

# Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería

## Control Estadístico de Calidad: Tercera prueba parcial

Profesor: Gustavo Ahumada

31 July, 2020

**Exigencia:** 70%. **Puntaje total:** 70 puntos. **Tiempo de duración:** 36 horas.

### Instrucciones

1. Las respuestas desde la pregunta 1 hasta la pregunta 6 deben estar en **un solo archivo script**, no se acepta que envíe un archivo en PDF con el desarrollo de estas preguntas. 2 La elaboración de la respuesta a la pregunta 7 debe ser incluida en un archivo en PDF.
2. El orden en la elaboración de sus respuesta es importante, por lo tanto, su script debe ser totalmente funcional para que el docente puede verificar su respuesta.
3. La fecha límite de entrega es el día miércoles 29 de julio a las 11:59 PM. Se debe enviar el archivo script al correo gahumada2@santotomas.cl.

**Nota:** se sugiere tomar en consideración las notas de clase disponible en la Intranet Santo Tomás, el texto guía **Six Sigma with R** de Emilio L. Cano, Andrés Redchuk y Javier M. Moguerza y la sección **Help** de Rstudio en relación al package **SixSigma**.

### Pregunta 1.

Dibuje un mapa de proceso para el proceso de lavar la ropa, usando tres pasos: preparar, lavar y colgar. Imagine las entradas y las salidas e incluya algunos parámetros y ejemplos de características. **Nota:** debe emplear la las herramientas que ofrece el package **SixSigma** para elaborar el mapa de procesos (ver notas de clases como ejemplo).

Insumos X: Lavadora, secadora, detergente, suavizante, perchero para colgar

1. Preparar: separar la ropa (color/blanco), seleccionar temperatura del agua, tipo de carga,
2. Lavar: adicionar detergente, adicionar la ropa, adicionar suavizante, seleccionar temperatura de secado, seleccionar tiempo de secado, iniciar secado
3. Colgar: remover ropa de secadora, colocar ropa en perchero

