

# Universidad de Costa Rica

## Escuela de Ciencias de la Computación e Informática

Sigla y Curso CI-0125 Desempeño y Experimentación Grupo 01

Título Laboratorio 4

Nombre del Equipo Root

Fecha de Realización 07/11/2021 Fecha Entrega 08/11/2021

Profesor José Guevara Coto Asistente Óscar Villalobos  
Marta Calderón Campos  
Luis Quesada Quirós

Orden, Legibilidad, Reporte Adecuadamente Enviado:       /25

Formato, Anexos Completos, Código:       /25

Contenido Completo del Reporte, Figuras Incluidas en Reporte y Discutidas,  
Respuestas Completas y Justificadas:       /50

Tardía: (        )

Estudiante: Nelson Álvarez Cedeño Nota:       /100

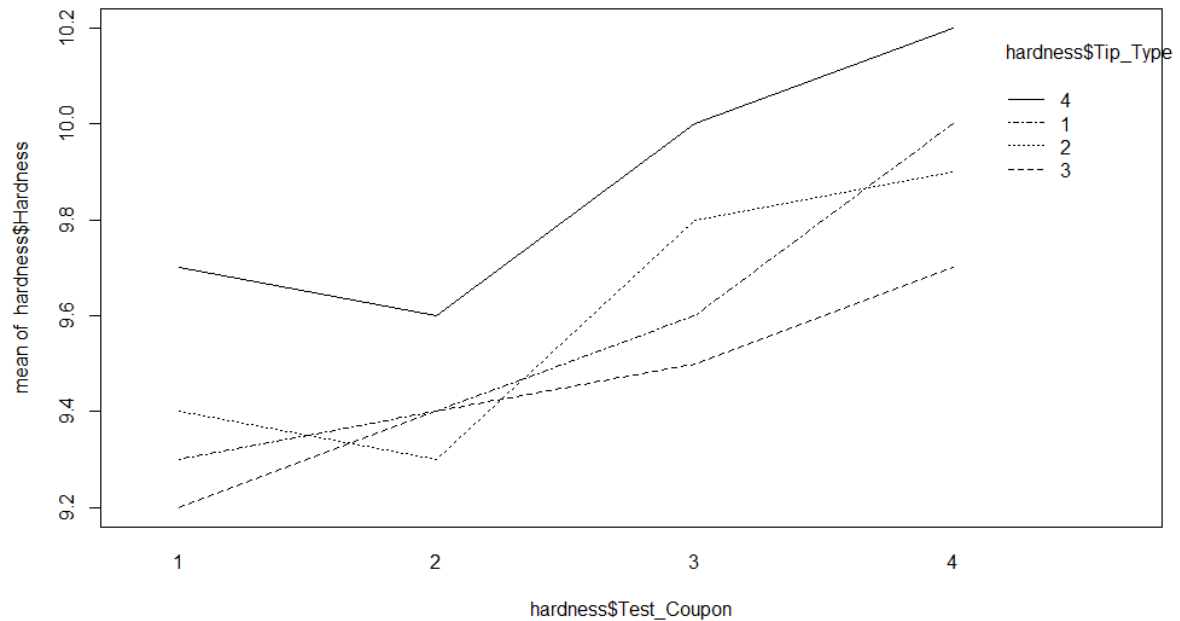
Estudiante: Esteban Quesada Quesada

Estudiante: Óscar Navarro Céspedes

## Reporte de Laboratorio 4 (CRBD)

### I Parte

#### Fase 1



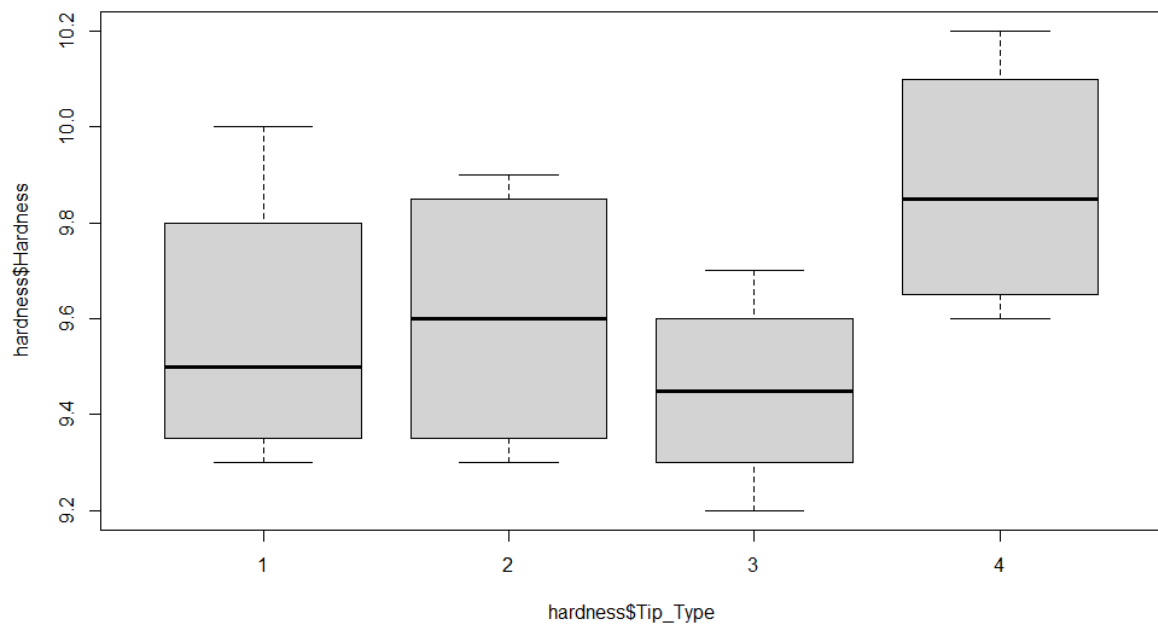
**Figura 1.** Diagrama de interacción para cupón y tipo de punta contra dureza.

1.a Para cada tipo de punta no se observa una tendencia con respecto a la dureza

1.b Para cada cupón se observa una tendencia de aumentar la dureza conforme aumenta el cupón.

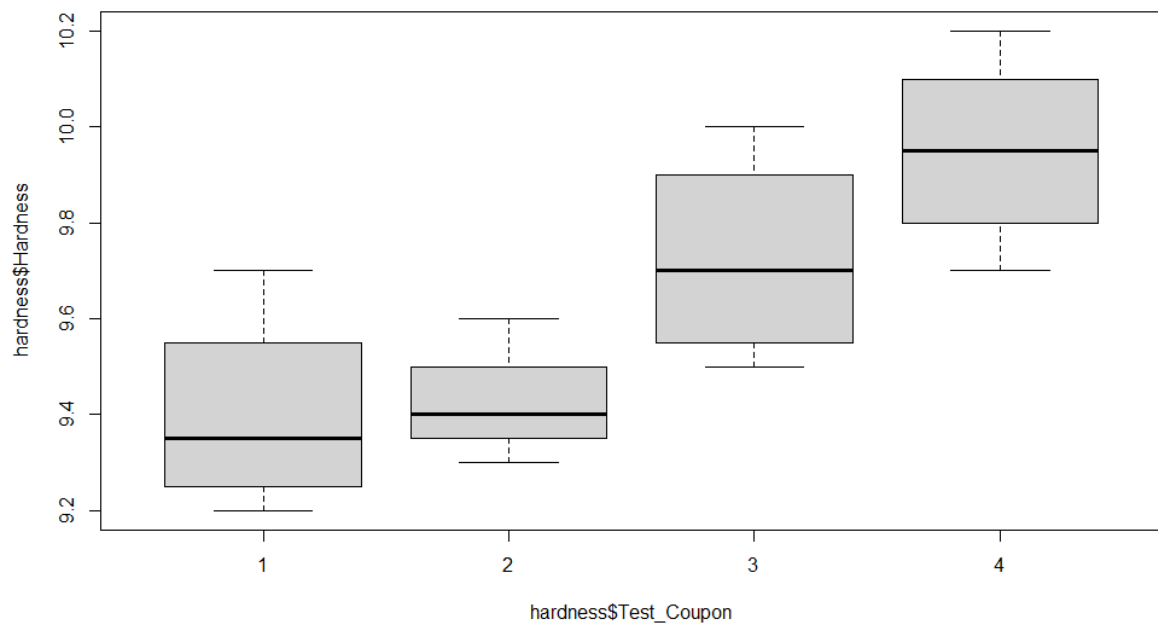
Un aspecto importante es que se muestra una falta de datos para poder realizar interpretaciones de mayor confianza.

