

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN ESTADÍSTICA CON MENCIÓN EN CALIDAD Y  
PRODUCTIVIDAD”**

**TEMA:**

**“MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARAMÉTRICOS PARA ANALIZAR  
LA VARIABILIDAD DEL TORQUE EN UNA EMPRESA DE  
BEBIDAS CARBONATADAS”**

**AUTOR:**

**FRANCISCO ANDRÉS BALLESTERO TORRES**

Guayaquil - Ecuador

2019

## **DEDICATORIA:**

A mi abuela, Sra. Luzmila Angulo Reasco, quien es mi mayor fuente de inspiración y humildad, mis padres Paco y Chelita quienes con su respaldo incondicional, amor, trabajo y sacrificio permitieron que me formara como magister, mi hermana Fabiana quien siempre estuvo para apoyarme, mi hija Francesca que es fuente de superación día a día.

### **AGRADECIMIENTO:**

A Dios por la oportunidad de finalizar esta maestría, a mis padres Paco y Chelita por la confianza depositada en mí y su apoyo incondicional en todo momento, a mi abuela Luzmila por siempre haberme guiado por el buen camino, mi hermana Fabiana por su apoyo constante, a mi hija mi novia Valquiria por su apoyo durante este tiempo de estudio, a toda mi familia y amigos que de una u otra manera han contribuido durante este proceso.

## DECLARACIÓN EXPRESA

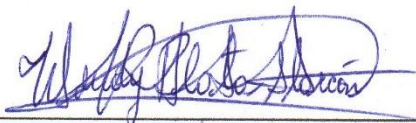
La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Postgrados** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



---

Francisco Andrés Ballesteros Torres

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Mgtr. Wendy Plata Alarcón

**PRESIDENTE**



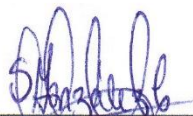
PhD. Sandra Lorena García Bustos Msc.

**DIRECTOR**



PhD. Kleber Barcia Villacreses

**VOCAL PRINCIPAL**



M.Sc. Sandra Paola González Camba

**VOCAL SUPLENTE**

## AUTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francisco Andrés Ballesteros Torres', written over a horizontal line.

Francisco Andrés Ballesteros Torres

## RESUMEN

La presente investigación se encuentra relacionada al estudio estadístico de la variabilidad del torque entre las capsuladoras dentro del proceso de bebidas carbonatadas mediante métodos paramétricos, en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas. La propuesta presentada en el estudio busca ajustar el rango usado tradicionalmente para la aplicación del torque en el proceso de capsulado. Cabe mencionar que, de forma visual, la compañía ha indicado que existía una leve sospecha de que la corrida de producción se encontraba descontrolada en el proceso de embotellamiento lo cual se traducía en una cantidad mayor de desecho.

Por ello, el presente estudio, ha logrado identificar, mediante el uso de indicadores y pruebas estadísticas, que la corrida de producción efectivamente tenía un descontrol. Las pruebas de hipótesis fueron de vital importancia para justificar el planteamiento del problema. Además, la metodología usada ha estado orientada a comprobar el problema que se tuvo en la investigación, mediante el uso inicial de pruebas de normalidad, el uso de pruebas para comparación de medias de muestras pareadas y pruebas de comparación de varianzas para concluir sobre los supuestos de variabilidad del torque en cada una de las capsuladoras.

Adicionalmente, se aplicó un diseño experimental por bloques con el fin de identificar el efecto principal que tiene el rango nuevo, el cual ha sido propuesto por la investigación, dentro de las capsuladoras. Mediante el uso de un modelo de regresión lineal y de variables de control de tipo Dummy, las cuales describan características específicas de cada una de las capsuladoras, se ha logrado el efecto limpio, o también considerado neto, sobre cada una de las capsuladoras y el torque aplicado a ellas.

Finalmente, se realizaron varias pruebas de hipótesis, entre ellas una prueba de comparación de varianzas, para justificar que el rango propuesto genera un cambio en las medias y las varianzas del torque aplicado. Además, se plantean gráficos de control para la media y el Rango con el uso de un rango totalmente distinto a los habituales impuestos por la compañía.

**Palabras Claves:** Control de procesos, capsulado, análisis de variabilidad.

## **ABSTRACT**

The present investigation is related to the statistical study of the variability of the torque between capsulators within the process of carbonated drinks by means of parametric methods, in a bottling plant of carbonated drinks. The proposal presented in the study seeks to adjust the range traditionally used for the application of torque in the capped process. It should be mentioned that, visually, the company has indicated that there was a slight suspicion that the production run was uncontrolled in the bottling process, which translated into a greater amount of waste.

For this reason, the present study has been able to identify, through the use of indicators and statistical tests, that the production run effectively had a lack of control. The hypothesis tests were of vital importance to justify the approach of the problem. In addition, the methodology used has been oriented to verify the problem that was had in the investigation, by means of the initial use of normality tests, the use of tests for comparison of means of paired samples and tests of comparison of variance to conclude on the assumptions of torque variability in each of the capsulators.

Additionally, an experimental block design was applied in order to identify the main effect of the new range, which has been proposed by the research, within the capsulators. Through the use of a linear regression model and control variables of the Dummy type, which describe specific characteristics of each of the capsulators, the clean effect, or also considered net, has been achieved on each of the capsulators and the torque applied to them.

Finally, several hypothesis tests were carried out, including a variance comparison test, to justify that the proposed range generates a change in the means and variances of the applied torque. In addition, control charts are presented for the average and the Range with the use of a range totally different from the usual ones imposed by the company.

**Keywords:** Process control, capping, variability analysis.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
RESUMEN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ABSTRACT .....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
CAPÍTULO 1 .....	1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.4. OBJETIVOS .....	1
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	1
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
1.5. JUSTIFICACIÓN .....	1
1.6. ALCANCE .....	1
1.7. HIPÓTESIS .....	1
1.8. VARIABLES .....	1
1.9. LIMITACIONES.....	1
CAPÍTULO 2 .....	2
MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. FUNDAMENTOS ESTADÍSTICOS .....	2
2.1.1 Distribución normal.....	2
2.1.2. Teorema del límite central .....	2
2.1.3. Distribución de medias muestrales.....	2
2.1.4. Heterocedasticidad.....	2
2.1.5. Diseños experimentales por bloques .....	1
2.1.6. Variables Control.....	2
2.2. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS .....	2
2.2.1. Diagramas o Cartas de Control .....	2
2.2.2. Beneficios de las cartas de control .....	2
2.2.3. Límites de Control .....	2
2.2.4 Variabilidad de los procesos.....	1
2.2.4.1. Causas asignables de variación.....	1
2.2.4.2. Causas comunes de variación .....	1
2.2.5 Modelo General para gráficos de control .....	1
2.2.6. Desventajas de las cartas individuales.....	1
2.2.7. Cartas de control grupales .....	2
2.2.7.1. Límites de control para gráficos grupales.....	2
2.3. METODOLOGÍA .....	2
2.4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO .....	1
2.4.1. Factores Relevantes .....	2
2.4.2. Condiciones Experimentales.....	2
2.4.3 Recolección de Datos .....	2

2.4.4. Instrumentos de Medición .....	2
CAPÍTULO 3 .....	2
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	2
3.1. PRUEBA DE NORMALIDAD .....	2
3.2. GRÁFICOS DE CONTROL DE RANGOS ANALIZADOS. (COMPARACIÓN ENTRE AMBOS) .....	2
3.3. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA. (HOMOCEDEASTICIDAD).....	2
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL POR BLOQUES.....	2
3.5. ANÁLISIS DE VARIANZA .....	2
3.6. PRUEBA T STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES.....	2
3.7. GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIAS Y RANGOS OBSERVACIONES INDIVIDUALES. (COMPARACIÓN ENTRE RANGO 8-22 Y RANGO 12-18). <b>¡Error! Marcador</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	2
4.1. CONCLUSIONES.....	2
4.2. RECOMENDACIONES .....	1
BIBLIOGRAFÍA .....	2
ANEXO.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal.....	2
Figura 2. Típico grafico de control .....	2
Figura 3. Gráfico LSD de Fisher – Medias obtenidas en los rangos estudiados ....	2
Figura 4. Gráfico comparativo en relación a nivel de reclamos recibidos debido al torque en los envases de bebidas carbonatadas .....	2

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Intervalos de confianza para la media (95%) .....	1
Tabla 2. Grupo de estudio (Rango 8-22kgf). Rango Control .....	2
Tabla 3. Grupo de estudio (Rango 8-22kgf). Rango Propuesto .....	2
Tabla 4. Comportamiento del Capsulador 1 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 1 (rango propuesto 12-18) .....	1
Tabla 5. Comportamiento del Capsulador 2 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 2 (rango propuesto 12-18) .....	1
Tabla 6. Comportamiento del Capsulador 3 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 3 (rango propuesto 12-18) .....	1
Tabla 7. Comportamiento del Capsulador 4 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 4 (rango propuesto 12-18) .....	1
Tabla 8. Comportamiento del Capsulador 4 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 5 (rango propuesto 12-18) .....	1
Tabla 9. Comportamiento del Capsulador 6 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 6 (rango propuesto 12-18) .....	2
Tabla 10. Comportamiento del Capsulador 7 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 7 (rango propuesto 12-18) .....	2
Tabla 11. Comportamiento del Capsulador 8 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 8 (rango propuesto 12-18) .....	2
Tabla 12. Comportamiento del Capsulador 9 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 9 (rango propuesto 12-18) .....	2
Tabla 13. Prueba de homogeneidad de varianzas .....	2
Tabla 14. Estimación de Parámetros de la regresión lineal planteada en el programa estadístico R. ....	1
Tabla 15. Parámetros estimados bajo una matriz de Varianzas y covarianzas robusta a Heterocedasticidad .....	1
Tabla 16. Análisis de Varianza .....	1
Tabla 17. Prueba t para los rangos de capsuladoras de bebidas carbonatadas. ....	2
Tabla 18. Comparación ambos rangos - Capsulador 1 .....	1
Tabla 19. Comparación ambos rangos - Capsulador 2 .....	2
Tabla 20. Comparación ambos rangos - Capsulador 3 .....	2
Tabla 21. Comparación ambos rangos - Capsulador 4 .....	2
Tabla 22. Comparación ambos rangos - Capsulador 5 .....	2
Tabla 23. Comparación ambos rangos - Capsulador 6 .....	2
Tabla 24. Comparación ambos rangos - Capsulador 7 .....	2
Tabla 25. Comparación ambos rangos - Capsulador 8 .....	2
Tabla 26. Comparación ambos rangos - Capsulador 9 .....	2

## **ABREVIATURAS O SIGLAS**

PET	Politereftalato de Etileno
kgf	Kilogramo-fuerza o kilopondio

# **CAPÍTULO 1**

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL**

El encapsulado de las bebidas carbonatadas es un proceso que debe ser considerado de alta importancia, así como la fuerza del torque que es aplicado en las tapas en envases de Tereftalato de polietileno (PET), ya que al contener gas genera una mayor presión en la tapa que cualquier otro tipo de bebida. Cabe recalcar que el torque es la fuerza de rotación que se aplica a las tapas para removerlas antes de ser consumidas.

En esta línea de producción existe una alta variabilidad al momento de realizar los análisis de torque durante la producción. Se debe controlar el torque durante el proceso de encapsulado con un rango de especificaciones riguroso para evitar reclamos por parte de clientes y/o consumidores, ya que un mal encapsulado genera derrame del producto, contaminación de la bebida, pérdida de la gasificación.

Esto a su vez provoca variación en las características organolépticas del producto y rechazo por parte del consumidor, paradas de producción por mal estado de los encapsuladores, pérdida de recursos como tapas y envases, retrasos en las entregas de producción. Todo esto conlleva a reducción de las ventas y problemas entre departamentos (calidad, producción y mantenimiento).

Por estos motivos es necesario implementar un mecanismo para mantener bajo control el encapsulado durante la producción, se propone un nuevo rango de capsulado que permita disminuir la alta variabilidad en los análisis torque del encapsulado. (Elaboración Propia)

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El ajuste del rango en el proceso de capsulado en bebidas carbonatadas disminuirá su variabilidad actual?

### **1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Cuáles son las causas de los puntos que se encuentran fuera de control durante el proceso de encapsulado?

- ¿Se puede mejorar la calidad de los encapsulados de las bebidas carbonatadas utilizando técnicas estadísticas?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio estadístico de la variabilidad del torque entre capsuladoras dentro del proceso de bebidas carbonatadas mediante métodos paramétricos.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la variabilidad de torque en el proceso de capsulado de bebidas carbonatadas.
- Proponer un nuevo rango que permita disminuir la variabilidad de las capsuladoras.
- Verificar si el nuevo rango realmente disminuye la variabilidad del proceso de capsulado dentro del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN**

El monitoreo constante de los procesos de producción es fundamental para mantener o mejorar la calidad de estos. El torque de apertura, definido como la fuerza de rotación aplicada por el consumidor para remover la tapa de la botella, es una de las variables de calidad medidas en una línea de producción de un producto en particular.

Las pruebas de hipótesis que permiten el análisis de la variabilidad de los datos y comprobación de alteración de medias muestrales son metodologías estadísticas eficaz y ampliamente usadas en la actualidad.

Este estudio es de gran importancia puesto que una alta variabilidad en los análisis de torque es desencadenante de múltiples problemas en los procesos productivos como aumento de la insatisfacción de los consumidores, pérdida de la confianza y credibilidad en el producto, reducción en la calidad del producto final, altos costos de producción, entre otros.

Por lo tanto, el trabajo se enfocará en la utilización de un sistema de control estadístico en el proceso de encapsulado basado en pruebas paramétricas que permite el análisis de la variable de calidad: torque, dentro de la Línea # 3 para bebidas gaseosas.

## **1.6. ALCANCE**

Este estudio será realizado en una empresa multinacional ubicada en la ciudad de Guayaquil, dedicada a la producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. La línea de producción a estudiar será la número 3 la cual presenta una alta variabilidad en los resultados de análisis de Torque, que es el análisis que determina la calidad de encapsulado de la bebida carbonatada. En esta línea de producción se realizan formatos pequeños (250ml, 400ml y 1250ml), en los que se envasa cinco sabores diferentes y que varían el nivel de carbonatación dependiendo del sabor.

## **1.7. HIPÓTESIS**

Si se reduce el rango actual del capsulado (8 – 22) en la producción de bebidas carbonatadas, reduciría la alta variabilidad que existe actualmente durante el capsulado.

## **1.8. VARIABLES**

- Torque de apertura.
- Rango de especificación de torque: 8 Kgf – 22 Kgf.

## **1.9. LIMITACIONES**

- Disponibilidad de la información.
- Calidad de las mediciones de los análisis de torque anteriormente realizados.
- La planificación de la producción semanal no siempre es cumplida a cabalidad.
- Incorrecta toma de datos al momento de realizar el análisis de torque.
- Escasa inspección de la línea de producción #3.



- Comunicación ineficiente acerca de los cambios en la planificación de la producción entre los departamentos de producción, mantenimiento y calidad

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. FUNDAMENTOS ESTADÍSTICOS

Usualmente, analistas y tomadores de decisiones usan la estadística para obtener conclusiones acerca de cualquier fenómeno o proceso basado en información limitada.

