




Diseño de estrategia para el control de sobrepeso en la referencia Barquillo en una empresa de galletería

Design of strategy for overweight control in the Barquillo reference in a biscuit company

^aYudy Ximena Bolaños-Bautista ^bAyda Mabel Narváez-Jurado ^cDaniela Hoyos-López

-  a. Ingeniera Industrial, Corporación Universitaria Comfacauca, ybolanos@unicomfacauc.edu.co, Popayán Colombia.
 b. Ingeniera Industrial, Corporación Universitaria Comfacauca, aydanarvaez@unicomfacauca.edu.co, Popayán Colombia.
 c. Ingeniera Industrial, Corporación Universitaria Comfacauca, danielahoyos@unicomfacauca.edu.co, Popayán Colombia.

Recibido: Mayo 22 de 2021 **Aceptado:** Agosto 27 de 2021

Forma de citar: Y.X. Bolaños-Bautista, A.M. Narváez-Jurado, D. Hoyos-López, "Diseño de estrategia para el control de sobrepeso en la referencia Barquillo en una empresa de galletería", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S2 pp. 118-129, 2021.

Resumen

La empresa de consumo masivo tiene como propósito principal la fabricación de productos de galletería que se destacan en cuanto a peso, sabor, color, textura, garantizando a los consumidores un producto de calidad. El proceso está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen que los productos no sean exactamente iguales en cuanto a su peso, esta variabilidad es claramente indeseable para la organización. Este trabajo propone realizar la revisión de parámetros y estándares que hagan más estricto el proceso y permitan mejorar su capacidad de proceso. La revisión de los datos se lleva a cabo mediante herramientas estadísticas que permiten evidenciar el comportamiento del proceso, identificar los puntos de control críticos y buscar mejoras estratégicas. Con el tratamiento de los datos, gráficas de control y estimación de las capacidades de procesos se encuentra que no hay un control estadístico, localizando puntos más allá de 3 desviaciones estándar de la línea central. Por medio del diseño de experimentos se define cuál de los factores (humedad, cantidad y temperatura del agua) tiene mayor incidencia en el proceso y las condiciones óptimas de estos para llegar al valor objetivo de peso. Mediante el diseño de experimentos se obtuvieron patrones, respuestas válidas y objetivas de predicción y optimización, que se obtienen de la configuración óptima de cada uno de los factores para alcanzar el valor objetivo y lograr un control de sobrepeso.

Palabras clave: calidad, control, estandarización, optimización, procesos.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: ybolanos@unicomfacauc.edu.co



Asbtract

The main purpose of the mass consumption company is the manufacture of biscuits products that stand out in terms of weight, flavor, color, texture, guaranteeing consumers a quality product. The process is subject to a series of random factors that make the products not exactly equal in weight, this variability is clearly undesirable for the organization. This work proposes to carry out the revision of parameters and standards that make the process stricter and allow to improve its capacity process. The data review is carried out using statistical tools that make it possible to demonstrate the behavior of the process and identify critical control points and seek strategic improvements. With the treatment of data, using control graphs and estimation of process capabilities is found that there is no statistical control, locating points beyond 3 standard deviations of the central line. Through the design of experiments, it is defined which of the factors (humidity, quantity and temperature of the water) has greater impact on the process and the optimal conditions of these to reach the objective value of weight. Through the design of experiments, patterns, valid and objective prediction and optimization responses were obtained, which are obtained from the optimal configuration of each of the factors to reach the objective value and achieve overweight control.

Keywords: quality, control, standardization, optimization, processes.

Introducción

El sector de la galletería en Colombia ha estado en un constante crecimiento desde el año 2013 hasta 2018 aumentando la facturación en sus ventas llegando a \$ 131.200 millones [1], debido a esto el sector se hace cada vez más exigente tanto en la industria como en los clientes, encontrándose así en una economía cada vez más globalizada y competitiva por lo cual las empresas se ven en la necesidad de perfeccionar los procesos para cumplir con las necesidades y exigencias de los clientes. Sin embargo, existen procesos industriales que no cumplen con las capacidades adecuadas, sometiéndose a una serie de factores que hacen que los productos no sean exactamente iguales es decir que existen productos que no son uniformes y presentan variabilidad siendo esta indeseable [2]. Dentro de este contexto el problema que se presenta para el desarrollo de la investigación es el incremento del peso neto en un producto de galletería, encontrando problemas de variabilidad de proceso, afectando su calidad y llevando a pérdidas económicas por exceso de producto en una empresa de galletería de consumo masivo. Diferentes estudios en este ámbito se han llevado a cabo para dar solución a problemas de este contexto, como