## Fase 2



**Figura 2.** Diagrama de cajas para tipo de punta contra dureza.

1.a Lo que más llama la atención en este diagrama es la diferencia entre la mediana del tipo de punta 4 con respecto a los otros 3, pero no se observa una tendencia.



**Figura 3.** Diagrama de cajas para cupón contra dureza.

1.b Se observa una tendencia de aumento en la mediana conforme se incrementa el valor del cupón de prueba, de igual forma se debe ser cauteloso con esta observación dado que para el cupón 1 se tiene un valor extremo mayor al del cupón 2 y se debe tomar en cuenta que solo se tienen 4 datos por cupón.

### Fase 3

**Tabla 1.** Resultados de prueba ANOVA

Analysis of Variance Table						
Response: hardness\$Hardness						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
factor(hardness\$Tip_Type)	3	0.385	0.128333	14.438	0.0008713	***
factor(hardness\$Test_Coupon)	3	0.825	0.275000	30.938	4.523e-05	***
Residuals	9	0.080	0.008889			
---						
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

1. La estadística F representa la proporción de la varianza dada entre tratamientos y la varianza dentro de cada tratamiento. En el resultado de la figura 4 vemos que tanto para tipo de punta como para cupón de prueba el estadístico F tiene valores altos, esto indica que la proporción de varianza entre tratamientos es mayor a la dada dentro de cada tratamiento, los p-values mostrados a la derecha de la tabla indican que se rechaza la hipótesis nula la cual nos dice que la media entre los tratamientos es la misma con una probabilidad de fallo de 0.001 a favor de la hipótesis alternativa que indica una diferencia entre las medias de los tratamientos. Estos valores de F altos también se puede interpretar de la siguiente forma:

- A. El tipo de punta representa una diferencia en la dureza de la unidad experimental.
- B. El cupón de prueba representa una diferencia en la dureza de la unidad experimental.

Hay que notar que en este análisis no se realizó la prueba para la tercer hipótesis de una ANOVA de dos vías que nos indica la existencia de una interacción entre las variables independientes.

**Tabla 2.** Resultados de prueba Tukey para tipo de punta

Tukey multiple comparisons of means				
95% family-wise confidence level				
factor levels have been ordered				
Fit: aov(formula = hardness\$Hardness ~ factor(hardness\$Tip_Type) + factor(hardness\$Test_Coupon))				
\$`factor(hardness\$Tip_Type)`				
	diff	lwr	upr	p adj
1-3	0.125	-0.08311992	0.3331199	0.3027563
2-3	0.150	-0.05811992	0.3581199	0.1815907
4-3	0.425	0.21688008	0.6331199	0.0006061
2-1	0.025	-0.18311992	0.2331199	0.9809005
4-1	0.300	0.09188008	0.5081199	0.0066583
4-2	0.275	0.06688008	0.4831199	0.0113284

2. En la figura 5 se obtuvo con un nivel de confianza del 95% se puede afirmar que existe una diferencia de medias entre los tipos 1,2 y 3 contra el tipo de punta 4, este resultado fue sospechado en el análisis del diagrama de cajas de la figura 2 y lo que nos indica es que el tipo de punta 4 es el único que muestra una diferencia de medias entre todos los tratamientos, específicamente una media mayor.

