

CONTROL DE VARIABLES ASOCIADAS CON LA CALIDAD EN EL PROCESO DE CORRUGADO MEDIANTE EL USO DE GRÁFICOS DE CONTROL MULTIVARIANTE

Oscar Vargas^{1*}, Víctor Márquez²

¹Estudiante de la Maestría de Trayectoria de Investigación en Estadística mención Estadística Aplicada. Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: ovargas6003@utm.edu.ec

²Profesor. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: victor.marquez@utm.edu.ec

*Autor para la correspondencia: ogvargas@hotmail.com

Recibido: 12-10-2020 / Aceptado: 02-03-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Ernesto Ponsot Balaguer

RESUMEN

El propósito de esta investigación es estudiar el proceso de producción de cartón corrugado en la empresa Productora Cartonera S. A. (PROCARSA). Para ello se evaluó el comportamiento de las variables de calidad resistencia al aplastamiento de borde (ECT) y Separación de espiga (PAT). Posterior al análisis descriptivo, a cada variable de calidad se le ajustó un diseño factorial, considerando como factores a evaluar Operador, Flauta, Liner (Papel externo del cartón) y Empaque. Se determinó que estos factores influyen de manera significativa sobre las variables de calidad. Para el caso de la variable ECT, todos los componentes del modelo resultan significativos, mientras que para la variable PAT, solo resultan significativos los efectos principales, algunas interacciones de orden dos y la interacción de orden cuatro. Se evaluó la correlación entre las variables de calidad, resultado estadísticamente significativa, lo que llevó a descartar el uso de gráficos de control univariantes para monitorear el proceso. Luego, se construyó un gráfico de control multivariante para determinar si el proceso está trabajando bajo control. En la fase 1 se presentó una señal fuera de control. Finalmente, se eliminó el punto fuera de control y se obtuvieron los límites finales de control. Estos límites se usarán en adelante para evaluar y monitorear el proceso.

Palabras clave: Control, Multivariante, Hotelling, Calidad.

CONTROL OF VARIABLES ASSOCIATED WITH QUALITY IN THE CORRUGATED PROCESS THROUGH THE USE OF MULTIVARIANT CONTROL CHARTS

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the corrugated cardboard production process in the company Producer Carton S.A, PROCARSA. For this, the behavior of the quality variables resistance to edge crushing (ECT) and separation of dowel (PAT) was evaluated. After the descriptive analysis, a factorial design was adjusted to each quality variable, considering Operator, Flute, Liner, and Packaging as factors to be evaluated. It was determined that these factors have a significant influence on the quality variables. For the case of the ECT variable, all the components of the model are significant, while for the PAT variable, only the main effects, some interactions of order two, and the interaction of order

four are significant. The correlation between the quality variables was evaluated, the result statistically significant, which led to discarding the use of univariate control charts to monitor the process. Then, a multivariate control chart was constructed to determine if the process is working under control. In phase 1 there was a signal out of control. Finally, the out-of-control point was eliminated and the final limits of control were obtained. These limits will be used from now on to evaluate and monitor the process.

Keywords: Control, Multivariate, Hotelling, Quality.

CONTROLE DE VARIÁVEIS ASSOCIADAS COM A QUALIDADE NO PROCESSO DO CORRUGADO MEDIANTE O USO DE FIGURAS DE CONTROLE MULTIVARIANTE

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é estudar o processo de produção de papelão ondulado na empresa Productora Cartonera S.A, PROCARSA. Para isso, avaliou-se o comportamento das variáveis de qualidade resistência ao esmagamento da borda (ECT) e separação de espiga (PAT). Após a análise descritiva, um planejamento fatorial foi ajustado para cada variável de qualidade, considerando Operador, Flauta, Liner e Embalagem como fatores a serem avaliados. Determinou-se que esses fatores influenciam significativamente as variáveis de qualidade. Para o caso da variável ECT, todos os componentes do modelo são significativos, enquanto para a variável PAT, apenas os efeitos principais, algumas interações de ordem dois e a interação de ordem quatro são significativos. Foi avaliada a correlação entre as variáveis de qualidade, resultado estatisticamente significativo, o que levou ao descarte do uso de gráficos de controle univariados para o monitoramento do processo. Em seguida, um gráfico de controle multivariado foi construído para determinar se o processo está funcionando sob controle. Na fase 1, houve um sinal fora de controle. Finalmente, o ponto fora de controle foi eliminado e os limites finais de controle foram obtidos. Esses limites serão usados a partir de agora para avaliar e monitorar o processo.

Palavras chave: Controle, Multivariado, Hotelling, Qualidade.

1. INTRODUCCIÓN

El éxito de una empresa depende en su mayor parte de la productividad y calidad de los bienes o servicios que produce. La calidad se ha convertido en una herramienta de vital importancia para que las empresas puedan crecer y mantenerse en el mercado de manera competitiva.