el estudio de la variabilidad del proceso en el área de envasado de un producto en polvo [3], reducción de sobrepeso en masas procesadas por la maquina boleadora en una línea de panadería [4] entre otros. La empresa busca estandarizar el proceso definiendo cuales serían los factores que tienen mayor incidencia y buscando sus condiciones óptimas. Teniendo respuesta a estas incógnitas la empresa se afecta positivamente ya que de acuerdo a esto los productos cumplirán con los estándares de la empresa reduciendo el desperdicio de producto. Lo planes de control inicialmente definidos se pueden volver obsoletos y se debe analizar la necesidad de revisar periódicamente los mecanismos de control de calidad [5]

De acuerdo con esto, el desarrollo de la investigación se lleva a cabo bajo un estudio de control estadístico de proceso, caracterización de los factores principales que causan la variación y la metodología de un diseño experimental (DOE) con sus herramientas, para identificar los factores más significativos que afectan el proceso y así definir y proponer una estrategia eficaz para controlar el indicador de sobrepeso en la empresa e incorporar esquemas teóricos y de capacitación en el trabajo para

diferentes miembros del equipo de calidad, para comprender el concepto de SPC y su procedimiento de implementación [6]

Materiales y métodos

La metodología implementada para llevar a cabo la investigación se da en tres fases; en la primera se realiza un diagnóstico del proceso mediante gráficos de control $\bar{x}R$ e indicadores de capacidad como C_p , C_{pk} , C_{pm} , k y nivel Z ; la segunda fase consta de la caracterización de los factores que causan la variación del peso de los productos, por último mediante la herramienta estadística Minitab se crea el diseño de experimentos DOE generando así las condiciones óptimas del proceso. A continuación, se describen cada una de las fases.

Fase I. Análisis de la capacidad de proceso de la línea de producción por medio de gráficos de control e indicadores de capacidad.

A. Gráficos de Control $\bar{x}R$.

Un gráfico de control de calidad estadístico es ampliamente reconocido como una herramienta potencialmente poderosa que se utiliza con frecuencia en muchas industrias de fabricación y servicios para monitorear la calidad del producto o los procesos de fabricación [7]. Son diagramas para variables aplicados a procesos de grandes masas, donde se obtiene subgrupos de productos de forma periódica y cálculo de la media (\bar{x}) y rango (R) [8]. Se calculan los límites de control para cada producto tanto de \bar{x} , mediante la ecuación (1)(2) y R mediante las ecuaciones (3)(4). El límite de control superior se encuentra 3 desviaciones estándar más allá de línea central y el límite de control inferior estas 3 desviaciones estándar por debajo de la línea central [9]

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A2 * \bar{R} \quad (1) \text{ donde}$$

Límite de control superior de X

$$\bar{R} = \text{Promedio de Rango}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A2 * \bar{R} \quad (2) \text{ donde}$$

Límite de control inferior de X

$A2 =$ Constante de gráficas de control

$$LCI_R = D3 * \bar{R} \quad (3) \text{ donde}$$

Límite de control inferior de rangos

$D3 =$ Constante de gráficos

$$LCS_R = D4 * \bar{R} \quad (4) \text{ donde}$$

Límite de control superior de rangos

$D4 =$ Constante de gráficos

B. Indicadores de capacidad

La variación natural del proceso en relación a sus especificaciones y su ubicación respecto al valor nominal es una característica importante de la calidad y saber en qué medida la cumple, de acuerdo a esto se procede al cálculo de los índices de capacidad mediante la (5) y (6) [10]. Los datos obtenidos se comparan con la Tabla 1 para los criterios de capacidad y poder tomar decisiones. Los índices de capacidad permiten determinar la máxima variación posible de una característica de calidad en la producción. [11]

$$C_p = \frac{ES - EI}{6 * \sigma} \quad (5) \text{ donde}$$

C_p es la capacidad de proceso

$ES =$ Especificación Superior

$EI =$ Especificación Inferior

$\sigma =$ Desviación estándar

$$C_{pK} = \text{Min} \left\{ \frac{ES - \mu}{3 * \sigma}, \frac{\mu - EI}{3 * \sigma} \right\} \quad (6) \text{ donde}$$