Resultado Y: temperatura, suavidad, olor, tiempo, limpieza.

```
#Cargar package
library("SixSigma")
# Crear un vector de Insumo, Salida y Pasos
insumos <-c ("Lavadora", "Secadora", "Detergente", "Suavizante", "Ropa", "Perchero")
salidas <- c("Temperatura", "Textura", "Aroma", "Tiempo", "Limpieza")
```

```

pasos <- c("Preparar", "Lavar", "Colgar")

# Guardar el nombre de los insumos (entradas) en cada paso en la lista
io <- list()
io[[1]] <- list("Ropa", "Lavadora")
io[[2]] <- list("Ropa", "Lavadora", "Secadora", "Detergente", "Suavizante")
io[[3]] <- list("Ropa", "Perchero")

# Guardar el nombre, tipos de parámetros y características:
param <- list()
param[[1]] <- list(c("Separar(color/blanco)", "C"),c("Marca detergente", "C"),c("Marca suavizante", "C"))
param[[2]] <- list(c("Cocinar", "C"),c("Marca ingred", "Cr"),c("Cantidad", "P"),c("T preparación", "Cr"))
param[[3]] <- list(c("Cocinar", "C"),c("cola", "N"),c("Tiempo hornear", "Cr"))

feat <- list()
feat[[1]] <- list("Ropa seleccionada", "Lavadora preparada")
feat[[2]] <- list("Ropa lavada", "Temperatura", "Aroma", "Limpieza", "Tiempo")
feat[[3]] <- list("Ropa seca", "Aroma", "Limpieza", "Tiempo")

# Crear mapa de procesos
ss.pMap(pasos, insumos, salidas,io, param, feat,sub = "Proceso lavar ropa")

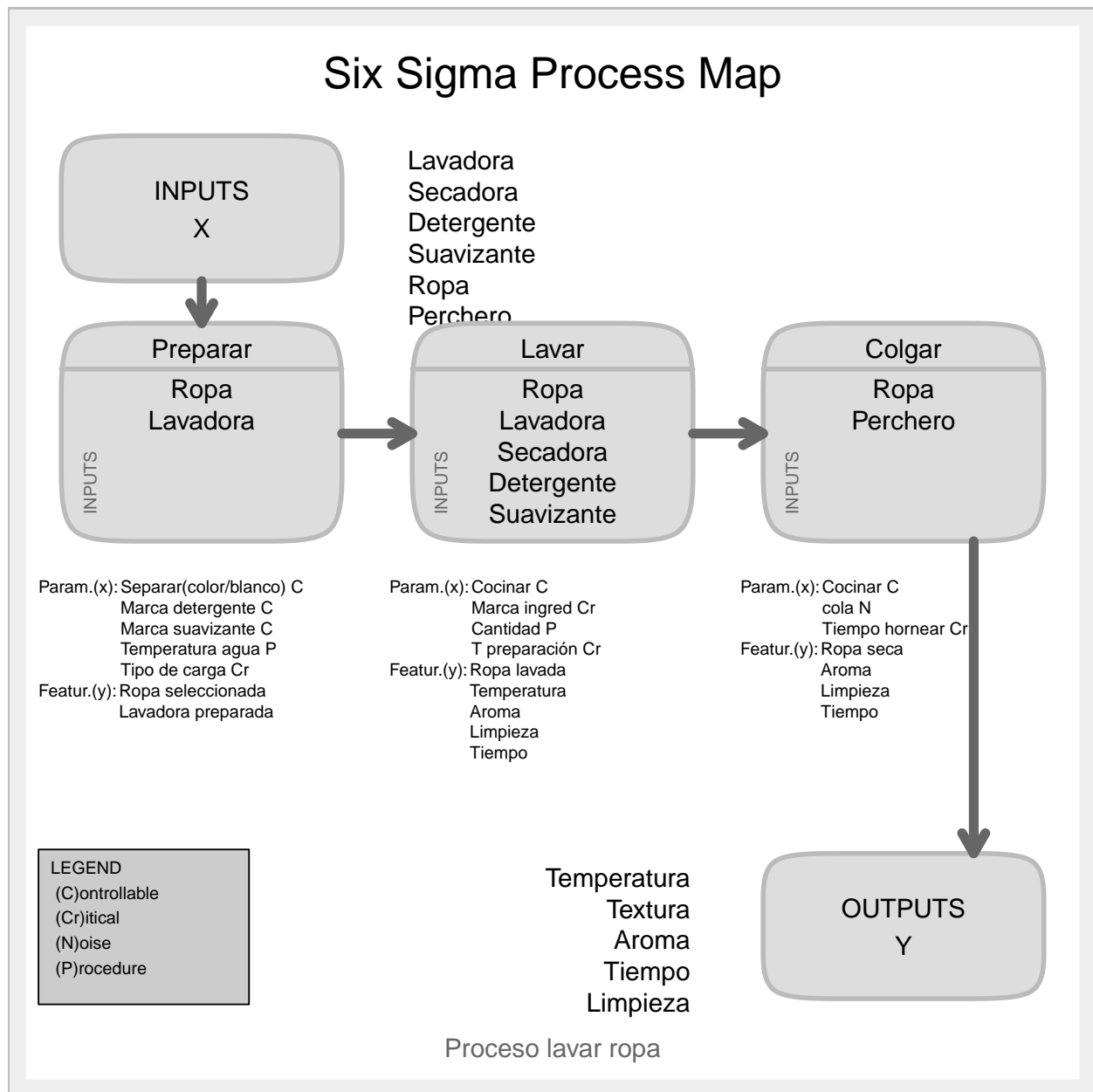
## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## font width unknown for character 0x9

## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## font width unknown for character 0x9

## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## font width unknown for character 0x9

## Warning in grid.Call.graphics(C_text, as.graphicsAnnot(x$label), x$x, x$y, :
## font width unknown for character 0x9