Para el entendimiento del Control Estadístico de Procesos es pertinente repasar ciertos conceptos estadísticos que se describen a continuación.

##### 2.1.1 Distribución normal

También denominada campana de Gauss o distribución gaussiana, la distribución normal es la función de densidad de probabilidad más destacada en estadística, aparece con mayor frecuencia en la explicación de fenómenos reales. Depende de dos parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , que son la media y la desviación estándar, respectivamente. Posee forma de campana y es simétrica respecto a la media. Llevando múltiplos de  $\sigma$  a ambos lados de  $\mu$ , nos encontramos con que el 68% de la población está contenido en un entorno  $\pm 1\sigma$  alrededor de  $\mu$ , el 95% de la población está contenido en un entorno  $\pm 2\sigma$  alrededor de  $\mu$  y que el 99,73% está comprendido en  $\pm 3\sigma$  alrededor de  $\mu$ . (Diaz & Ruiz, 2011)

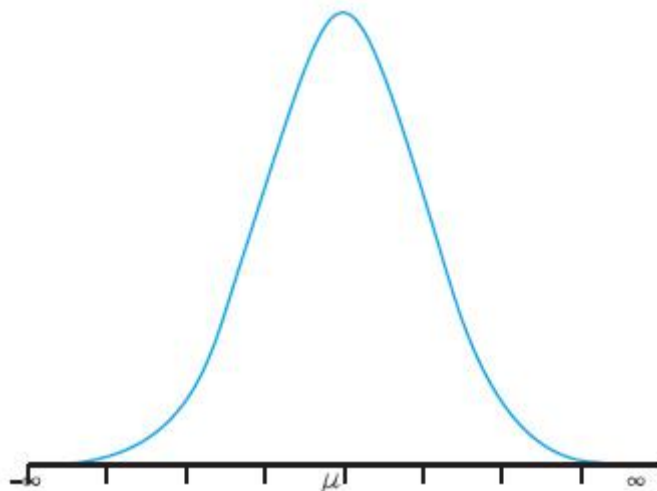


Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal

### 2.1.2. Teorema del límite central

El teorema del límite central establece que la suma de muchas causas independientes (variables aleatorias), tienden a tener una distribución asintóticamente normal. Es decir:

Si  $X = \sum_{i=1}^n x_i$ , donde  $x_i$  es una variable aleatoria con media  $\mu_i$  y varianzas  $\sigma_i^2$ . Entonces:

$$X \rightarrow N \left( \sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \right)$$

(Contreras Zamarrón, Marroquín Prado, & Zertuche Luis, 2012)

### 2.1.3. Distribución de medias muestrales

Si  $X$  es una variable aleatoria que sigue una distribución  $N(\mu, \sigma)$  de la que se extraen muestras de tamaño  $n$ , entonces las medias muestrales se distribuyen según otra ley normal:

$$\bar{X}_m \propto N \left( \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Se puede observar que, como resultado del Teorema del Límite Central, la distribución de las medias muestrales tiende a ser normal incluso cuando la población base no lo es, siempre que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande  $n \geq 25$ , dependiendo de cuán asimétrica sea la distribución. (Montgomery, 2009)

### 2.1.4. Heterocedasticidad

La heterocedasticidad es un indicador estadístico que ha ido agarrando mayor interés a raíz de la creación de los modelos de regresión lineal. En estos casos, la heterocedasticidad se refiere al tipo de varianza que poseen los errores de un modelo de regresión lineal que estima los valores de una variable dependiente. De esta forma, la heterocedasticidad ocurre cuando la varianza de los residuos de un modelo no es constante (Stock & Watson, 2012). La existencia de esta heterocedasticidad puede estimar parámetros que carezcan de robustez o que se encuentren sesgados.

Existen varios tipos de pruebas estadísticas que permiten identificar la heterocedasticidad, sin embargo, para la presente investigación, se ha tomado en

cuenta la prueba de Breusch – Pagan por términos de software. La prueba de Breusch – Pagan busca identificar la existencia de heterocedasticidad tomando en cuenta las variables independientes usadas en el modelo de regresión lineal (Stock & Watson, 2012). De esta forma, al estimar los residuos del modelo, se puede realizar la transformación de ellos, con el fin de encontrar la varianza de estos, elevando al cuadrado cada uno de estos valores. Finalmente, la prueba de Breusch – Pagan propone realizar otra regresión, pero tomando en cuenta la variable independiente en estudio y como variable dependiente los residuos al cuadrado. Luego de esto, el estadístico F, de análisis de varianza, que arrojan los programas estadísticos previo a la estimación, tenga un valor p menor al nivel de significancia pactado en la investigación, se espera que haya un rechazo de la hipótesis nula que afirma la posibilidad de homocedasticidad en la varianza de los residuos.

### **2.1.5. Diseños experimentales por bloques**

Los diseños experimentales son reglas que determinan la asignación de las unidades experimentales a los tratamientos. Aunque los experimentos difieren unos de otros en muchos aspectos, existen diseños estándar que se utilizan con mucha frecuencia. Para la presente investigación se ha tomado en cuenta el diseño experimental por bloques debido a que permiten realizar estimaciones de los efectos de una variable sobre otra, tomando en cuenta un tamaño muestral relativamente pequeño (Stock & Watson, 2012).

En este tipo de diseños, se suele agrupar las unidades experimentales en bloques con el fin de determinar la distribución de los tratamientos de cada bloque. Adicionalmente, luego de identificar la distribución de los antes mencionados, se suele asignar de forma aleatoria las unidades experimentales a los tratamientos dentro de cada bloque. El diseño se lo puede explicar de la siguiente manera:

$$Y_i = \beta_0 + Eb_i + Et_i + \varepsilon_i$$

Donde:

- $\beta_0$  = Valor Constante
- $Eb_i$  = Efecto Bloque

- $E t_i$  = Efecto Tratamiento
- $\varepsilon_i$  = Errores de regresión que se supone normal, con varianza constante y no correlacionada.

### **2.1.6. Variables Control**

Las variables control tienen una gran importancia para los cuasi experimentos que se llevan a cabo en las investigaciones donde se hace el uso de la metodología de regresión lineal. En el presente estudio se tomarán en cuenta estas variables debido a que permitirán limpiar el efecto exógeno que no son de una importancia tan alta.

De acuerdo con Stock y Watson (2012), las variables controles son aquellas que se toman en cuenta en la estimación, pero no interesa el efecto que cause en la variable respuesta o dependiente. Al respecto, lo que se puede interpretar es que estas variables no son objeto de estudio por lo que su significancia no es tan importante. Además, estas variables esperan ser usadas para limpiar los efectos exógenos de la variable de estudio sobre la variable dependiente (Universidad de Valencia, 2015).

## **2.2. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

En los procesos industriales se generan grandes cantidades de información tanto cuantitativa como cualitativa, que sirven para monitorear los costos de producción, las actividades y la calidad productiva. Esta información necesita de la estadística descriptiva e inferencial, al igual que la teoría de probabilidades para contribuir a la toma de decisiones respecto al control de la calidad y de los procesos (Diaz & Ruiz, 2011).

El control estadístico de procesos se refiere a la aplicación de técnicas estadísticas destinadas a reducir la variabilidad indeseada o mantener esta variabilidad dentro de ciertos límites. Por la vigilancia habitual del mismo permite también comprobar si el resultado de un proceso concuerda con el diseño del producto o servicio proporcionado de manera similar, aumenta el conocimiento del proceso por lo que puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación de este. (Ruiz Falcó, 2006).

### **2.2.1. Diagramas o Cartas de Control**

Las técnicas más usadas en el control de procesos son los gráficos de control o también llamados cartas de control. Estos se usan principalmente para descubrir el fallo dentro de un proceso y así poder eliminar la elaboración de un producto o servicio defectuoso o también para indicar si un proceso ha sido modificado, desviando las especificaciones del diseño para poder tomar medidas correctivas.

Las cartas de control son herramientas gráficas para supervisar la actividad de un proceso en curso. Estas se denominan a veces cartas de control de Shewhart, debido a que Walter A. Shewhart fue quien propuso por primera vez su teoría general.

Este instrumento permite estimar si el proceso está sujeto sólo a variables aleatorias. “Para ello se establecen límites de control, los cuales pueden ser determinados por la distribución de frecuencia de cada característica observada” (González C. , 2005, pág. 24).

### **2.2.2. Beneficios de las cartas de control**

Se pueden obtener varios beneficios utilizando gráficos de control. Mediante el análisis de dichos gráficos se puede obtener lo siguiente:

- Cuando tomar una acción correctiva. Un gráfico de control indica cuando algo puede estar mal para que se puedan tomar medidas correctivas.
- Tipo de medidas correctivas necesarias. El patrón de la parcela en una carta de control diagnostica posibles causas y por lo tanto indica posibles acciones correctivas.
- Cuando dejar un proceso solo. La variación es parte de cualquier proceso. Un gráfico de control muestra cuándo una variabilidad exhibida es normal e inherente de tal manera que no es necesaria ninguna acción correctiva. El inadecuado control excesivo mediante ajustes frecuentes sólo aumenta la variabilidad del proceso.

- Capacidad del proceso. Si el gráfico de control muestra un proceso para estar en control estadístico, podemos estimar la capacidad del proceso y, por lo tanto, su capacidad para satisfacer las necesidades del cliente. Esto ayuda al diseño del producto y del proceso.
- Posibles medios de mejora de la calidad. El cuadro de control proporciona una base para la institución y la medición de la mejora de la calidad. Las tablas de control también proporcionan información útil sobre las acciones a tomar para mejorar la calidad (Diaz & Ruiz, 2011).

### 2.2.3. Límites de Control

En los diagramas de control se señalan tres líneas, la línea del centro que generalmente representa el valor promedio de la característica graficada; esto es un indicador de donde se centra el proceso. Las otras dos líneas señalan los límites de control superior e inferior, usados para tomar decisiones respecto al proceso (Mitra, 2008, pág. 267).

Si los puntos graficados se encuentran dentro del intervalo de control y no demuestran ningún patrón identificable, entonces se dice que el proceso está en control estadístico. Por otro lado, si algún valor se encuentra fuera de los límites, o si se identifica algún patrón no aleatorio, se dice que el proceso está estadísticamente fuera de control (Grimshaw, Rex Bryce, & Meade, 1999).

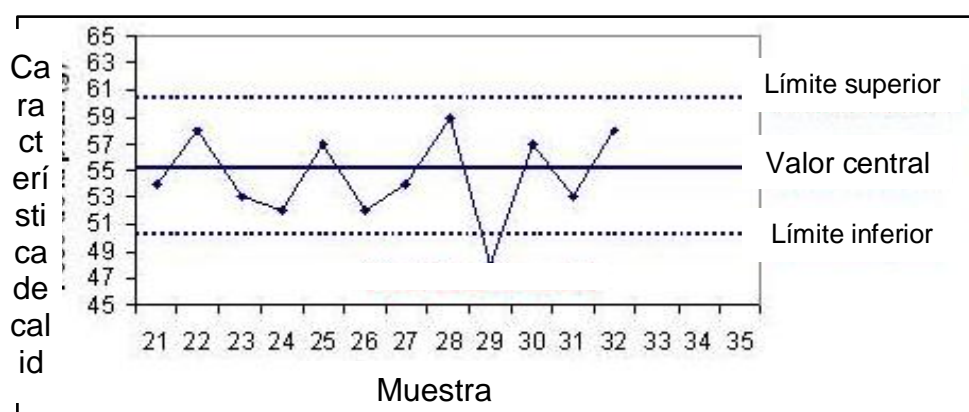


Figura 2. Típico gráfico de control

## 2.2.4 Variabilidad de los procesos

La variabilidad es parte de cualquier proceso, sin importar cuán sofisticado sea este. Existen varios factores sobre los que se tiene control como los métodos, los equipos, las personas, materiales, políticas, etc. Existen también factores sobre los que no se puede ejercer control como los del ambiente. Por esto, se pueden dividir las causas de variación en dos grupos: causas comunes y causas especiales (asignables).

El control de un proceso se logra al eliminar las causas especiales de variación, mientras que la mejora de un proceso puede alcanzarse reduciendo las causas comunes de variación (Carro & González, 2012).

Se dice que un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando la localización de la media, expansión o forma de distribución no cambia con respecto al tiempo.

Para verificar esto, se realizan mediciones graficando los resultados de un procedimiento por medio de un diagrama de dispersión, observando la distribución de los datos. Tal distribución se caracteriza por su media, su expansión y su forma. La media es la sumatoria de las  $n$  observaciones dividida entre el número total de estas (Krajewski & Ritzman, 2000):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

$X_i$ : es la observación de una variable.

$n$ : es el total de observaciones.

$\bar{X}$ : es la media de las observaciones.



La desviación estándar (expansión) es una medida de la dispersión de las observaciones en torno a la media. En términos matemáticos, es la raíz cuadrada de la varianza de una distribución y se obtiene de la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$s$ : es la desviación estándar de una muestra.

$n$ : es el total de observaciones.

$\bar{X}$ : es la media de las observaciones

$X_i$ : es una observación de una variable.

#### **2.2.4.1. Causas asignables de variación**

Las causas especiales o asignables se refieren a factores que no son inherentes al proceso. Es decir, no es parte del proceso tal como está diseñado y no afecta a todos los elementos. Generalmente estas pueden ser el uso de una materia prima inadecuada, herramienta equivocada, o un empleado que necesite capacitación(Mustafa, Rodríguez, & Chauvet, 2002).

Cuando una observación cae fuera de los límites o se identifica un patrón no aleatorio, se asumen que existen causas asignables de variación y se dice que el proceso está fuera de control(Cabezón, 2014).

#### **2.2.4.2. Causas comunes de variación**

Las causas comunes o también denominadas causas debidas al azar, son aquellas que son parte del día a día de un proceso industrial, lo que dificulta su

identificación y eliminación. No obstante, representan a largo plazo una oportunidad de mejoramiento (Corrales & Esteban, 2013).

Si un proceso demuestra solamente causas comunes de variación, entonces se puede suponer que se trata de una distribución simétrica, donde la mayoría de las observaciones se encuentran cerca del centro (Grant & Leavenworth, 1996).

### 2.2.5 Modelo General para gráficos de control

Se sigue el modelo general planteado por (Shewhart, 1985) en el que establece que dada una característica de calidad de interés  $\theta$ ,  $\hat{\theta}$  representa una estimación de  $\theta$ . Es decir, si  $\theta$  es el diámetro medio de las partes producidas por un proceso,  $\hat{\theta}$  sería el diámetro medio de la muestra de un conjunto de partes elegidas del proceso. Sea  $E(\hat{\theta})$  la media, o valor esperado, y sea  $\sigma(\hat{\theta})$  la desviación estándar del estimador  $\hat{\theta}$ . La línea central (LC) y los límites de control (LCS y LCI) siguiendo esta disposición son dados por:

$$LC = E(\hat{\theta})$$

$$LCS = E(\hat{\theta}) + k\sigma(\hat{\theta})$$

$$LCI = E(\hat{\theta}) - k\sigma(\hat{\theta})$$

### 2.2.6. Desventajas de las cartas individuales

Las cartas individuales son diagramas para variables del tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semi-masivos o masivos como en el caso de la carta  $\bar{X}$ , se aplica a procesos lentos, en los cuales para obtener una medición de muestra de la producción se requieren periodos relativamente largos.