Herrera et al. (2017), afirman que desde hace tiempo las grandes industrias han reconocido que el mejoramiento de la calidad conduce a un aumento en la productividad, siendo conscientes de esta forma, de que existe la necesidad de implementar, analizar e investigar sistemas y procesos que conlleven al cumplimiento de metas con relación a los productos ofrecidos en el mercado, en una búsqueda constante de mejoras en los procesos de producción para mantenerse competitivamente en dicho mercado.

Esta realidad no es ajena a la alta Gerencia de la empresa Productora Cartonera S. A. (PROCARSA). Existen fallas durante el proceso de producción en el corrugado, lo cual conlleva a aumento de costos y disminución de la calidad, representando esto una seria amenaza en el cumplimiento de la tarea de mantenerse y ser competitiva en el mercado actual (Vargas, 2013).

La implementación de sistemas de calidad genera a las empresas importantes beneficios, tales como reducción de desperdicios, reducción de costos y de devoluciones. Esto es, el uso del control estadístico de la calidad, permite mejorar los procesos productivos, reducir costos, aumentar su competitividad y absorber una mayor capacidad de demanda (Mentado, 2015).

Juventino et al. (2017) consideraron que esta tendencia ha llevado al enfoque en la producción y el uso de sistemas de control de calidad, que además de proporcionar flexibilidad al proceso permitan disminuir costos que garanticen la reducción de falsas alarmas por cambios en el proceso y la disminución de unidades defectuosas, lo que permite aumentar la calidad en el producto final y la satisfacción del cliente.

Para ellos se usa el Control Estadístico de Procesos (CEP), sistema para la mejora continua de la calidad. Es una colección de herramientas estadísticas utilizadas entre otras cosas para medir, monitorear y controlar procesos por medio de gráficos o cartas de control. Se utiliza para revisar y garantizar que los procesos cumplan con las especificaciones de calidad establecidas (Herrera et al., 2018).

El CEP permite medir, monitorear y controlar una o más variables asociadas con la calidad en un proceso. El control estadístico de procesos univariante presenta varias limitaciones, las cuales son superadas a través de la inclusión de más de una variable y mirar cómo estas se correlacionan entre

sí (Herrera et al., 2018). La ventaja del método multivariado sobre el clásico, es que reduce en muchos casos la complejidad del problema.

Surge por tanto, la necesidad de aplicar herramientas estadísticas multivariantes para controlar en forma simultánea dos o más variables, lo que da origen al control estadístico multivariado, inicialmente introducido por Hotelling en 1947 (Montgomery, 2012).

Hace tiempo atrás, las técnicas de control multivariante resultaban en general muy complejas de utilizar, fundamentalmente por los aspectos y conceptos matemáticos que deben manejarse. Con el pasar del tiempo estas dificultades se han ido superando, dado los avances significativos en programas y software especializados en control estadístico de procesos.

Varias alternativas han surgido para llevar a cabo Control Estadístico de Procesos Multivariantes. Dada a la utilidad del Teorema de Límite Central y a las propiedades que poseen las variables aleatorias normales, muchas de estas alternativas o esquemas de control multivariante se han desarrollado para variables normales, siendo los gráficos T2 de Hotelling, sumas acumuladas (MCUSUM) y el de los promedios móviles exponencialmente ponderados (MEWMA), los más destacados.

Otras alternativas de interés son las basadas en componentes principales, así como la metodología integrada propuesta por Zamarrón (Plaza Rodas, 2017), la cual considera conjuntamente el gráfico T2 de Hotelling y la metodología de componentes principales.

Juventino et al. (2017), destacan la importancia de los avances de la tecnología y su uso en la implementación del análisis multivariante en los procesos de producción. Afirman que los gráficos multivariantes ayudan a tener un proceso robusto y eliminar todo tipo de desperdicio. Ellos muestran en su investigación cómo se realiza el monitoreo de más de dos variables mediante el uso del estadístico T2 de Hotelling, y como estos superan a los gráficos univariantes en la identificación de variables fuera de especificación.

La presente investigación está orientada a proponer un esquema de control de calidad que permita a la empresa PROCARSA cumplir con las exigencias actuales del sector cartonero, alcanzando un óptimo desempeño. El objetivo general fue implementar el Control Estadístico de Procesos en el área del proceso de corrugado de PROCARSA que le permita garantizar su competitividad y permanencia en el mercado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Para el desarrollo de esta investigación se consideró la información sobre las variables ECT (resistencia al aplastamiento de borde) y (Separación de espiga) PAT, relacionadas con el proceso de producción en la empresa Productora Cartonera S. A. (PROCARSA), recolectada durante el periodo enero-marzo del año 2020.

La información obtenida se organizó de acuerdo a los factores bajo estudio, de forma tal que se facilitará su manipulación y procesamiento. Inicialmente, se realizó un análisis descriptivo de los datos para evaluar su comportamiento y detectar situaciones no deseadas, tales como la presencia de valores atípicos.