C_{pK} es capacidad de proceso unilateral

$\mu =$ Media del proceso

Tabla 1. Criterios de Capacidad de proceso (Cp)

| Valor del índice Cp (corto Plazo) | Clase o categoría del proceso | Decisión (si el proceso está centrado) |
|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| $Cp \geq 2$ | Clase mundial | Se tiene Calidad seis sigma |
| $Cp \geq 1.33$ | 1 | Adecuado |
| $1 < Cp < 1.33$ | 2 | Parcialmente adecuado, requiere de un control estadístico |
| $0,67 < Cp < 1$ | 3 | No adecuado para el trabajo, un análisis del proceso es necesario. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria |
| $Cp < 0,67$ | 4 | No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias |

Fuente: Control estadístico de Calidad y seis sigma

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \quad (7)$$

$N = \text{Valor objetivo}$

La interpretación de este índice se basa en su signo, si este es positivo es el porcentaje que está por encima de la media o desviado a la derecha y si es negativo es el porcentaje que está por debajo de la media o desviado hacia a la izquierda y se determina con la (7), donde μ es la media del proceso, N el valor objetivo nominal, ES la especificación superior y EI la especificación inferior.

$$Zs = \frac{ES - \mu}{\sigma}; Zi = \frac{\mu - EI}{\sigma} \quad (8)$$

Si el proceso se basa en una distribución normal, se calcula Zs y Zi en la (8) obteniendo como resultado desperdicio que se encuentra por encima y por debajo de los límites de especificación.

Fase II. Caracterización de los factores que causan la variación en el peso de los productos.

Después de entender y diagnosticar el proceso para definir si este se encuentra en un control estadístico, se asignan las causas de la variación que afectan el proceso.

El proceso cuenta con tres etapas de producción que son líquidos, horno y envoltura, en cada etapa se definen variables

que pueden ser consideradas como efectos principales y que ya fueron medidas y diagnosticadas en la fase anterior.

Fase III. Planeación de un diseño de experimentos para identificar las posibles causas que alteran el proceso.

Para realizar el diseño de experimentos el cual ayuda a investigar los efectos de las variables de entrada sobre una variable de salida, se realizó midió identificando las condiciones del proceso y los componentes que afectan la calidad de un producto, determinado el arreglo necesario de los factores para optimizar la variable de salida. [12]

Resultados y discusión

El cálculo de los indicadores de capacidad y cartas de control se realizó para cuatro referencias de la línea de galletería las cuales se diferencian por su sabor siendo estas de chocolate, fresa, arequipe y chocolate. Los datos fueron recolectados durante 45 días de producción, para las mediciones se utilizó la balanza de marca Hopex, certificado de calibración NM1148 y fecha de calibración 30/04/2019.

Fase I. Análisis de la capacidad de proceso de la línea de producción por medio de gráficos de control e indicadores de capacidad.

Referencia chocolate

En la carta de control $\bar{x}R$ de los pesos de la línea de producción barquillos 6 de referencia Chocolate, se realizó el análisis de los datos con una muestra de subgrupo (n) conformada por 5 mediciones tomados cada hora del proceso con un total de 27 subgrupos (g) durante 45 días. El producto tiene con valor objetivo (N) 12.9 gramos, especificación superior ES 13.1 gramos y especificación inferior EI 12.6 gramos. Se observa que ninguno de los valores graficados cae por fuera de los límites de especificación, en la gráfica de control R se observó valores por fuera de los límites de control superior en los subgrupos 3; 15; 22, los cuales se encuentran más allá de 3 desviaciones estándar de la línea central, lo que indica que se presentan problemas por exceso de peso y que el proceso no está bajo un control estadístico.

