

MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARAMÉTRICOS EN EL ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DEL TORQUE, DURANTE EL PROCESO DE ENCAPSULADO PARA LA ELABORACIÓN DE BEBIDAS CARBONATADAS

Ballestero Francisco¹, Hurtado Erika², García Sandra³

andres.ballesteros@utelvt.edu.ec¹, ehurtadoescobar@gmail.com², slgarcia@espol.edu.ec³

<https://orcid.org/0000-0002-1862-380X>¹, <https://orcid.org/0000-0001-9178-2439>²

<https://orcid.org/0000-0003-2978-0330>³

Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres¹, Universidad de Barcelona², ESPOL³.
Esmeraldas - Ecuador

Recibido (04/06/20), Aceptado (23/06/20)

Resumen: La propuesta presentada en el estudio busca ajustar el rango usado tradicionalmente para la aplicación del torque en el proceso de capsulado en bebidas carbonatadas. Se ha logrado identificar, mediante el uso de indicadores y pruebas estadísticas, que el proceso de producción efectivamente tenía un descontrol. 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. Disminuyendo de ésta manera la variabilidad presente en el proceso de capsulado en la elaboración de bebidas carbonatadas.

Palabras Clave: Torque, Variabilidad, Encapsulado, Estadística Paramétrica.

PARAMETRIC STATISTICAL METHODS TO ANALYZE THE TORQUE VARIABILITY IN A COMPANY OF CARBONATED BEVERAGES

Abstract: The proposal presented in the study seeks to adjust the range traditionally used for the application of torque in the capping process in carbonated beverages. It has been possible to identify, through the use of indicators and statistical tests, that the production process was indeed out of control. An experimental design by blocks was applied in order to identify the main effect of the new range, which has been proposed by the research, within the cappers. Through the use of a linear regression model and Dummy-type control variables, which describe specific characteristics of each of the capping machines, the clean, or also considered net, effect has been achieved on each of the capping machines and the torque applied to them. Thus decreasing the variability present in the capping process in the production of carbonated beverages.

Keywords: Torque, Variability, Capped, Statistics Parametric.

I. INTRODUCCIÓN

Una buena forma de revisar el buen funcionamiento de un Sistema de Gestión de Calidad, es mediante la realización de auditorías internas y externas, además se puede utilizar una autoevaluación como herramienta importante para la revisión del nivel de madurez de la organización [1].

El proceso de capsulado de las bebidas carbonatadas es un proceso que debe ser considerado como punto crítico de control, 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 en sentido opuesto a las manecillas del reloj, medida en in/lb, que el consumidor debe aplicar para remover la tapa de la botella [2].

En la línea de producción de bebidas carbonatadas existe una alta variabilidad al momento de realizar los análisis de torque durante la producción. Se debe controlar el torque durante el 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. Los consumidores demandan cada vez más alimentos y bebidas de calidad, esperan que la calidad de los productos adquiridos mantenga sus características inocuas, organolépticas y nutricionales desde el período de la compra hasta el consumo [3].

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 y garantizar la calidad de los resultados, por esto se propone un nuevo rango de capsulado que permita disminuir la alta variabilidad en los análisis torque del encapsulado.

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. La alta variación de los procesos es el resultado de dos fuentes. Una de éstas, denominada causas comunes, se debe a su naturaleza inherente y no pueden ser alteradas sin cambiar el proceso mismo. La otra fuente de variabilidad se debe a causas asignables, aquéllas que no

son parte del proceso o sistema, que no están siempre presentes pero surgen en circunstancias específicas. Un proceso en el cual los resultados están siendo afectados sólo por causas comunes se denomina proceso estable y se dice que está bajo control estadístico [4].

Este estudio es de mucha relevancia para el sector manufacturero de bebidas carbonatadas del país 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 la marca del producto, reducción en la calidad del producto final, altos costos de producción, reprocesos, entre otros. La necesidad de tener un proceso bien establecido con las especificaciones necesarias para la obtención de productos que satisfagan los requerimientos de los clientes que se aseguren alimentos de calidad [5].