Luego, haciendo uso del diseño de experimentos factorial y la técnica de análisis de varianza, se ajustaron modelos a las variables ECT y PAT, para determinar la significación estadística del efecto de los factores Operador, Flauta, Papel externo del cartón (la cual se denominará “liner” a lo largo del artículo) y Empaque sobre la variabilidad de dichas variables (Montgomery, 2007). La técnica de análisis de varianza permitió verificar las hipótesis de significación estadística para todos los efectos principales y efectos de interacción de todos los órdenes.

Finalmente, se desarrolló el Control Estadístico del Proceso mediante la construcción de un gráfico de control multivariante basado en el estadístico T2 de Hotelling. Este gráfico permite controlar simultáneamente, las características ECT y PAT.

La organización de los datos se hizo mediante Microsoft Excel y para el análisis estadístico, se usó el lenguaje de programación R.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **tabla 1** muestra los valores medios y desviación estándar para la variable Resistencia al aplastamiento de borde, ECT, calculados para cada categoría de cada una de los factores considerados en la investigación. Puede observarse aquí que para los factores Flauta y Empaque, se producen diferencias en los valores medios de sus niveles que pueden considerarse significativas. Para Flauta, las diferencias más importantes se dan entre los niveles B y C con el nivel BC.

Tabla 1. Promedio y desviación estándar de ECT por categoría.

Variable	Categoría	Media	Desviación Estándar
Operador	Díaz	48,50	17,95
	Guerrero	48,99	19,60
	Triviño	49,28	18,29
	Romo	51,21	19,14
Liner	K	49,39	19,55

	W	47,21	13,81
	B	33,55	4,32
	BC	83,13	11,15
Flauta	BE	60,67	6,16
	C	39,91	6,53
	DB	61,61	3,30
Empaque	Banano	69,57	18,31
	Doméstico	42,03	12,56

Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 1** muestra el comportamiento de los valores medios y variabilidad asociados con la variable ETC para los distintos niveles de los factores considerados. Puede ratificarse lo observado para los factores Flauta y Empaque, tanto en su valor medio como en su dispersión muestran diferencias aparentemente significativas para los distintos niveles. Para Operador y Liner, los valores medios parecen no mostrar diferencias significativas. En cuanto a su variabilidad, si se pueden apreciar diferencias importantes.

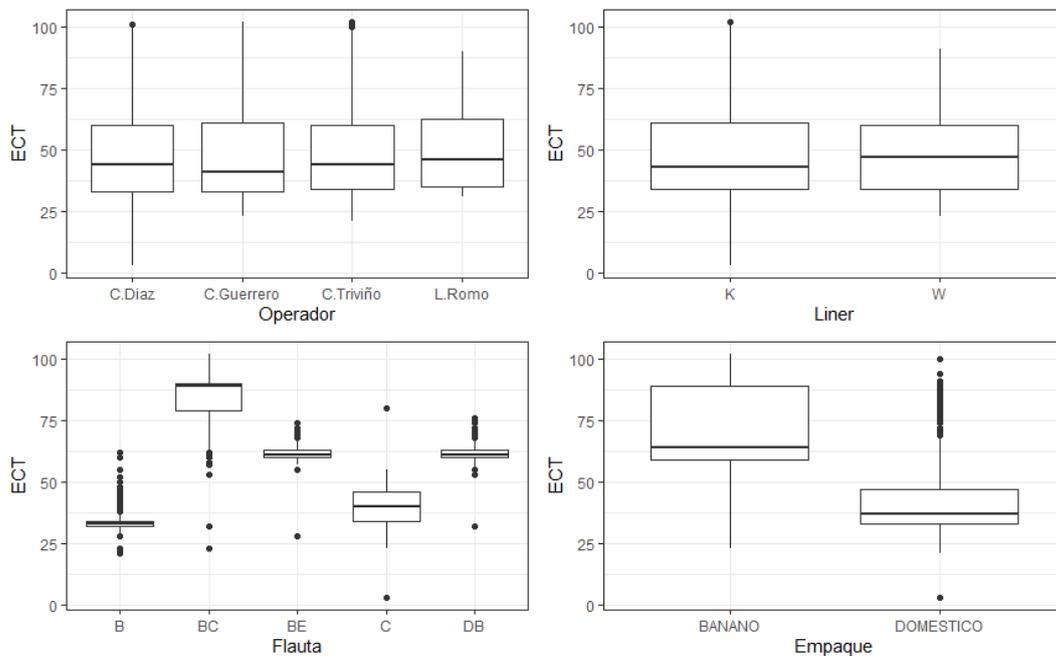


Figura 1. Gráfico de caja de la variable ETC según el Operador, Liner, Flauta y Empaque.

Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 2** se muestra los valores medios y desviación estándar para la variable Separación de espiga de acuerdo a las diferentes categorías de los factores en estudio. Se observan en general, valores más homogéneos, presentándose las diferencias más altas entre los niveles de los factores Flauta y Empaque.

