



Muestreo para el control de calidad en el proceso de elaboración de envases metálicos para alimentos

Sampling for quality control in the process of manufacturing metal containers for food

Rodríguez-Balza Mairett Yuri

Universidad Técnica del Norte,

Instituto de Posgrado

Correo: myrodriguez@utn.edu.ec, mayrodba@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3177-6456>

Machado-Torrealba Wilfre Saúl

Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

Escuela de Matemáticas y Ciencias Computacionales

Correo: wmachado@yachaytech.edu.ec, wilfre.machado@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3797-2159>

Villamarin-Oliveros Alexis Javier

Universidad Central de Venezuela

Posgrado en Estadística, Maracay, Venezuela

Correo: alexis.villamarin@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4787-6467>

Resumen

Este artículo propone el uso del muestreo sistemático probabilístico como herramienta de monitoreo de la calidad en procesos de manufactura, con líneas de producción continuas y unidades de muestreo ordenadas de manera secuencial. Se aborda el caso de una empresa de elaboración de envases metálicos para la conservación de alimentos. Se determinó el tamaño de muestra mínimo necesario, a partir del muestreo aleatorio simple para la población conformada por un día de producción y un error máximo admisible de acuerdo con las tolerancias de las características de calidad de los envases. Se estimaron las varianzas mediante un muestreo piloto. Los resultados indican la factibilidad de uso del muestreo sistemático, para muestrear los envases en la línea de producción, con el fin de aplicar herramientas de control estadístico.

Descriptores: Selección sistemática, monitoreo de procesos, muestreo piloto, tamaño de muestra.

Abstract

This article proposes the use of probabilistic systematic sampling as a quality monitoring tool in manufacturing processes, with continuous production lines and sampling units sequentially ordered. The case of a company that manufactures metal containers for food preservation is addressed. The minimum required sample size was determined, starting from the simple random sampling for the population formed by a day of production and a maximum admissible error according to the tolerances of the quality characteristics of the containers. The variances were estimated through a pilot sampling. The results indicate the feasibility of using probabilistic systematic sampling, to sample the containers in the production line, in order to apply statistical control tools.

Keywords: Systematic selection, process monitoring, pilot sampling, sample size.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales de la estadística es inferir sobre parámetros de la población. En el caso de procesos industriales, sobre las características de calidad del mismo, a partir de la información obtenida de una muestra (Martínez, 2012). Los métodos estadísticos, en particular el muestreo, desempeñan un papel importante para controlar la calidad en procesos industriales, ya que permiten detectar desviaciones de los estándares de calidad (Montgomery, 2004; Canavos, 1991; Kleeberg y Ramos, 2009). Los métodos de muestreo son el conjunto de técnicas estadísticas que estudian la forma de seleccionar una muestra representativa de una población, que permita inferir sobre sus características, en la que se comete un error medible y acotable (Pérez, 2005).

Un término considerado de gran relevancia, es la "estadística industrial", que de acuerdo con Steinberg (2016), se refiere a la utilización de estadísticas para promover el desarrollo, prueba, producción y comercialización de bienes y los procesos que apoyan estos esfuerzos. Agrega Steinberg, que las investigaciones proponen y perfeccionan muchas de las herramientas que ahora están profundamente arraigadas en *Seis-Sigma para definir-medir-analizar-mejorar-controlar*, tales como: Diseño de Experimentos (DE), la confiabilidad, la metrología, el control estadístico de procesos (CEP) y el muestreo de aceptación para el control de los procesos y productos.

Cada año se generan innumerables publicaciones relevantes y útiles para el avance de los métodos estadísticos y la práctica en la industria, pero la mayor parte de la investigación sigue siendo en CEP, DE y la fiabilidad (Steinberg, 2016). Según Coetzer y de Jongh (2016): "la revista *Quality Engineering* ofrece numerosos ejemplos de la investigación impulsada por los problemas de la industria" (p.1). Para Hoerl y Snee (2010) "mucho se ha escrito recientemente sobre el futuro de las estadísticas en los negocios y la industria (por ejemplo, *Technometrics*, 2008)" (p.1).