El trabajo se enfoca 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 de producción para bebidas carbonatadas.

La variabilidad es parte de cualquier proceso, sin importar cuán sofisticado sea este, es la variabilidad de la característica o variable objeto de estudio; ésta se define a partir de un intervalo de variación calculado a partir de la desviación típica de la variable [6]. 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).

Se logró identificar, mediante el uso de indicadores y pruebas estadísticas, que el proceso de elaboración efectivamente tenía un descontrol debido a la alta variabilidad que se presentaba entre los capsuladores al momento de realizar el análisis de torque.

Este trabajo consta de cuatro secciones, donde en la parte metodológica se aplicó un diseño experimental por bloques con el fin de identificar el efecto principal que tiene el rango nuevo que propone la investigación.

II. DESARROLLO

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.

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 en-

capsuladoras del proceso de encapsulado de la línea de bebidas carbonatadas.

Entre los factores relevantes durante el proceso de encapsulado están el torque de apertura y el rango del 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 [2].

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.

La propuesta presentada en el estudio busca ajustar el rango usado tradicionalmente para la aplicación del torque en el proceso de capsulado el cual es de 8 a 22 Kgf. 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 reclamos por parte de los clientes y consumidores.

III.METODOLOGÍA

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 de bebidas carbonatadas.

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. 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 [7].

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 PET el cual es un material que “se funde en temperaturas desde 270°C a 290°C. con presiones de 1.500 psi (medida de presión) durante su inyección en el molde, para posteriormente ser sometido a una etapa de enfriamiento a 8°C. [8].

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).

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 [9]. 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 de bebidas carbonatadas, según la frecuencia de recolección especificada anteriormente por el departamento de calidad, la cual es de una muestra de tamaño uno por capsuladora (en total son 9) cada 30 minutos aprox. desde el momento de arranque de la producción diaria.

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.

Los instrumentos de medición pueden ser dispositivos, cuestionarios, observación directa, etc. El Departamento de Calidad utiliza como instrumento de medi-

ción, un torquímetro manual con un rango de medición de 0 a 40 in.lb.

IV.RESULTADOS

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.

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 I. Intervalos de confianza para la media (95%)

Medias	Rango (8 a 22)	Rango (12 a 18)
Media =	16,32	14,66
Error estándar=	0,32	0,24
IC 95% Límite Inferior	15,63	14,19
IC 95% Límite Superior	17,02	15,13

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 significan-

cia 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 II. Grupo de estudio (Rango 8 – 22Kgf). Rango Control

PRUEBA DE KOLMOGOROV – SMIRNOV PARA UNA MUESTRA		
Número de Mediciones		27
	Media	14,65590
Parámetros Normales	Desviación estándar	0,92096
	Absoluta	0,091
Máximas diferencias extremas	Positivo	0,091
	Negativo	-0,08
Estadístico de Prueba		0,091
P - Valor		0,200

TABLA III. Grupo de estudio (Rango 12 – 18kgf). Rango Propuesto

PRUEBA DE KOLMOGOROV – SMIRNOV PARA UNA MUESTRA		
Número de Mediciones		27
	Media	16,3237
Parámetros Normales	Desviación estándar	1,83511
	Absoluta	0,129
Máximas diferencias extremas	Positivo	0,89
	Negativo	-0,129
Estadístico de Prueba		0,129
P - Valor		0,200

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.

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).