Tabla 2. Promedio y desviación estándar de Separación de espiga por categoría.

Variable	Categoría	Media	Desviación Estándar
Operador	Díaz	47,13	4,98
	Guerrero	47,09	6,07
	Triviño	45,99	5,43
	Romo	43,43	3,49
Liner	K	46,53	5,53
	W	47,60	4,97
	B	40,23	3,39
Flauta	BC	50,56	4,45
	BE	54,00	0
	C	45,47	5,18
	Empaque	Banano	50,11
Doméstico		45,65	5,18

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 2** se presentan los valores medios y la dispersión en la variable PAT, para los distintos niveles de los factores en estudio. Confirmando lo observado en la **tabla 2**, puede apreciarse en este gráfico para la variable PAT, igual que en el caso de la variable ECT, las diferencias más importantes se producen para FLAUTA y EMPAQUE, sin que estas diferencias lleguen a ser de la magnitud que se presentan para ECT.

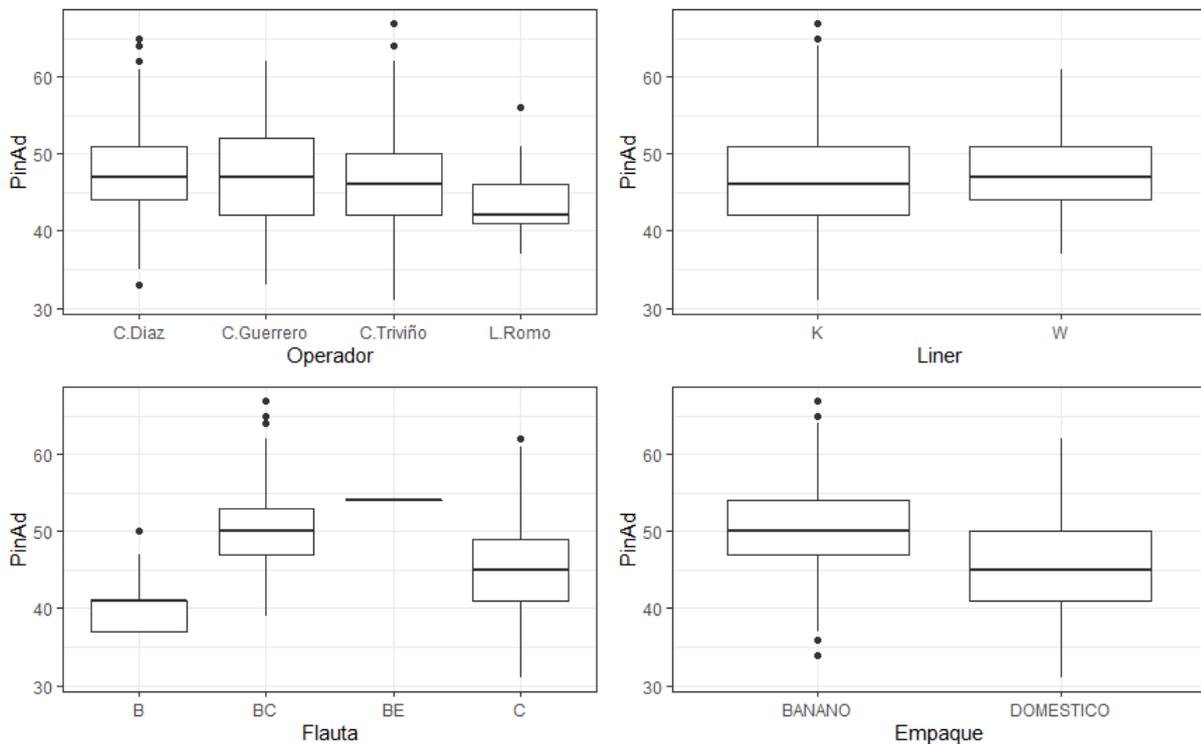


Figura 2. Gráfico de caja de la variable Separación de espiga según el Operador, Liner, Flauta y Empaque.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, dado que los métodos gráficos descriptivos no son en general, definitivos, para determinar las verdaderas diferencias es necesario recurrir al análisis de varianza. En esta investigación se estudia el efecto que sobre las variables de control ECT y Separación de espiga,

tienen los factores Operador, Flauta, Liner y Empaque. Para ello se ajusta un diseño de experimentos factorial.