Una de las desventajas de la carta de individuales es su menor potencia o sensibilidad para detectar cambios en el proceso, comparado con la carta de medias. Sin embargo, bien utilizadas e interpretada en muchos de los procesos no masivos, es una buena alternativa para detectar cambios. Otra desventaja es

que, si la distribución de la característica de calidad analizada con la carta de individuales se desvía mucho de la distribución normal, entonces los criterios de interpretación de la carta se pueden ver afectados seriamente (Verdoy, Mahiques, & Pellicer, 2006).

### **2.2.7. Cartas de control grupales**

Las cartas de control grupales o GCC (por sus siglas en inglés), son cartas de control usadas en los procesos de flujos múltiples en donde se utiliza una sola carta para todos los flujos a fin de reducir el número de gráficos necesarios para el control de procesos. Este gráfico fue introducido por Boyd en 1950, quién propuso un procedimiento capaz de separar las causas que provoca un deslizamiento de todos los flujos, de los que afectan sólo uno o unos pocos flujos y pertenece al grupo de gráficos de  $\bar{X}$  y de R (Boyd, 1950). Esta técnica fue tomada más tarde por diversos autores, tales como Nelson (1986) y Montgomery (2004).

La carta grupal permite el monitoreo de procesos de flujos múltiples la cual tiene dos objetivos:

- 1) Señalar cuando la producción de todos los flujos se desvía de la meta establecida común.
- 2) Señalar cuando la producción de un flujo presenta valores extremos, indicando la diferencia del resto de las salidas.

El esquema de control de corrida se realiza siempre utilizando la carta de control construida por el esquema de control individual. La condición consiste en asociar cada punto graficado con el número de flujo al que corresponde ( $j = 1, 2, \dots, s$ ) en la carta de control, a modo de señalar una irregularidad en uno o pocos flujos: si el valor máximo (o mínimo) aparece sistemáticamente por más de un tiempo sucesivo, es motivo para considerar que el flujo es sistemáticamente diferente (que está fuera de control). Cuando la carta de control grupal se emplea para controlar el proceso, en la carta  $\bar{X}$  sólo se grafican la mayor y la menor de las medias observadas en cada tiempo. Si estas medias se localizan dentro de los

límites de control, entonces todas las demás medias también estarán dentro de los límites. De manera similar en la carta de rangos R sólo se graficará el rango. Cada punto graficado en la carta se identifica con el número de flujo que lo produjo. El proceso está fuera de control si un punto excede un límite de tres sigmas.

### 2.2.7.1. Límites de control para gráficos grupales

Los límites de las cartas de control grupales propuestos por Boyd (1950), se calculan utilizando los límites convencionales para las cartas tipo Shewhart:

Para la carta  $\bar{x}$ :

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

Para la carta R:

$$LSC = D_4 + \bar{R}$$

$$LIC = D_4 - \bar{R}$$

## 2.3. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se busca implementar metodologías paramétricas, para lo cual primero se evalúa la normalidad de los datos mediante Pruebas de hipótesis. Verificar el supuesto de normalidad es de vital importancia para el análisis que se pretende realizar debido a que describe de mejor forma la dispersión y comportamiento de los datos, además que las metodologías usadas se basan en la normalidad de los datos. Para ello se realizará la prueba de Shapiro Wilk en el programa estadístico R. De acuerdo con esta prueba (Universidad de Valencia, 2015), realizaremos inferencias tomando en cuenta el p-value que arroje el estadístico. Las hipótesis con las que se hará inferencia son las siguientes:

- H0: Los datos siguen una distribución normal estándar
- H1: Los datos no siguen una distribución normal estándar.

Posteriormente se usan pruebas considerando muestras dependientes y de comparación de varianza con el uso de la prueba F.

En este trabajo se tomarán como datos los análisis de torque realizados durante una producción de 12 horas, tomando muestras cada 30 minutos. Además, se realiza un diseño de experimentos para comparar el rango actual de los capsuladores de 8-22 KgF y un rango nuevo propuesto 12-18KgF, a fin de analizar si hay una reducción en la variabilidad del torque. Para esto, el método a seguir será como se indica a continuación:

- Se comprobará la variabilidad del torque actual (8 – 22 KgF) de los capsuladores de bebidas carbonatadas, mediante una prueba en la línea #3.
- Se realizará una prueba, con rango que se propone (12-18kgF) para las bebidas carbonatadas en la línea #3; con el fin de verificar si disminuye la variabilidad del torque.
  
- Se evaluará si el rango que se está utilizando para los análisis de torque es el más adecuado o si existe alguna posibilidad de ajuste para disminuir la variabilidad el proceso de encapsulado.

## **2.4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

En esta sección se detalla el esquema que se sigue en el experimento, así como los elementos necesarios para cada una de las etapas del proceso: llenado, encapsulado, empaclado y almacenamiento. La variable de resultados que se analizó en las tres etapas es el torque para quitar la tapa de la botella al finalizar cada fase. Para esto se contó con la colaboración del personal de la línea #3 que laboran en las cuatro áreas anteriormente mencionadas.

En este estudio el factor que se tendrá en cuenta es el valor de torque calibrado en la máquina encapsuladora. El primer paso será recolectar los datos de la situación inicial y considerando el nuevo rango para cada uno de las 9 encapsuladoras del proceso de encapsulado de la línea # 3 y considerando lo que indica los puntos 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 y 2.4.4.

### **2.4.1. Factores Relevantes**

Entre los factores relevantes durante el proceso de encapsulado están el torque de apertura y el rango de especificación de torque. El torque de apertura se determina para aplicar la fuerza con la que se abrirán y cerrarán las tapas de la botella y el rango de especificación son límites inferiores y superiores que contienen valores mínimos y máximos que puede tomar la variable de torque.

Estos factores constituyen importantes parámetros de producción ya que los clientes deben ser capaz de abrir las botellas sin mucho esfuerzo por lo que estas no deben estar muy ajustadas, además porque esto también puede ocasionar botellas quebradas. Por otro lado, si las botellas de las bebidas gaseosas tienen la tapa muy floja, esto puede dar pie a fugas o derrames, ocasionando pérdidas en la producción o deterioro de la calidad del producto (Noguera, 2010).

### **2.4.2. Condiciones Experimentales**

Las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento contemplan los materiales usados durante el proceso que para este caso es el torquímetro manual, la maquinaria asignada a la ejecución del proceso que corresponde a las máquinas encapsuladoras, los materiales que influyen son el tipo de tapa, el tipo de *finish* (corona o terminado) de la botella, así como también el peso y tamaño, características que prevalecerán en la botella.

Ambas (botella y tapa) son PETel cual es un material que “se funde en temperaturas desde 270°C a 290°C. con presiones de 1.500 psi durante su inyección en el molde, para posteriormente ser sometido a una etapa de enfriamiento a 8°C” (Acosta Davila & Martínez Sobenis, 2015, pág. 41).

Las inspecciones las realiza el analista de calidad, en cada arranque de la producción, cada que finaliza la producción y durante el proceso cada 4 horas. Es decir, el analista de calidad toma una muestra de cada encapsuladora durante el proceso (cada 30 minutos).

### **2.4.3Recolección de Datos**

Para controlar o mejorar un proceso, necesitamos información o datos, los cuales se pueden recopilar de varias maneras. Uno de los métodos más comunes de los estudios experimentales, es a través de la observación directa. En este estudio, una medida de la característica de calidad (torque de apertura) es tomada por un observador, utilizando un instrumento de medición (torquímetro manual).

La recolección de datos fue realizada el día 15 de agosto del 2018, durante la producción de la línea 3, según la frecuencia de recolección especificada anteriormente por el departamento de calidad, la cual es de una muestra de tamaño unopor capsuladora cada 30 minutos aprox. desde el momento de arranque de la corrida.

La recolección de los datos se realizó de la siguiente manera:

1. Se observaron las botellas en la estrella del “pick and place”.
2. Se trasladaron las botellas a la mesa de trabajo.
3. Se observó que el torquímetro esté calibrado dentro de especificación.
4. Se colocaron y ajustaron las botellas en el torquímetro.
5. Se realizó la medición del torque de apertura de las botellas.
6. Se anotaron los datos recolectados durante la observación.

### **2.4.4. Instrumentos de Medición**

Los instrumentos de medición pueden ser dispositivos, cuestionarios, observación directa, etc. El Departamento de Calidad utiliza como instrumento de medición, un torquímetro manual con un rango de medición de 0 a 40 in.lb.

### **CAPÍTULO 3**

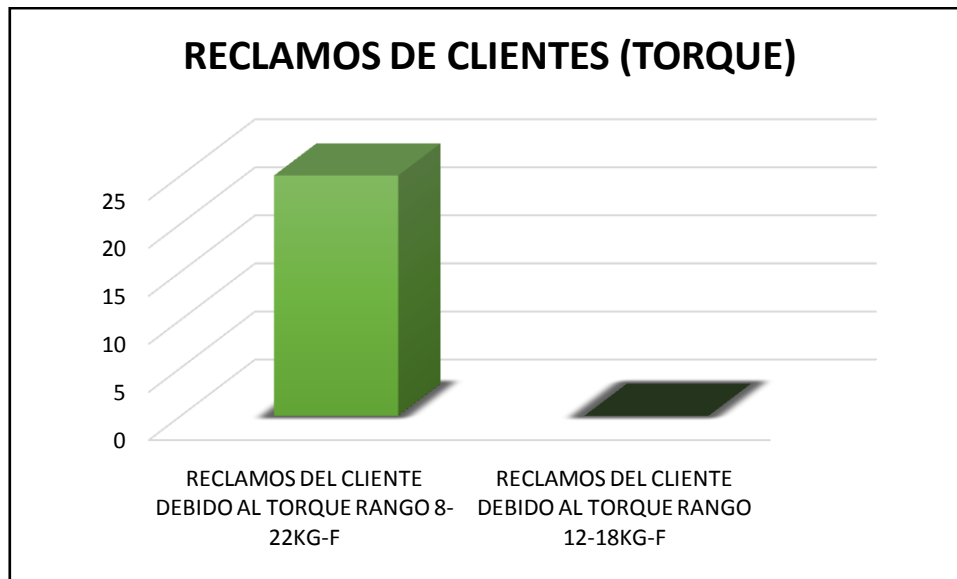
#### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se describe como se ha implementado la metodología propuesta para la incorporación de un nuevo rango para capsuladoras de bebidas carbonatadas mediante los análisis en mediciones de torques tomados a la línea No.3 en una empresa de la ciudad de Guayaquil. Los análisis en relación a la fuerza de torque aplicada a los envases de dichas bebidas, se realizaron bajo un diseño de bloques al azar, donde se fueron tomando mediciones con intervalos de 30 minutos para cada uno de las 9 capsuladoras seleccionadas tanto para el rango control (8-22kgf) como para el rango propuesto o rango experimental (12-18kgf).

La intención de esta prueba consistió en identificar si existe disminución en la variabilidad a través de indicadores estadísticos paramétricos mediante la aplicación de la prueba F de Fisher (ANOVA) y posterior elaboración de gráficos de control a través del monitoreo de procesos por mediciones. Según Supo (2013), el monitoreo es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar los datos para hacer seguimiento al proceso de un programa o actividad, con el fin de establecer o asegurar el cumplimiento de sus objetivos y contribuir a la toma de decisiones.

Al inicio de la investigación, se recolecto información para determinar la apreciación de los clientes consumidores de bebidas carbonatadas en relación a la cantidad de reclamos que surgían con respecto al nivel de torque, obteniendo los siguientes resultados, mostrados en la figura 4:





FUENTE: Departamento de Calidad y Seguridad Alimentaria.

*Figura 3. Gráfico comparativo en relación a nivel de reclamos recibidos debido al torque en los envases de bebidas carbonatadas*

Se observa que los reclamos de clientes producidos por torque, trabajado con el rango de 8-22 Kg/F es alrededor de 22 reclamos durante el año 2018. A partir del 10 de diciembre del 2018 a la actualidad, se han generado un total de 0 reclamos generados por torque, utilizando el rango propuesto de 12 – 18 Kg/F.

Como primera etapa en el proceso de análisis, se realizó la prueba de normalidad a los datos correspondientes a las 9 capsuladoras, el cual es un criterio necesario para seleccionar un procedimiento estadístico paramétrico. Además, durante el estudio se toman en consideración todas las capsuladoras con el fin de identificar cuáles son los efectos del cambio de rango en cada una de estas.

### 3.1. PRUEBA DE NORMALIDAD

Se ha evaluado la fuerza de torque en 9 capsuladoras con un rango de (8-22) kg-f y 9 capsuladoras con un rango de (12-18) kg-f y se desea aplicar procedimientos estadísticos paramétricos.

Para ello, se formula la siguiente pregunta: ¿La distribución de la variable aleatoria es diferente a la distribución normal? Además, se estiman algunos valores que resultan de importancia para el estudio, debido a que se muestran los

intervalos de confianza para ambos rangos, los cuales permitirán el establecimiento de límites en los descriptivos señalados.

*Tabla 1. Intervalos de confianza para la media (95%)*

<b>Medidas</b>	Rango de (8-22)	Rango de (12-18)
Media =	16,32	14,66
Error estándar =	0,35	0,24
IC 95% Límite inferior =	15,63	14,19
IC 95% Límite superior =	17,02	15,13

FUENTE: elaboración propia

De esta manera, se plantearon las siguientes hipótesis:

### **Planteamiento de Hipótesis**

Ho: La distribución de la variable aleatoria *NO ES DIFERENTE* a la distribución normal

H1: La distribución de la variable aleatoria *ES DIFERENTE* a la distribución normal

Y se estableció un nivel de significancia (alfa)  $\alpha = 5\% = 0,05$ . Seleccionando como prueba estadística para el estudio de la normalidad Kolmogorov – Smirnov, para el cual se obtuvo un p-valor de 0,200 = 20,0% donde se indica que con una probabilidad de error del 20,0%, la distribución de la variable aleatoria *ES DIFERENTE* a la distribución normal. Es decir, que debido a que el p-valor se encuentra por encima del valor de significancia estadístico 5%, se acepta la hipótesis Ho (La distribución de la variable aleatoria *NO ES DIFERENTE* a la de la distribución normal) ósea, se está en presencia de una distribución normal para la variable estudiada y por lo tanto, se rechaza H1.