**Tabla 3.** Resultados de prueba Tukey para cupón de prueba

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = hardness$Hardness ~ factor(hardness$Tip_Type) + factor(hardness$Test_Coupon))

$`factor(hardness$Test_Coupon)`
      diff      lwr      upr      p adj
2-1 0.025 -0.18311992 0.2331199 0.9809005
3-1 0.325  0.11688008 0.5331199 0.0039797
4-1 0.550  0.34188008 0.7581199 0.0000830
3-2 0.300  0.09188008 0.5081199 0.0066583
4-2 0.525  0.31688008 0.7331199 0.0001200
4-3 0.225  0.01688008 0.4331199 0.0341762
```

2. En los resultados obtenidos que se muestran en la figura 6 se obtuvo con un nivel de confianza del 95% que solo entre los tratamientos 1 y 2 la media no es distinta, es decir para todos los demás tratamientos de cupón de prueba existe una diferencia entre sus medias.

#### Fase 4

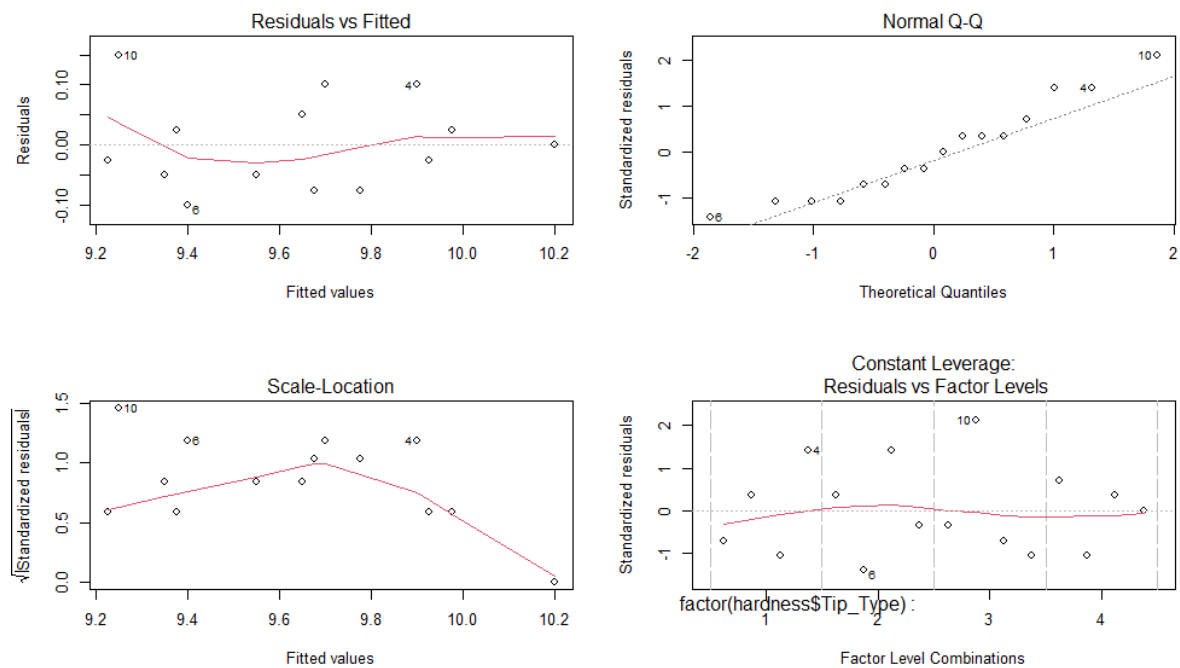
**Tabla 4.** Modelo lineal para tipo de punta y cupón de prueba contra dureza

```
Call:
lm(formula = hardness$Hardness ~ factor(hardness$Tip_Type) +
    factor(hardness$Test_Coupon))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.10000 -0.05625 -0.01250  0.03125  0.15000

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      9.35000    0.06236 149.934 < 2e-16 ***
factor(hardness$Tip_Type)2      0.02500    0.06667   0.375 0.716345
factor(hardness$Tip_Type)3     -0.12500    0.06667  -1.875 0.093550 .
factor(hardness$Tip_Type)4      0.30000    0.06667   4.500 0.001489 **
factor(hardness$Test_Coupon)2    0.02500    0.06667   0.375 0.716345
factor(hardness$Test_Coupon)3    0.32500    0.06667   4.875 0.000877 ***
factor(hardness$Test_Coupon)4    0.55000    0.06667   8.250 1.73e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.09428 on 9 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.938,    Adjusted R-squared:  0.8966
F-statistic: 22.69 on 6 and 9 DF,  p-value: 5.933e-05
```



**Figura 4.** Diagramas de residuos, normal Q-Q y niveles de factor.

1. Es esperada la independencia entre los residuales dada la aleatorización que tiene un CRBD y la independencia entre los tratamientos.
2. En el diagrama normal Q-Q se observa una ligera aproximación a la distribución normal pero también a una bimodal por lo cual lo mejor es realizar una prueba de normalidad, una de ellas es Shapiro-Wilk.