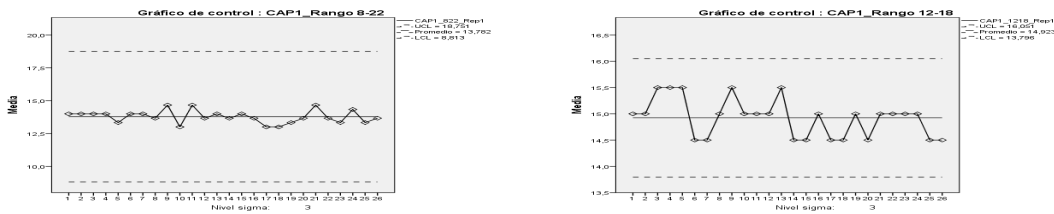


Figura 1. Comportamiento del Capsulador 1 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 1 (rango propuesto 12-18)

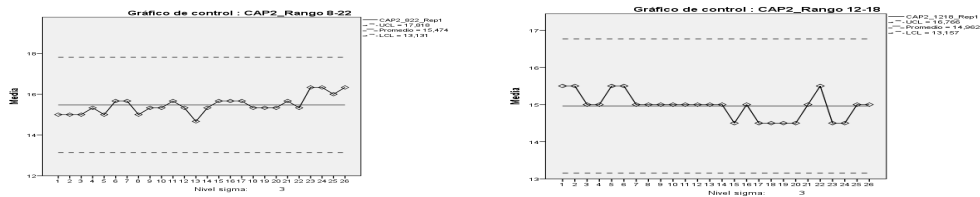


Figura 2. Comportamiento del Capsulador 2 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 2 (rango propuesto 12-18).

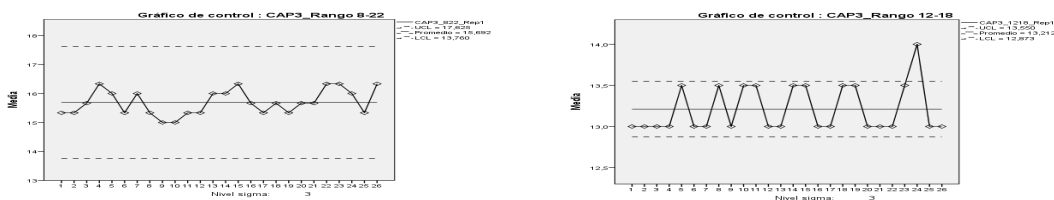


Figura 3. Comportamiento del Capsulador 3 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 3 (rango propuesto 12-18).

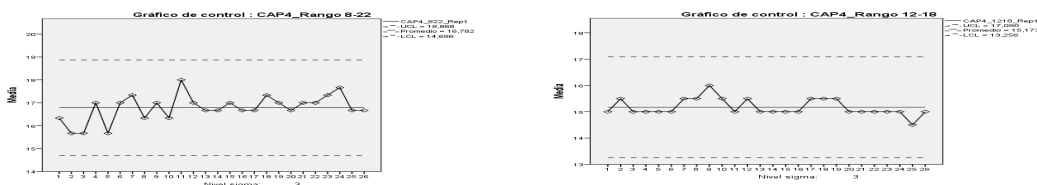


Figura 4. Comportamiento del Capsulador 4 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 4 (rango propuesto 12-18).

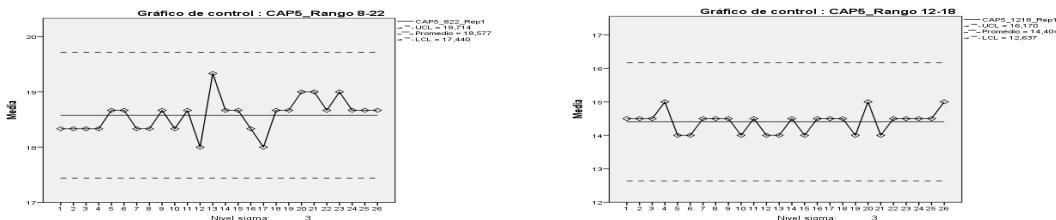


Figura 5. Comportamiento del Capsulador 5 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 5 (rango propuesto 12-18).

