una variable y consta entonces de un valor de la misma. Dependiendo del tipo de Diseño, las observaciones pueden tomarse a diferentes sujetos o al mismo sujeto de manera secuencial.

## 4.6.- DIFERENTES TIPOS DE VARIABLES EN EL DISEÑO DE UN EXPERIMENTO

En un Diseño de Experimento se distinguen los siguientes tipos de variables, según el contenido conceptual, o papel que tienen en el mismo.

### Variable independiente.

Es el factor (causa) que suponemos influye sobre la característica que medimos (defecto, error, etc). Para comprobar su influencia, el investigador la manipulará durante el Experimento, en el sentido que le asignará valores diferentes a cada observación.

Esta variable se llama también "tratamiento" y cada uno de los valores que se le asignarán "nivel de tratamiento".

En este Procedimiento se consideran sólo Experimentos con una única variable independiente.

Si se quiere o necesita manipular más de una variable independiente, será necesaria la colaboración de un experto en estadística, puesto que el Diseño del Experimento y la interpretación de los resultados se complican notablemente.

### Variable dependiente.

Es aquella variable que se mide en cada observación del Experimento, para establecer si la variable independiente efectivamente influye sobre sus valores.

### Variables extrañas.

Son todas aquellas que el investigador no puede manipular, pero influyen en la variable dependiente. Son la causa de que las observaciones en un mismo nivel de tratamiento no necesariamente arrojen el mismo valor de medida.

El conjunto de variables extrañas se denomina generalmente en el Diseño y Análisis de Experimentos "ruido" o "error experimental".

### Variable de bloqueo.

Es una variable que sabemos puede intervenir en los niveles de la variable dependiente y decidimos eliminar su influencia mediante el control de la misma, creando bloques de observaciones, en los que esta variable, asume respectivamente un valor constante. A cada bloque se asignarán todos los niveles de tratamiento.

Con la creación de bloques se persiguen dos objetivos:

- Aislar el efecto de los tratamientos, eliminando la influencia de la variable de bloqueo.
- Estimar los efectos de los bloques.

## 4.7.- REPETICIÓN

### Definición

Reiteración de una observación o medida al mismo nivel de tratamiento. Proporciona una oportunidad para que los efectos de las variables extrañas, incontroladas se compensen y permite, además, medir el error experimental.

## 4.8.- ALEATORIZACIÓN

### Definición

Técnica utilizada para reducir la influencia no predeterminable de variables extrañas sobre los resultados del Experimento.