```
Shapiro-Wilk normality test
data:  hardness$Hardness
W = 0.9537, p-value = 0.5504
```

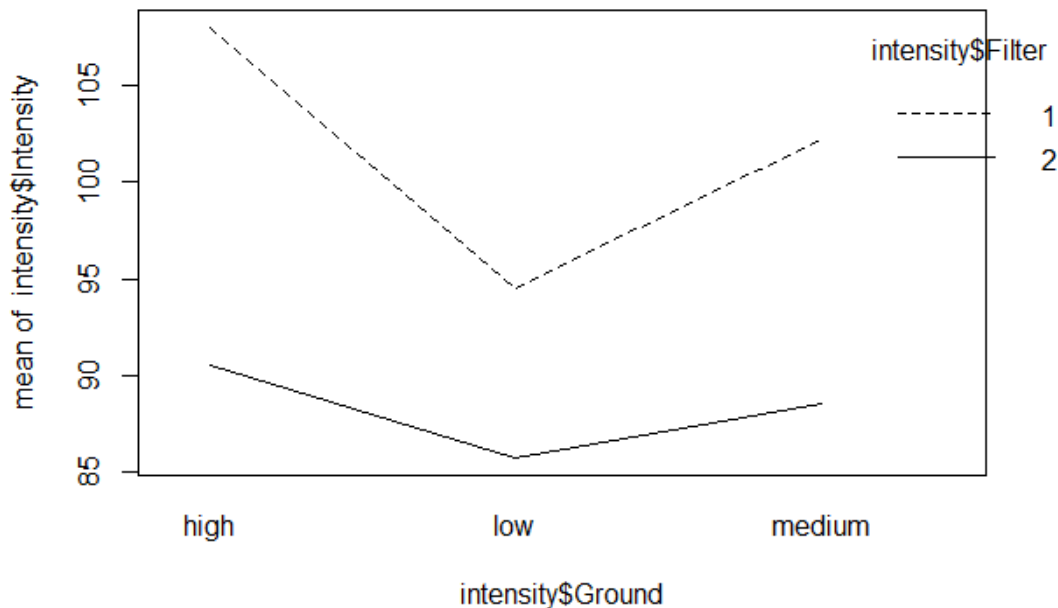
**Figura 5.** Prueba de normalidad Shapiro-wilk.

Como se observa en la figura 9 se puede confirmar que los datos tienen una distribución normal.

3. Dado que la dispersión es alta podemos inferir que la distribución de la varianza es heterogénea lo cual no es lo adecuado dado que la prueba ANOVA asume homogeneidad de varianzas.

## II Parte - Diseño de bloques completos aleatorios de datos de radar

### Fase 1



**Figura 6.** Diagrama de interacción para nivel de ruido de fondo y tipo de filtro contra intensidad.

1. Gráfico de interacción que indica acerca de:

a. Cada nivel de ruido de fondo

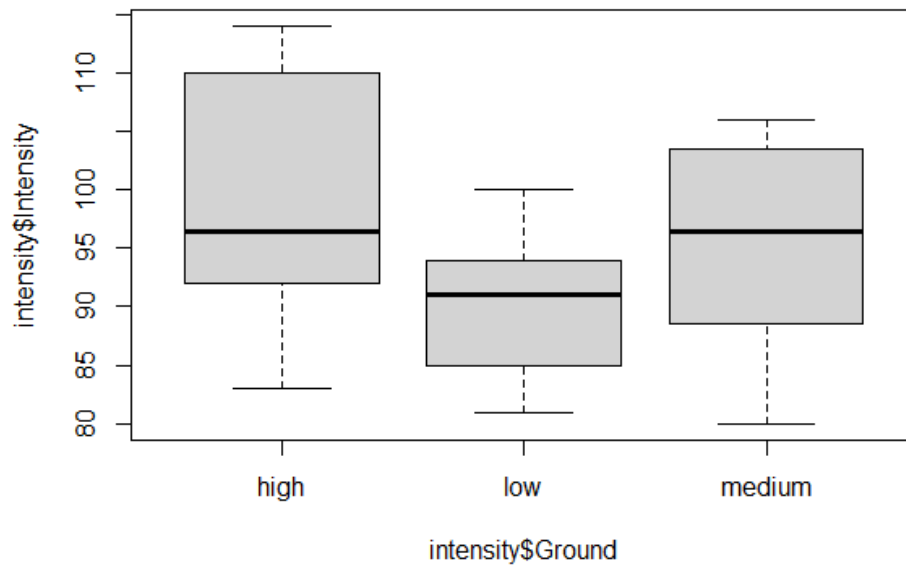
Para cada nivel de ruido de fondo se observa una tendencia con respecto al nivel de intensidad del radar a ir aumentando conforme aumenta el ruido de fondo. Asimismo, a mayor ruido de fondo mayor es la media de la intensidad del radar. A un nivel medio se observa una media un poco menor de intensidad del radar que con nivel alto de ruido de fondo, y como es de esperar a un nivel bajo de ruido de fondo menor es la media de intensidad del radar.

b. Cada tipo de filtro en la pantalla del radar

Cuando se utiliza un filtro de pantalla de nivel 2 existe una menor media de intensidad del radar, al establecer un filtro de pantalla de nivel 1 la intensidad del radar aumenta considerablemente. Por lo tanto, observando únicamente estos dos niveles, existe una tendencia de decremento de intensidad conforme aumenta el nivel de filtro de pantalla del radar. Para el filtro de pantalla del radar nivel 1 se observa una mayor dependencia con el ruido de fondo que el filtro de pantalla nivel 2 con el ruido de fondo del radar.

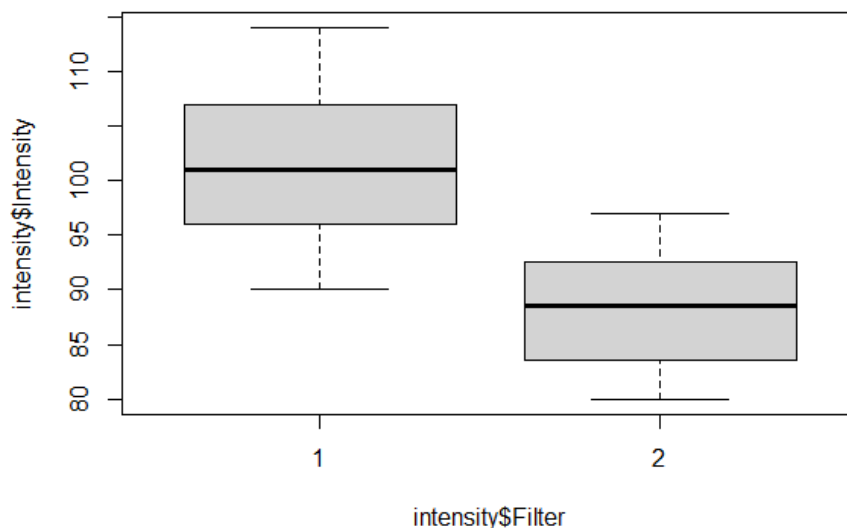
Un aspecto importante es que se muestra una falta de datos para poder realizar interpretaciones de mayor confianza, es decir, más niveles de filtros de pantalla por ejemplo.