El diseño factorial permite estudiar la influencia de dos o más factores sobre la variable dependiente. En estos experimentos factoriales se pueden considerar por separado los efectos individuales de los factores y además se puede estudiar su interacción, que se introduce en el modelo de forma multiplicativa. El modelo ajustado aquí está dado por:

$$Y_{ijklr} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ij} + \alpha\delta_{il} + \beta\gamma_{jk} + \beta\delta_{jl} + \gamma\delta_{kl} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \alpha\beta\delta_{ijl} + \alpha\gamma\delta_{ikl} + \beta\gamma\delta_{jkl} + \alpha\beta\gamma\delta_{ijkl} + \varepsilon_{ijklr}$$

Donde μ es la media general; α_i , β_j , γ_k y δ_l son los efectos principales de los tratamientos i, j, k y l de los factores Operador, Flauta, Liner y Empaque, respectivamente; $\alpha\beta_{ij}$, $\alpha\gamma_{ij}$, $\alpha\delta_{il}$, $\beta\gamma_{jk}$, $\beta\delta_{jl}$ y $\gamma\delta_{kl}$ los efectos de interacción doble; $\alpha\beta\gamma_{ijk}$, $\alpha\beta\delta_{ijl}$, $\alpha\gamma\delta_{ikl}$ y $\beta\gamma\delta_{jkl}$ son los efectos de interacción triple; $\alpha\beta\gamma\delta_{ijkl}$ es el efecto de interacción de orden 4; ε_{ijklr} es el término de error aleatorio. Los ε_{ijklr} son independientes y se distribuyen idénticamente de acuerdo a una distribución normal con media 0 y varianza constante σ^2 .

En este caso, la técnica de análisis de varianza, permite probar un conjunto de 15 hipótesis; 4 efectos principales, 6 efectos de interacción doble, 4 efectos de interacción triple y un efecto de interacción de orden 4. Probar la significación estadística del factor Operador, es decir, verificar si existe efecto del factor Operador sobre la variable ECT (PAT), es equivalente a probar la hipótesis:

$$H_0: \alpha_i = 0; \forall i; i = 1,2,3,4$$

Ecuación e2

Rechazar esta hipótesis indica que el factor Operador tiene efecto sobre ECT (PAT). Planteamientos similares se hacen para los demás factores.

Para evaluar el efecto de interacción (efecto conjunto) de los factores Operador y Flauta, se prueba la significación estadística de la hipótesis:

$$H_0: \alpha\beta_{ij} = 0; \forall ij; i = 1,2,3,4, j = 1,2,3,4$$

Ecuación e3

Igual que en el caso de efectos principales, rechazar esta hipótesis indica que existe efecto conjunto de estos factores sobre la respuesta. Para las demás interacciones de orden dos se prueban hipótesis similares.

De igual manera se plantean las hipótesis para probar la significación de los 4 efectos de interacción de orden tres y para el efecto de interacción de orden cuatro.

En la **figura 3** puede apreciarse el valor medio de ETC para las distintas combinaciones de tratamientos para las 6 interacciones dobles. Obsérvese que las líneas que se muestran en este gráfico no resultan paralelas en ninguno de los casos, lo que se corresponde con la presencia de una interacción significativa, como se muestra posteriormente en la tabla de análisis de varianza del modelo ajustado.

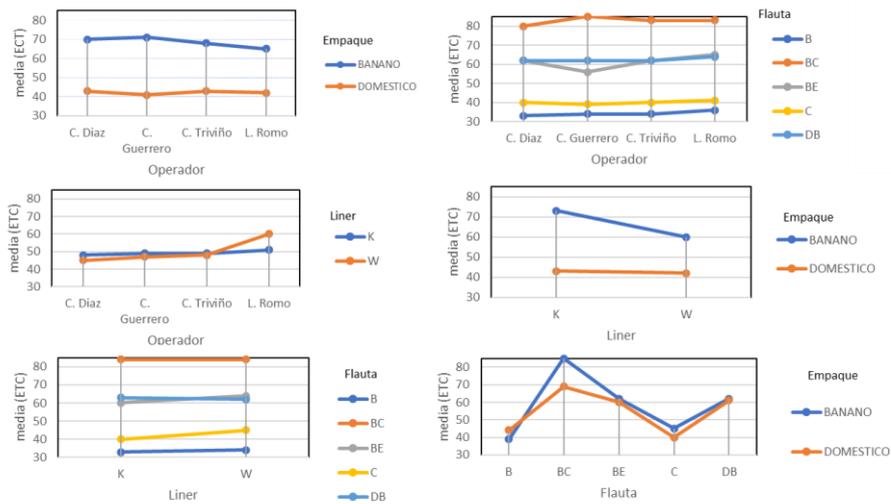


Figura 3. Interacciones dobles entre los factores bajo estudio para la variable ECT.
Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 3** se presenta la tabla de análisis de varianza resultante al ajustar el diseño factorial asociado con la variable de calidad ECT. A excepción de la interacción Operador:Liner:Empaque, todos los demás efectos resultan significativos a un nivel de significación del 1%. De esta forma puede apreciarse que todos los factores evaluados, de manera individual, así como sus interacciones, tiene un efecto significativo sobre la variabilidad de ECT.

Las interacciones significativas implican que el efecto de uno factores difieren para los distintos niveles de otro factor, es decir, el efecto que un factor tiene sobre la ECT depende del nivel en el que se encuentran los demás factores.