Steinberg (2016) determinó temas sujetos a investigación estadística, que los industriales requieren para resolver problemas o mejoras en los procesos, entre los cuales se puede destacar: aprovechamiento de muestras pequeñas, cuantificación de la incertidumbre y detección de anomalías. En cualquiera de estas situaciones se deben llevar a cabo procesos de selección de muestras representativas para mejorar las predicciones y poder realizar inferencias estadísticas.

Existen numerosos artículos científicos, sobre el muestreo para aceptación que se utiliza para dictami-

nar (aceptar o rechazar) lotes, materias primas o subproductos. Un ejemplo de esta tendencia es el reciente trabajo de Bouzemrak y Fels-Klerx (2018), quienes resaltan la importancia de las técnicas de muestreo para los planes de muestreo, comparando el rendimiento de tres diferentes estrategias de muestreo, como muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio estratificado y sistemático muestreo.

Sin embargo, para el monitoreo de características de calidad, no son frecuentes las investigaciones orientadas a determinar la técnica de selección de las muestras, el tamaño de muestra mínimo necesario, la frecuencia y los puntos del muestreo adecuados para la selección de una muestra representativa en los procesos de manufactura, que en la mayoría de los casos, podría consistir en un muestreo sistemático no probabilístico.

En este contexto, se puede resaltar la investigación de Zhou (2017), quien señala que la tabla de control de Shewhart está relacionada con el caso donde la media y desviación estándar del proceso dado son conocidos. Sin embargo, en la práctica, la media y la desviación estándar son desconocidas. En este caso, el tratamiento común es estimar los parámetros desconocidos utilizando datos históricos. Este artículo presenta una aplicación para el monitoreo del índice de calidad: diámetro de una carcasa de válvula en una fábrica de dispositivos hidráulicos. Como resultado, sugiere seleccionar una muestra de 100 y un tamaño de subgrupo de 10.

En virtud de lo expuesto, se presenta de manera detallada en este artículo, el diseño para la técnica de muestreo sistemático empleado en un proceso continuo de fabricación de envases metálicos de $1.892 \times 10^{-2} \text{ m}^3$, en el que se asume la existencia de una correlación entre la variabilidad de las características de calidad y los desajustes de la maquinaria en el tiempo. Con el fin de mejorar la precisión respecto al muestreo aleatorio simple y facilitar la ejecución del muestreo.

El estudio se llevó a cabo en una industria manufacturera, en una línea de fabricación de envases metálicos de $1.892 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ para la conservación de alimentos, con poco tiempo de instalada en su nueva ubicación. Se consideró que el traslado, la inclusión de nueva maquinaria y redistribución, pudieron haber generado desajustes en los equipos. Dada la naturaleza destructiva de algunas de las mediciones de las características de calidad, no era factible seleccionar muestras grandes durante el proceso (Villamarin, 2015). Además, la línea de producción es continua, es decir, una vez que inicia el proceso, se generan los envases metálicos de manera ininterrumpida. Es por eso que las unidades de muestreo se consideran ordenadas de manera secuencial. El proceso está regulado por sensores de movimiento, por

lo que es sensible a paradas o interrupciones ocasionadas por fallas o por la selección de muestras, que pueden producir descontrol en la secuencia.

OBJETIVOS

1. Determinar el tamaño de muestra “n” mínimo necesario a partir del muestreo aleatorio simple de envases metálicos.
2. Establecer la técnica de selección de la muestra n, para el monitoreo de características de calidad en el proceso de manufactura de envases metálicos.

DISEÑO DE MUESTREO

El propósito del muestreo que se describe en este artículo es con fines de monitoreo de las características de calidad durante el proceso, para detectar desvíos que requieran ajustes. Conforme a las características de la línea de producción expuestas previamente, se desarrolla cada uno de los aspectos del esquema metodológico presentado en la Figura 1, para el diseño del muestreo.