Sin embargo, a pesar de haber establecido la normalidad de forma general para los datos recolectados sobre las mediciones a considerar en el estudio, se procedió a realizar las pruebas de normalidad por separado para cada rango establecido en la investigación, es decir, el rango control y el rango propuesto. La tabla No.1 y tabla No.2 presentan los resultados del análisis:

Tabla 2. Grupo de estudio (Rango 8-22kgf). Rango Control

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
Número de mediciones		27
Parámetros normales	Media	14,6559
	Desviación estándar	0,92096
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,091
	Positivo	0,091
	Negativo	-0,080
Estadístico de prueba		0,091
p-valor		0,200

FUENTE: elaboración propia

Tabla 3. Grupo de estudio (Rango 12-18kgf). Rango Propuesto

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
Número de mediciones		27
Parámetros normales	Media	16,3237
	Desviación estándar	1,83511
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,129
	Positivo	,089
	Negativo	-,129
Estadístico de prueba		0,129
p-valor		0,200

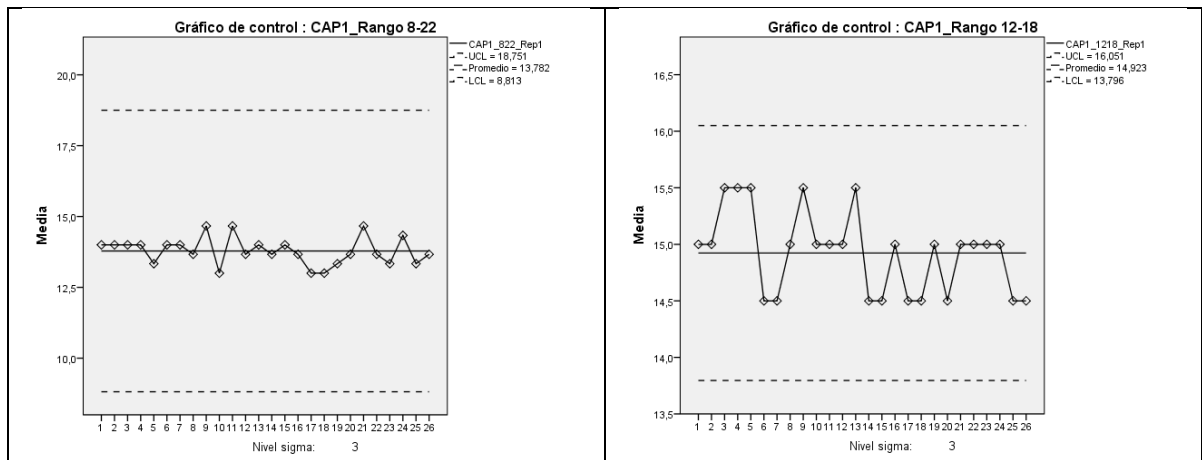
FUENTE: elaboración propia

En la prueba de normalidad Kolmogorov – Smirnov para ambos rangos(8-22kgf y 12-18kgf) se obtuvo un p-valor de 0,200 es decir,  $\alpha = 20,0\%$  por lo tanto, este valor se encuentra por encima del nivel de significancia establecido, asumiendo así que poseen una distribución normal.

### 3.2. GRÁFICOS DE CONTROL DE RANGOS ANALIZADOS. (COMPARACIÓN ENTRE AMBOS)

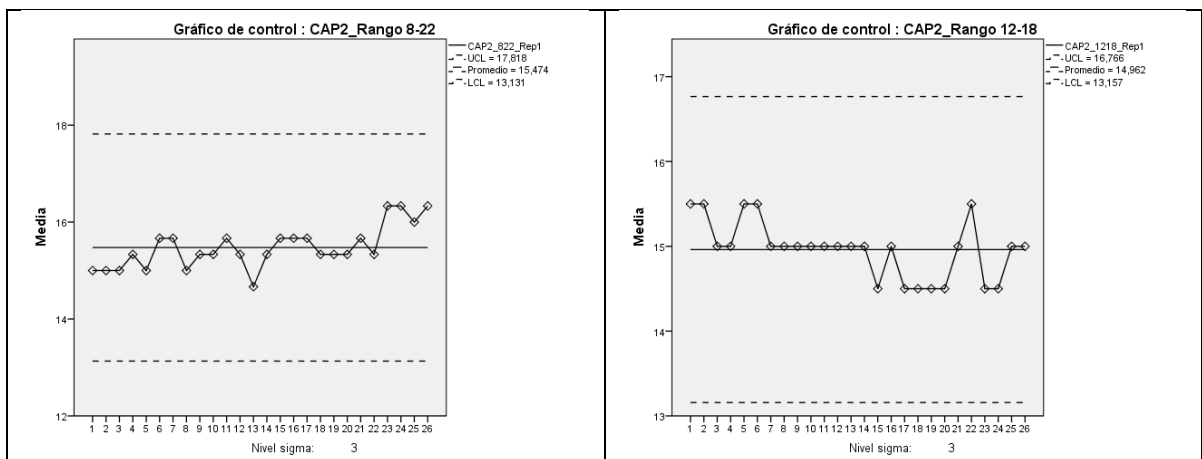
A continuación, se muestra el comportamiento de las capsuladoras de acuerdo con el número de muestras tomadas antes del ajuste del rango (8 – 22 Kg-F) en relación a su comportamiento después del ajuste al rango (12-18 kg-F).

**Tabla 4. Comportamiento del Capsulador 1 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 1 (rango propuesto 12-18)**



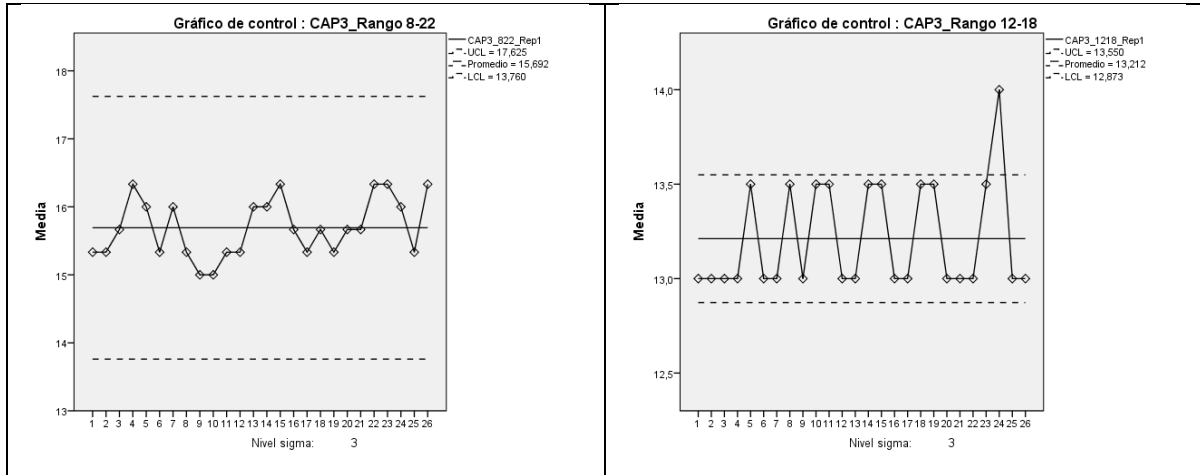
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 5. Comportamiento del Capsulador 2 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 2 (rango propuesto 12-18)**



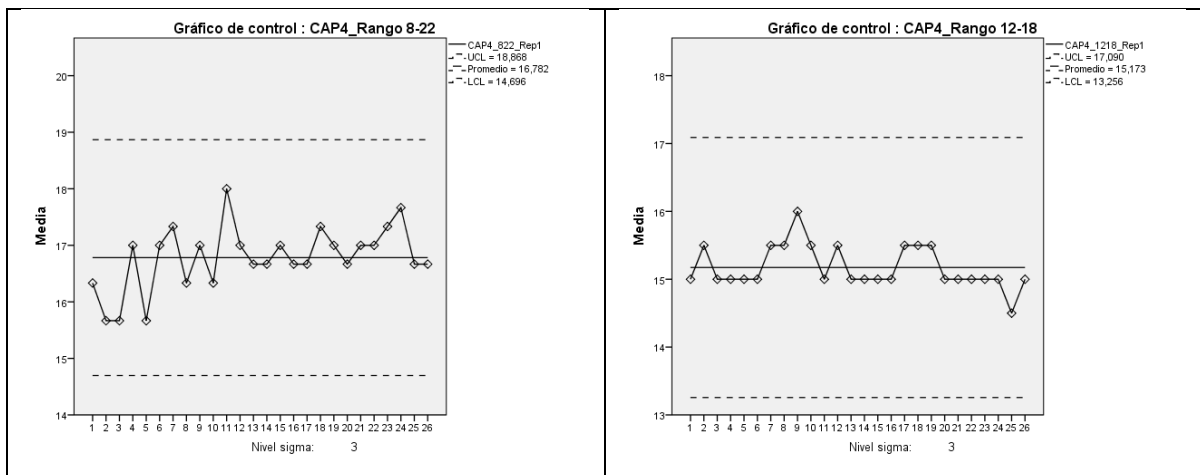
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 6. Comportamiento del Capsulador 3 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 3 (rango propuesto 12-18)**



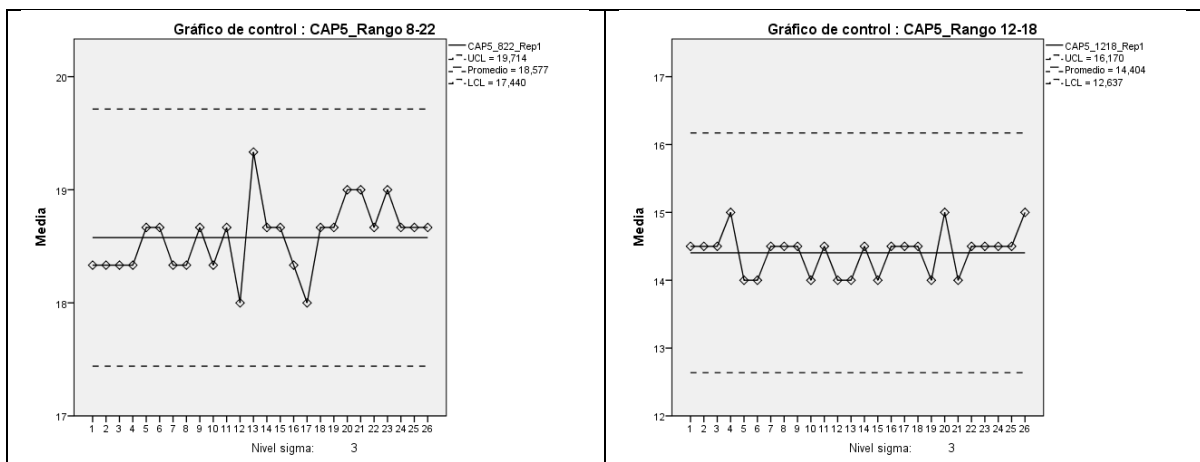
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 7. Comportamiento del Capsulador 4 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 4 (rango propuesto 12-18)**



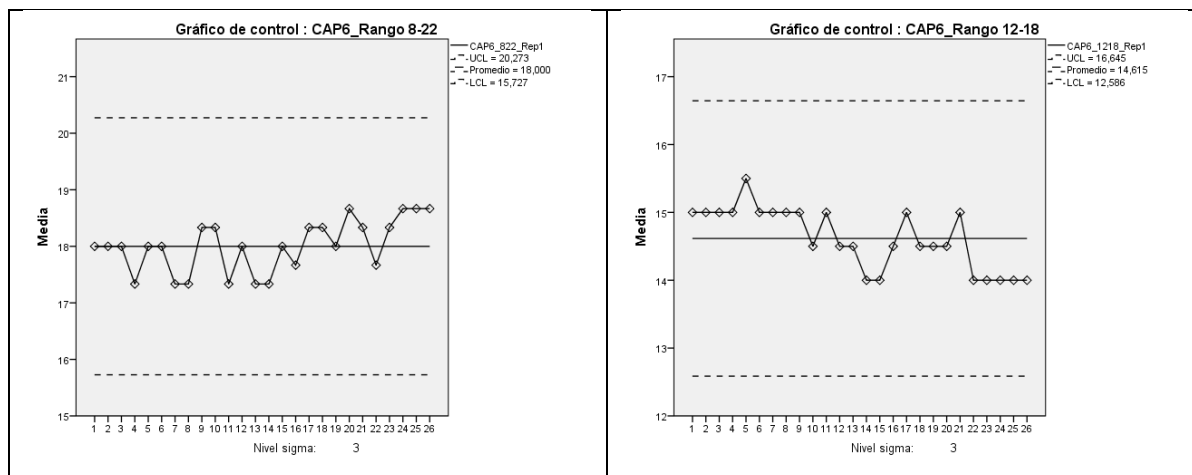
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 8. Comportamiento del Capsulador 4 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 5 (rango propuesto 12-18)**



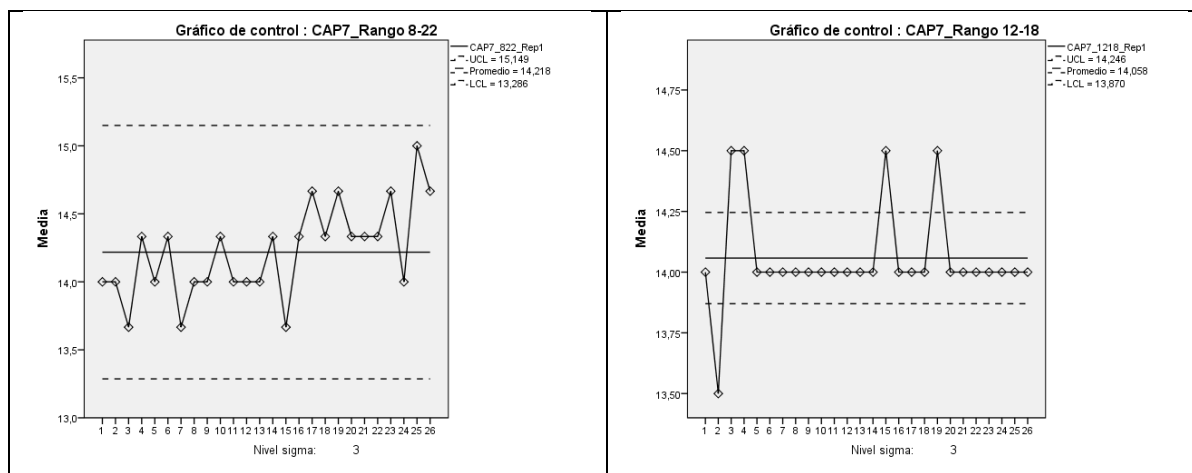
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 9. Comportamiento del Capsulador 6 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 6 (rango propuesto 12-18).**



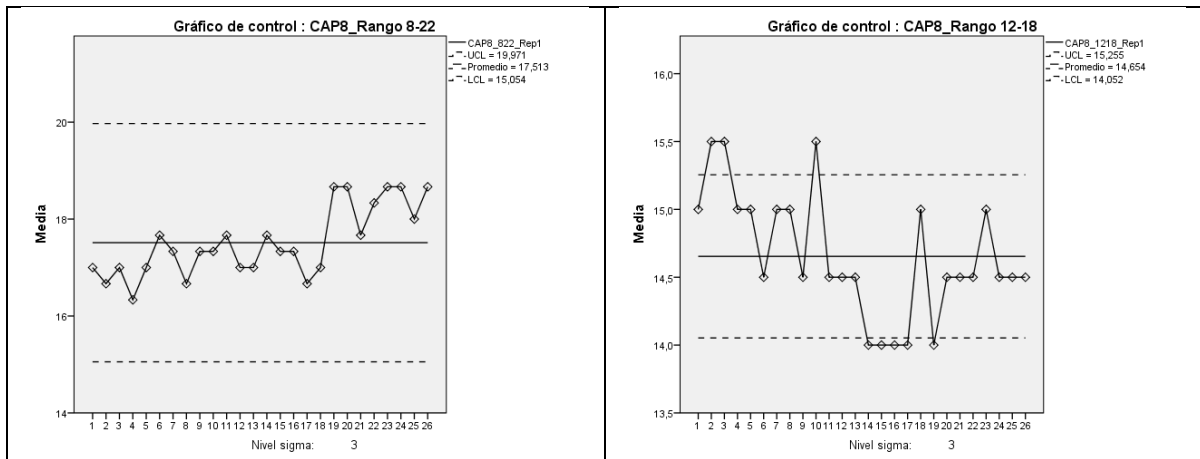
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 10. Comportamiento del Capsulador 7 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 7 (rango propuesto 12-18)**