## Fase 2



**Figura 7.** Diagrama de cajas para nivel de ruido de fondo contra intensidad.

Lo que más destaca es la similitud entre las tres medianas de los distintos niveles de ruido, especialmente entre el nivel alto y el nivel medio. Por otra parte el nivel alto de ruido posee los valores atípicos más altos, debido a que el nivel medio no llega a valores de intensidad atípicos ni cercanos a los niveles de intensidad del tercer cuartil del nivel alto de ruido de fondo. El nivel bajo de ruido de fondo a su vez posee valores atípicos bastante altos los cuales incluso llega a superar la media del resto de niveles de ruido de fondo. En el nivel de ruido de fondo alto se observan más valores por arriba de la mediana, mientras que en los niveles de ruido *low* y *medium* existen una mayor cantidad de valores por debajo de la mediana.



**Figura 8.** Diagrama de cajas para nivel de filtro de pantalla contra intensidad.

1. Valores extremos, medianas, ¿diferencias entre los tipos de ruido de fondo?



Lo que más destaca es la similitud entre las tres medianas de los distintos niveles de ruido, especialmente entre el nivel alto y el nivel medio. Por otra parte el nivel alto de ruido posee los valores atípicos más altos, debido a que el nivel medio no llega a valores de intensidad atípicos ni cercanos a los niveles de intensidad del tercer cuartil del nivel alto de ruido de fondo. El nivel bajo de ruido de fondo a su vez posee valores atípicos bastante altos los cuales incluso llega a superar la media del resto de niveles de ruido de fondo.

2. En la figura 12 se observa una alta diferencia entre las medianas de la intensidad entre los niveles de los filtros de pantalla 1 y 2. Con nivel de filtro de pantalla nivel 1 se observan valores atípicos más altos. Asimismo, en el filtro de pantalla 1 existe una mayor cantidad de valores arriba de la mediana que por debajo. Mientras que en el filtro de pantalla nivel 2 parece que los valores están repartidos equitativamente por debajo y por arriba de la mediana, sin embargo, puede haber una ligera cantidad mayor de valores por debajo.