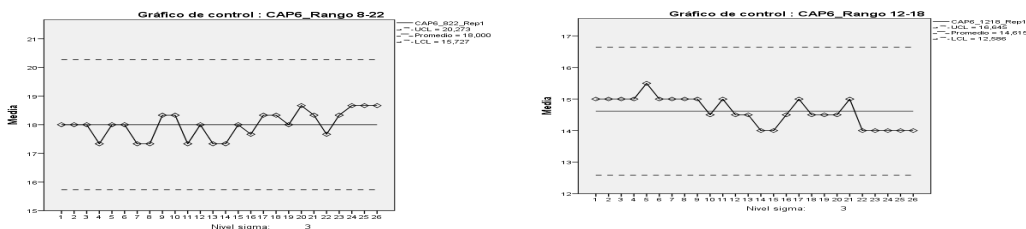


Figura 6. Comportamiento del Capsulador 6 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 6 (rango propuesto 12-18).

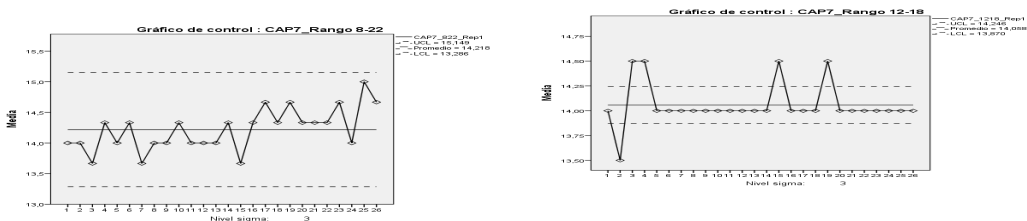


Figura 7. Comportamiento del Capsulador 7 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 7 (rango propuesto 12-18).

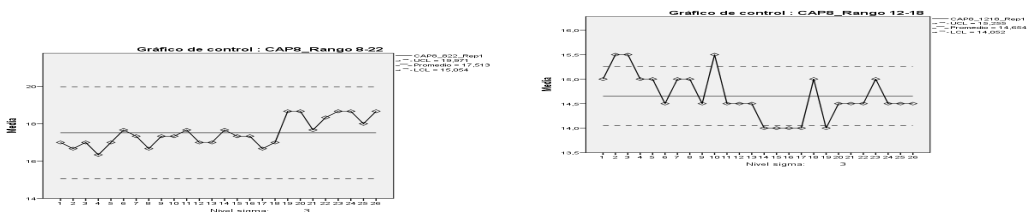


Figura 8. Comportamiento del Capsulador 8 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 8 (rango propuesto 12-18).

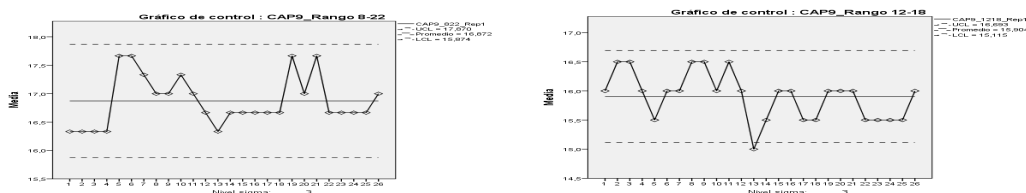


Figura 9. Comportamiento del Capsulador 9 (rango control 8-22) en relación al comportamiento del Capsulador 9 (rango propuesto 12-18).

Se puede apreciar que en todos los capsuladores hubo una disminución en la media del torque, lo que es un buen indicio al menos visual que el nuevo rango puede disminuir la variabilidad del torque.

A. Prueba de homogeneidad de varianzas. (homocedasticidad).

El supuesto de homogeneidad de varianzas considera que si la varianza es constante en los diferentes niveles de un factor (comportamiento de las capsuladoras por

rango). 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.

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 puede disminuir la variabilidad.

TABLA IV. Prueba de homogeneidad de varianzas.

VALORES DE TORQUE POR RANGO			
Estadísticos de Levene	g1	g12	p-valor
5,705	1	52	0,021

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 de figuras de la 1 a la 9.

