

## PRÁCTICA 3

Un ingeniero está diseñando una batería que ha de operar en un dispositivo que puede estar sometido a fuertes variaciones de temperatura. El único parámetro de diseño que el ingeniero puede controlar en primera instancia es el material químico de la batería, para el que tiene tres posibles opciones. Cada material puede tener una distinta eficiencia, medida en duración en horas de la batería, bajo diferentes temperaturas, y el objetivo del ingeniero es emplear el tipo de material que proporcione una mayor robustez frente a cambios de temperatura. Esto es, al ingeniero le interesa responder a la cuestión de si alguno de los tipos de material disponibles proporciona una vida de la batería uniformemente larga para todas las temperaturas. Para intentar responder esta cuestión, el ingeniero diseña y realiza un experimento que proporciona los siguientes datos:

Material	Temperatura (°C)					
	-10		20		50	
1	130	155	34	40	20	70
	74	180	80	75	82	58
2	150	188	136	122	25	70
	159	126	106	115	58	45
3	138	110	174	120	96	104
	168	160	150	139	82	60

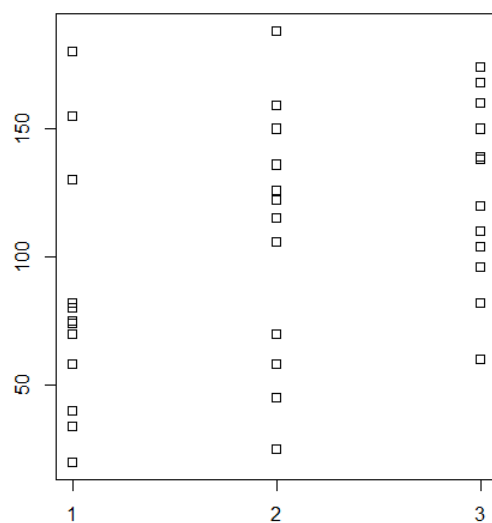
Primeramente, introducimos los datos del enunciado en los vectores material, temperatura, y duración. Así mismo construimos el objeto datos que los recopila todos:

```
material = rep(c(1, 2, 3), each = 12)
temperatura = rep(c(-10, 20, 50, -10, 20, 50, -10, 20, 50), each = 4)
duracion = c(130,155,74,180,34,40,80,75,20,70,82,58,150,188,159,
             126,136,122,106,115,25,70,58,45,138,110,168,160,174,120,150,139,96,104,82,60)
datos = data.frame(material, temperatura, duracion)
```

1. **Ajusta a los datos un modelo unifactorial completamente aleatorizado para investigar el efecto del tipo de material sobre la duración de las baterías. Especifica el modelo resultante. ¿Qué conclusiones obtienes?**

### **MODELO UNIFACTORIAL COMPLETAMENTE ALEATORIZADO**

Usando stripchart “(stripchart(duracion ~ material, vertical = T))” , representamos la influencia de los materiales en la duración de las baterías:



Observamos que para el material uno se acumulan las duraciones entre el 0 y el 100. Para el segundo material vemos una distribución homogénea y aparentemente aleatoria. Además, para el tercer material los datos se concentran en el intervalo [75, 175].

Calculamos ahora las medias y la dispersión de cada uno utilizando tapply:

```
26  
27 tapply(duracion, material, mean)  
28 tapply(duracion, material, sd)
```

Tras ejecutarlo los resultados son:

```
> tapply(duracion, material, mean)
      1      2      3
83.16667 108.33333 125.08333
> tapply(duracion, material, sd)
      1      2      3
48.58888 49.47237 35.76555
```

Como vemos, las dispersiones de los materiales 1 y 2 son bastante similares, mientras que la de la 3 es algo más pequeña. Para corroborar que se cumple el supuesto de homocedasticidad, empleamos el contraste de levene:

```
34 library(lawstat)
35 levene.test(duracion, material, "median")
```

Tras ejecutar el resultado es:

```
> library(lawstat)
> levene.test(duracion, material, "median")

      Modified robust Brown-Forsythe Levene-type test based on the absolute deviations from
      the median

data: duracion
Test Statistic = 0.27964, p-value = 0.7578
```

Este test otorga un p-valor muy alto a la hipótesis nula, por tanto no tenemos indicios como para rechazarla. Entonces parece ser que en principio se cumple el supuesto de homocedasticidad. No obstante, a continuación realizamos el análisis del modelo sin prestar más atención al cumplimiento de los supuestos. Por tanto, procedemos a obtener la tabla ANOVA para el modelo unifactorial simple, ayudándonos de la función 'aov()' (Analysis of Variance).

```
result1 = aov(duracion ~ material)
summary(result1)
```