### Fase 3

**Tabla 5.** Resultados de prueba ANOVA

Analysis of Variance Table					
Response: intensity\$Intensity					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
factor(intensity\$Ground)	2	335.58	167.79	5.1981	0.01521 *
factor(intensity\$Filter)	1	1066.67	1066.67	33.0450	1.263e-05 ***
Residuals	20	645.58	32.28		
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

1. Como ya se ha mencionado la estadística F representa la proporción de la varianza dada entre tratamientos y la varianza dentro de cada tratamiento. En los resultados de la figura 13 se observa como existe un estadístico F que tiene valores altos para el nivel de ruido de fondo y el tipo de filtro de pantalla del radar, mostrando como la proporción entre la varianza entre los tratamientos es mayor a la dada dentro de cada tratamiento. Por otra parte, al observar los p-values de la misma figura, se infiere un rechazo de la hipótesis nula, la cual mencionaba que la media entre los tratamientos es la misma con una probabilidad de fallo de 0.001 a favor de la hipótesis alternativa que indica una diferencia entre las medias de los tratamientos. Asimismo, los valores de F altos también se puede interpretar de la siguiente forma:

- A. El nivel de ruido de fondo efectivamente representa una diferencia en la intensidad de la unidad experimental.
- B. El tipo de filtro de pantalla efectivamente representa una diferencia en la intensidad de la unidad experimental.

No se realizó la prueba para la tercer hipótesis de un ANOVA de dos vías que nos indica la existencia de una interacción entre las variables independientes.

**Tabla 6.** Resultados de prueba Tukey para ruido de fondo

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = intensity$Intensity ~ factor(intensity$Ground) + factor(intensity$Filter))

$`factor(intensity$Ground)`
      diff      lwr      upr      p adj
medium-low  5.250 -1.937015 12.43702 0.1799361
high-low    9.125  1.937985 16.31202 0.0116401
high-medium 3.875 -3.312015 11.06202 0.3779355
```

