

Artículo Original

Diseño experimental aplicado en el proceso de llenado de la Línea Mennen¹.

Daniela Vásquez Velásquez², Leonidas de Jesús Millán Cardona³,
Felipe Restrepo González⁴.

■ RESUMEN

Introducción. En el control estadístico de proceso se utilizan técnicas estadísticas para analizar los resultados; en muchos casos a pesar de aplicar estas herramientas se presentan problemas de insatisfacción por parte de los clientes. **Objetivo.** Determinar si el proceso de producción está controlado estadísticamente, mediante la obtención de gráficos de control. **Materiales y métodos.** En primer lugar se tomaron datos históricos para determinar si el proceso de llenado se encontraba bajo control estadístico; en segundo lugar se empleó diseño de experimentos para evaluar las variables más influyentes sobre la respuesta y así determinar si influían significativamente. **Resultados.** El proceso de llenado presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a las variables turno, operario y condiciones de operación. **Conclusión.** El proceso no se encuentra bajo control estadístico; las variables que más influyen en el proceso son: el tipo de operario, las condiciones de trabajo y el turno.

Palabras clave: Control estadístico, proceso de producción, operario, condiciones, turno.

¹ Artículo derivado del proyecto de investigación "Cartas de control multivariado aplicado al proceso de producción" ejecutado en el programa de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Lasallista.

² Ingeniera industrial, Corporación Universitaria Lasallista.

³ Ingeniero industrial, Especialista, M. Sc, Director de grupo de investigación G-3IN, Profesor asistente de la Corporación Universitaria Lasallista.

⁴ Estudiante Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Lasallista.

Correspondencia: Daniela Vásquez Velásquez. e-mail: dannyvas1030@hotmail.com

Experimental design applied in the filling process of the Mennen Line.

ABSTRACT

Introduction. In statistical process control uses statistical techniques to analyze the results, in many cases despite applying these tools are problems of dissatisfaction on the part of customers. **Objective.** Determine if the production process is controlled statistically by obtaining control charts. **Materials and Methods.** First historical data were taken to determine if the process was under statistical control, second experimental design was employed to evaluate the most influential variables on the response to determine if significantly influenced. **Results.** The filling process significant differences ($p < 0.05$) for the variables shift, operator and operating conditions. **Conclusion.** The process is in statistical control, the variables that influence the process are the type of operator, working conditions and shift.

Key words: Control charts, design of experiments, operator, conditions, turn.

INTRODUCCIÓN

El control estadístico de procesos (Statistical Process Control, SPC), cuyos fundamentos fueron establecidos por Walter Shewhart en el año 1930 (Shewhart, 1931), descansa sobre un concepto esencial: el de la diferenciación entre causas comunes y causas especiales de variabilidad. Las primeras son aquellas que están presentes en cualquier proceso como consecuencia de su diseño, y las segundas tienen un carácter esporádico y puntual, y están asociadas a

anomalías no previstas. El objetivo es el de establecer un sistema de observación permanente que detecte rápidamente la aparición de las causas especiales de variabilidad y ayude a identificar su origen, con el fin último de eliminarlas del proceso y de tomar medidas que eviten su reaparición en el futuro (Romero, 2000). Su fundamento es la toma periódica de muestras y la representación gráfica de estadísticos adecuadamente elegidos para monitorear eficientemente los parámetros clave del proceso. Ello permite diferenciar entre problemas puntuales, que se pueden resolver mediante simples actuaciones locales, y problemas asociados a las causas comunes de variabilidad, cuya resolución exige actuaciones sobre el sistema, que deben plantearse desde la dirección, y posibilitan establecer la capacidad real del proceso (Ferrer 2004).

Entre los métodos del SPC, destacan los gráficos de control propuestos por Shewhart (Shewhart 1931) y otros, de desarrollo posterior, como los gráficos de sumas acumuladas (CUSUM) (Page 1954, 1961; Barnard 1959) o los de medias móviles, y los gráficos EWMA (Exponentially Weighted Moving Averages) (Roberts 1959; Hunter 1986). En el empleo y diseño de estos gráficos se asume que las observaciones son estadísticamente independientes; esta es una hipótesis clave en las propiedades estadísticas de estos gráficos. Sin embargo, esta suposición es frecuentemente violada en muchos procesos industriales modernos.