### Concepto

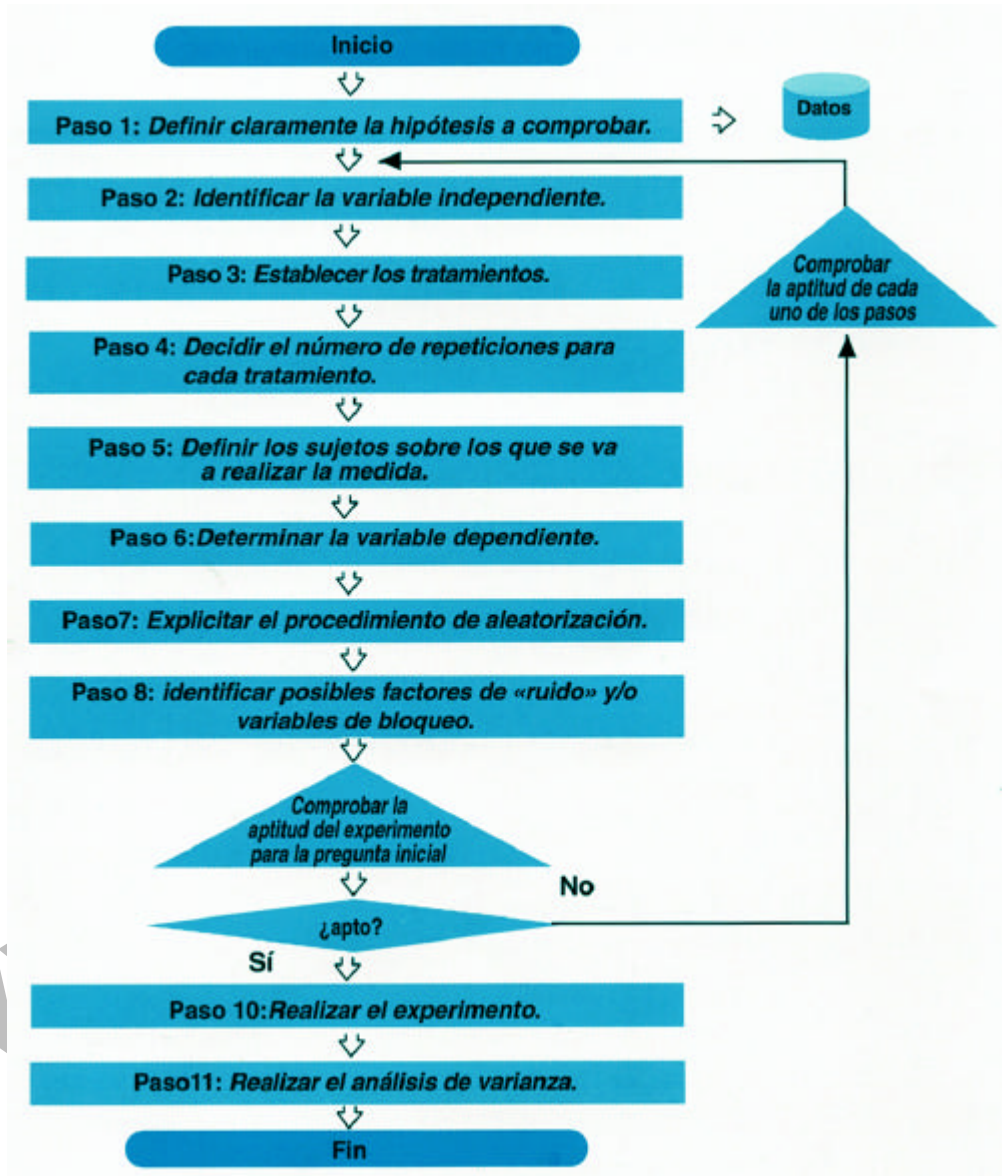
La aleatorización consiste en asignar los sujetos a los distintos niveles de tratamiento al azar, con la esperanza de que los efectos extraños se contrarresten entre los distintos sujetos y observaciones que componen cada nivel de tratamiento (condición experimental).

La aleatorización es fundamental en el Diseño de Experimentos ya que:

- a) Previene la existencia de sesgo.
- b) Evita la dependencia entre observaciones.
- c) Confirma la adecuación de los procedimientos estadísticos para el análisis de los resultados del Experimento.

## 5.- PROCESO

### 5.1.- DIAGRAMA DE FLUJO



## 5.2.- REALIZACIÓN

### 5.2.1.- Realización del Diseño propiamente dicho

#### ***Paso 1: Definir claramente la hipótesis a comprobar***

Es de importancia fundamental identificar de forma muy específica el objetivo del Experimento, es decir, la pregunta exacta que se quiere contestar o la hipótesis que se necesita contrastar.

Esta pregunta básica se formulará por escrito.

#### ***Paso 2: Identificar la variable independiente***

La variable independiente representa la característica que, suponemos, influye sobre los valores de la variable dependiente.

Puesto que, para la realización del Experimento, se le asignarán diferentes valores, hay que asegurarse que esté en nuestro poder manipularla.

#### ***Paso 3: Establecer los tratamientos***

En base a la naturaleza de la variable, las condiciones reales del proceso o situación y la pregunta específica que se quiere contestar, se identificarán los valores o el recorrido de valores de la variable independiente, relevantes para el Experimento y se establecerán los tratamientos a efectuar.

#### ***Paso 4: Decidir el número de repeticiones para cada tratamiento***

Es absolutamente aconsejable realizar varias observaciones para cada nivel de tratamiento (condición experimental), para que los errores de medida e influencias no controladas de variables extrañas puedan contrarrestarse entre sí.

*Ejemplo:*

**Deseamos hacer un estudio de transporte de mercancías.  
La idea que tenemos en la cabeza es que el tamaño de los paquetes afecta al tiempo necesario para la carga del volumen disponible en un remolque.**

**Nuestra variable independiente estará relacionada entonces con el tamaño de los paquetes a transportar.**

**Vamos a distinguir dos tipos de paquetes, los que exceden el tamaño 60 x 60 x 60 cm, a los que llamaremos grandes, y los menores de estas dimensiones, a los que vamos a llamar pequeños.**

**Hipótesis: hay diferencias entre el tiempo necesario para la carga de un remolque sólo con mercancías pequeñas, o sólo con mercancías grandes, o la mezcla de ambas.**

**Tenemos entonces tres niveles de tratamientos; grande (t1), pequeño (t2) y mixto (t3).**

**Decidimos realizar cuatro observaciones (repeticiones) para cada tratamiento.**

#### ***Paso 5: Definir los sujetos sobre los que se va a realizar la medida***



### ***Paso 6: Determinar la variable dependiente***

Sólo puede existir una única variable dependiente. Esta deberá tener, necesariamente, un nivel de medida continuo, o lo más próximo a ese extremo que sea posible.