El índice K define que tan centrado está la distribución con respecto a las especificaciones, para la referencia de chocolate en índice K es igual al 8%, es decir, que el proceso se encuentra desviado hacia la derecha.

Al evaluar la capacidad del proceso se obtienen los índices a largo y corto plazo el valor de Cp a corto plazo es de 0.72 por lo que es necesario realizar un análisis en el proceso y efectuar cambios para cumplir con las especificaciones, el índice Cpk es igual a 0.52 siendo este mucho más pequeño al índice Cp lo que significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones lo que en términos generales indica que los productos no cumplen con el peso objetivo.

Los límites de especificación superior e inferior del nivel Z a largo plazo determinan que el porcentaje observado fuera de las especificaciones es del 2,22%, al no implementar medidas correctivas este

porcentaje se puede incrementar hasta 6,52% de los datos por fuera de las especificaciones.

Referencia fresa

En la carta de control $\bar{x}R$ se realizó el análisis de los datos con una muestra de subgrupo (n) conformada por 5 mediciones tomados cada hora del proceso con un total de 16 subgrupos (g) durante 45 días. El producto tiene con valor objetivo (N) 12.9 gramos, especificación superior ES 13.1 gramos y especificación inferior EI 12.6 gramos, se observa que hay un punto por fuera de límite inferior, por lo tanto, existe una situación que hace que el proceso sea inestable o no se encuentre bajo un control, la gráfica del rango de la muestra (R) se observa que hay dos puntos fuera del límite de especificación superior en los subgrupos 12;14, es decir, que esta situación no pasa la primera prueba para determinar si hay o no un control estadístico, esto quiere decir que cómo se mencionó anteriormente el proceso no tienen un control estadístico.

El indicador K define que tan centrado está la distribución con respecto a las especificaciones, para la referencia de fresa en índice K es igual al 3,48%, es decir, que el proceso se encuentra desviado hacia la derecha.

El índice de capacidad potencial del proceso (Cp) es igual a 0.55 es decir que se encuentra en un nivel 4 según la Tabla 1, por lo tanto, el proceso necesita modificaciones para alcanzar un nivel adecuado. El índice Cpk es mucho más pequeño que el Cp con un valor de 0.55 lo que significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones.

En el nivel Z existe un 5% de datos por fuera de las especificaciones, este porcentaje puede incrementar hasta un 13,77% si no se implementa acciones de mejora en el proceso.

Referencia arequipe

En la carta de control $\bar{x}R$ se del producto barquillos 6 de referencia arequipe se realizó el análisis de los datos con una muestra de subgrupo (n) conformada por 5 mediciones tomados cada hora del proceso con un total de 20 subgrupos (g) durante 45 días. El producto tiene con valor objetivo (N) 12.9 gramos, especificación superior ES 13.1 gramos y especificación inferior EI 12.6 gramos; se evidenció que se encuentra un punto del subgrupo uno por fuera de los límites de especificación, por lo general cuando se localizan puntos por fuera de estos límites de especificación manifiesta que existe alguna situación o factores que conllevan a que el proceso varíe y no esté bajo un control estadístico.

Al evaluar la capacidad del proceso se obtienen los índices a largo y corto plazo el valor de C_p a corto plazo es de 0.50 por lo que es necesario realizar un análisis en el proceso y efectuar cambios para cumplir con las especificaciones, el índice C_{pk} es igual a 0.44 siendo este más pequeño al índice C_p . lo que significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones lo que en términos generales indica que los productos no cumplen con un peso objetivo.

El indicador K define que tan centrado esta la distribución con respecto a las especificaciones, para la referencia de arequipe en índice K es igual al -8%, es decir, que el proceso se encuentra desviado hacia la izquierda.

Los límites de especificación superior e inferior del nivel Z a largo plazo determinan que el porcentaje observado fuera de las especificaciones es del 3,33%, al no implementar medidas correctivas este porcentaje se puede incrementar hasta 15,91% de los datos por fuera de las especificaciones.