B. 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:

$$Torque_i = Capsulador_i + Rango_i + \epsilon_i \quad (1)$$

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 V. Variable de Rango 1. Rango 8 - 22

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

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 VI. Significancia de las variables mediante una estimación de matriz de varianzas y covarianzas.

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

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 he-

terocedasticidad. 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 nega-

tivo 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 encontra-

dos 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.

C. 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 VII. Análisis de Varianza

	Suma de Cuadrados	ANOVA			
		gl	Media	F	Valor P
			Cuadrática		
Entre Grupos	37,167	1	37,167	17,53	0,000***
Dentro de Grupos	110,106	52	2,117		
TOTAL	147,273	53			

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.

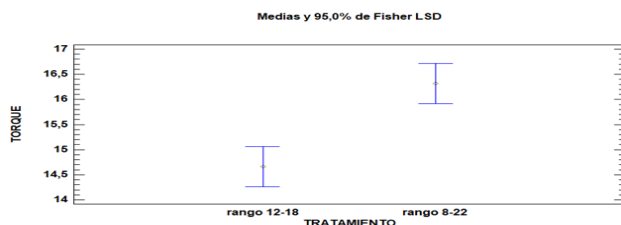


Figura 1 Gráfico LSD de Fisher – Medias obtenidas en los rangos estudiados

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 VIII. Prueba T para la igualdad de medias.

	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	4,19	52	0	1,6593	0,396	0,8646	2,454
No se asumen varianzas iguales			4,19	38,56	0	1,6593	0,396	0,8579	2,4606

D.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.

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 podrían 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 rela-

ción 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.

V.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 disminuye 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 maquinas capsuladoras, calculado entre las capsuladoras q 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.

REFERENCIAS

- [1] E. Córdova y L. Rodríguez, «Universidad Católica Andrés Bello,» MARZO 2016. [En línea]. [Último acceso: 04 JULIO 2020].
- [2] S. López, D. Pincay y J. Silva, «Diseño de un Sistema de Control Estadístico del Proceso de Encapsulado,» 8 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/36333/D-CD88338.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [Último acceso: 2 Julio 2020].
- [3] E. Malvais y R. Delgado, «Universidad Autónoma del Estado de México,» MAYO 2017. [En línea]. [Último acceso: 04 JULIO 2020].
- [4] J. Fermín, S. Valdivieso, M. Orlandoni y G. Barreto, «Control estadístico de procesos multivariantes en la industria Alimentaria: implementación a través del estadístico t2-hotelling,» *Agroalimentaria*, vol. 1, n° ISSN 1316-0354, 2010.
- [5] A. Pineda y A. Cecilia, «Universidad Veracruzana,» AGOSTO 2019. [En línea]. [Último acceso: 04 JULIO 2020].
- [6] M. Gras, «Estimación estadística, modelado y análisis de la transmisión y coste de la variabilidad en procesos multi - etapa. Aplicación en la fábrica de baldosas cerámicas.,» Marzo 2010. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56452330/Tesis_doctoral.pdf?1525041898=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTesis_doctoral.pdf&Expires=1593745763&Signature=V77nsxCSh-1IuOu4~78gq-CM8Hk3nm5mHLtSCG7YIToMFDskiPxu9TZ-fiXIX4gbXAHCKrg-pU0BRsSb. [Último acceso: Julio 2020].
- [7] M. Palacios y V. Gisbert, «Control Estadística de la calidad: Una aplicación práctica,» *3Ciencias*, vol. 1, p. 22, 2018.
- [8] G. Martínez y A. Sobenis, «ESPOL, Determinación de la durabilidad de una resina de DE tereftalato de polietileno, Af - 626, en envases retornables por inyección para bebidas carbonatadas de alta rotación,» Mayo 2014. [En línea]. [Último acceso: 04 Julio 2020].
- [9] A. Navarro, E. Jiménez, S. Rapport y B. Thoilliez, «Fundamentos de la investigación y la innovación educativa,» *UNIR EDITORIAL*, vol. 1, p. 106, 2017.