Cuantas más posibilidades de apreciar diferencias entre distintas observaciones ofrezca la variable dependiente, más se favorecerá la sensibilidad de la misma a los distintos tratamientos.

---

*Ejemplo:*

**En nuestro ejemplo de transporte de mercancías, los sujetos de medición deberían ser diferentes remolques, pero utilizar varios remolques para cada tratamiento exigiría una facturación por encima de la normal.**

**Lo que podemos hacer es dividir un remolque en varias parcelas de igual tamaño y determinar como sujeto cada una de las parcelas.**

**Dividimos entonces un remolque en 12 cajoneras aprovechables de igual tamaño.**

**A cada condición experimental le asignaremos cuatro cajoneras.**

**La variable dependiente va a ser el tiempo necesario para completar la carga de una cajonera.**

### **Paso 7: Explicitar el procedimiento de aleatorización**

Esta es una parte muy importante del Diseño, ya que asegurará que las diferencias que se encuentren entre los tratamientos son debidas a ellos mismos y no a efectos laterales no deseados.

Un procedimiento muy fácil y común para asignar los sujetos a los diferentes tratamientos al azar es el siguiente:

Numerar los sujetos y hacer para cada sujeto un papel con el número correspondiente.

Poner todos los papeles en una bolsa y mezclarlos. Extraer, para cada tratamiento, tantos papeles "a ciegas", cuantas son las observaciones planificadas para el mismo.

*Ejemplo:*

**Volviendo a nuestro ejemplo: hemos dividido el remolque en 12 cajoneras. Se trata ahora de asignar a cada tratamiento 4 cajoneras.**

**Asignamos primero un número a cada cajonera y escribimos un papel para cada número.**

**Luego extraemos 4 números «a ciegas»: las cajoneras correspondientes se utilizarán para el tratamiento 1 (paquetes grandes).**

**Los próximos 4 papelitos que extraemos nos indicarán las cajoneras destinadas al tratamiento 2 (paquetes pequeños), y las 4 cajoneras restantes nos servirán para el tratamiento 3 (paquetes mixtos)..**

<b>TRATAMIENTOS</b>	t1	6	11	9	1
	t2	2	8	5	10
	t3	7	4	3	12

**(Los números representan la cajonera correspondiente).**

### ***Paso 8: Identificar posibles factores de "ruido" y/o variables de bloqueo***

Analizar la futura situación experimental e identificar los factores que puedan, además de la variable independiente, influir sobre los valores de la variable dependiente. Según su relevancia y las posibilidades técnicas, la decisión a adoptar respecto a los factores de ruido y/o variables de bloqueo, será la siguiente:

- O bien tenerlos bajo control (constantes), a lo largo de todas las observaciones.
- O bien integrarlos en el Diseño, como variable de bloqueo.
- O bien transformarlos en una variable independiente. Esto será necesario, aunque se complique notablemente el Diseño de Experimento desde el punto de vista estadístico, cuando su influencia sobre la variable dependiente resulte ser relevante.
- O bien se espera que la aleatorización sea suficiente para que sus efectos se contrarresten en las repeticiones de cada tratamiento. Esta posibilidad será aceptable sólo si la variable en cuestión está fuera de nuestro control y se considera que su influencia es bastante limitada. Su efecto se englobará dentro del "error experimental", o "ruido".

*Ejemplo:*

**Un posible factor de "ruido" influye en el tiempo necesario para la carga de los paquetes, mezclándose al efecto del tamaño de los paquetes, puede ser el cansancio del personal de carga.**

**Intentaremos entonces mantener esta variable lo más constante posible a lo largo del experimento, realizando siempre sólo una observación (= carga de una cajonera) por día, y siempre a primera hora.**

### ***Paso 9: Asegurarse de la aptitud del Diseño del Experimento para contestar la pregunta inicial***

Comprobar que el tipo de resultados que obtendremos del Experimento tal y como lo hemos planificado, nos proporcionará efectivamente la información que necesitamos.