POBLACIÓN OBJETIVO

Para el caso en estudio, la población objetivo correspondió a los envases metálicos de $1.892 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ (5 galones) fabricados en un día de producción, con dos turnos de ocho (8) h cada uno.

MARCO DE MUESTREO

El marco de muestreo estuvo conformado por unidades de muestreo equivalentes a los segundos de un día de producción. La unidad de observación de las características de calidad, correspondió al envase metálico de $1.892 \times 10^{-2} \text{ m}^3$.

METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

En la Tabla 1 se presenta la descripción de las variables representadas en la Figura 2, de cada etapa del proceso, con los respectivos instrumentos de medición empleados para el monitoreo de las características de calidad, en los puntos de control estadístico del proceso previamente establecidos por Villamarin (2015).

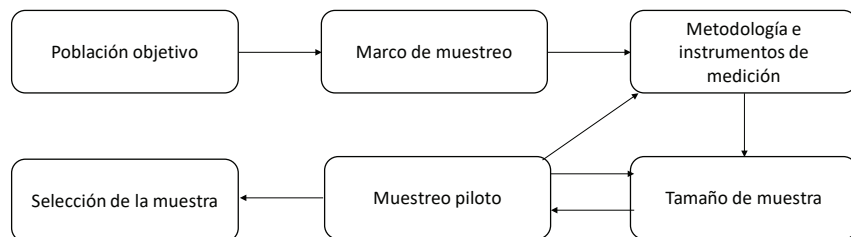


Figura 1. Esquema metodológico del diseño de muestreo

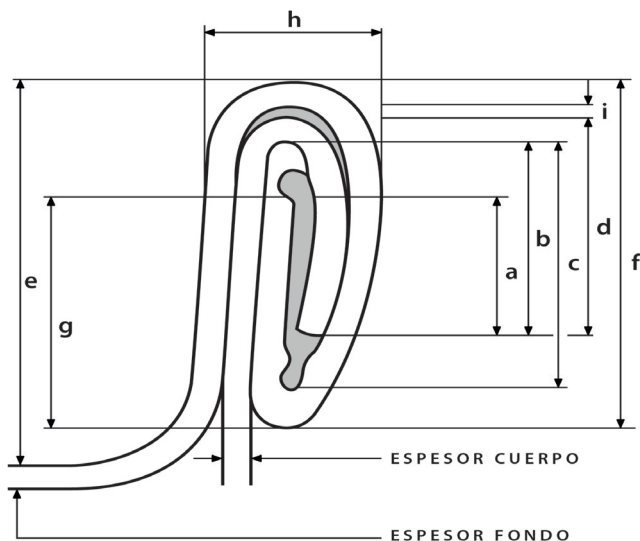


Figura 2. Cotas de las partes mensurables de un cierre

Nota: a) solape (o traslape), b/c) penetración del gancho del cuerpo, d) gancho cuerpo, e) profundidad, f) longitud de cierre, g) gancho tapa, h) espesor del cierre, i) gap. Tomado de <http://www.mundolatas.com>

Tabla 1. Descripción de las características de calidad según las etapas del proceso