```



## Pregunta 2.

- a. En la siguiente tabla se presentan los datos de una pastelería que hace distintos tipos de postres.<sup>1</sup> La satisfacción del consumidor está relacionada por un componente utilizado en el chocolate. Para evaluar el sistema de medición, tres laboratorios son empleados para determinar la cantidad del componente en los postres. Identificar los evaluadores o tasadores, las partes y su longitud.

```
library("SixSigma")
pasteleria <- ss.data.pastries
pasteleria
```

<sup>1</sup>Los datos están habilitados en el package **SixSigma** como un objeto llamado **ss.data.pastries**. Para mayor información de esta base de datos ir a **help** y escribir el nombre del objeto.

```
##      lab batch run   comp
## 1      1      1   1 0.2616
## 2      1      1   2 0.2511
## 3      1      2   1 0.2821
## 4      1      2   2 0.2790
## 5      1      3   1 0.2384
## 6      1      3   2 0.2368
## 7      2      1   1 0.2462
## 8      2      1   2 0.2561
## 9      2      2   1 0.2791
## 10     2      2   2 0.2802
## 11     2      3   1 0.2343
## 12     2      3   2 0.2351
## 13     3      1   1 0.2484
## 14     3      1   2 0.2435
## 15     3      2   1 0.2753
## 16     3      2   2 0.2809
## 17     3      3   1 0.2385
## 18     3      3   2 0.2407
```

a. **Respuesta** - Evaluadores (b): 3 laboratorios. - Partes (a): Lotes con una longitud de 3.

b. Empleando la base de datos pasteleria y el package **SixSigma**, llevar a cabo un análisis del sistema de medición (MSA) e indicar las principales conclusiones procedente de este análisis.