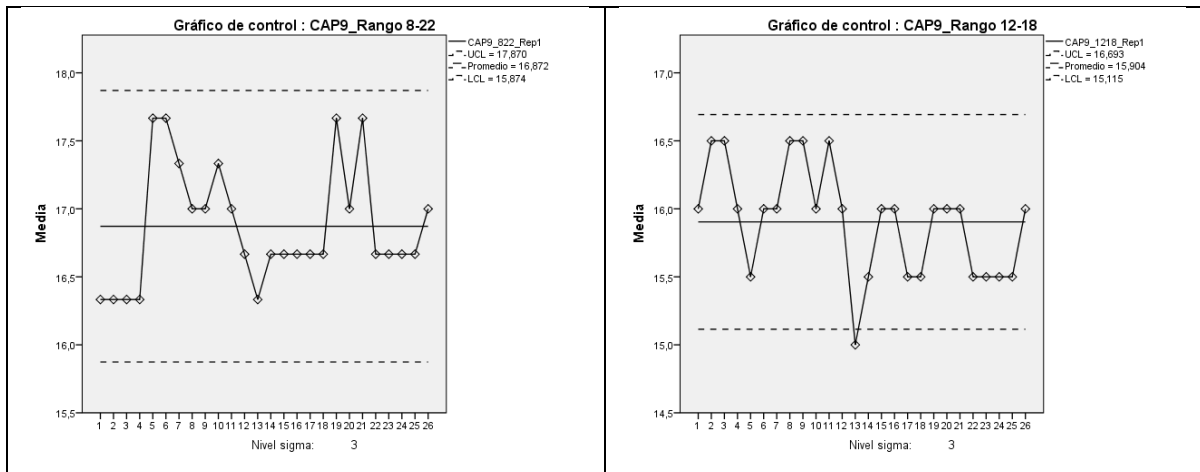
FUENTE: elaboración propia

**Tabla 11. Comportamiento del Capsulador 8 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 8 (rango propuesto 12-18).**



FUENTE: elaboración propia

Tabla 12. Comportamiento del Capsulador 9 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 9 (rango propuesto 12-18)



FUENTE: elaboración propia

Se puede apreciar que en la mayoría de las capsuladoras hubo una disminución en la media del torque, lo que es un buen indicio al menos visual que el nuevo rango podría disminuir la variabilidad.

### 3.3. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA. (HOMOCEDASTICIDAD)

El supuesto de homogeneidad de varianzas considera que la varianza es constante en los diferentes niveles de un factor (comportamiento de las capsuladoras por rango)es decir, se mantiene igual entre los grupos.

La prueba de Levene permite analizar la igualdad de las varianzas en una variable para dos o más grupos, en este caso se calcula para los rangos establecidos antes y después con 8-22 kg-F y 12-18 kg-F respectivamente.

Tabla 13. Prueba de homogeneidad de varianzas

Valores de Torque por Rgo			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor
5,705	1	52	0,021

FUENTE: elaboración propia

La tabla 13 establece condiciones respecto a la varianza entre ambos grupos de estudio, para ello se realizó la Prueba de Levene de igualdad de varianzas, la cual arrojó un p-valor de 0,021 es decir,  $\alpha = 2,1\%$  lo cual indica que las varianzas son diferentes, ya que la hipótesis del investigador es siempre una hipótesis de diferencias y como el p-valor se encuentra por debajo del alfa establecido ( $\alpha = 5\%$ ) se acepta H1 y se rechaza H0. Específicamente se puede concluir que existe reducción en la varianza al observar la reducción de los límites de control en los gráficos de la sección 3.2.

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL POR BLOQUES

Adicionalmente, para entender mejor el efecto en la variabilidad, se presenta los resultados del diseño experimental por bloques en la presente investigación a fin de identificar, mediante un modelo de regresión lineal, considerando los supuestos y el Método de Mínimos Cuadrados, el efecto que tienen el rango, provisto a cada una de las capsuladoras, sobre el torque que se aplica en la maquina embotelladora. El uso de este tipo de diseño, para el tratamiento de las variables, se justifica por la cantidad de capsuladoras que se tienen presente en el estudio, lo cual se considera el bloque en este diseño experimental. Se ha procedido a realizar una regresión lineal tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$Torque_i = Capsulador_i + Rango_i + \varepsilon_i$$

De acuerdo con lo presentado, el torque es considerada la variable dependiente o también considerada como variable respuesta ante movimientos de las variables independientes, que en el presente caso son el tipo de Capsuladora y el Rango. Para la medición de estas variables, en el caso del rango, se ha procedido a proporcionar un determinado tipo de fuerza a varias capsuladoras por lo que se las identifica como una variable Dummy:



- 0 = Aplicado el Rango de 12 – 18 de Fuerza
- 1 = No Aplicado el Rango de 12 – 18 de Fuerza

Cabe mencionar que cuando la variable Dummy de rango es 1, se sobreentiende que la fuerza aplicada a la capsuladora es la ya configurada, es decir, con un rango de 8 – 22. De acuerdo con lo mencionado, los resultados se presentan a continuación:

Tabla 14.

<b>Residuos</b>				
<i>Min</i>	<i>1Q</i>	<i>Media</i>	<i>3Q</i>	<i>Max</i>
-1,3718	-0,5272	0	0,5272	1,3718
<b>Coefficientes</b>				
	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor P</i>
<b>Intercepto</b>	15,19872	0,76199	19,946	0,000***
<b>Capsuladora 2</b>	0,07692	1,02231	0,075	0,9419
<b>Capsuladora 3</b>	-1,38462	1,02231	-1,354	0,2126
<b>Capsuladora 4</b>	0,42308	1,02231	0,414	0,6899
<b>Capsuladora 5</b>	0,90385	1,02231	0,884	0,4024
<b>Capsuladora 6</b>	0,36538	1,02231	0,357	0,73
<b>Capsuladora 7</b>	-1,71154	1,02231	-1,674	0,1326
<b>Capsuladora 8</b>	1,13462	1,02231	1,11	0,2993
<b>Capsuladora 9</b>	0,59615	1,02231	0,583	0,5759
<b>Rango</b>	1,25641	0,48192	2,607	0,0313**

Estimación de Parámetros de la regresión lineal planteada en el programa estadístico.

FUENTE: elaboración propia

Como se ha podido observar, mediante el modelo de regresión lineal propuesto en la presente investigación, sólo se ha logrado tener 2 parámetros estimados significativos: Intercepto y Rango. De esta forma, se puede llegar a sospechar que exista algún problema de heterocedasticidad que, al momento de realizar las pruebas t, produzca la no significancia de estos parámetros. Esto fue comprobado con la prueba de Breusch Pagan, cuyo valor p resultó de 0.03517, por tanto, se rechaza la homocedasticidad. Por tanto, se evaluará la significancia de las variables mediante una estimación de matriz de varianzas y covarianzas robusta de los coeficientes del modelo, la cual es presentada a continuación:

Tabla 15. Parámetros estimados bajo una matriz de Varianzas y covarianzas robusta a Heterocedasticidad

<b>Coeficientes</b>				
	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor P</i>
<b>Intercepto</b>	15,199	0,2668	56,9633	0,000***
<b>Capsuladora 2</b>	0,077	0,4804	0,1601	0,8767
<b>Capsuladora 3</b>	-1,385	0,4167	-3,3231	0,0105**
<b>Capsuladora 4</b>	0,423	0,4323	0,9786	0,3565
<b>Capsuladora 5</b>	0,904	0,6011	1,5037	0,1711
<b>Capsuladora 6</b>	0,365	0,2223	1,6437	0,1389
<b>Capsuladora 7</b>	-1,712	0,4927	-3,4741	0,0084***
<b>Capsuladora 8</b>	1,135	0,9931	1,1425	0,2863
<b>Capsuladora 9</b>	0,596	0,4206	1,4175	0,2863
<b>Rango</b>	1,256	0,3213	3,9106	0,0045***

FUENTE: elaboración propia

Finalmente, se ha podido observar que los parámetros del modelo de regresión lineal presentado al inicio de este apartado fueron estimados tomando en cuenta una matriz de varianzas y covarianzas robustas, la cual ayuda a realizar mejores estimaciones acorde a la heterocedasticidad. De esta forma, se ha podido observar que los parámetros significativos ahora son: Capsuladora 3, Capsuladora 7, Rango y el intercepto. De acuerdo con estos valores estimados, se puede observar que las capsuladoras antes mencionadas tienen un efecto negativo sobre el torque que se aplica en la máquina embotelladora. Es decir, el torque se ve afectado por estas 2 capsuladoras, mientras que el resto del conjunto de datos, no tienen efecto significativo alguno.

Sin embargo, de acuerdo con los objetivos planteados por la investigación, se procede a tomar mayor atención en el efecto que ocasiona el rango con respecto al torque. Al respecto, debido a que solo se toma en consideración la variable antes mencionada, el resto de las variables se pueden considerar como variables control en la regresión lineal.

Es decir, el estudio sólo fija su atención sobre el efecto del rango mientras que el resto de las variables, los efectos cualitativos de cada capsuladora, pueden ser datos de control que permitirán encriptar todos los efectos exógenos a la variable de estudio, que es el Rango. De esta forma lo que se busca es limpiar a la variable rango de cualquier otro efecto que pueda existir debido a las

Características de funcionamiento de cada una de las capsuladoras. De acuerdo con los efectos encontrados en la tabla anterior, el cambio de rango, cuando la variable cambia de 0 a 1, el efecto sobre el torque es de 1.25. Respecto a lo mencionado, y mediante el uso de las variables de control, se puede observar que el rango anterior tiene un efecto de 1.25 kg/fuerza para el torque en las capsuladoras de forma promedio. Cabe mencionar que se aplicó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk a los residuos para corroborar el supuesto de normalidad de los errores, resultando un valor-p de 0.62, por tanto, se evidencia la normalidad en los residuos.

### 3.5. ANÁLISIS DE VARIANZA

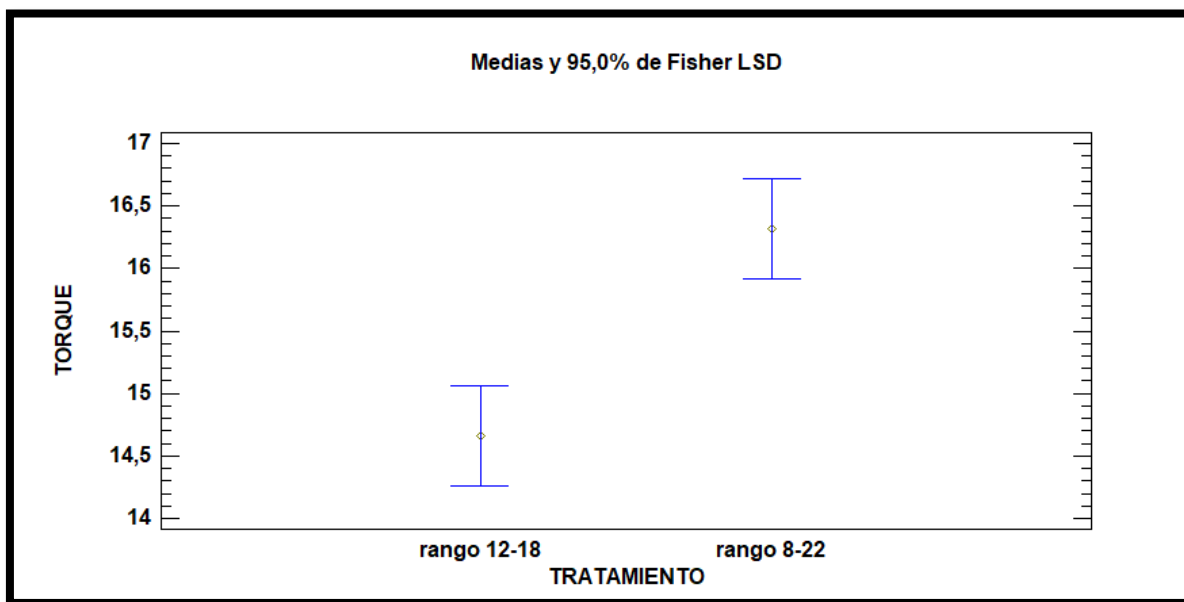
Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los rangos antes (8-22kg-F) y después (12-18kg-F) establecidos en el diseño por bloques, se propuso aplicar un ANOVA simple a los valores obtenidos para las mediciones de las 9 capsuladoras en intervalos de 30 minutos durante 3 momentos diferentes que representan las repeticiones en relación a la toma de datos general.

*Tabla 16. Análisis de Varianza*

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	37,167	1	37,167	17,553	0,000
Dentro de grupos	110,106	52	2,117		
Total	147,273	53			

FUENTE: elaboración propia

Con este análisis se observa que el p-valor obtenido es menor a 0,05 el cual corresponde al valor de significancia (alfa) establecido para esta prueba, con un 95% de confianza, comprobando que realmente existen diferencias estadísticamente significativas entre los rangos establecidos de la variable estudiada.



FUENTE: elaboración propia

Figura 4. Gráfico LSD de Fisher – Medias obtenidas en los rangos estudiados

### 3.6. PRUEBA T STUDENT PARA MUESTRAS PAREADAS.

Aplicando además la prueba t student para muestras pareadas, la cual se ha sido usada para medir el efecto en los 9 capsuladores con los dos rangos, se confirma con un 95% de confianza que las muestras analizadas para la variable fuerza de torque en la línea número 3 presentan diferencias estadísticamente significativas entre el rango control (8-22kg-F) y el rango propuesto o experimental (12-18kg-F) debido a p-valor obtenido se encuentra por debajo del nivel de significancia establecido con  $\alpha = 0,05$ . Con estos datos analizados se evidencia que existe una disminución en la media del torque en las capsuladoras con la reducción del rango inicial establecido, lo que puede ser corroborado también con los resultados del diseño experimental.

Tabla 17. Prueba t para los rangos de capsuladoras de bebidas carbonatadas.