Referencia chocolate

En la carta de control $\bar{x}R$ se realizó el análisis de los datos con una muestra de subgrupo (n) conformada por 5 mediciones tomados cada hora del proceso con un total de 27 subgrupos (g) durante 45 días. El producto tiene con valor objetivo (N) 12.9 gramos, especificación superior ES 13.1 gramos y especificación inferior EI 12.6 gramos. de los pesos en la línea de producción barquillos 6 de referencia Chocolate se presentó 2 puntos por fuera del límite de control superior en el subgrupo 2; 8, los cuales se encuentran más allá de 3 desviaciones estándar de la línea central, se observó el punto 2 más alejado del límite superior lo que indica que al igual que las demás referencias se presentan problemas por exceso de peso. Por lo tanto, se puede determinar que este proceso no se encuentra bajo un control estadístico. Por consiguiente, se asignan factores como causas que llevan a que haya una variabilidad en el peso del producto.

El indicador K define que tan centrado esta la distribución con respecto a las especificaciones, para la referencia de chocolate el índice K es igual al 11%, es decir, que el proceso se encuentra desviado hacia la derecha.

Se obtiene los índices a largo y corto plazo, encontrando todos los valores de estos indicadores menores a 1 que señala que el proceso en realidad no tiene un buen desempeño, por lo tanto, se está entregando productos por fuera de las especificaciones. El índice C_{pk} fue menor que el c_p lo que significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. Determinando que la capacidad real del proceso es 0,51 lo cual en términos generales indica que los productos no cumplen con un peso adecuado.

Los límites de especificación superior

e inferior del nivel Z a largo plazo determinan que el porcentaje observado fuera de las especificaciones es del 3,08%, al no implementar medidas correctivas este porcentaje se puede incrementar hasta 16,43% de los datos por fuera de las especificaciones, siendo este un porcentaje muy alto por lo que puede ser una situación demasiado crítica para la organización.

Tabla 2. Resumen de Capacidad de proceso por referencia

| Producto | Límites de control X | | | Límites de control R | | | Capacidad del proceso | | | | | |
|------------|----------------------|-------|-------|----------------------|----------|----|-----------------------|------|------|-------|--------|-------|
| | LCS x | LCI x | LCS R | LCI R | σ | Cp | CPk | ZI | Zc | K | | |
| Chocolache | 13,05 | 12,92 | 12,79 | 0 | 0,22 | 0 | 0,117 | 0.72 | 0.52 | 2,22% | 6,28% | 8% |
| Fresa | 13,07 | 12,91 | 12,74 | 0,59 | 0,281 | 0 | 0,1577 | 0.55 | 0.42 | 5% | 12,67% | 3,48% |
| Arequipe | 13 | 12,98 | 12,75 | 0,46 | 0,217 | 0 | 0,175 | 0.50 | 0.44 | 3,33% | 14,31% | -8% |
| Chocolate | 13,09 | 12,93 | 12,77 | 0,58 | 0,277 | 0 | 0,165 | 0.88 | 0.35 | 3,08% | 16,59% | 16% |

Se muestra en la Tabla 2 el resumen de los índices de capacidad y se concluye que los productos el proceso no son capaces de cumplir con las especificaciones. También se observa el índice K donde la referencia de arequipe es el único producto que tiene una desviación a la izquierda del peso objetivo, mientras que los demás productos se desvían por encima del peso objetivo.

Fase II. Caracterización de los factores que causan la variación en el peso de los productos. Según el diagnóstico de la fase anterior para las tres etapas del proceso se define los siguientes factores para la investigación.

Etapa de líquidos.

Temperatura
Cantidad de agua

Etapa de Horno

Humedad

Para la etapa de envoltura no se define ningún factor ya que esta es una etapa final y no existe una variable que afecte la variable de salida.

Tabla 3. Niveles de los factores

| Factores | Nivel bajo | Nivel Alto |
|------------------|------------|------------|
| Humedad | 0,80% | 1,13% |
| Cantidad de Agua | 35 L | 42 L |
| Temperatura | 25°C | 30°C |

Fase III. Planeación de un diseño de experimentos para identificar las posibles causas que alteran el proceso. Para la medición de humedad y temperatura se utilizó el termohigrómetro con certificado de calibración NM1131 con fecha de calibración 30/04/2019.