Etapa del proceso	Variable	Descripción	Instrumento
Cortado de láminas	Altura del cuerpo (m)	Variables resultado de seccionar en dos las láminas que vienen de litografía	Medidor de longitud
	Desarrollo del cuerpo (m)		
	Escuadra del cuerpo (m)		
	Espesor de la lámina		
Cilindrado de láminas	Solapado (m)	Variable resultado de la formación del cilindro	Vernier dturómetro
Expansión de cilindros	Diagonal 1 (Arista de costura) (m)	Variables resultado de procesar el cuerpo cilíndrico, llevándolo hasta la forma rectangular con ayuda de la máquina expansora. Estas "Diagonales" son la longitud medida desde una arista del rectángulo hasta la arista opuesta.	Medidor de longitud digital
	Diagonal 2 (m)		
Cornado de cuerpos	Profundidad del nervio (m)	Variable resultado de generar nervios (depresiones en las aristas longitudinales) en la lata, con la finalidad de disminuir flexibilidad/deformación en la misma.	Profundímetro
	Longitud de pestaña fondo	Variable resultado de hacer pasar la lata por la máquina pestañadora. Cabezal 1	Medidor de pestaña-cuerpo
	Longitud de pestaña tapa	Variable resultado de hacer pasar la lata por la máquina pestañadora. Cabezal 2.	
Conformación fondo y tapa	Espesor del cierre	Variables del doble cierre	Equipo de medición de parámetros doble cierre: pofundímetro, micrómetro de doble cierre
	Longitud de cierre		
	Profundidad		
	Gancho tapa		
	Gancho cuerpo		
	Traslape		

TAMAÑO DE MUESTRA

Es necesario determinar el número de unidades de muestreo a seleccionar para medir las características de calidad con el fin de elaborar gráficos de control, que es una de las herramientas estadísticas más empleadas en el monitoreo y control estadístico de procesos (Rowlands y Wang, 2000; Stoumbos *et al.*, 2000).

En los gráficos de control, el tamaño de muestra está definido por el tamaño de subgrupo (submuestra) y su frecuencia de muestreo (número de subgrupos). Para la elección del tamaño del subgrupo, de acuerdo con Bestfield (2009): “*se requiere cierta cantidad de juicio empírico*” (p. 190); sin embargo, propone algunos lineamientos prácticos como: el tamaño del subgrupo de 2 a 3 unidades en pruebas destructivas, de 4 o más si se considera casi normal la distribución de los promedios para subgrupos. Por su parte, Montgomery (2004) y Gutiérrez (2005) recomiendan usar tamaños del subgrupo de 4, 5 ó 6, para detectar cambios moderados a grandes en gráficas de control de \bar{x} ; y para cambios pequeños, recomiendan tamaños del subgrupo de 15 a 25.

A pesar de la sugerencia para los tamaños de subgrupos referidos anteriormente, se decidió en conjunto con la gerencia escoger subgrupos de una unidad de muestreo. Por requerimiento de mediciones con muestreo destructivo y limitaciones con las paradas del proceso.

Para determinar el número de subgrupos que establecerá la frecuencia de muestreo, se estimó un **tamaño de muestra** mínimo a seleccionar en un día de producción, de acuerdo con el muestreo aleatorio simple, por ser una de las fórmulas más sencillas y empleadas con frecuencia. Asumiendo que las estimaciones del promedio poblacional $\hat{\mu}_y$ de cada una de las características de calidad tienden a distribuirse normalmente con media μ_y y varianza σ_y^2 , como se expresa en (1)

$$\hat{\mu}_y = \bar{y} \rightarrow N(\sigma_y^2) \tag{1}$$

Se define un intervalo de confianza de 100(1- α)% para μ_y

$$\bar{y} \pm z\sigma_y \tag{2}$$

Para lo cual es necesario establecer el nivel deseado de confiabilidad. El tamaño de la muestra como función de la precisión deseada “ e ” y el nivel de confianza, queda definido por

$$e = z\sigma_y \tag{3}$$

donde

- e = error máximo permisible para la media estimada
- z = valor del desvío correspondiente al nivel de confianza seleccionado

Así, sustituyendo la precisión para el muestreo aleatorio simple, se tiene

$$e = z \left(\sqrt{\frac{\sigma^{2*}}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right)} \right) \tag{4}$$

a partir de (IV) se obtiene n para estimar el promedio

$$n = \frac{k^2 N \sigma^{2*}}{z^2 \sigma^{2*} + N e^2} \tag{5}$$

donde

- n =Tamaño de muestra mínimo necesario para el monitoreo de las características de calidad
- z =Valor del desvío correspondiente al nivel de confianza deseado
- N =Tamaño poblacional, 57600 s

$$\sigma^{2*} = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \mu)^2}{N-1} = \text{Varianza poblacional de las características de calidad}$$

- e =Error máximo permisible, definido de acuerdo con los límites de tolerancia de las características de calidad. Expresado en las mismas unidades de la característica.