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
	F	Sig.	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
Se asumen varianzas iguales	5,705	0,021	4,190	52	0,000	1,6593	0,3960	0,8646	2,4540	
No se asumen varianzas iguales			4,190	38,557	0,000	1,6593	0,3960	0,8579	2,4606	

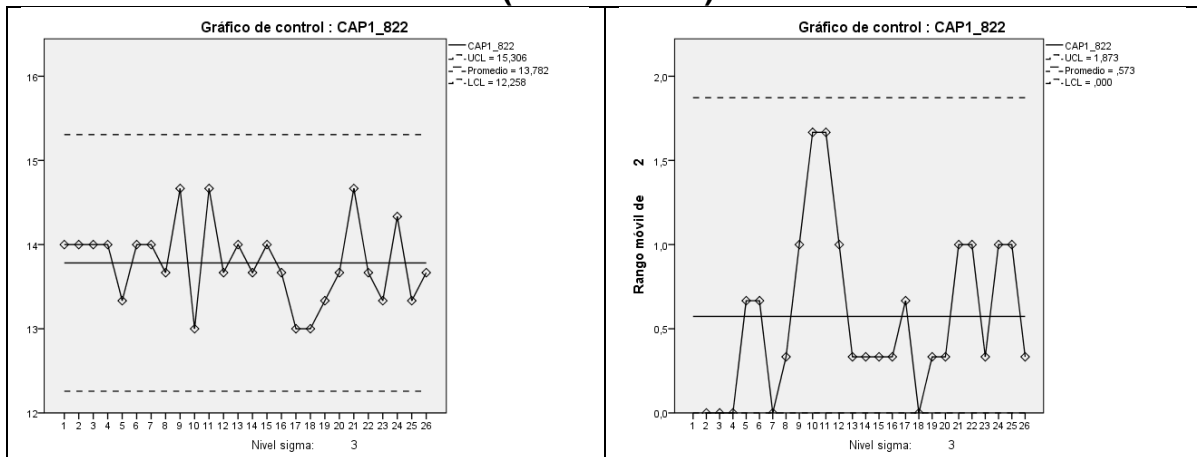
FUENTE: elaboración propia

### 3.7. GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIAS Y RANGOS OBSERVACIONES INDIVIDUALES. (RANGO 8-22 / RANGO 12-18).

Para identificar las variaciones por capsuladora se procedió a trabajar con gráficos de control de medias y rangos identificando así el comportamiento según los límites de control establecidos, esta manera se demuestra gráficamente por comparación de los resultados obtenidos para evidenciar la disminución de la variabilidad que oportunamente se calculó analíticamente mediante la estadística correspondiente y que ahora de forma gráfica se comprueba.

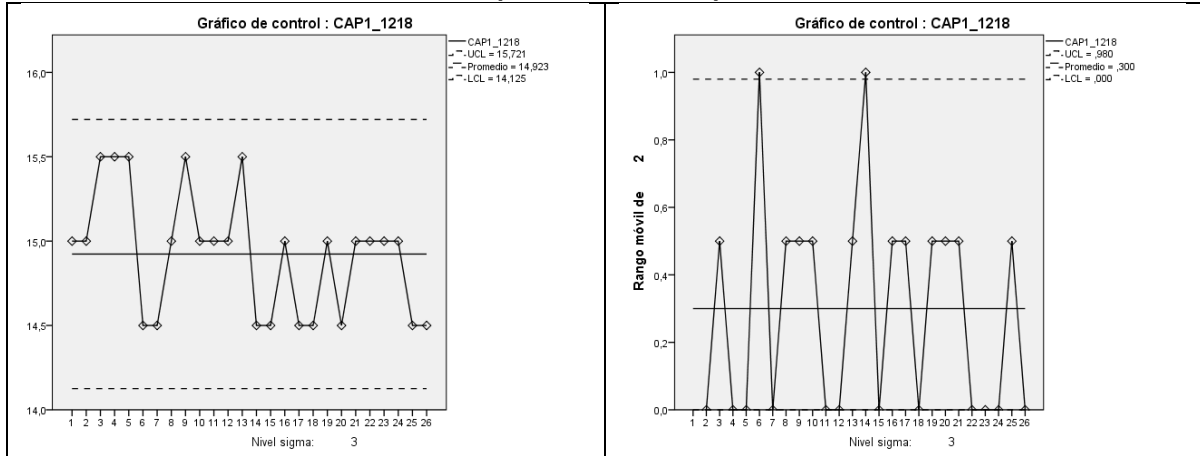
Tabla 18. Comparación ambos rangos - Capsulador 1

#### (RANGO 8-22)



FUENTE: elaboración propia

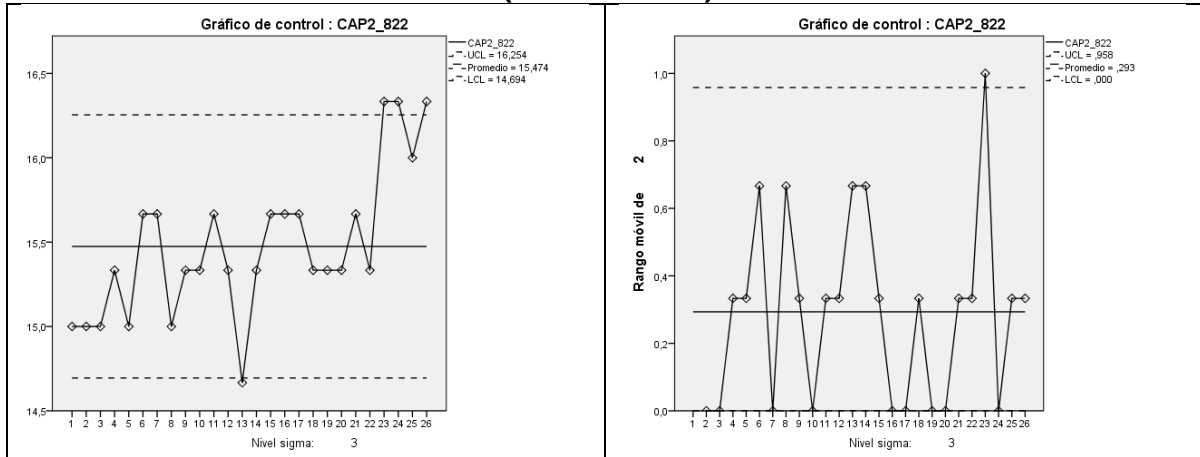
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

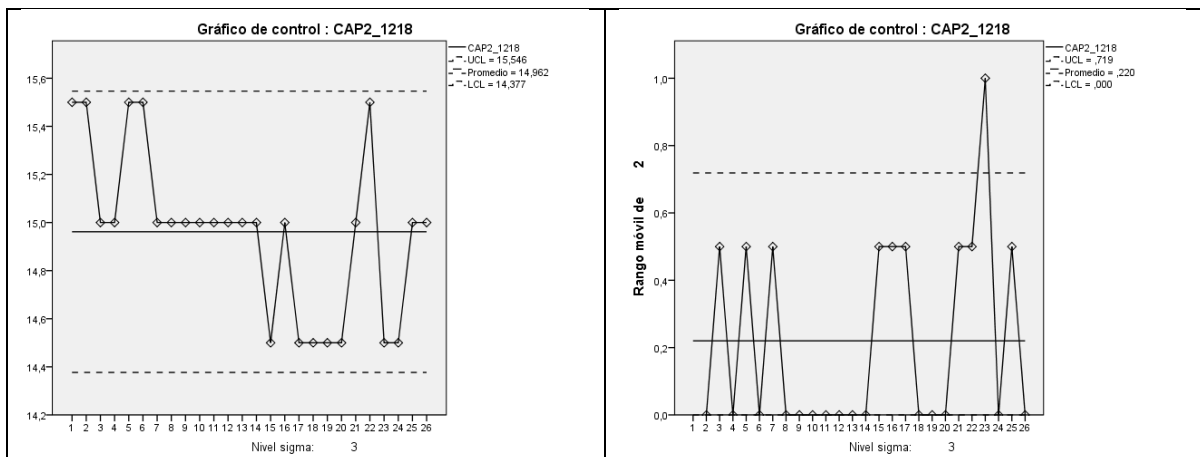
*Tabla 19. Comparación ambos rangos - Capsulador 2*

**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

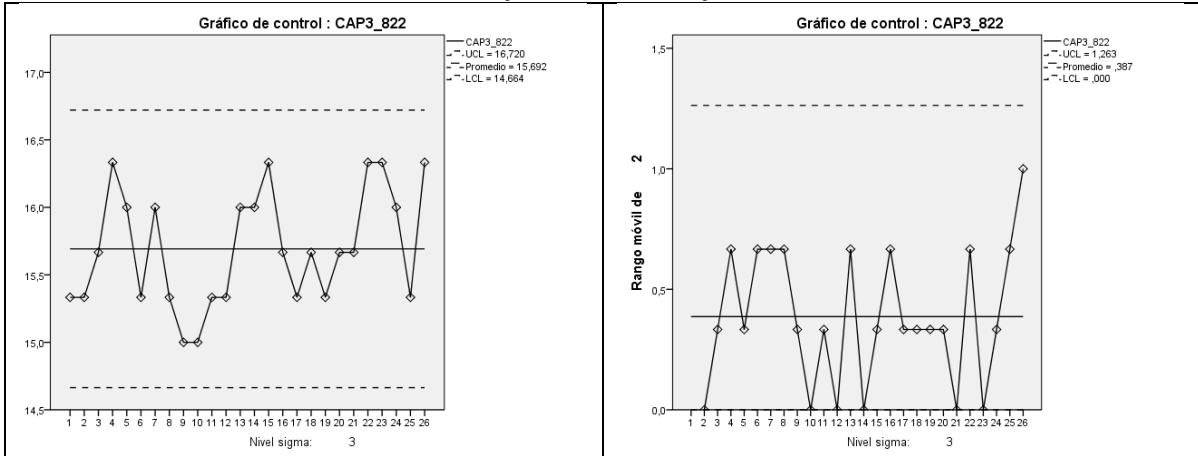
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

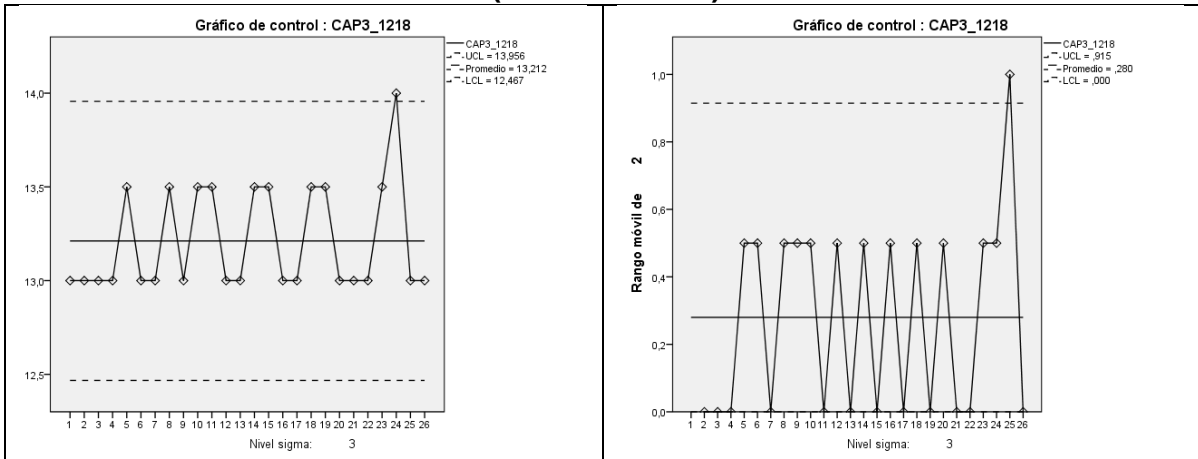
*Tabla 20. Comparación ambos rangos - Capsulador 3*

**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

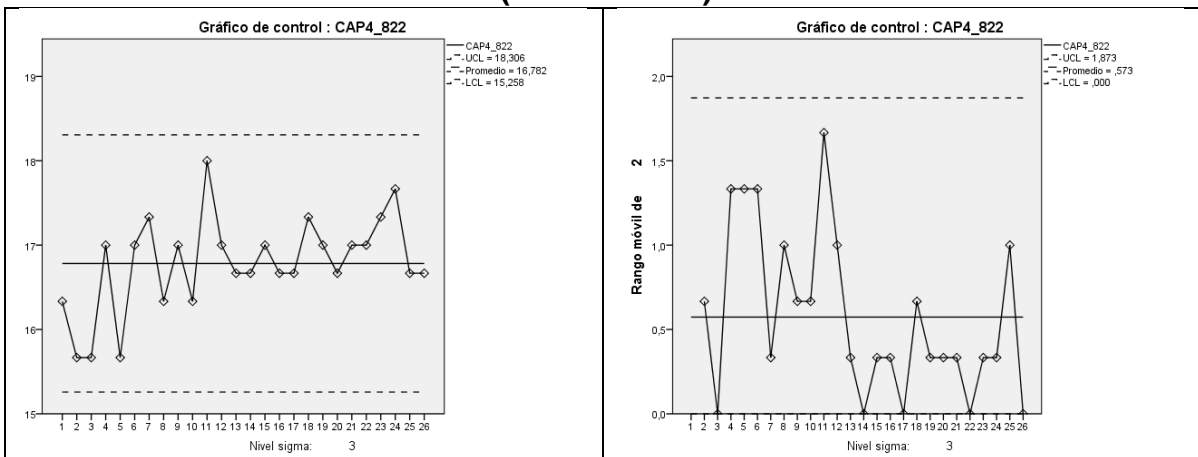
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

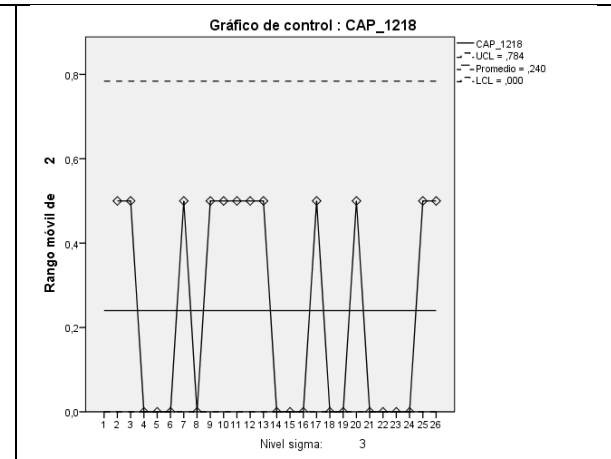
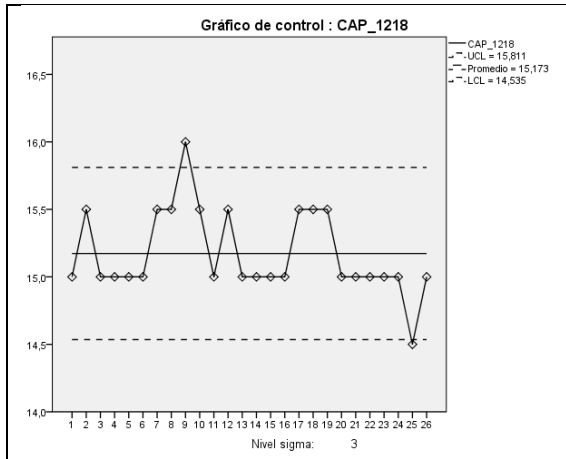
Tabla 21. Comparación ambos rangos –Capsulador 4