## b. Respuesta

Análisis de varianza

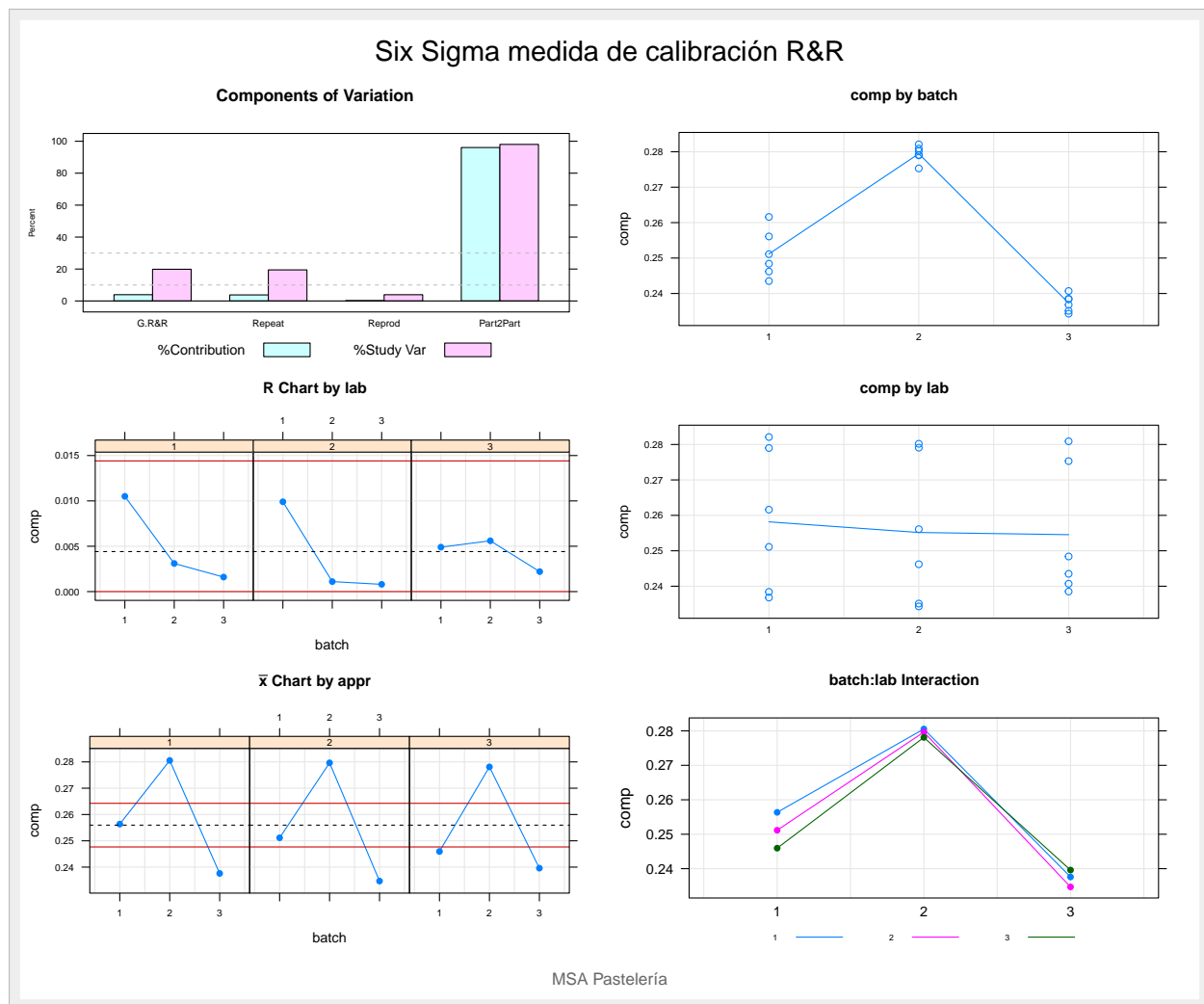
```
mi_analisis <- ss.rr(var = comp, part = batch,
                    appr = lab,
                    data = pasteleria,
                    main = "Six Sigma medida de calibración R&R",
                    sub = "MSA Pastelería")
```

```
## Complete model (with interaction):
##
##              Df    Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
## batch          2  0.005534  0.0027670  118.169 0.000277
## lab            2  0.000045  0.0000225    0.959 0.456780
## batch:lab      4  0.000094  0.0000234    1.492 0.283210
## Repeatability  9  0.000141  0.0000157
## Total         17  0.005814
##
## alpha for removing interaction: 0.05
##
##
## Reduced model (without interaction):
##
##              Df    Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
## batch          2  0.005534  0.0027670  153.128 9.2e-10
## lab            2  0.000045  0.0000225    1.243  0.321
## Repeatability 13  0.000235  0.0000181
```

```

## Total          17 0.005814
##
## Gage R&R
##
##              VarComp %Contrib
## Total Gage R&R    1.880158e-05    3.94
##   Repeatability    1.806979e-05    3.79
##   Reproducibility  7.317949e-07    0.15
##     lab            7.317949e-07    0.15
## Part-To-Part      4.581529e-04   96.06
## Total Variation   4.769545e-04  100.00
##
##              StdDev   StudyVar %StudyVar
## Total Gage R&R    0.0043360790 0.026016474    19.85
##   Repeatability    0.0042508571 0.025505143    19.46
##   Reproducibility  0.0008554501 0.005132701     3.92
##     lab            0.0008554501 0.005132701     3.92
## Part-To-Part      0.0214045067 0.128427040    98.01
## Total Variation   0.0218392877 0.131035726   100.00
##
## Number of Distinct Categories = 6

```



## Tablas de varianza

Los resultados del MSA muestran que el % de variación del estudio (%StudyVar) debido a R&R (segunda tabla, primera fila, tercera columna) es del 19.65%. Este valor es menor al 30%, indicando que la variabilidad debido a la aleatoriedad del proceso es aceptable, por lo cual indica que estamos frente a un buen sistema de medición.

## Interpretación de los gráficos

El gráfico en parte superior izquierda representa la contribución de cada componente en la varianza total. Éste permite a partir de un vistazo identificar si los problemas de medición provienen de la repetibilidad o la reproducibilidad. En el caso bajo estudio, es claro que la mayor fuente variación proviene Part-to-part (variabilidad no debido al sistema de medición), además, la aportación de la variación debido a R&R se encuentra por debajo del 30%.