Como se puede observar en (V), se requiere conocer el parámetro σ^{2*} . En los procesos industriales, frecuentemente se desconoce la variabilidad real de las características de calidad. En procesos muy variables o en los que se cuenta con poca o ninguna información acerca de la dispersión del mismo, es recomendable aplicar un muestreo piloto, con el cual se determina su estimador insesgado S^2 . Cuando el proceso es estable, es posible con la opinión de expertos asumir aproximaciones de la varianza a partir de información histórica.

MUESTREO PILOTO

Consiste en la extracción de una pequeña muestra de la población con fines de estimación de la varianza muestral (Lohr, 2010; Soriano, 2002). Así mismo, permite ajustar la técnica de selección de la muestra y validar los métodos e instrumentos de monitoreo que reducen los errores ajenos al muestreo.

Woodall y Montgomery (2014); Saleh, Mahmoud, Keefe y Woodall (2015); Goedhart, Schoonhoven y Does (2017), sugieren la aplicación de una Fase I en el proceso de monitoreo, en la cual el experto selecciona una muestra de observaciones del proceso ordenadas en el tiempo, datos históricos, para la estimación de parámetros. Esta recomendación no era factible para el caso en estudio, por la nueva ubicación de la línea de producción.

Por lo tanto, se decidió en conjunto con el personal de la industria, seleccionar un envase de manera sistemática en cada etapa de la línea de producción, a intervalos de hora y media, conformando una muestra piloto de 10 envases metálicos por etapa.

Con las observaciones de la muestra piloto, se estimó el **tamaño de muestra** en cada una de las características de calidad, mediante (V), considerando un nivel de confianza de 95% y un error máximo permitido definido por las tolerancias del producto para cada característica de calidad (Tabla 2). Los tamaños de muestra resultaron pequeños (1, 2, 4, 5 y 10) como puede apreciarse en las Tablas 2 y 3, debido a la baja variabilidad de las observaciones.

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Para la elección de los elementos que conformen la muestra mediante el muestreo aleatorio simple, las unidades de muestreo deben numerarse (o identificarse), de modo que se utilice un mecanismo de aleatorización para escoger las unidades de la muestra (Scheaffer *et al.*, 2006).

Los procesos industriales de naturaleza continua presentan dificultad para numerar todos los elementos de la población, por ello, se decidió seleccionar una muestra sistemática en el tiempo, que facilita la labor del muestreo. De acuerdo con Cochran (1985): “una muestra sistemática es una muestra aleatoria simple de una unidad conglomerada, tomada de una población que tiene k unidades conglomeradas, así” (p. 259).

Adicionalmente, se mejora la precisión respecto a la del muestreo aleatorio simple, debido a que, en una producción en orden, se puede asumir una correlación entre las características de calidad y los desajustes de las máquinas en el tiempo, que pueden generar productos fuera de las especificaciones. Si la población resultase aleatoria, la muestra sistemática se comporta como una muestra aleatoria simple (Scheaffer *et al.*, 2006).

En este sentido, aun cuando las varianzas poblacionales de la media muestral $\sigma^2_{\bar{y}}$ del muestreo aleatorio simple y el muestreo sistemático pueden ser diferentes, los estimadores de la varianza coinciden (Scheaffer *et*

al., 2006). Por esta razón, se asumen los tamaños de muestra obtenidos empleando (V) para realizar el muestreo sistemático en el proceso de fabricación de envases metálicos.