Tabla 3. Tabla de análisis de varianza de la variable ECT

Fuente de Variación	gl	Suma de Cuadrado	Media Cuadrado	F	p-valor
Operador	3	2358	786	21,13	0,000
Flauta	4	2847689	711922	19144,33	0,000
Liner	1	5812	5812	156,28	0,000

Empaque	1	56829	56829	1528,20	0,000
Operador*Flauta	12	9351	779	20,95	0,000
Operador*Liner	3	563	188	5,05	0,001
Flauta*Liner	4	5798	1449	38,97	0,000
Operador*Empaque	3	756	252	6,77	0,000
Flauta*Empaque	4	31001	7750	208,41	0,000
Linear*Empaque	1	725	725	19,5	0,000
Operador*Flauta*Liner	12	2130	177	4,77	0,000
Operador*Flauta*Empaque	11	3143	286	7,68	0,000
Operador*Liner*Empaque	3	185	62	1,65	0,173
Flauta*Liner*Empaque	4	942	235	6,33	0,000
Operador*Flauta*Liner*Empaque	9	975	108	2,91	0,001
Error	9544	354914	37		

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 4** puede apreciarse el valor medio de la variable Separación de espiga, PAT, para los distintos tratamientos resultantes de las interacciones dobles entre los niveles de los factores presentes en esta investigación. Igual que en el caso de ECT, las líneas que se dibujan en estos gráficos, en general, no son paralelas, lo que indica que a excepción de las interacciones Operador: Empaque y Flauta: Empaque, en las demás existen evidencias de que estas interacciones sean significativas. Estas evidencias se verifican mediante el uso del análisis de varianza.

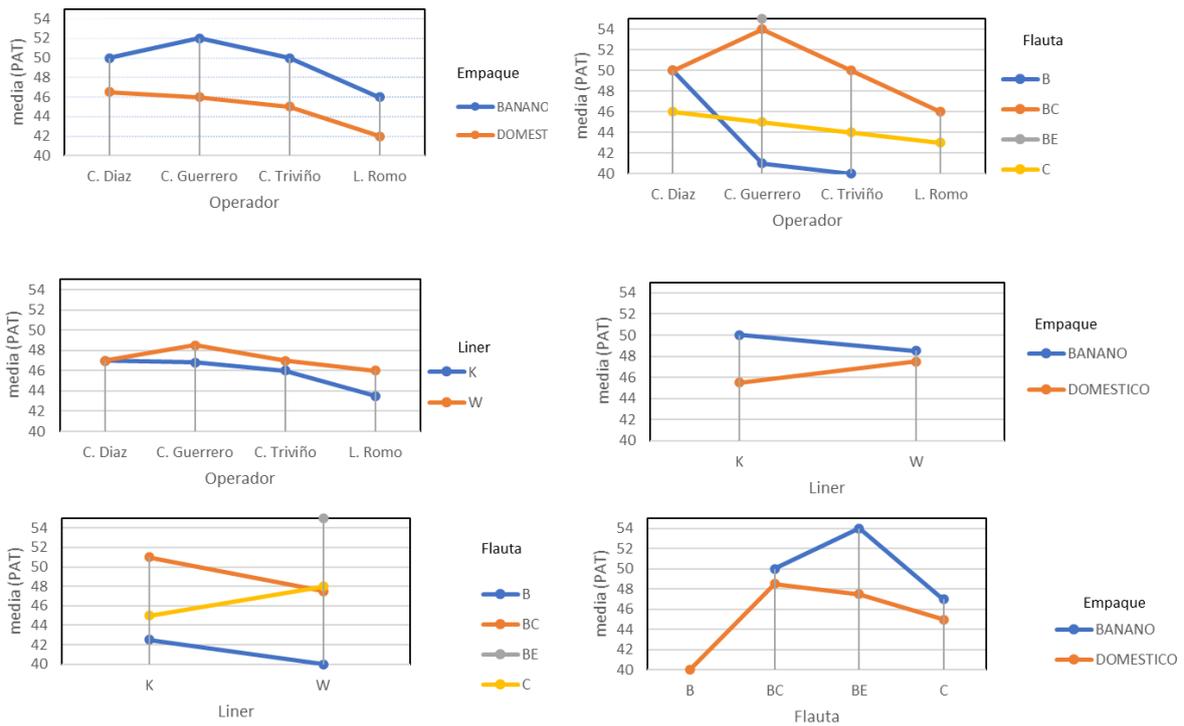


Figura 4. Interacciones dobles entre los factores bajo estudio para la variable PAT.

Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 4** se muestra la tabla de análisis de varianza, resultado del ajuste del diseño factorial asociado con la variable PAT. Puede observarse aquí que sólo resultan significativos los efectos principales y algunas interacciones dobles. Puede apreciarse que como se sospechaba al observar la

figura 5, las interacciones dobles Operador:Empaque y Flauta:Empaque, resultan no significativas. Tampoco resultan significativas las interacciones de orden tres, pero si la interacción de orden cuatro.