La presencia de correlación no debe interpretarse como una causa especial de variabilidad, sino como parte del sistema de causas comunes intrínseco al proceso en cuestión, consecuencia de la presencia de elementos inerciales como flujo de materias primas, reflujos, condiciones ambientales,

etc., con tiempos de residencia o dinámicas (inercias) mayores que la frecuencia de muestreo (Capilla *et al.*, 1999). En general, todos los procedimientos de fabricación presentan cierta inercia frente a la acción de parámetros ambientales, el cambio de materias primas o al ajuste de sus condiciones operativas, por lo que un aumento de la frecuencia de muestreo puede llegar a generar la aparición de autocorrelación entre observaciones cercanas en el tiempo.

En el control estadístico de proceso, se utilizan técnicas estadísticas como gráficos de control, diagramas causa-efecto, diagrama de Pareto, histogramas, etc., para analizar los resultados de un proceso a fin de tomar las acciones apropiadas para lograr mantener un estado de control estadístico, así como para mejorar la capacidad del proceso. Pero en muchos casos, a pesar de aplicar herramientas de control estadístico de procesos, se presentan problemas de insatisfacción por parte de los clientes, que se quejan por la mala calidad de los productos; estos inconvenientes resultan, posiblemente, por la falta de un análisis más detallado sobre las variables que realmente afectan la

calidad del producto. Como es de esperar, la calidad no depende de una sola variable, y por tal motivo se hace necesario el uso de técnicas más avanzadas como el diseño experimental, el cual es ideal para capturar la relación que existe entre las variables que determinan la calidad de un producto.

El objetivo del trabajo es determinar si el proceso de producción del producto **Shampoo Baby Magic Mennen**, está controlado estadísticamente, mediante la obtención de gráficos de control y el empleo de diseño de experimentos.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la empresa Colgate Palmolive S. A. de C. V. México D. F., a 2125 msnm, y 17 ± 5 °C ubicada hacia el norte de la capital.

Diagnóstico inicial del proceso

Para describir el proceso actual del producto **Shampoo Baby Magic Mennen** que se lleva a cabo en la planta, se realizó un diagrama causa-efecto (ver figura 1). El diagrama causa-efecto para el control

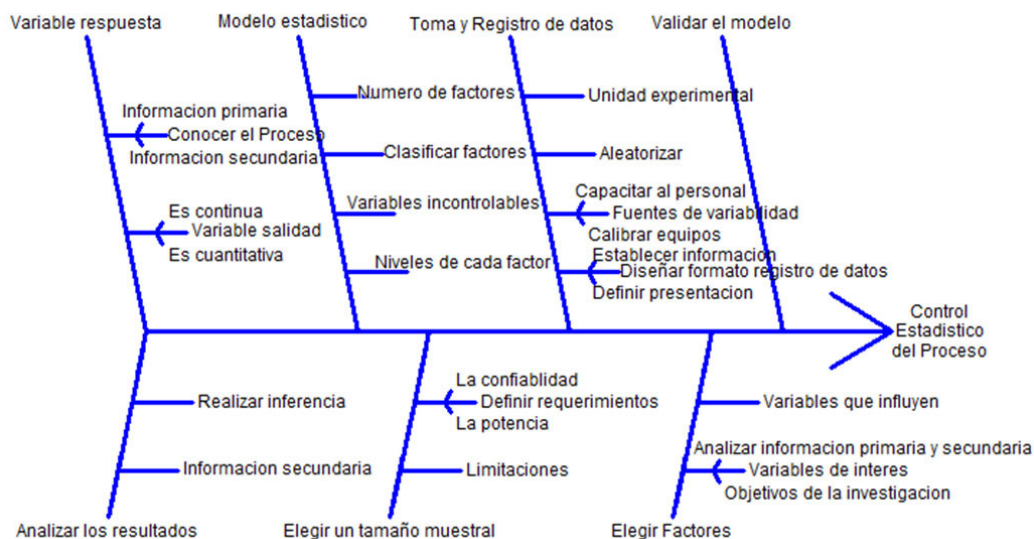


Figura 1. Diagrama causa y efecto para el control estadístico del proceso

estadístico del proceso muestra cómo a través de diferentes acciones que hacen parte del diseño de experimentos, se puede llegar a realizar un buen control estadístico. Estas acciones son, en su orden: definir la variable respuesta, elegir los factores, elegir el modelo estadístico para la práctica, elegir un tamaño muestral utilizando un método estadístico, tomar y registrar datos para hacer inferencia estadística, validar el modelo estadístico y analizar los resultados.