Finalmente, obtenemos la tabla ANOVA para el modelo unifactorial simple:

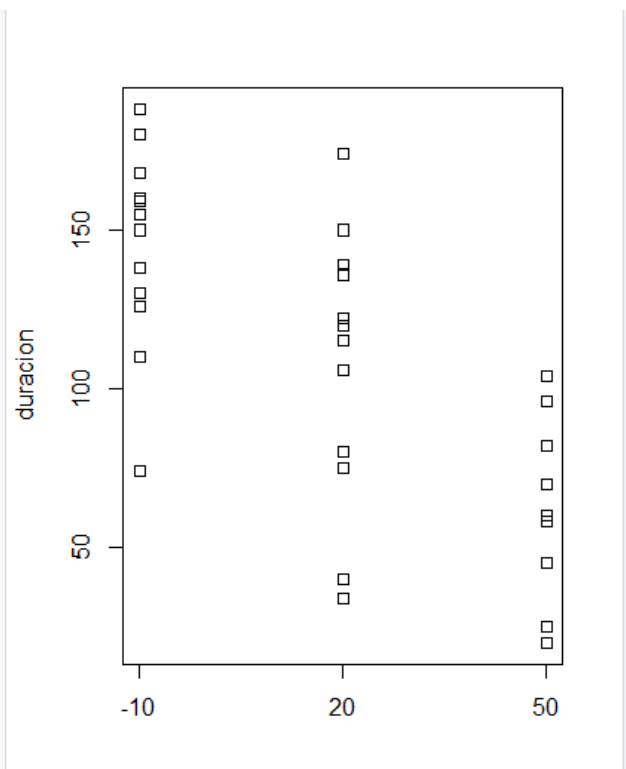
```
> result1 = aov(duracion ~ material)
> summary(result1)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
material  1  10542    10542    5.341  0.027 *
Residuals 34   67105     1974
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

### Conclusión:

Observamos que el p-valor es 0.027, el cual es menor que 0.05, por tanto éste nos llevaría a rechazar la hipótesis nula que nos decía que el material NO influye. Finalmente, podemos concluir este apartando diciendo que el tipo material si influye en la duración de las baterías.

**2. Ajusta ahora un modelo unifactorial aleatorizado por bloques, usando la temperatura como variable bloque. Especifica el modelo resultante. Comenta las conclusiones que obtienes a partir de este modelo y compara los resultados con el modelo anterior.**

Al introducir en el modelo la temperatura como variable bloque, vamos a observar los datos con respecto a la temperatura usando `stripchart(duracion ~ temperatura, vertical = T)`



Para la temperatura = -10, los datos se acumulan en [125,200], por lo que la duracion es mayor a temperatura baja. En cambio, para la temperatura = 50, los datos se acumulan en [0,100] concluyendo que a temperatura alta, la duracion de la batería es menor. Pero, para la temperatura = 20, la distribución es más uniforme y dispersa, con aspecto de ser aleatoria. Obtenemos la media y la desviación típica de cada nivel del bloque:

```
63 tapply(duracion, temperatura, mean)
64 tapply(duracion, temperatura, sd)
65
```

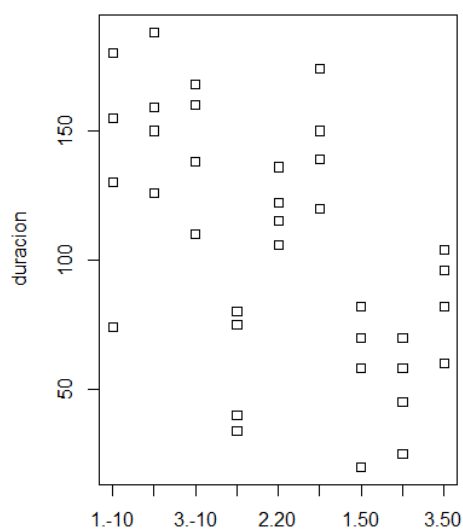
Tras ejecutarlo, tenemos:

```
> tapply(duracion, temperatura, mean)
      -10      20      50
144.83333 107.58333  64.16667
> tapply(duracion, temperatura, sd)
      -10      20      50
31.69409 42.88347 25.67218
```

Como las desviaciones parecen bastante dispares, recurrimos al test de levene para asegurarnos de que existe homocedasticidad: `levene.test(duracion, temperatura, "median")`:

```
> levene.test(duracion, temperatura, "median")
      Modified robust Brown-Forsythe Levene-type test based on the absolute deviations from the median
data:  duracion
Test Statistic = 1.0445, p-value = 0.3632
```

El p-valor es suficientemente grande, así que asumimos que hay homocedasticidad. Imprimimos un gráfico que tiene en cuenta tanto el tipo de material como la temperatura usando `stripchart(duracion ~ material + temperatura, vertical = T)`:



Se cumple la influencia del tipo de material y de la temperatura, como se ha visto antes. Sacamos la tabla AMOVA:

```
78
79 result2 = aov(duracion ~ material + temperatura)
80 summary(result2)
81
```

Obtenemos:

```

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
material    1  10542    10542   12.40 0.00128 **
temperatura  1  39043    39043   45.91 1e-07 ***
Residuals  33  28062      850
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

Conclusión:

Al ser los p-valores suficientemente pequeños, podemos decir que tanto el material como la temperatura son significativos para la duración de la batería.