Luego de identificar entre 2 y 5 factores importantes, Minitab recomienda crear un modelo de caracterización para obtener un modelo que se pueda utilizar para identificar la configuración de factores que optimice la respuesta [13].

Análisis de Varianza

De acuerdo a esto, [14] define que si la significancia observada es menor a la predefinida se puede aceptar la hipótesis nula, observando así evidencia en contra de H1, esto significa que el efecto influye de manera significativa en la salida del proceso, además se puede mencionar que entre más pequeño sea el valor de la probabilidad del efecto es más significativo en el proceso.

Con respecto a esto y según los resultados de la Tabla 4 y la Figura 1 de los efectos estandarizados, se puede apreciar que la variación defectuosa con un 5% de significancia, se está viendo afectada por el factor cantidad de agua, observando en la figura que su efecto va más allá del nivel de significancia, lo cual se puede identificar con la línea roja ya que el valor crítico de del valor F es mayor al valor F de los demás factores y sus interacciones, con relación a esto la probabilidad del factor cantidad de agua es 1.8%, siendo menor al nivel de significancia establecido, determinando que el valor de la cantidad de agua tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el peso de salida de los barquillos.

Tabla 4. Análisis de varianza

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 9 | 0.137838 | 0.015315 | 8.84 | 0.000 |
| Bloques | 1 | 0.007374 | 0.007374 | 4.25 | 0.061 |
| Lineal | 3 | 0.013454 | 0.004485 | 2.59 | 0.101 |
| Humedad | 1 | 0.003734 | 0.003734 | 2.15 | 0.168 |
| Agua | 1 | 0.013069 | 0.013069 | 7.54 | 0.018 |
| Temperatura | 1 | 0.007635 | 0.007635 | 4.41 | 0.058 |
| Interacciones de 2 términos | 3 | 0.019912 | 0.006637 | 3.83 | 0.039 |
| Humedad*Agua | 1 | 0.000096 | 0.000096 | 0.06 | 0.818 |
| Humedad*Temperatura | 1 | 0.005303 | 0.005303 | 3.06 | 0.106 |
| Agua*Temperatura | 1 | 0.000066 | 0.000066 | 0.04 | 0.848 |
| Interacciones de 3 términos | 1 | 0.002666 | 0.002666 | 1.54 | 0.239 |
| Humedad*Agua*Temperatura | 1 | 0.002666 | 0.002666 | 1.54 | 0.239 |
| Curvatura | 1 | 0.000506 | 0.000506 | 0.29 | 0.599 |
| Error | 12 | 0.020798 | 0.001733 | | |
| Total | 21 | 0.158636 | | | |

A partir de esto se procede a dar solución a las hipótesis establecidas, donde dentro de las hipótesis de los factores individuales se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula de la cantidad de agua, de la misma manera los valores de probabilidad de los factores humedad y temperatura se encuentran por encima del nivel de significancia por tal razón se acepta las hipótesis nulas de estos dos factores y se rechaza la hipótesis alternativa. Para las hipótesis de interacción de dos factores se rechaza todas las hipótesis nulas y se acepta las hipótesis alternativas ya que los valores de probabilidad de todas las interacciones de los factores son mayores al valor de significancia establecido de la misma manera los

valores de F son bajos.

Dentro de las hipótesis planteadas para la interacción de los tres términos se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, encontrando una probabilidad mayor al valor de significancia para esta interacción.