Para la extracción de la muestra de la población conformada por $N = 57600$ s (un día de producción, con dos turnos de trabajo), empleando una selección sistemática en el tiempo, se escoge al azar un número entre los k primeros intervalos y luego los subsecuentes a intervalos de k , donde $k = N/n$. El número al azar puede obtenerse mediante algún mecanismo de selección de números aleatorios como:

- Excel por la fórmula “=aleatorio.entre(1;k)”
- Calculadoras científicas (rnd)
- Tabla de números aleatorios

La frecuencia de muestreo de envases metálicos en cada una de las etapas, se describe a continuación de acuerdo con los tamaños de muestra presentados en las Tablas 2 y 3:

- *Etapas: cortado de láminas.* De acuerdo con los cálculos realizados (Tabla 2), se debe seleccionar una muestra de al menos una unidad de tiempo (s). Sin embargo, se recomienda tomar una muestra de tamaño 2, una para cada turno de producción, extrayendo en cada caso un número aleatorio entre 1 y 28800. En el segundo seleccionado, tomar una lámina.
- *Etapas: cilindrado de láminas.* El mayor tamaño de muestra obtenido para las características de calidad es de $n=10$ (Tabla 2), por lo que los intervalos de selección serían de $k = 57600/10 = 5760$ s. Para extraer la muestra, escoger un número al azar entre 1 y 5760 s luego de iniciada la jornada, en el segundo seleccionado tomar un cilindro y luego cada 5760 s.

La línea de producción en esta etapa es particularmente sensible a la actividad de muestreo. Es necesario reubicar cuidadosamente el envase metálico una vez efectuadas las mediciones de las características de calidad, de lo contrario, se podrían generar desajustes que afectarían las siguientes etapas del proceso (Villamarin, 2015). Por ello, se recomienda llevar a cabo el monitoreo con solo 10 envases metálicos.

- *Etapas: expansión de cilindros.* El mayor tamaño de muestra estimado es de $n = 5$ (Tabla 2). Se obtiene al azar un número entre los $k = 57600/5 = 11520$ primeros segundos de iniciado el turno, en ese segundo seleccionado tomar un envase y luego cada 11520 s, para completar la muestra.

Tabla 2. Tamaños de muestra estimados con 95% de confianza para las características de calidad de envases metálicos de 1.892x10⁻² m³ en las etapas de cortado, cilindrado, expansión y cornado de cuerpos

Etapa	Cortado de laminas			Cilindrado de laminas			Expansión de cilindros			Cornado de cuerpos		
	Altura (m)	Desarrollo (m)	Escuadra (m)	Espesor de lámina (m)	Solapado (m)	Diagonales (m)	Diagonales (m)	Profundidad del nervio (m)	Longitud de pestana de cuerpo tapa (m)	Profundidad del nervio (m)	Traslape (m)	
Características de calidad	Extremo 1:	Extremo 2:	Extremo 1:	Extremo 2:	Extremo 1:	Extremo 2:	Diagonal 1:	Diagonal 2:				
	Extremo 1:	Extremo 2:	Extremo 1:	Extremo 2:	Extremo 1:	Extremo 2:	Diagonal 1:	Diagonal 2:				
S	4.064x10 ⁻⁵	4.572x10 ⁻⁵	4.749x10 ⁻⁴	1.44x10 ⁻⁵	1.87x10 ⁻⁵	1.9x10 ⁻⁶	5.54x10 ⁻⁵	1.556x10 ⁻⁴	0.001348	6.934x10 ⁻⁴	2.692x10 ⁻⁵	1.219x10 ⁻⁴
n	1	1	1	1	1	1	2	10	5	2	1	2
e	5.08x10 ⁻⁴	5.08x10 ⁻⁴	0.00254	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	0.00127	0.00127	2.032x10 ⁻⁴	2.032x10 ⁻⁴

Tabla 3. Tamaños de muestra estimados con 95% de confianza y un error de 2.032x10⁻⁴ (m) para las características de calidad de envases metálicos de 1.892x10⁻² m³ en la etapa de conformación de tapa y fondo