Los dos primeros gráficos en la columna derecha muestran cada medida como un punto en el gráfico. En el gráfico superior, el eje de las  $X$ s representa los lote y una línea ha sido extendida para vincular la media de cada lote. En el gráfico intermedio, el eje de las  $X$ s representa los laboratorios. El gráfico inferior en la derecha muestra la interacción entre los laboratorios y los lotes. Las medias de *lotes*  $\times$  *laboratorios* son representadas por puntos y vinculadas mediante líneas. En este gráfico se detecta que el lote número dos tiene una media mayor al resto, sin embargo, las mediciones por laboratorio son iguales, lo cual indica una baja variabilidad por laboratorio. El gráfico por laboratorio indica que no existen substanciales diferencias entre laboratorios. La media y la variabilidad son similares, lo cual indica que no es un problema para el

sistema de medición. Las líneas en el gráfico de interacción se cruzan una a otra, entonces la interacción entre factores es relevante.

### Pregunta 3.

Empleando la base de datos **ss.data.pc** disponible en el package **SixSigma**, elaborar un gráfico de barra del volumen total de los cartridges (cartuchos) por tipo de filler (relleno).<sup>2</sup> Nota: emplear la función **aggregate** transformar de manera apropiada los datos contenidos **ss.data.pc**.

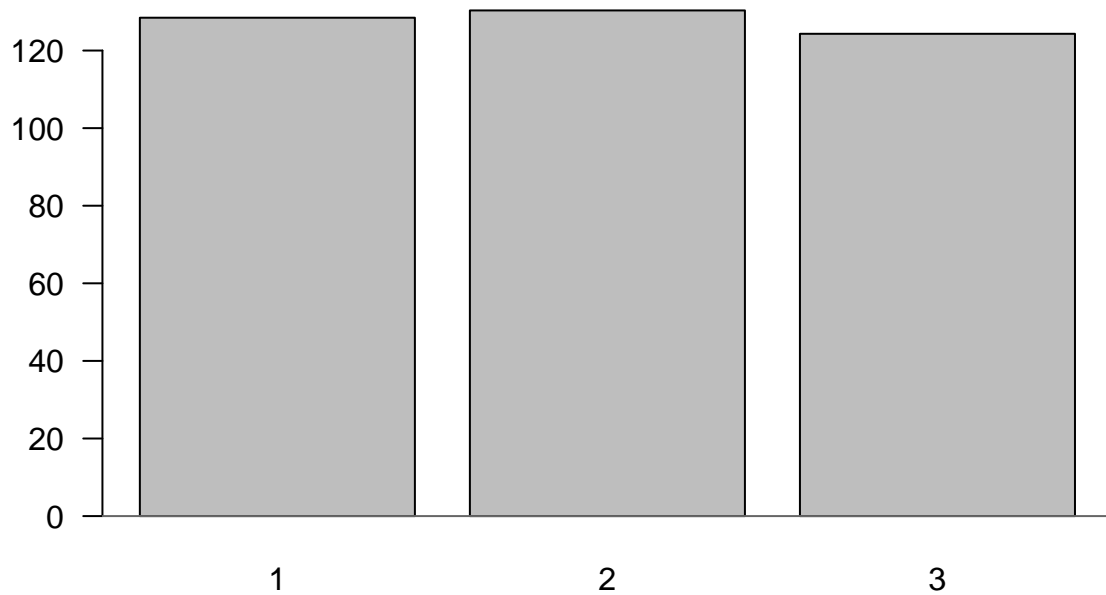
```
library(SixSigma)
datos <- ss.data.pc
datos
```