El resultado de este paso será el Diseño, propiamente dicho, del Experimento.

## Paso 10: Realización del Experimento

Se crearán las condiciones experimentales (tratamientos) y se efectuarán las observaciones según el plan establecido, teniendo un cuidado particular en evitar posibles influencias extrañas sobre los valores de la variable dependiente.

Se registrarán los resultados del Experimento, anotando además toda la información posiblemente relevante sobre las circunstancias prácticas de cada observación. (Persona que realiza la medición, hora, temperatura, etc...).

*Ejemplo: Resultados de las mediciones realizadas sobre los tiempos de carga*

Tratamiento	Tiempos de carga			
t1 (Paquetes grandes)	6,10	5,40	6,80	5,68
t2 (Paquetes pequeños)	10,90	10,20	9,20	11,90
t3 (Paquetes mixtos)	6,70	6,08	7,10	5,93

### 5.2.2.- Realización del Análisis de Varianza (ANDEVA)

El Análisis de Varianza ANDEVA, (en inglés ANOVA), se realizará para extraer de los valores medidos la información buscada y necesaria para confirmar o rechazar la hipótesis inicial.

Esta información consiste en establecer si los valores de la variable dependiente (Efecto, defecto, error, etc...) "dependen" efectivamente de los tratamientos, es decir de los valores de la variable independiente (supuesta causa), o si predomina el efecto de otros factores extraños ("Error" o "Ruido").

Cada observación de la variable dependiente se compone conceptualmente, de tres partes independientes entre sí y debidas, cada una de ellas, a una fuente diferente de variación:

#### a) La línea base de comportamiento

Representa una cantidad mínima de la característica que medimos y que todos los sujetos comparten a nivel general, por el mero hecho de ser sujetos parecidos.

*b) La parte que mide el efecto del tratamiento* (influencia de la variable independiente sobre el valor tomado por la variable dependiente).

Esta parte es igual para todos los sujetos que comparten un mismo tratamiento, y diferente entre los sujetos a los que se asignan distintos niveles de tratamiento.

*c) La parte debida al error de medida (ruido).*

Esta representa la "porción" del valor medido en la variable dependiente que no es debida a un nivel básico de comportamiento, ni a un tratamiento particular, sino a diferencias individuales que no han sido controladas durante el Experimento.

En otras palabras, el valor de cada observación se puede formular como una cantidad debida a la característica general que medimos (= media total de todas las observaciones), más el efecto del tratamiento (= diferencia entre la media de los valores medidos al mismo nivel de tratamiento y la media total), más el efecto del ruido (= diferencia entre el valor de la observación considerada y la media de todos los valores medidos a su mismo nivel de tratamiento).

El objetivo del Análisis de Varianza es entonces comparar las diferencias (al cuadrado), debidas a los tratamientos (MCI) con las diferencias (al cuadrado) debidas a los errores (MCE). Se utilizan valores elevados al cuadrado para evitar que, hallando la media de medias, los valores negativos y los positivos se contrarresten y el resultado sea cero.

---

La siguiente Tabla resume los valores clave que se calcularán durante la realización del Análisis de Varianza, para cada una de las fuentes de variación:

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Media cuadrática
Tratamientos	SCI	$MCI = SCI / (t-1)$
Error	SCE	$MCE = SCE / (N-t)$
Total	SCT	
<b>Valor de Contraste: <math>F_c = MCI / MCE</math></b>		

A continuación se explican los cálculos a efectuar para obtener estos valores y el resultado final del Análisis de Varianza: el Valor de Contraste  $F_c$ .

**Paso 1: Calcular  $\sum Y$ ,  $(\sum Y)^2$  y  $\sum (Y^2)$**

" $\sum$ " es el signo de sumatorio y significa simplemente sumar, todos los valores de la variables a la que antecede. "Y" es el símbolo que representa cada uno de los valores medidos.

Para cada tratamiento se calculará:

- La suma de todas las observaciones hechas bajo el tratamiento en cuestión,  $\sum Y$ .
- El cuadrado de esta suma,  $(\sum Y)^2$ , multiplicando el valor  $\sum Y$  por sí mismo.
- La suma de los valores de todas las observaciones hechas bajo el tratamiento en cuestión, cada una elevada al cuadrado,  $\sum (Y^2)$ .