A partir del diagrama causa-efecto anterior, se elaboró una lista de verificación (García y Medina, 2000) que permitió, a través de una serie de preguntas, definir el estado estadístico del proceso. Este procedimiento se hace porque constituye un diagnóstico que permite establecer los aspectos del control estadístico del proceso sobre los cuales es necesario actuar para pasar del estado actual al estado deseado; en otras palabras, ayuda a definir las acciones que convierten un control de proceso a un control estadístico de proceso. En caso de que se encuentre por lo menos una respuesta negativa a los conceptos que conforman dicha lista de verificación, se concluye que no se realiza un control estadístico del proceso. A continuación se presenta la lista de verificación:

1. ¿Se definió la variable respuesta?
2. ¿Se conoció el proceso a través del análisis de la información primaria disponible?
3. ¿Se conoció el proceso a través del análisis de la información secundaria disponible?
4. ¿Se identificó la variable de salida del proceso?
5. ¿Se determinó si la variable de salida es cuantitativa?
6. ¿Se determinó si la variable de salida es continua?
7. ¿Se eligieron las variables que intervienen en el proceso?
8. ¿Se determinaron todas las variables que pueden influir en la calidad final del producto?
9. ¿Se determinaron los requerimientos del cliente?
10. ¿Se eligieron las variables de calidad teniendo en cuenta los requerimientos de los clientes?
11. ¿Se eligieron las variables de interés dentro del proceso teniendo en cuenta la información primaria y secundaria disponible?
12. ¿Las variables que intervienen en el estudio se clasificaron en controlables e incontrolables?
13. ¿Se eligió la carta de control para el proceso?
14. ¿Se tuvo en cuenta el número de variables que intervienen en el proceso para la elección de la carta de control?
15. ¿Se tuvo en cuenta la clasificación de las variables en controlables e incontrolables?
16. ¿Se tuvo en cuenta la manipulación de variables incontrolables?
17. ¿Se tuvo en cuenta el número de niveles de cada variable?
18. ¿Se eligió un tamaño muestral adecuado para el proceso?
19. ¿Se tuvieron en cuenta los requerimientos del proceso para determinar el tamaño muestral?
20. ¿Se tuvo en cuenta la potencia definida según los requerimientos del proceso para la determinación del tamaño muestral?
21. ¿Se tuvo en cuenta la confiabilidad, definida según los requerimientos del proceso, para la determinación del tamaño muestral?
22. ¿Se consideraron las limitaciones de los recursos tanto de dinero como de tiempo para la elección del tamaño muestral?
23. ¿Se tomaron y se registraron los datos de tal forma que se pueda construir una carta de control?

24. ¿Se identificaron las unidades experimentales sobre las cuales se hace la medición?

25. ¿La toma de datos fue aleatoria?

26. ¿Se diseñó un formato para la toma de datos?

27. ¿Se tuvo en cuenta la información requerida para diseñar el formato de registro de datos?

28. ¿Se tuvo en cuenta la presentación requerida de la información para diseñar el formato de registro de los datos?

29. ¿Se eliminaron las fuentes de variabilidad no deseadas en la toma de los datos?

30. ¿Se capacitó al personal en el proceso y registro de los datos para reducir la variabilidad no deseada?

31. ¿Se calibraron los equipos y se les hizo mantenimiento antes del proceso de toma y registro de datos para reducir la variabilidad no deseada?

32. ¿Se realizaron cartas de control para analizar el proceso?

33. ¿Se validaron los datos?

Determinación de las variables que evalúan la calidad del producto *Shampoo Baby Magic Mennen*

En este paso se definen las principales características del producto, las cuales determinan la calidad del mismo. Estas características o variables se determinan a través del conocimiento del proceso de elaboración del producto, de la experiencia del personal de la planta y de la revisión de literatura relacionada con el tema. Las variables que intervienen en el proceso son: volumen del producto, densidad del granel, calidad de la botella, velocidad de la línea, turnos y operarios.

A partir de los datos históricos que tenía la Empresa se elaboraron cartas de control

x-bar y rango, para realizar el diagnóstico del proceso inicial.

■ DISEÑO ESTADÍSTICO

Se empleó un diseño de análisis de varianza multifactorial, para analizar la variable respuesta 'volumen de llenado', respecto a los factores (operario, turno y condiciones). La diferencia entre la media de los valores de los diferentes tratamientos se determinó por el test de comparación múltiple de Duncan, y el nivel de significancia estadística adoptado fue de $p < 0.05$.