Figura 4. Tabla de análisis de varianza de la variable PAT.

Fuente de Variación	gl	Suma de Cuadrado	Media Cuadrado	F	p-valor
Operador	3	3992	1331	57,61	0,000
Flauta	3	32696	10899	471,84	0,000
Liner	1	2405	2405	104,11	0,000
Empaque	1	3871	3871	167,57	0,000
Operador*Flauta	5	1321	264	11,43	0,000
Operador*Liner	3	711	237	10,25	0,000
Flauta*Liner	2	1625	812	35,17	0,000
Operador*Empaque	3	69	23	0,99	0,393
Flauta*Empaque	1	72	72	3,10	0,077
Liner*Empaque	1	219	219	9,46	0,002
Operador*Flauta*Liner	3	101	34	1,45	0,226
Operador*Flauta*Empaque	3	32	11	0,46	0,705
Operador*Liner*Empaque	3	120	40	1,73	0,157
Flauta*Liner*Empaque	1	13	13	0,56	0,450
Operador*Flauta*Liner*Empaque	2	145	73	3,14	0,043
Error	6707	154918	23		

Fuente: Elaboración propia.

Para establecer el control estadístico del proceso que involucra más de una variable de calidad se puede seguir una de las siguientes opciones: 1) la construcción de gráficos de control univariantes para cada variable o, 2) la construcción de un gráfico de control multivariante.

En el caso objeto de esta investigación, se tienen dos variables de calidad; Resistencia al aplastamiento de borde (ECT), y Separación de espiga (PAT). Para tomar la decisión sobre la opción a seguir para establecer el control estadístico del proceso, se calcula el coeficiente de correlación entre ambas variables, ρ_{xy} , y se determina su significación estadística. El valor estimado de este coeficiente es 0,40. Se debe ahora, probar la hipótesis

$$H_0: \rho_{xy} = 0 \text{ vs } H_1: \rho_{xy} \neq 0$$

El estadístico de prueba viene dado por

$$t = r * \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r^2}}$$

Donde r es el estimador de ρ_{xy} , n es el tamaño de muestra y t sigue una distribución t de student con $n - 2$ grados de libertad.

El valor del estadístico $t=4,32$, resulta significativo a un nivel de significación del 1%. Por tanto, la correlación entre ECT y PAT, resulta significativa. Luego, se considera la opción, construir un gráfico de control multivariante.

Usando el lenguaje de programación R, se procede a elaborar el gráfico de control basado en el estadístico T^2 de Hotelling. La figura 5 muestra el gráfico de control para la fase 1, es decir, elaboración de los límites de control iniciales. Estos límites de control son:

$$LCI = 0 \quad LCS = 8,878$$

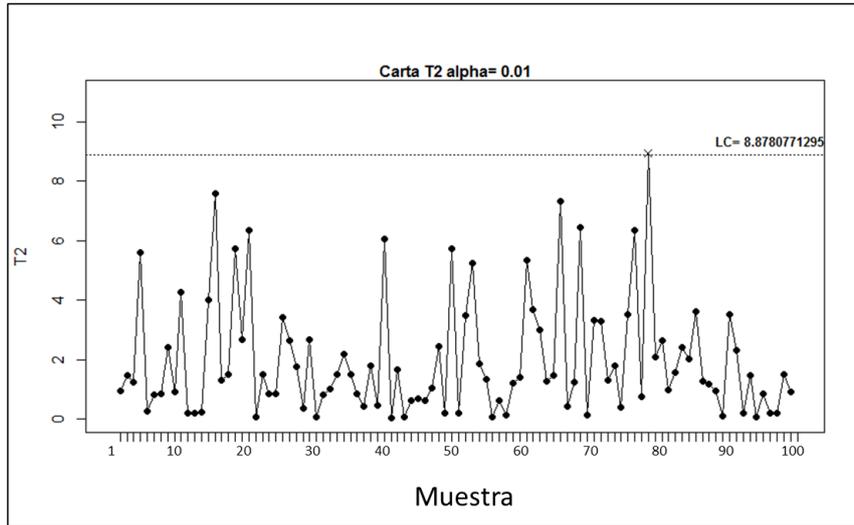


Figura 5. Gráfico de control T^2 de Hotelling, fase 1.

Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse en la **figura 5** que el punto número 79 está fuera de control. Luego, debe ser extraído de la muestra y proceder a desarrollar la fase 2, obtener los límites de control con el proceso bajo control.