**3. Ajusta un modelo bifactorial, contrastando la existencia de interacción entre el material y la temperatura. Especifica el modelo resultante y realiza su diagnóstico. Comenta las conclusiones.**

### **MODELO BIFACTORIAL**

Al ser un modelo bifactorial, vamos a añadir a los datos los tratamientos, es decir, la interacción entre el factor material y el factor temperatura:

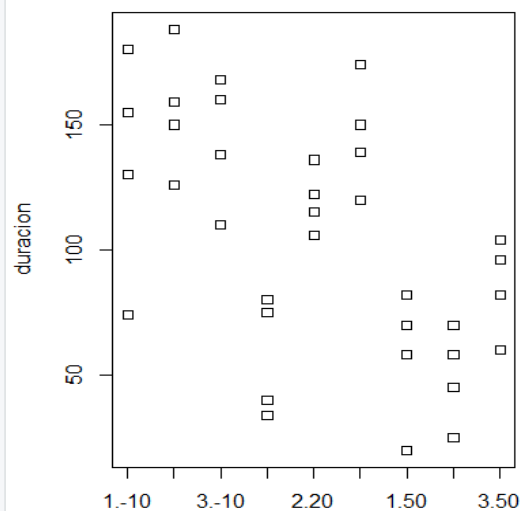
```
tratamientos = interaction(material, temperatura)
datos$tratamientos = with(datos, tratamientos)
datos[, c("material", "temperatura", "tratamientos")]

stripchart(duracion ~ tratamientos, vertical = T)
```

Tras ejecutar podemos ver la “tabla” que generamos con datos:

```
> tratamientos = interaction(material, temperatura)
> datos$tratamientos = with(datos, tratamientos)
> datos[, c("material", "temperatura", "tratamientos")]
  material temperatura tratamientos
1         1         -10        1.-10
2         1         -10        1.-10
3         1         -10        1.-10
4         1         -10        1.-10
5         1          20        1.20
6         1          20        1.20
7         1          20        1.20
8         1          20        1.20
9         1          50        1.50
10        1          50        1.50
11        1          50        1.50
12        1          50        1.50
13        2         -10        2.-10
14        2         -10        2.-10
15        2         -10        2.-10
16        2         -10        2.-10
17        2          20        2.20
18        2          20        2.20
19        2          20        2.20
20        2          20        2.20
21        2          50        2.50
22        2          50        2.50
23        2          50        2.50
24        2          50        2.50
25        3         -10        3.-10
26        3         -10        3.-10
27        3         -10        3.-10
28        3         -10        3.-10
29        3          20        3.20
30        3          20        3.20
31        3          20        3.20
32        3          20        3.20
33        3          50        3.50
34        3          50        3.50
35        3          50        3.50
36        3          50        3.50
```

Ahora, con el comando stripchart, vamos a observar los datos con respecto a los tratamientos:



Observamos una interacción llamativa entre la temperatura 20 y el material 1, al haber una duración inusualmente baja en comparación con la de otros materiales a esa misma temperatura.

A continuación, para poder analizar el modelo, utilizamos el comando aov para calcular la tabla ANOVA:

```
result3 = aov(duracion ~ material*temperatura)
summary(result3)
```

```
> result3 = aov(duracion ~ material*temperatura)
> summary(result3)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
material	1	10542	10542	12.174	0.00143 **
temperatura	1	39043	39043	45.086	1.39e-07 ***
material:temperatura	1	352	352	0.406	0.52855
Residuals	32	27711	866		

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
>

Tanto el p-valor del material como el de la temperatura son lo suficientemente pequeños como para asegurar que influyen en la duración. Como el p-valor de la interacción entre la temperatura y el material es muy grande, no podemos asegurar que realmente exista una interacción entre ambos factores.



***¿Qué material te parece que cumple mejor con el objetivo del ingeniero? ¿Por qué?***

Es lógico pensar que el material más adecuado para conseguir una mayor duración de la batería es el 3, puesto que es el mejor con temperatura 20 y 50, a pesar de que el 2 le supere ligeramente con temperatura -10.