Etapa	Conformación tapa				Conformación fondo			
	Espesor (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Gancho (m)	Espesor (m)	Anchura (m)	Profundidad (m)	Gancho (m)
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻⁴
	n	1	1	1	2	2	1	2
Característica	S	7.62x10 ⁻⁵	8.102x10 ⁻⁵	5.969x10 ⁻⁵	1.077x10 ⁻⁴	1.168x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻⁵	1.237x10 ⁻

- *Etapa: cornado de cuerpos.* Como se aprecia en la Tabla 2, para la profundidad se obtuvo un tamaño de muestra de $n=1$ y para longitud de $n=2$. Se recomienda medir ambas características de calidad en dos envases seleccionados en las unidades de tiempo escogidas al azar entre el segundo 1 y el 28800, en cada turno de trabajo.
- *Etapa: conformación tapa y fondo.* El mayor tamaño de muestra estimado es de $n = 4$ (Tabla 3). Se obtiene al azar un número entre los $k = 57600 / 4 = 14400$ primeros segundos de iniciado el turno, en ese segundo seleccionado tomar un envase y luego cada 14400 s.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cuanto al tamaño de muestra y el proceso de selección de la misma, a pesar de ser específicos para el proceso de manufactura presentado en este artículo, reflejan la importancia de efectuar estas determinaciones en cada situación particular.

Las publicaciones en el área de calidad refieren estos aspectos de manera general, limitándose a una breve discusión sobre el tamaño de los subgrupos y la frecuencia de muestreo necesarios para el empleo de los gráficos de control. Respecto a la *frecuencia* de selección de los subgrupos, no hay una regla, pero en la literatura se recomienda seleccionar más unidades (tamaño de subgrupo) en intervalos cortos de tiempo (Besterfield, 2009; Montgomery, 2004; Evans y Lindsay, 2015). Investigaciones como las de Prabhu *et al.* (1993); Costa (1994); Amiri *et al.* (2014) entre otros, hacen referencia al tamaño de subgrupo para cartas de control de \bar{x} ó EWMA.

Con base en las consideraciones anteriores, es necesario destacar que, para procesos destructivos como el del caso en estudio, no es factible seleccionar los subgrupos de muestras sugeridos en la literatura, por lo que se decidió elegir un envase en cada subgrupo. Si se escogiera un tamaño de muestra de 2% (20 unidades de muestreo) como lo sugiere Gutiérrez (2005), se generaría un gasto significativo para la empresa; además, como se evidenció en esta investigación, la variabilidad resultó baja en la mayoría de las etapas del proceso, por lo que no es necesario seleccionar una muestra mayor a las recomendadas en este estudio, a menos que a posteriori se verifique un incremento significativo en la variabilidad del proceso.

CONCLUSIONES

Es posible estimar el tamaño de muestra mínimo necesario de un diseño de muestreo aleatorio simple, con

una precisión establecida para el monitoreo de características de calidad en un proceso de manufactura, sin información histórica, a partir de una muestra piloto. Se recomienda seleccionar la cantidad de muestras determinadas para cada etapa, debido a que el proceso es sensible a paradas, por la presencia de un sensor de movimientos.

Para facilitar la labor del muestreo y mejorar la precisión, es conveniente emplear un mecanismo sistemático de selección en el tiempo, en situaciones de producción continua, con unidades de muestreo ordenadas de manera secuencial, asumiendo una correlación entre las características de calidad y los desajustes de las máquinas en el tiempo, que podría generar productos fuera de las especificaciones.