**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

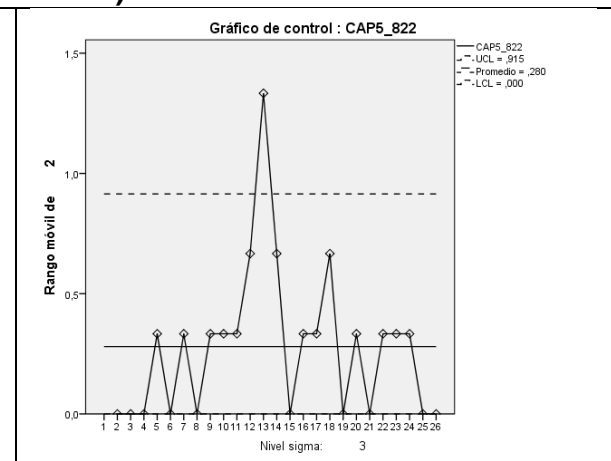
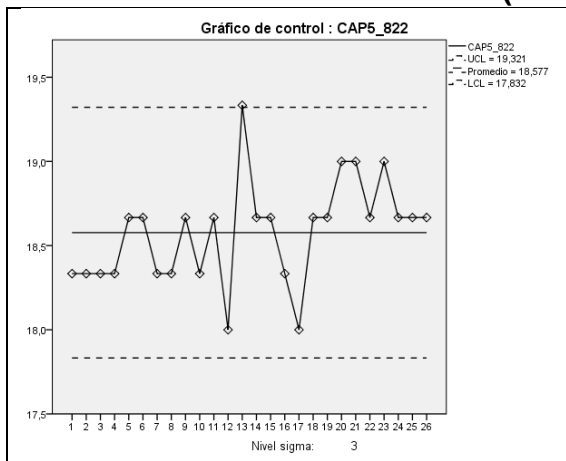
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

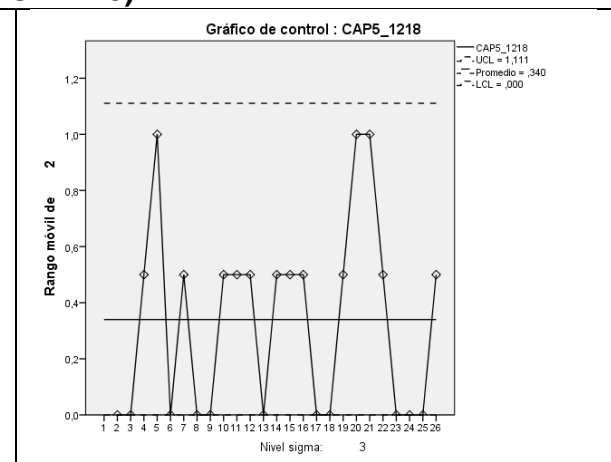
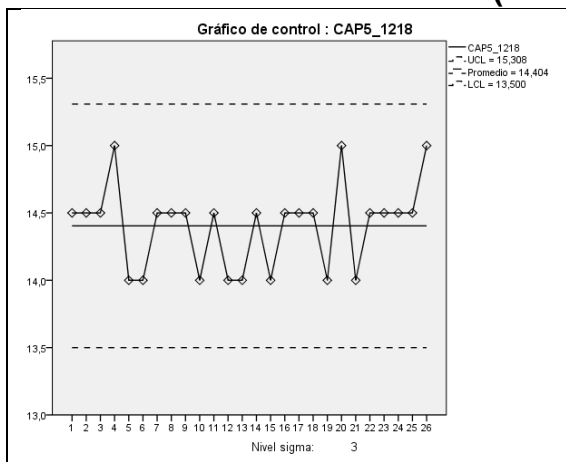
Tabla 22. Comparación ambos rangos - Capsulador 5

**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

**(RANGO 12-18)**

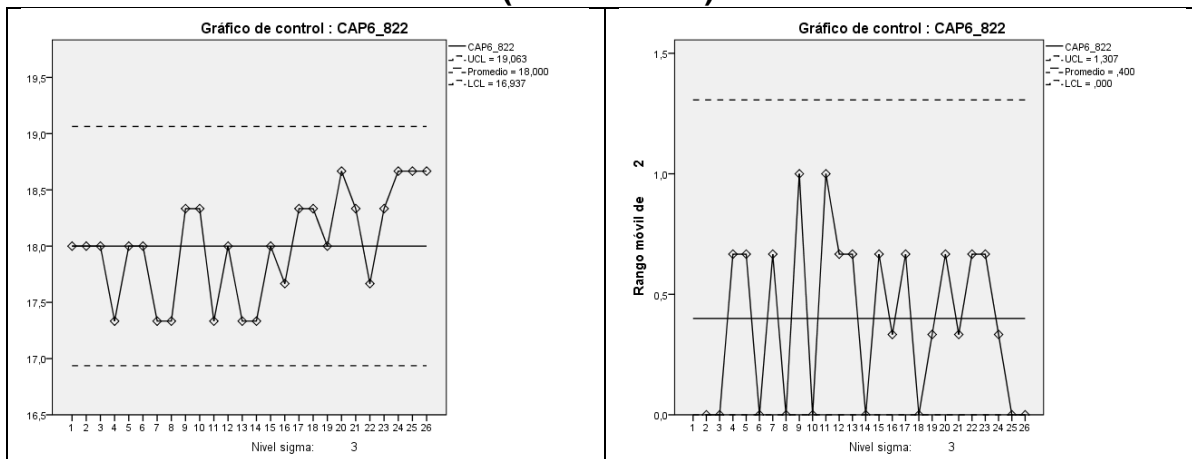


FUENTE: elaboración propia

Tabla 23. Comparación ambos rangos - Capsulador 6

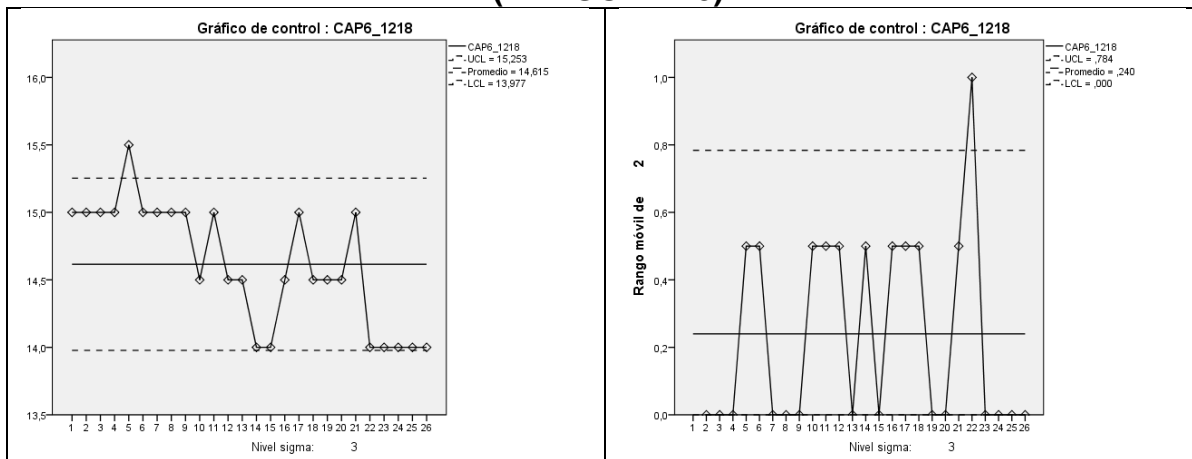


**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

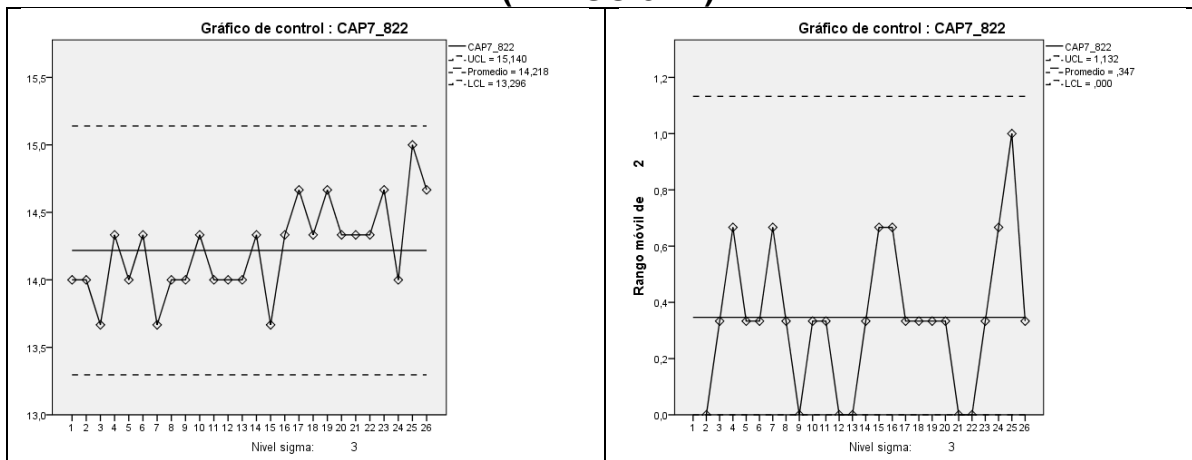
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

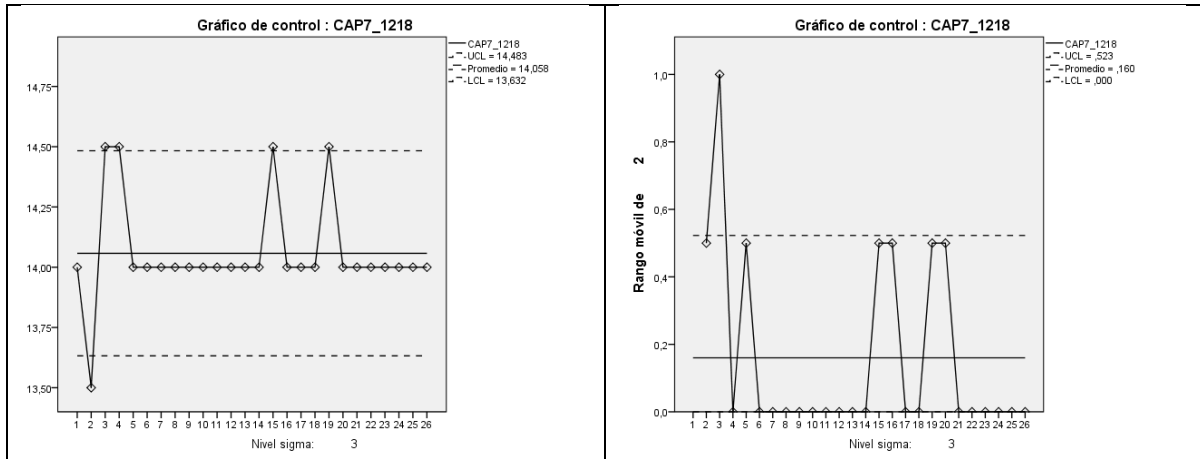
*Tabla 24. Comparación ambos rangos - Capsulador7*

**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

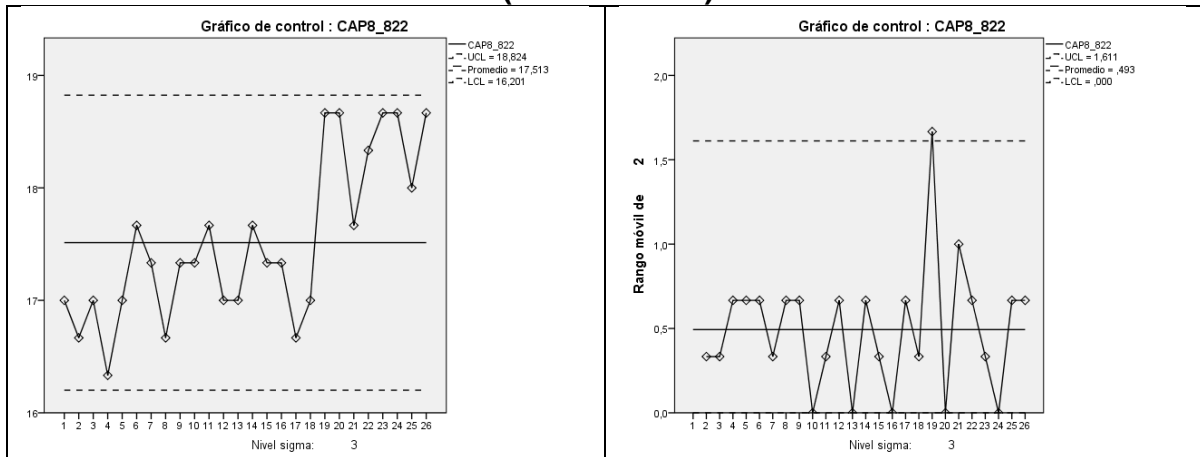
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

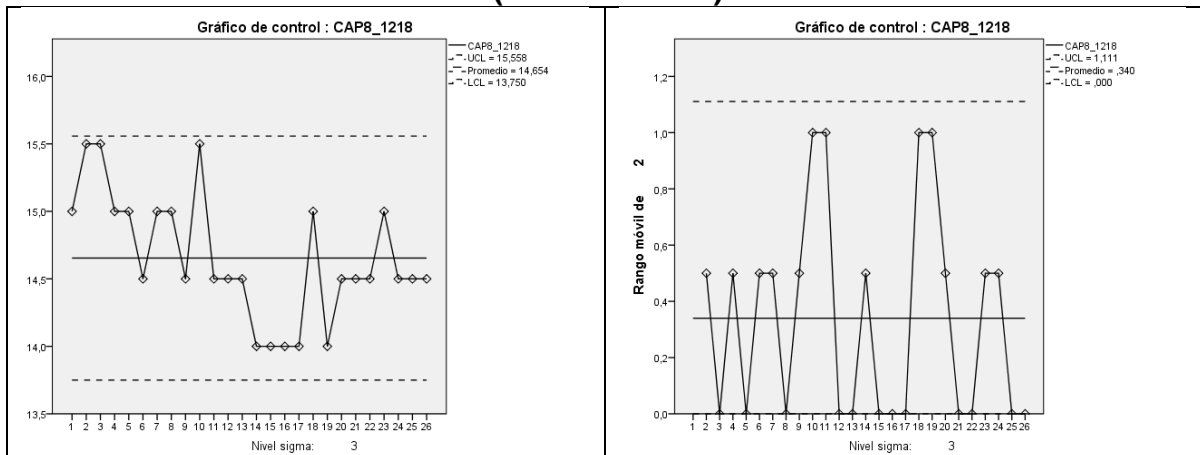
Tabla 25. Comparación ambos rangos - Capsulador 8