Para el análisis de los datos se empleó el programa Statgraphics 15, licencia amparada por la Corporación Universitaria Lasallista, Caldas-Antioquia.

Se emplearon 10 muestras por cada tratamiento, para determinar cuál de las variables que se emplearon influye más en el nivel de llenado.

■ RESULTADOS Y ANÁLISIS

Diagnóstico inicial del proceso

Para la lista de verificación anterior se aplicó al proceso que se lleva actualmente en la planta, y se concluyó que allí no se realiza control estadístico del proceso porque los conceptos que se clasificaron en forma negativa fueron desde el número 12 hasta el número 33. Y con un solo concepto que se clasifique de forma negativa bastará para que en el proceso no se aplique el concepto de control estadístico de proceso.

Una vez establecidos los aspectos sobre los que hay que actuar, se determinan las características del producto que más

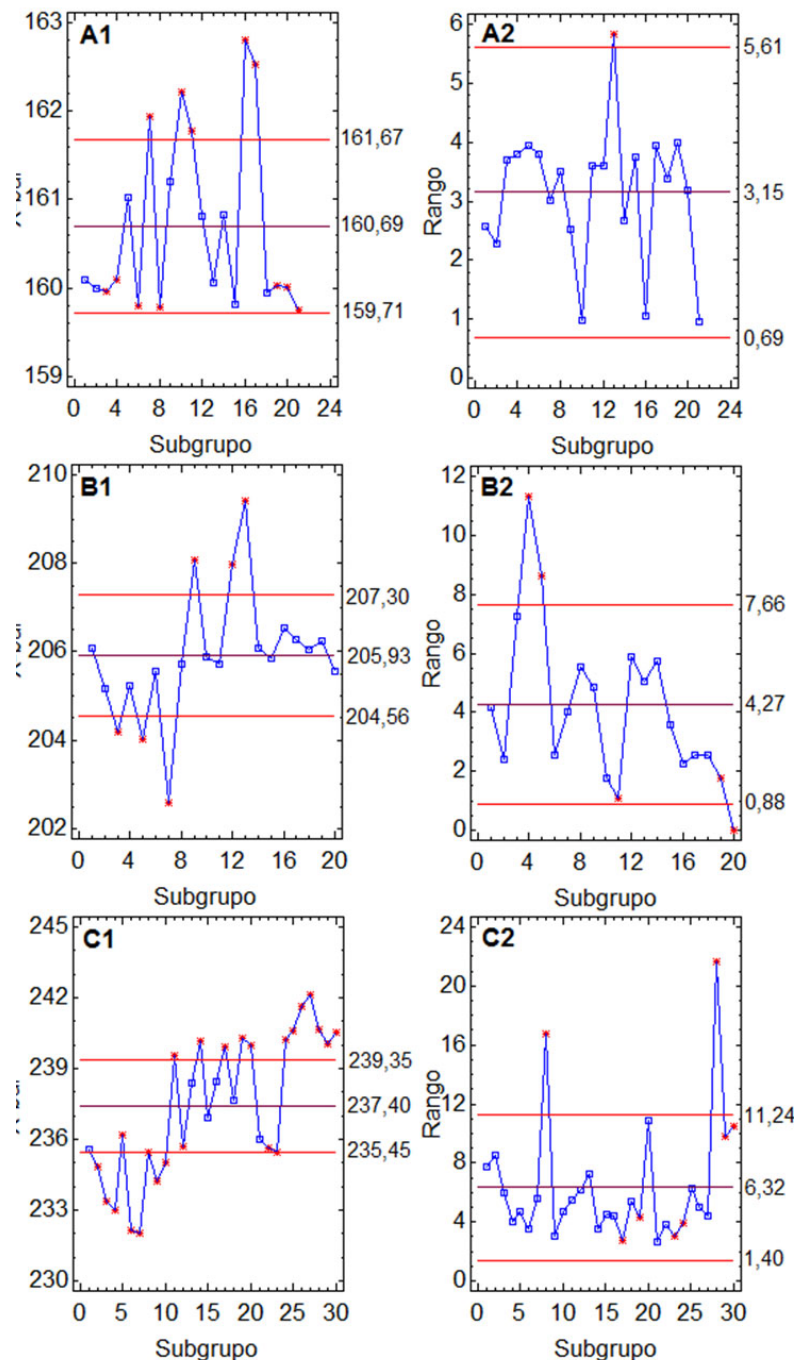
influyen sobre la calidad del mismo y, por lo tanto, se determinan los puntos críticos que orientan el curso de las acciones a tomar.