| ##    | pc.col | pc.filler | pc.volume | pc.density | pc.batch | pc.op |
|-------|--------|-----------|-----------|------------|----------|-------|
| ## 1  | C      | 1         | 16.75331  | 1.253419   | 1        | A     |
| ## 2  | C      | 2         | 18.01435  | 1.112435   | 1        | B     |
| ## 3  | C      | 3         | 15.64487  | 1.141105   | 1        | C     |
| ## 4  | C      | 1         | 18.02817  | 1.091772   | 1        | D     |
| ## 5  | C      | 2         | 13.78313  | 1.146547   | 2        | A     |
| ## 6  | C      | 3         | 16.75840  | 1.123339   | 2        | B     |
| ## 7  | C      | 1         | 14.69381  | 1.345546   | 2        | C     |
| ## 8  | C      | 2         | 15.19748  | 1.184424   | 2        | D     |
| ## 9  | C      | 3         | 14.20776  | 1.457567   | 3        | A     |
| ## 10 | C      | 1         | 15.95797  | 1.186025   | 3        | B     |
| ## 11 | C      | 2         | 18.15004  | 1.276415   | 3        | C     |
| ## 12 | C      | 3         | 14.22977  | 1.280528   | 3        | D     |
| ## 13 | B      | 1         | 16.86465  | 1.301196   | 4        | A     |
| ## 14 | B      | 2         | 14.27984  | 1.112285   | 4        | B     |
| ## 15 | B      | 3         | 16.13413  | 1.270603   | 4        | C     |
| ## 16 | B      | 1         | 15.92417  | 1.341316   | 4        | D     |
| ## 17 | B      | 2         | 16.85830  | 1.199093   | 5        | A     |
| ## 18 | B      | 3         | 16.34490  | 1.199544   | 5        | B     |
| ## 19 | B      | 1         | 15.41755  | 1.541008   | 5        | C     |
| ## 20 | B      | 2         | 16.78617  | 1.312416   | 5        | D     |
| ## 21 | B      | 3         | 15.30790  | 1.142107   | 6        | A     |
| ## 22 | B      | 1         | 14.81696  | 1.216941   | 6        | B     |
| ## 23 | B      | 2         | 17.26885  | 1.260321   | 6        | C     |
| ## 24 | B      | 3         | 15.68745  | 1.329866   | 6        | D     |

```
data2 <- aggregate(datos[,3:4],
  by = list(datos$pc.filler),
  FUN = sum, na.rm = TRUE)
with(data2,
  barplot(pc.volume,
    names.arg = Group.1,
    las = 1,
    main = "Barplot del volumen total del cartucho por tipo de relleno"))
abline(h = 0,
  col = "#666666")
```

<sup>2</sup>Los datos están habilitados en el package **SixSigma** como un objeto llamado **ss.data.pc**. Para mayor información de esta base de datos ir a `help` y escribir el nombre del objeto.

## Barplot del volumen total del cartucho por tipo de relleno



## Pregunta 4

Empleando la base de datos `ss.data.strings`<sup>3</sup> evaluar la hipótesis de normalidad de la resistencia de las cuerdas.

```
datos_sonido <- na.omit(ss.data.strings)
mi_modelo <- lm(res ~ len, data = datos_sonido)
names(mi_modelo)
```

```
## [1] "coefficients" "residuals"      "effects"      "rank"
## [5] "fitted.values" "assign"         "qr"           "df.residual"
## [9] "xlevels"       "call"          "terms"        "model"
```