**Tabla 7.** Resultados de prueba Tukey para filtro de pantalla.

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = intensity$Intensity ~ factor(intensity$Ground) + factor(intensity$Filter))

$`factor(intensity$Filter)`
      diff      lwr      upr      p adj
1-2 13.33333  8.49504 18.17163 1.26e-05
```

2. Con un nivel de confianza del 95% se obtiene que existe una diferencia de medias entre las intensidades bajas, medias y altas, sin embargo aparenta haber una significativamente mayor entre la intensidad baja y alta, lo que es de esperarse dado que son niveles opuestos. También obtenemos con un nivel de confianza del 95% que sí existe una diferencia significativa entre los dos filtros de pantalla.

#### Fase 4

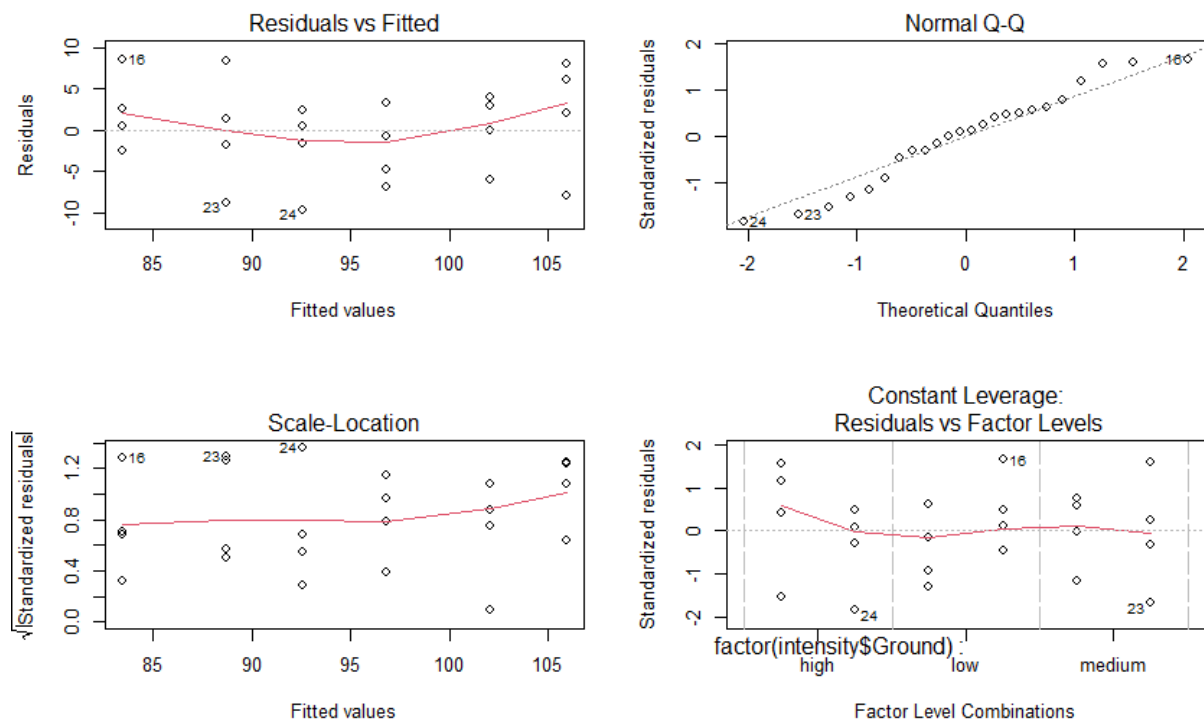
**Tabla 8.** Modelo lineal para el nivel de ruido de fondo y filtro de la pantalla contra intensidad.

```
Call:
lm(formula = intensity$Intensity ~ factor(intensity$Ground) +
    factor(intensity$Filter))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-9.5833 -3.0417  0.4792  3.0208  8.5417

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      105.917     2.319   45.665  < 2e-16 ***
factor(intensity$Ground)low      -9.125     2.841   -3.212  0.00437 **
factor(intensity$Ground)medium    -3.875     2.841   -1.364  0.18770
factor(intensity$Filter)2     -13.333     2.319   -5.748  1.26e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.681 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6847,    Adjusted R-squared:  0.6375
F-statistic: 14.48 on 3 and 20 DF,  p-value: 3.03e-05
```



**Figura 9.** Diagramas de residuos, normal Q-Q y niveles de factor.

1. Podemos observar que tampoco existe un patrón definido, dado que existe independencia estadística entre los residuales dada la aleatorización que tiene un CRBD.
2. El diagrama Q-Q sí aparenta que se sigue una distribución normal, sin embargo podemos tomar más seguridad de esto si realizamos una prueba de normalidad.

```
shapiro-wilk normality test
data: intensity$Intensity
W = 0.97023, p-value = 0.6727
```

**Figura 10.** Prueba de normalidad Shapiro-wilk intensidad.

Podemos observar que dado que el p-value es mayor que 0.05 no se aleja de una distribución normal.

3. Dado que no hay curvatura, y que la distribución se muestra hasta un punto aleatorio podemos decir que la varianza no es constante. Dado su dispersión que es alta podemos inferir que también es heterogénea.