**Paso 2: Calcular T, T<sup>2</sup> y la suma de todas las observaciones al cuadrado, S.**

- T, el gran total, es la suma de todas las observaciones hechas a lo largo del Experimento, independientemente del nivel de tratamiento. Su valor se obtiene sumando los valores  $\sum Y$  de todos los tratamientos.
- T<sup>2</sup>, el cuadrado del gran total, se obtiene simplemente multiplicando el valor de T por sí mismo.
- S, la suma de todas las observaciones, cada una elevada al cuadrado, se obtiene sumando los valores  $\sum (Y^2)$  de todos los tratamientos.

*Ejemplo:*

	Observaciones				$\sum Y$	$(\sum Y)^2$	$\sum (Y)^2$
<b>t1</b>	6,10	5,40	6,80	5,68	23,98	575,04	144,87
<b>t2</b>	10,90	10,20	9,20	11,90	42,20	1780,84	449,10
<b>t3</b>	6,70	6,08	7,10	5,93	25,81	666,16	167,43
T=					91,99	S=	761,40
T <sup>2</sup> =					8462,16		

### **Paso 3: Calcular las sumas de cuadrados, SCI, SCT y SCE**

Las sumas de los cuadrados se obtienen de la siguiente forma:

#### a) Calcular los valores intermedios A y B.

- **A** se obtiene dividiendo, para cada tratamiento, el valor  $(\sum Y)^2$  por el número  $n$  de observaciones hechas a este nivel de tratamiento y sumando los resultados así obtenidos.

$$A = \sum [(\sum Y)^2 / n]$$

- **B** se obtiene dividiendo  $T^2$  por el número total  $N$  de observaciones hechas en el Experimento.

$$B = T^2 / N$$

#### b) Calcular la suma de los cuadrados.

- **SCI** es la suma de los cuadrados relativa al efecto de los tratamientos y se obtiene restando  $B$  de  $A$ .

$$SCI = A - B$$

- **SCT** es la suma de los cuadrados total y se obtiene restando  $B$  de  $S$ .

$$SCT = S - B$$

- **SCE** es la suma de los cuadrados relativa al efecto de los errores y corresponde a la diferencia entre la suma de los cuadrados total y la relativa al efecto de los tratamientos.

$$SCE = SCT - SCI$$

---

*Ejemplo:*

**A)**  $A = 575,04/4 + 1780,84/4 + 666,16/4 = 755,51$

$B = 8462,16/12 = 705,18$

**B)**  $SCI = A - B = 755,51 - 705,18 = 50,33$

$SCT = S - B = 761,40 - 705,18 = 56,22$

$SCE = SCT - SCI = 56,22 - 50,33 = 5,89$

#### **Paso 4: Calcular las medias cuadráticas MCI y MCE**

MCI es la media cuadrática de las diferencias entre las observaciones debidas a los tratamientos y se obtiene aplicando la fórmula:

$$MCI = SCI/(t-1) \quad (t = \text{número de tratamientos del Experimento})$$

MCE es la media cuadrática de las diferencias entre las observaciones debidas a los errores y se obtiene aplicando la fórmula:

$$MCE = SCE/(N-t). \quad (N = \text{número total de observaciones hechas en el Experimento y } t = \text{número de tratamientos}).$$

#### **Paso 5: Calcular el Valor de Contraste, $F_c$**

El Valor de Contraste representa la relación entre la variación media (cuadrática) de las diferencias entre las observaciones debida a los tratamientos, y la variación media (cuadrática) debida a los errores (=ruido).

Es el resultado numérico del ANDEVA y en él se resume la información que nos proporciona el Experimento: El grado en que la variable independiente (supuesta causa) influye sobre los valores de la variable dependiente (efecto en estudio).

Se calcula dividiendo MCI por MCE.

$$F_c = MCI/MCE$$

*Ejemplo:*

$$\begin{aligned} MCI &= SCI/(t-1) = 50,33/(3-1) = 25,16 \\ MCE &= SCE/(N-t) = 5,89/(12-3) = 0,65 \\ F_c &= MCI/MCE = 25,16/0,65 = 38,71 \end{aligned}$$



### 5.3.- INTERPRETACIÓN

#### *Pauta general de interpretación*

La información a extraer de un Experimento y del respectivo Análisis de Varianza se concentra en la interpretación del valor de contraste  $F_c$ .

a)  $F_c < 1$ . Si  $F_c$  es menor que uno, significa que los factores extraños influyen sobre el valor de la variable dependiente de manera más determinante que los tratamientos .