Análisis estadístico del proceso actual

Según las cartas de control de la figura 3, se puede observar que el proceso de elaboración del producto Mennen (250, 500 y 800 mm) no se encuentra bajo control estadístico, ya que de cada una de las gráficas se sale como mínimo un punto de los límites de control (ver figura 3).

El proceso que se realiza actualmente en la planta está constituido por pruebas o ensayos orientados a determinar si el producto cumple o no con especificaciones determinadas por la normativa y los requisitos del departamento de calidad, entre ellas el Quality Rating que está asignado para que si se cumple un 85 % de calidad, el producto o proceso pasa, al igual que muestreos aleatorios donde existen criterios moderados, medios y críticos que dan una calificación para evaluar si el producto cumple con las especificaciones. Pero no se lleva un control real con cartas para monitorear el cambio del proceso en el tiempo; esto posiblemente puede ser una causa de que el proceso que se lleve actualmente en la empresa no sea un proceso de control estadístico.

Figura 2. Cartas de control por variable (volumen de llenado) proceso caliente, gráficas A1 y A2 Mennen (250 mm). Gráficas B1 y B2 Mennen (500 mm). gráficas C1 y C2 Mennen (800 mm).



Análisis de variables que causan las fallas en el producto final

La tabla 1 muestra el análisis de varianza para Mennen con presentación 250, 500 y 800 mm. El turno (1, 2 y 3) y el operario presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para cada una de las tres presentaciones respecto al nivel de llenado (mm). La presentación de Mennen 250 mm

presentó diferencias significativas respecto a las condiciones de operación (caliente, frío). Los operarios deben ser personas eficientes y deben tener una relación directamente proporcional al producto y a su productividad. Por lo tanto, estas personas no deberían presentar diferencias significativas entre ellas ni con respecto al turno ni a las condiciones de trabajo.

Tabla 1. Análisis de varianza (Mennen)

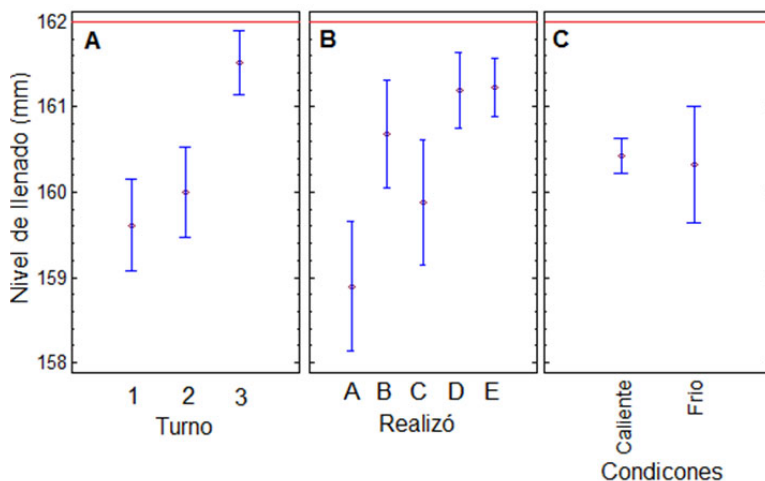
Variable respuesta	Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
Mennen 250 mm	Turno	50,8733	2	25,4367	17,66	0,0000
	Operario	38,9094	4	9,72734	6,75	0,0001
	Condiciones	16,9029	1	16,9029	11,73	0,0008
	Residuo	174,298	121	1,44048		
	Total	280,984	128			
Mennen 500 mm	Turno	26,2238	2	13,1119	3,34	0,0374
	Operario	81,5544	5	16,3109	4,16	0,0013
	Condiciones	11,3331	1	11,3331	2,89	0,0907
	Residuo	748,896	191	3,92092		
	Total	868,007	199			
Mennen 800 mm	Turno	663,323	2	331,661	41,87	0,0000
	Operario	885,797	5	177,159	22,36	0,0000
	Condiciones	17,8233	1	17,8233	2,25	0,1346
	Residuo	2598,32	328	7,92172		
	Total	4165,27	336			

En la figura 3, se observa el análisis realizado al producto Mennen 250. El operario, turno y condiciones presentan diferencias significativas respecto al nivel de llenado. Los turnos 1 y 2 presentan menor valor de llenado que el turno 3 (ver figura 3A). Los operarios D y E presentan diferencias significativas respecto a los

demás operarios, con mayor valor respecto al llenado (ver figura 3B). Si los operarios presentan una adecuada capacitación e incentivos, y si en la empresa hay un adecuado control de los métodos y tiempos de trabajo, no se debería presentar este tipo de situaciones respecto al volumen de llenado.