REFERENCIAS

- Amiri, A., Nedaie, A., Alikhani, M. (2014). A new adaptive variable sample size approach in EWMA control chart. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 43 (4), 804-812. <https://doi.org/10.1080/03610918.2012.718834>
- Besterfield, D.H. (2009). *Control de calidad*. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Bouzembrak, Y. y Fels-Klerx, H.J. (2018). Effective sampling strategy to detect food and feed contamination: Herbs and spices case. *Food Control*, 83, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.038>
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos*. México: McGraw Hill, Interamericana de México, S.A de C.V.
- Cochran, W. (1985). *Técnicas de muestreo*. México: Editorial Continental, S.A.
- Coetzer R. y De Jongh, P. (2016). Discussion of Industrial statistics: The challenges and the research. *Quality Engineering*, 28 (1), 60-62.
- Costa, A.F. (1994). X Charts with variable sample size. *Journal of Quality Technology*, 26 (3), 155-163. <https://doi.org/10.1080/0024065.1994.11979523>
- Evans, J.R y Lindsay, W.M. (2015). *Administración y control de la calidad*. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Goedhart, R.; Schoonhoven, M., Does, R.J. (2017). Guaranteed In-Control Performance for the Shewhart X and X Control Charts. *Journal of Quality Technology*, 49 (2), 155-171. <https://doi.org/10.1080/00224065.2017.11917986>
- Gutiérrez, H. (2005). *Calidad total y productividad*, México: McGraw Hill.
- Hoerl, R.S. y Snee, R. (2010). Statistical thinking and methods in quality improvement: A look to the future. *Quality Engineering*, 22 (3), 119-129. <https://doi.org/org/10.1080/08982112.2010.481485>
- Kleeberg, F. y Ramos, J. (2009). Aplicación de las técnicas de muestreo en los negocios y la industria. *Ingeniería Industrial*, 27, 11-40. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.621>

- Lohr, S. (2010). *Sampling: Design and analysis*. United States: Brooks Cole, Cengage Learning.
- Martínez, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13a ed.), Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Montgomery, D. (2004). *Control estadístico de la calidad*. México: Limusa S.A. De C.V.
- Pérez, C. (2005). *Muestreo estadístico, conceptos y problemas resueltos*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Prabhu, S.S., Runger, G.C., Keats, J.B. (1993). An adaptative sample size \bar{x} chart. *International Journal of Production Research*, 31, 2895-2909.
- Rowlands, H. y Wang, L.R. (2000). An approach of fuzzy logic evaluation and control in SPC. *Quality Reliability Engng. Int.*, 16, 91-98. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1638\(200003/04\)16:2%3C91::AID-QRE307%3E3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1638(200003/04)16:2%3C91::AID-QRE307%3E3.0.CO;2-9)
- Saleh, N.A., Mahmoud, M.A., Keefe, M.J., Woodall, W.H. (2015). The difficulty in designing shewhart X and X control charts with estimated parameters. *Journal of Quality Technology*, 47 (2), 127-138. <https://doi.org/10.1080/00224065.2015.11918120>
- Scheaffer, R.L., Mendenhall, W., Ott, L. (2006). *Elementos de muestreo* (6a ed.). España: Thomson editores Paraninfo, S.A.
- Soriano, R. (2006). *Investigación social; teoría y praxis*. México: Plaza y Valdés S.A.
- Steinberg, D. (2016). Industrial statistics: The challenges and the research. *Quality Engineering*. 28 (1), 45-59. <https://doi.org/10.1080/08982112.2015.1100453>
- Stoumbos, Z.G., Reynolds M. Jr., Ryan, T.P., Woodall, W.H. (2000). The state of statistical process control as we proceed into the 21st century. *Journal of the American Statistical Association*, 95 (451), 992-998. <https://doi.org/10.1080/01621459.2000.10474292>
- Villamarin, A. (2015). Control estadístico en una línea de envases metálicos rectangulares de cinco (5) galones, Trabajo especial de grado (especialización en Gerencia en Sistemas de Calidad y Control Estadístico de Procesos). Venezuela, Universidad Central de Venezuela, 190 pp.
- Woodall, W.H. y Montgomery, D. (2014). Some current directions in the theory and application of statistical process monitoring. *Journal of Quality Technology*, 46 (1), 78-94. <https://doi.org/10.1080/00224065.2014.11917955>
- Zhou, M. (2017). Variable sample size and variable sampling interval Shewhart control chart with estimated parameters. *Oper Res Int J.*, 17(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12351-015-0214-9>