Esto quiere decir que la relevancia de nuestra variable no es muy elevada y posiblemente no hemos identificado la causa principal. (Cuanto menor  $F_c$ , menor será también la relevancia de la variable independiente).

b)  $F_c > 1$ . Si  $F_c$  es mayor que uno, los tratamientos proporcionados son efectivamente el factor que mayor influencia tiene sobre la variable dependiente. Esto significa que se ha identificado la causa más determinante para la variación de la característica medida (Cuanto mayor  $F_c$ , mayor será también la relevancia de la variable independiente).

#### *Significancia estadística de la conclusión obtenida*

El Experimento realizado, es decir las observaciones hechas, son una muestra de todas las posibles observaciones que se pueden realizar bajo las mismas condiciones experimentales. (Se utilizan muestras ya que hacer experimentos con números infinitamente grandes de observaciones, resultaría demasiado costoso en todos los sentidos).

Puesto que ninguna muestra es perfecta en todas sus características ni representa exactamente a la población entera, nunca estaremos completamente seguros de que nuestras conclusiones, basadas en la muestra, son efectivamente válidas.

La conclusión indicada por la muestra se aceptará entonces como válida sólo si la estadística nos asegura que tiene por lo menos un 95% de probabilidad de serlo efectivamente, lo que se establecerá de la siguiente manera:

a) Calcular  $(t-1)$  y  $(N-t)$ , siendo  $t$  el número de tratamientos y  $N$  el número total de observaciones del Experimento.

b) Leer en la “Tabla de valores F para un nivel de seguridad” el valor correspondiente de F.

c) Comparar  $F$  con el Valor de Contraste  $F_c$ . Si  $F_c$  es mayor de  $F$ , la variable independiente del Experimento es con 95% de probabilidad efectivamente la que más influye sobre el valor que toma la variable dependiente: Hemos identificado la causa principal del efecto objeto de estudio, el Experimento ha comprobado nuestra hipótesis inicial.

---

Ejemplo:

- A.  $(t-1)= 2$  y  $(N-t)= 9$
- B. En la Tabla representada en Anexo 2 leemos el valor correspondiente de  $F$ :  $F= 4,26$
- C. Puesto que  $38,7 > 4,26$  ( $F_c > F$ ), la relevancia de la influencia de los tratamientos sobre los valores de la variable dependiente respecto a la de los errores ( $F_c > 1$ ), no es mero azar, sino que es debida a un marcado efecto de la variable independiente en diferenciar los valores medios entre sí.

Llegamos entonces a la conclusión de nuestro Experimento:

*El tamaño de los paquetes influye efectivamente sobre el tiempo de carga; el tiempo medio necesario para cargar cajoneras sólo con paquetes grandes ( $t_1$ ) difiere significativamente del tiempo medio necesario para cargar cajoneras sólo con paquetes pequeños ( $t_2$ ), y los dos difieren notablemente del tiempo medio necesario para cargar cajoneras con paquetes mixtos ( $t_3$ ).*

### ***Posibles problemas y deficiencias de interpretación.***

A continuación se indican los problemas más frecuentes a la hora de interpretar los resultados de un Experimento y de su Análisis.

- a) Se han establecido variables o niveles de tratamiento tales que los resultados del Experimento no sirven para contestar la pregunta inicial.
- b) Deficiencias en la toma de medida (Sesgo en los datos).
- c) Las situaciones experimentales no representan la situación normal real.

## 5.4.- UTILIZACIÓN

La realización de un Experimento y su cuidadoso Diseño y Análisis, son muy útiles cuando se necesita comprobar una hipótesis sobre una supuesta relación de causa-efecto.

### *Utilización en las fases de un proceso de solución de problemas*

En un proceso de solución de problemas hay dos puntos en los que la realización de un Experimento puede ser muy útil e, incluso, necesaria:

- Para identificar la Causa Raíz, ensayando teorías e hipótesis ya desarrolladas en pasos precedentes.

- Para establecer la solución a proponer, comprobando antes su eficacia para la mejora.