**(RANGO 8-22)**



FUENTE: elaboración propia

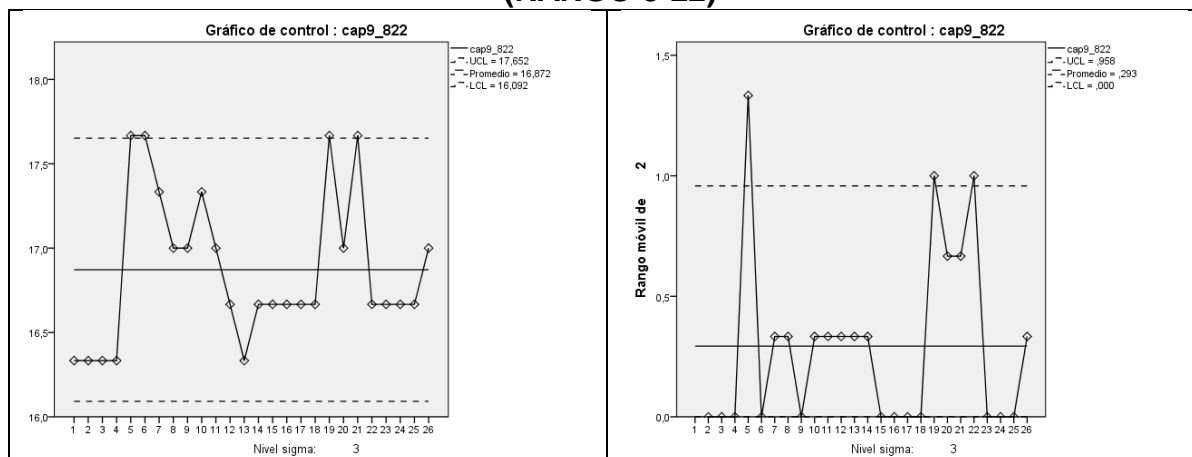
**(RANGO 12-18)**



FUENTE: elaboración propia

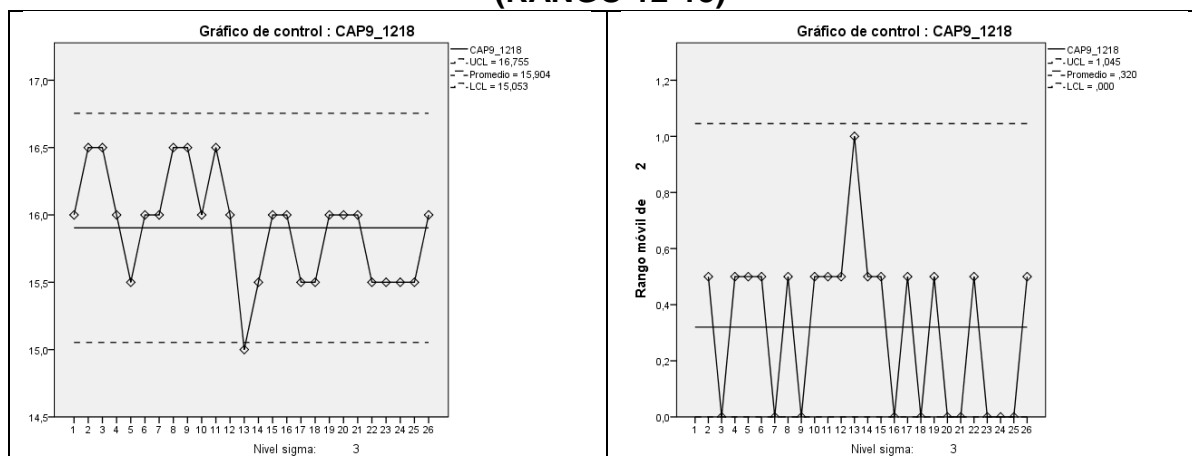
Tabla 26. Comparación ambos rangos - Capsulador 9

### (RANGO 8-22)



FUENTE: elaboración propia

### (RANGO 12-18)



FUENTE: elaboración propia

**Interpretación:** Se evidencia que luego del cambio de rango de 8-22kg-F a 12-18kg-F la variabilidad se ha reducido, a pesar que en algunos casos existen pocos puntos que salen fuera de los límites de control, sin embargo, esta afirmación se realiza basado en la disminución del valor de los límites de control, por ejemplo en el capsulador 3 con rango 8-22kg-F el límite superior es 16,72 para la media y 1,26 para el rango, mientras que para el mismo capsulador con rango 12-18kg-F el límite superior para la media es de 13,96 y 0,92 para el rango. Estas observaciones en relación al comportamiento, se repiten en el resto de las capsuladoras mencionando, por ejemplo, la capsuladora 6 cuyo valor en límites de control superior de media disminuyó de 19,06 a 15,25 y en rango pasó de 1,30 a 0,78 en este sentido, los datos confirman la disminución de la variabilidad, el cual es uno de los objetivos planteados durante el estudio.

Así pues, que de la totalidad de capsuladoras analizadas (9) sólo dos de ellas presentan valores fuera de los límites de control establecidos gráficamente, estas son el capsulador 5 y 9, sin embargo, se podría indicar que tal vez por la calibración de los rangos o efectos externos no considerados en la investigación se pudo producir este resultado. De esta manera, estos valores asignarían un 78% de efectividad en la reducción de la variabilidad con el cambio rango, calculándolo en relación a las 9 capsuladoras consideradas dentro del rango experimental, de las cuales solo 2 de ellas presentaron valores fuera de rango, y el resto se mantuvo entre los límites de control establecidos con un nivel de disminución significativo brindando la oportunidad a futuras investigaciones a un aumento de capsuladoras para su análisis, tomando en consideración mayor cantidad de variables.

Se asume que, por la misma variabilidad de factores externos, que incluso fueron considerados dentro del análisis de varianza y el modelo de regresión lineal, los valores obtenidos que no se consideran significativos, según sus resultados fluyen en la media general ocasionando esta diferencia en las capsuladoras 5 y 9 tomadas como muestra para la investigación.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. CONCLUSIONES**

De acuerdo con la metodología usada, la presente investigación ha llegado a determinar resultados provenientes de una propuesta de uso de rango en las capsuladoras. Previo a la ejecución de la propuesta, se han realizado varias pruebas estadísticas que permitan justificar la razón de esta idea y brinden un mejor panorama ante los problemas encontrados en cada una de las capsuladoras. Las pruebas realizadas van desde la identificación de normalidad en las muestras seleccionadas, prueba de homocedasticidad (igualdad de varianzas), el estadísticos t-student para muestras pareadas, análisis de varianza (ANOVA) y la utilización de gráficos de control (con límites establecidos según los datos) para determinar si existe diferencias significativas con un 95% de confianza, en relación al torque aplicado a los instrumentos productivos de la planta embotelladora, hasta la medición del efecto proveniente de un cambio en el rango de fuerza.

Previo a la implementación de la propuesta que brinda la presente investigación, se realizó una evaluación en donde se pudo encontrar problemas de variabilidad en el funcionamiento de las capsuladoras de la planta embotelladora, lo cual generaba productos mermados que incrementan los costos de producción de forma indirecta. Para una correcta visualización, se procedió a crear gráficos que permitan determinar el comportamiento de cada una de las capsuladoras implicadas en el proceso de embotellamiento de la planta; estas figuras pueden ser encontradas en el anexo del presente estudio.

De acuerdo con lo mencionado, y luego de haber encontrado las principales falencias del proceso, se procedió a proponer el cambio del rango de torque aplicado a cada una de las capsuladoras; de esta forma, este indicador pasaba de tener un rango entre 8 y 22 kg/fuerza a tener uno entre 12 y 18 Kg/fuerza. Con el fin de cumplir con el primer objetivo específico de la

investigación, se procedió a recopilar información de cada una de las capsuladoras para determinar el comportamiento que tuvieron antes y después del ajuste propuesto. Al respecto, se encontró que la variación disminuyó significativamente para todas las capsuladoras. De esta forma, el presente estudio mostró una reducción promedio de la variabilidad rango móvil del 59,5% sobre el torque aplicado por las máquinas capsuladoras, calculado entre las capsuladoras que presentaron disminución en sus rangos móvil entre el control y el experimental.

Para justificar de una manera estadística, se procedió a realizar la prueba T, con un enfoque de muestras pareadas, para determinar y verificar la diferencia que existía en los datos de las muestras recopiladas (antes y después). Cabe mencionar que, para la correcta ejecución de esta prueba estadística, se debió cumplir y ejecutar varios supuestos provenientes de la teoría estadística. Además, se procedió a realizar un diseño experimental por bloques.

Cabe mencionar que en este apartado se hizo uso de variables control con el fin de acaparar el efecto neto de la variable de estudio. La variable control es de tipo Dummy debido a que encripta las características específicas de las capsuladoras en el experimento. De esta forma, como se mencionó en el apartado de resultados, la significancia que tengan estas variables Dummy, usadas para controlar, no es de vital importancia debido a que engloban los efectos exógenos para limpiar los efectos causados por la variable control.

Finalmente, dada la metodología que se ha implementado, se pudo observar que el nuevo rango tiene un efecto positivo sobre el torque aplicado a las capsuladoras. Además, se ha realizado el análisis de varianza luego del modelo de regresión lineal para identificar el efecto de la nueva propuesta sobre la variabilidad del torque en las capsuladoras. El estudio logra demostrar que la varianza del torque aplicada a las capsuladoras previo a la implementación del nuevo rango, es mucho mayor a la variabilidad que tienen los torques luego de aplicada el rango propuesto en la presente investigación. Es por esto que existe un menor número de unidades mermadas en la producción lo que permite entregar a las bebidas carbonatadas con la cantidad correcta del componente

gaseoso, actividad que no se cumplía anteriormente debido al mal encapsulado de las botellas.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

Como se ha podido observar, la presente investigación ha determinado un rango específico por usar con el fin de disminuir la variabilidad del torque aplicado a cada una de las capsuladoras. La carta control, mediante la aplicación de un ajuste en el rango de uso, para un intervalo entre 12 y 18 kg/Fuerza, ha mostrado que existe una menor variabilidad en el indicador antes mencionado.

Al respecto, se recomienda que la empresa cambie el tipo de rango usado por el propuesto debido a que genera menos variabilidad en el torque. Es decir, con la puesta en marcha de la carta control, se puede disminuir el error ocasionado por cada una de las capsuladoras dado las características que posean estas independientemente.

Además, se propone reajustar el límite de control establecido para los torques aplicados a las capsuladoras. De acuerdo con la aplicación de la carta control, al reajustar el torque y el rango, elementos que la investigación proporcionó como variables indispensables para el control, hay que realizar un cambio en los límites de control ajustándolos de la forma en como se muestra en la tabla del apartado de discusión de resultados. Al fijar los nuevos límites de control, algún tipo de variación en los torques aplicados pueden ser considerados normales por parte del proceso por lo cual no se consideraría algún tipo de riesgo con respecto a mantener dicho proceso descontrolado. Cabe mencionar que esta propuesta se encuentra explicada en el apartado de los límites de control de la presente investigación, en el cual se presentan los nuevos indicadores dado el cambio de rango.

Finalmente, se recomienda realizar un seguimiento más concurrente con respecto a la ejecución de la carta control. En muchas empresas que poseen plantas embotelladoras, siempre existe el riesgo de que haya un descontrol en el proceso; sin embargo, la aplicación de los límites de control conlleva que ese

descontrol no sea muy pronunciado y no cause errores significativos que puedan traducirse en costos excesivamente altos para las organizaciones inmersas

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Davila, S. C., & Martínez Sobenis, A. G. (21 de Octubre de 2015). *Determinación de la durabilidad de una resina de tereftalato de polietileno af-626 en envases retornables por inyección para bebidas gaseosas de alta rotación*. Obtenido de DSpace en ESPOL : <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30685>
- Boyd, D. F. (1950). Applying the Group Control Chart for x and R. *Industrial Quality Control*, 22-25.
- Cabezón, S. (Agosto de 2014). *UVaDOC Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid*. Obtenido de Control de Calidad en la Producción Industrial: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13153/1/TFG-I-174.pdf>
- Carro, R., & González, D. (2012). Control Estadístico de Procesos. *Administración de las operaciones*, 25.
- Contreras Zamarrón, A. M., Marroquín Prado, E., & Zertuche Luis, F. (2012). Monitoreo y Control de un Proceso Normal Multivariado. *Conciencia Tecnológica*, 43.
- Corrales, R., & Esteban, E. (26 de Junio de 2013). *Repositorio institucional de la Universidad de Las Tunas*. Obtenido de Evaluación y control de la calidad a partir de las cartas de control y la capacidad del proceso para cumplir con especificaciones (Doctoral dissertation): <http://hdl.handle.net/123456789/1717>
- Diaz, E., & Ruiz, D. (2011). *Herramientas estadísticas para el control de procesos*. Guyana: Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- Duncan, A. J., & Espejel, I. A. (1989). *Control de calidad y estadística industrial*. Mexico: Alfaomega.
- González, C. (2005). *Gaia Antártica: Conocimiento y cultura antártica*. Obtenido de Control Estadístico Multivariable mediante Análisis de Componentes Principales (PCA), aplicado al área de destilación Planta I Methanex Chile Limited.: [http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/gonzalez\\_carrasco\\_2005.pdf](http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/gonzalez_carrasco_2005.pdf)
- González, C. (2005). *Repositorio Académico de la Universidad de Chile*. Obtenido de Validación retrospectiva y control estadístico de procesos en la Industria Farmacéutica: [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2005/gonzalez\\_c/sources/gonzalez\\_c.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2005/gonzalez_c/sources/gonzalez_c.pdf)
- Grant, E., & Leavenworth, R. S. (1996). *Control estadístico de calidad, 2da edición*. Mexico: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- Grimshaw, S. D., Rex Bryce, G., & Meade, D. J. (1999). Control limits for group charts. *Quality Engineering*, 12(2), 177-184.



- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. México: Pearson Education.
- Lind, Marchal, & Waten. (2013). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México: McGraw Hill Education.
- MacGregor, J. F., & Kourti, T. (1995). Statistical process control of multivariate processes. *Control Engineering Practice*, 3(3), 403-414.
- Mitra, A. (2008). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. 3era ed. Alabama, USA: John Wiley & Sons.
- Montgomery. (2009). *Introducción to Statistical Quality Control*. Arizona: John Wiley and sons.
- Montgomery, D. (2004). *Control estadístico de la calidad*. México: Limusa Wiley.
- Mustafa, A. M., Rodríguez, N. L., & Chauvet, S. (2002). Control de Calidad: Cartas de Control por variables. In *Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA 2002. Secretaría de Ciencia y Tecnología. Universidad Nacional de Catamarca*.
- Nelson, L. S. (1986). Control chart for multiple stream processes. *Journal of Quality Technology*, 255-256.
- Noguera, S. (Septiembre de 2010). *Trabajo realizado en el Centro de Investigaciones Microbiológicas Aplicadas (CIMA-UC)*. Obtenido de Facultad Experimental de Ciencias y Tecnologías - Universidad de Carabobo: <http://portal.facyt.uc.edu.ve/pasantias/informes/P95264958.pdf>
- Pincay, D., & Silva, J. (8 de Noviembre de 2016). *Diseño de un Sistema de Control Estadístico del Proceso de Encapsulado de Bebidas Gaseosas*. Obtenido de DSpace en ESPOL: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/36333>
- Rivera, D. (2011). *Cartas de Control para datos Funcionales (Tesis de Postgrado)*. Centro de Investigación en Matemáticas, Guanajuato.
- Ruiz Falcó, A. (Marzo de 2006). *Control Estadístico de Procesos*. Obtenido de Juárez-Lincoln-Martí International Ed. Project: <http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>
- Saavedra, J. A., Puente, L. A., Cancino, B., & Astudillo, C. (2010). Monitoreo y Análisis de un Proceso de Elaboración de una Bebida Carbonatada mediante 3-Way PLS. *Información tecnológica*, 21(6), 59-66.
- Shewhart, W. A. (1985). *Control estadístico de la calidad*. México: Grupo editorial Iberoamericana.
- Stock, J. H., & Watson, M. M. (2012). *Introducción a la Econometría*. Madrid: Pearson Educación.
- Universidad de Valencia. (2015). *SPSS: Pruebas Paramétricas y no Paramétricas*. Valencia: Publicaciones UV.
- Verdoy, P. J., Mahiques, J. M., & Pellicer, S. S. (2006). *Manual de control estadístico de calidad: teoría y aplicaciones (Vol. 21)*. Publicacions de la Universitat Jaume I.