El nivel de llenado del producto para esta presentación es de aproximadamente 162.5 mm; esto con el fin de evitar que el producto se derrame por exceso de contenido. En la figura se puede observar cómo en los tres turnos, los operarios y las condiciones están por debajo de este valor (línea roja), en especial los turnos 1 y 2 presentan el menor valor y el operario A. Las condiciones caliente y frío no presentan diferencias significativas respecto al nivel de llenado.

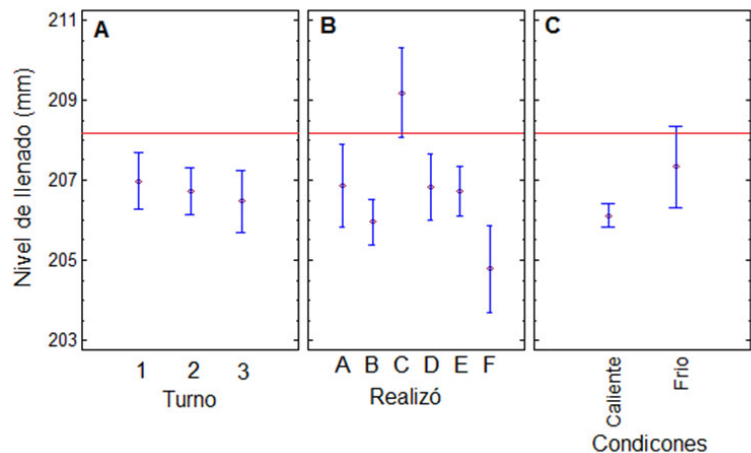
Figura 3. A, nivel de llenado frente a turno; B, nivel de llenado frente a realizo; C, nivel de llenado frente a condiciones. 250 mm



Respecto al nivel de llenado con la presentación de 500 mm se puede observar cómo el turno ni las condiciones del proceso afectan significativamente la variable respuesta (ver figuras 4A y 4C). El operario que realizó la labor afecta la variable

respuesta en forma significativa ($vp < 0,05$); se puede observar que el operario F presenta el menor valor en el volumen de llenado (ver figura 4B).

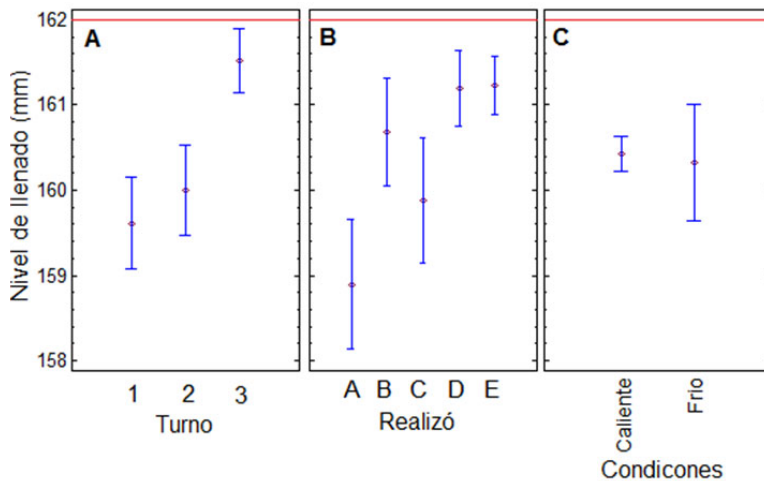
Figura 4. A, nivel de llenado frente a turno; B, nivel de llenado frente a realizo; C, nivel de llenado frente a condiciones. 500 mm.



En el producto con una presentación de 500 mm, el nivel de llenado para evitar derrames es de 208.25 mm. En la figura se puede observar cómo el operario C sobrepasa este valor, y algunos valores a condición fría.