## 6.- ANEXOS

### 6.1.- TABLA DE VALORES F PARA UN NIVEL DE SEGURIDAD (NIVEL DE CONFIANZA) DE 95%

$\frac{t-1}{N-t}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,58	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,96	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,48	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
$\infty$	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

## 6.2.- Ejemplo 1 Los métodos de aprendizaje de idiomas.

### Situación

En una escuela de idiomas extranjeros se habían formado tres grupos de profesores, cada uno defendiendo un diferente método de aprendizaje para los idiomas. Los métodos debatidos eran el método "clásico" (a continuación Método 1), el método "programado" (a continuación Método 2) y el método "intensivo" (a continuación Método 3).

Para apagar las discusiones y adoptar el método más efectivo en toda la escuela (si uno de los tres resultara, efectivamente, más eficaz), el Director de la escuela decidió realizar un pequeño Experimento.

### Diseño de Experimento

Se asignaron 12 alumnos escogidos al azar, a los tres métodos de aprendizaje, con la intención de medir, al final del curso, los resultados obtenidos en un examen de idiomas. La variable independiente era entonces el método de aprendizaje, para la cual se planificaron 3 niveles de tratamiento (respectivamente los 3 métodos); los 12 alumnos eran los 12 sujetos del experimento, la variable dependiente el nivel de aprendizaje, medida a través de la nota en el examen (Nota de 1 alumno = 1 observación).

Otras variables que podían influir sobre la nota obtenida en el examen, además del método de aprendizaje, eran evidentemente la capacidad de aprendizaje de cada alumno y la capacidad personal y el empeño de cada profesor.

Para eliminar, o reducir lo más posible, la primera fuente de confusión se planificaron 4 repeticiones (= 4 alumnos) para cada tratamiento, y se asignaron los sujetos a los tratamientos al azar, esperando así obtener una capacidad media de los alumnos relativamente parecida para cada tratamiento.

La segunda fuente de confusión se eliminó asignando los 3 cursos de 4 alumnos (1 para cada método) al Director mismo, igualmente experto en cada uno de ellos e imparcial en la discusión entre los profesores.

La pregunta que se quería contestar era si el nivel de aprendizaje (Nota en el examen) era, como media, diferente según el método adoptado (tratamiento).

### Realización y análisis del Experimento

El Experimento se realizó como se había planificado y los 12 alumnos consiguieron las siguientes notas en el examen final.

Observaciones:

Método	Notas			
1	7,72	7,98	7,85	7,87
2	8,01	7,93	8,15	8,09
3	7,91	8,32	8,12	8,28

El Director realizó el ANDEVA, como se representa en las Tablas siguientes.

ANDEVA

Observaciones					$\Sigma Y$	$(\Sigma Y)^2$	$\Sigma (Y)^2$
t1	7,72	7,98	7,85	7,87	31,42	987,22	246,84
t2	8,01	7,93	8,15	8,09	32,18	1035,55	258,92
t3	7,91	8,32	8,12	8,28	32,63	1064,72	266,28
T=					96,23	S=	772,04
T <sup>2</sup> =					9260,21		
A= 987,22/4+1035,55/4+1064,72/4= 771,87							
B= 9260,21/12= 771,68							
SCI= 771,87-771,68= 0,19							
SCT= 772,04-771,68= 0,36							
SCE= 0,36-0,19= 0,17							
MCI= 0,19/2= 0,095							
MCE= 0,17/9= 0,019							
F <sub>c</sub> = 0,095/0,019= 5							

El Valor de Contraste obtenido es  $F_c = 5$ . Los valores (t-1) y (N-t) del Experimento eran respectivamente 2 y 9, con lo cual se obtiene de la Tabla representada en el Anexo 2 el valor  $F = 4,26$ . Puesto que  $F_c > F$  ( $5 > 4,26$ ), el método de aprendizaje efectivamente influye con una probabilidad mayor de 95% más que cualquier otro factor sobre los resultados del examen.

El método más efectivo resultó ser el método 3, o método "intensivo": Los alumnos asignados a este curso habían conseguido, como media, las mejores notas.

## 7.- UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA

<i>La herramienta es muy útil para:</i>	<i>La herramienta es útil para:</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Determinación de causas</li><li>- Priorización de causas</li><li>- Evaluación de posibles soluciones</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Diseño de soluciones y controles</li></ul>

## 8.- RELACIÓN CON OTRAS HERRAMIENTAS

<i>La herramienta está fuertemente relacionada con:</i>	<i>La herramienta está débilmente relacionada con:</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Hojas de comprobación y recogida de datos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gráficos de Gestión</li><li>- Diagrama de Dispersión</li><li>- Diagrama de Flujo</li></ul>