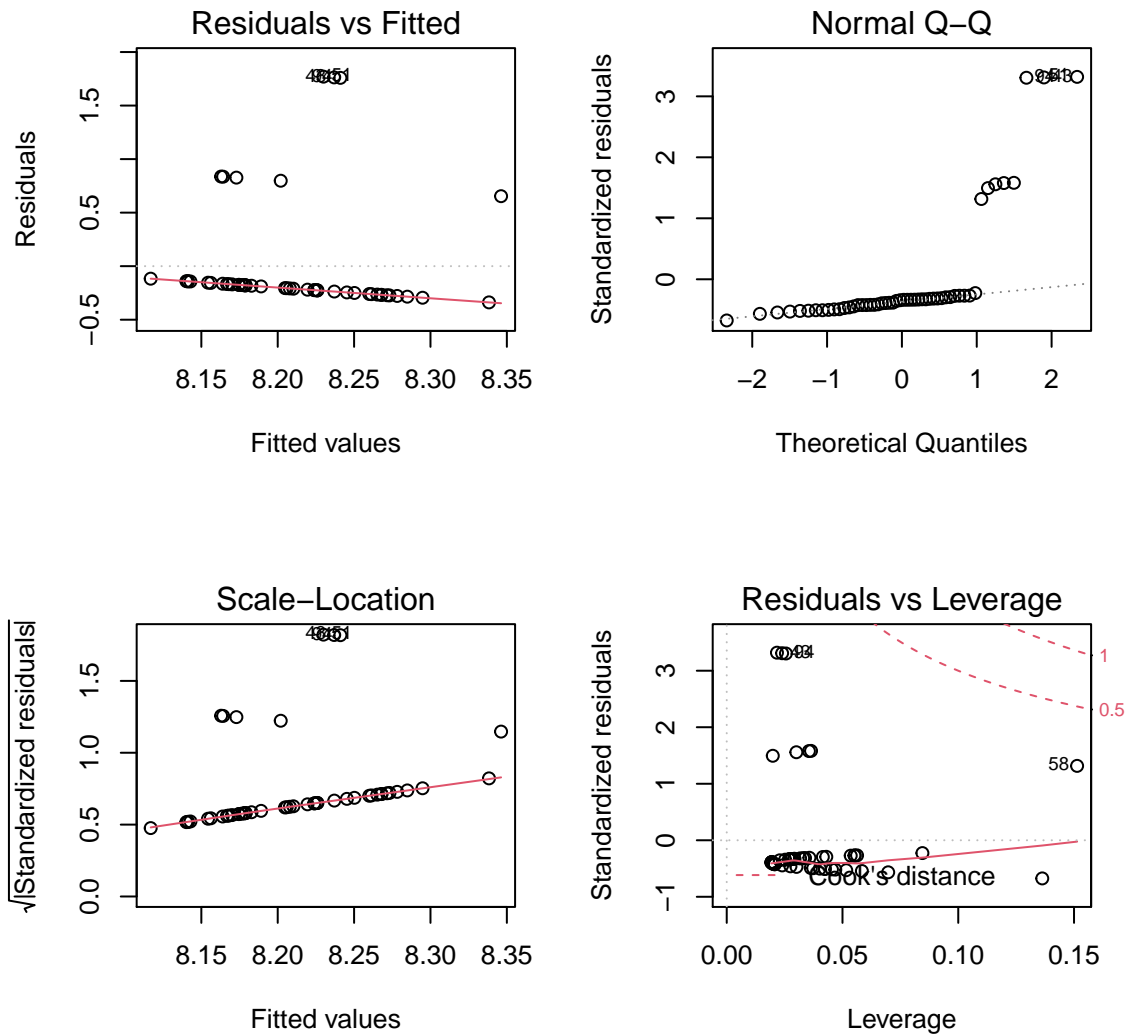
```
shapiro.test(residuals(mi_modelo))
```

```
##
##  Shapiro-Wilk normality test
##
## data:  residuals(mi_modelo)
## W = 0.53021, p-value = 1.174e-11
```

<sup>3</sup>Los datos están habilitados en el package **SixSigma** como un objeto llamado `ss.data.strings`. Para mayor información de esta base de datos ir a `help` y escribir el nombre del objeto.



```
par(mfrow=c(2,2))
plot(mi_modelo)
```