El turno para el producto con una presentación de 800 mm presentó diferencias significativas ($Vp < 0,05$), siendo mayor para el turno 1 y menor para el turno 2 (figura 5A). Los operario presentan diferencias significativas ($vp < 0,05$) respecto al llenado del producto, en especial los operarios A y B son los que presentan menor valor en nivel de llenado, mayor para el operario C (ver figura 7B). Las

Figura 5. A, nivel de llenado frente a turno; B, nivel de llenado frente a realizo; C, nivel de llenado frente a condiciones. 800 mm.



condiciones no presentaron diferencias significativas.

El producto con una presentación de 800 mm debe tener un nivel de llenado de 238.52 mm; esto con el fin de evitar que el producto se derrame. Se puede observar que el turno 1 y el operario C sobrepasan este nivel.

RECOMENDACIONES

Si se aplica control estadístico de la calidad a los resultados obtenidos, esto puede ser un soporte para aumentar o mejorar el conocimiento colectivo que se tiene sobre algunas variables de calidad del producto tales como nivel de llenado, turno, operarios, etc.

Una vez se han determinado los pasos que se siguen para la realización del proceso, es necesario hacer un diagnóstico que permita comparar el estado actual en que

se encuentran el proceso con el referente o punto donde se quiere llegar, que en este caso es la ejecución de los ensayos bajo el diseño experimental.

CONCLUSIONES

Una vez se han identificado las variables que se van a medir se sigue un procedimiento establecido para realizar dicha medición de acuerdo con la variable y el método que se va a utilizar. Este proceso de registro no permite un análisis posterior que ayude a establecer las condiciones experimentales bajo las cuales se mejora la calidad del producto.

El proceso de elaboración del producto Mennen en cualquier presentación no se encuentra bajo control estadístico del proceso.

Para una presentación de 250 mm, ninguna de las variables evaluadas sobrepasa las especificaciones, comparada con las presentaciones de 500 y 800 mm; la presentación de 800 mm es en la que más variables sobrepasan las especificaciones.

La mejor forma de aportar al conocimiento colectivo es a través de los resultados obtenidos por medio del diseño experimental.

■ REFERENCIAS

Gracia, Luisa y Medina, Teresita. 2000. Aseguramiento de calidad en planta de productos lácteos de la facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín – Diseño de Experimentos bajo las buenas prácticas de laboratorio. Universidad Nacional de Colombia. Sede – Medellín. Facultad de Minas.

Díaz C, Elizabeth., Díaz Ramos, Carlos., Díaz castellanos, Karla y Franco Zanatta, Mario. 2010. Control estadístico de procesos multivariados mediante Excel. Congreso Internacional de Investigación de Negocios y ciencias Administrativas. Boca del Río, Veracruz 14 y 15 de Octubre, 2010. Pag 15-22.

SHEWHART, W.A. [1931]. «Economic Control of Quality of Manufactured Product», Nueva York, D.Van Nostrand Co., Inc.

ROMERO, R. (2000). «Calidad Total, Estadística y Método Científico». Real Academia de Cultura Valenciana – Discursos nº 35, Valencia, (España).

FERRER, A. (2004). «Control estadístico de procesos con dinámica: revisión del estado del arte y perspectivas de futuro». Estadística Española. Vol. 46, Núm. 155, págs. 19 a 47.

PAGE, E.S. (1954). «Continuous Inspection Schemes». Biometrika 41, 100-115.

PAGE, E.S. (1961). «Cumulative Sum Charts». Technometrics 3, (1), 1-9.

BARNARD, G.A. (1959). «Control Charts and Stochastic Processes». Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 21, (2), 239-271.

ROBERTS, S.W. (1959). «Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages». Technometrics 1, 239-250.

HUNTER, J.S. (1986). «The Exponentially Weighted Moving Average». Journal of Quality Technology 18, (4), 203-210.

KEATS, J.B.; HUBELE, N.F. (Eds.) (1991). Statistical Process Control in Automated Manufacturing, Nueva York, Marcel Dekker.

KEATS, J.B.; MONTGOMERY, D.C. (Eds.) (1991). Statistical Process Control in Manufacturing, Nueva York, Marcel Dekker.

CAPILLA, C.; FERRER, A.; ROMERO, R.; HUALDA, A. (1999). «Integration of Statistical Engineering Process Control in a Continuous Polymerization Process». Technometrics 41, (1), 14-28.

comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0,05$). El análisis de varianza fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.