La fase 2 consiste simplemente en eliminar del conjunto de datos la observación que motivó la señal fuera de control y se recalculan los límites de control, repitiendo el procedimiento. El gráfico de control final se muestra en la figura 6. Puede observarse allí que todos los puntos están dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control. Los límites inferior y superior obtenidos en esta segunda fase son:

$$LCI = 0 \quad LCS = 8,875$$

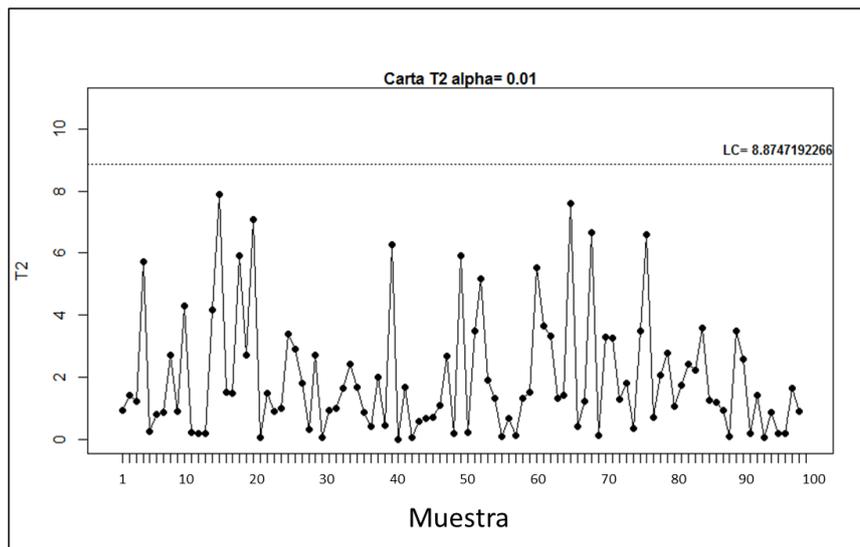


Figura 6. Gráfico de control T^2 de Hotelling, fase 2.
Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Para la empresa PROCARSA, resulta fundamental hacer uso de las herramientas de control de calidad. En los tiempos actuales, la calidad es una obligación si se quiere mantener en el mercado ofreciendo producto y/o servicios de calidad, que le permita crecer, mantenerse en el mercado y ser competitiva.

El Control Estadístico de Procesos, como una parte del Control Total de Calidad tiene como gran objetivo la satisfacción final del consumidor. Representa más que el monitoreo de un proceso, es un sistema para el mejoramiento de la calidad.

Los factores Operador, Flauta, Liner y Empaque, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las características de calidad del cartón corrugado producido en la empresa PROCARSA.

El efecto de interacción resulta significativo, lo que implica que debe evaluarse el efecto conjunto de los factores. En ambos casos, resulta significativo el efecto de interacción de orden cuatro. El efecto de un factor depende de los niveles en los que se encuentran los demás factores. Esto es, no puede analizarse el efecto de cada factor por separado.

Al evaluar la correlación entre las variables de calidad, ECT y PAT, el mismo resulta significativo. Por tanto, se concluye que es necesario el uso de herramientas multivariante de control de calidad para evaluar y monitorear el proceso.

Al obtener el gráfico T^2 en su primera, se observa que, de los 100 puntos graficados, uno de ellos está fuera de control. Esta señal indica que el proceso está fuera de control.

El gráfico obtenido en la fase 2, una vez eliminado el punto que motivó la señal fuera de control, puede ser utilizado para evaluar y monitorear el proceso de producción de cartón corrugado en PROCARSA.

5. REFERENCIAS

- Herrera Acosta, R., Hernández Alvear, K., Figueroa Gélvez, E., & De La Ossa De Ávila, J. (2018). Aplicación del control estadístico multivariado para medir la capacidad del proceso de fabricación de resortes de compresión en acero inoxidable. *Prospectiva*, 16(2), 49-58.
- Herrera, R. H., Ruiz, S., & Salcedo, L. (2017). Desarrollo de índices de capacidad de proceso para un perfil polinómico en una empresa de elaboración de salsas. *Investigación e Innovación en Ingeniería*, 6(2), 56-66.
- Juventino, O., Molina, R., Martínez, E., & Hernández, J. (2017). *Control estadístico multivariante de proceso aplicado en la industria*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.
- Mentado, I. (2015). *Propuesta para la certificación del sistema de gestión de la calidad para el laboratorio de pruebas de una planta de fabricación de empaques de cartón corrugado*. Trabajo de Grado. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Plaza Rodas, A. E. (2017). *Diseño de gráficos de control multivariantes basado en la combinación lineal de variables normales*. Trabajo de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Vargas, N. (2001). *Introducción al control estadístico de calidad. Notas de Clase*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contribución de autores

Autor	Contribución
Oscar Vargas	Toma de muestras, cálculo de límites de control, Estimación de parámetros distribucionales de las variables involucradas en el estudio. Redacción del artículo
Víctor Márquez	Diseño de las cartas de control y elección de los estimadores para los parámetros. Revisión y corrección de la redacción

Citación sugerida: Vargas, O., Márquez, V. (2021). Control de variables asociadas con la calidad en el proceso de corrugado mediante el uso de gráficos de control multivariante. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 167-180. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2751 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2751>