## Pregunta 5

Estimar un modelo lineal empleando la resistencia de las cuerdas como la variable de respuesta y la longitud de las cuerdas como la variable independiente. ¿Es el modelo lineal un buen modelo para explicar esta relación?

```
datos_sonido <- na.omit(ss.data.strings)
mi_modelo <- lm(res ~ len, data = datos_sonido)
summary(mi_modelo)
```

```
##
```

```
## Call:
## lm(formula = res ~ len, data = datos_sonido)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.3383 -0.2391 -0.1810 -0.1515  1.7700
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 189.5844    263.8909   0.718   0.476
## len         -0.1909     0.2778  -0.687   0.495
##
## Residual standard error: 0.5392 on 50 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.009359,    Adjusted R-squared:  -0.01045
## F-statistic: 0.4724 on 1 and 50 DF,  p-value: 0.4951
```

## Pregunta 6

Obtener el diseño matricial para un experimento  $2^4$  y crear una tabla aleatoria para registrar las respuestas.  
Nota: la columna de Calificación todos sus valores deben ser *NA*.

```
Diseno_experimento <- expand.grid(factor1 = gl(2,1, labels = c("-", "+")),
                                factor2 = gl(2,1, labels = c("-", "+")),
                                factor3 = gl(2,1, labels = c("-", "+")),
                                factor4 = gl(2,1, labels = c("-", "+")),
                                calificación = NA)

Diseno_experimento
```

```
##      factor1 factor2 factor3 factor4 calificación
## 1          -      -      -      -          NA
## 2          +      -      -      -          NA
## 3          -      +      -      -          NA
## 4          +      +      -      -          NA
## 5          -      -      +      -          NA
## 6          +      -      +      -          NA
## 7          -      +      +      -          NA
## 8          +      +      +      -          NA
## 9          -      -      -      +          NA
## 10         +      -      -      +          NA
## 11         -      +      -      +          NA
## 12         +      +      -      +          NA
## 13         -      -      +      +          NA
## 14         +      -      +      +          NA
## 15         -      +      +      +          NA
## 16         +      +      +      +          NA
```

```
Diseno_experimento$orden <- sample(1:16, 16)
Diseno_experimento[order(Diseno_experimento$orden),]
```

```
##      factor1 factor2 factor3 factor4 calificación orden
## 4          +      +      -      -          NA      1
```

|       |   |   |   |   |    |    |
|-------|---|---|---|---|----|----|
| ## 9  | - | - | - | + | NA | 2  |
| ## 6  | + | - | + | - | NA | 3  |
| ## 11 | - | + | - | + | NA | 4  |
| ## 16 | + | + | + | + | NA | 5  |
| ## 15 | - | + | + | + | NA | 6  |
| ## 10 | + | - | - | + | NA | 7  |
| ## 7  | - | + | + | - | NA | 8  |
| ## 13 | - | - | + | + | NA | 9  |
| ## 14 | + | - | + | + | NA | 10 |
| ## 5  | - | - | + | - | NA | 11 |
| ## 3  | - | + | - | - | NA | 12 |
| ## 2  | + | - | - | - | NA | 13 |
| ## 1  | - | - | - | - | NA | 14 |
| ## 8  | + | + | + | - | NA | 15 |
| ## 12 | + | + | - | + | NA | 16 |

## Pregunta 7

Asumir que una vez egrese de la carrera de Ingeniería Civil Industrial su primera oportunidad de empleo es la elaboración de un proyecto empleando la metodología Six Sigma. Dicho proyecto tendrá como objetivo general reducir los tiempos de elaboración de pizzas y el puntual envío de los pedidos a los hogares de los consumidores. Para tener una pequeña descripción de su proyecto Six Sigma es necesario responder de manera clara y detallada cada una de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuales son cada uno de los pasos del ciclo DMAIC de su proyecto?
2. Describir las actividades que deben ser llevadas a cabo en cada uno de los pasos anteriores.
3. ¿Cuales serían algunos de los problemas a los cuales se enfrentaría el proyecto?
4. ¿Qué tipo de información y herramientas estadísticas son necesarias para llevar a cabo la fase de análisis en su proyecto?
5. ¿Puede llevar a cabo algún tipo de diseño de experimento en su proyecto?, ¿Describir el diseño del experimento?, ¿De que manera este experimento puede mejorar los resultados de su proyecto?