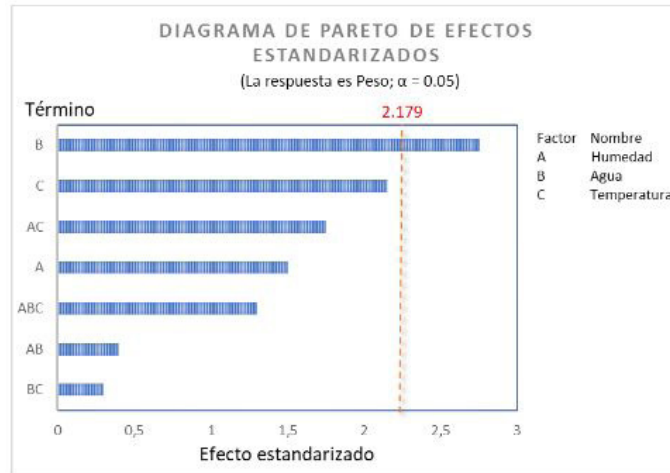


Figura 1. Diagrama de Pareto de efectos Estandarizados

Partiendo de los anterior se procede a analizar el comportamiento de la variable de salida (peso) de acuerdo con la variación de los niveles de cada factor como se puede observar en la Figura 1, en esta se determinar cómo varía el peso de acuerdo al comportamiento individual de cada factor según la variación de los niveles de cada uno de estos, donde se encuentra que, si el efecto humedad baja, el peso se aleja de la media esperada, mientras que si esta se acerca a su nivel máximo el producto puede llegar a su peso objetivo, de la misma manera sucede con la cantidad de agua y la temperatura.

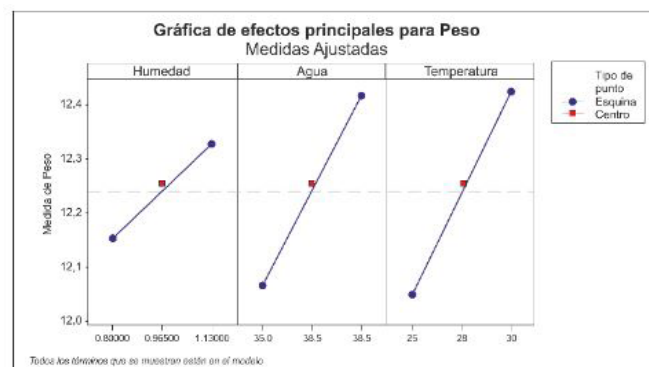


Figura 2. Efectos principales para el peso

Con relación a lo anterior se obtiene una gráfica de la interacción de los factores, la cual relaciona los efectos en sus niveles altos y bajos y el comportamiento del peso de acuerdo a cada interacción, tal y como se puede observar en la Figura 2, donde se determina que, en una interacción entre el factor humedad y agua el peso se acerca a su valor objetiva cuando el agua está en su nivel alto y la humedad en su nivel bajo, en la interacción de los factores humedad y temperatura, el peso del producto se acerca a su valor objetivo (12,3) cuando estos se encuentran en su nivel alto, de la misma manera sucede con la interacción de la cantidad de agua y la temperatura donde al encontrarse estos factores en su nivel máximo

se puede alcanzar el valor objetivo.

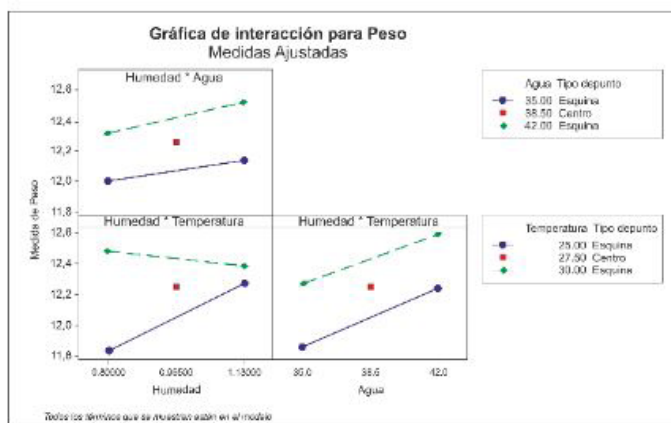


Figura 3. Efecto de interacción de los factores

Propuesta de mejora

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Peso

$$= 92.8 - 90.1 \text{ Humedad} - 2.39 \text{ Agua} - 2.98 \text{ Temperatura} + 2.59 \text{ Humedad*Agua} + 3.25 \text{ Humedad*Temperatura} + 0.0875 \text{ Agua*Temperatura} - 0.0929 \text{ Humedad*Agua*Temperatura} + 0.0132 \text{ error exp}$$

Una vez determinado los factores que están afectando el peso de salida del proceso en la línea de producción barquillos 6, se desarrolla en el software estadístico un pronóstico con la configuración óptima de los factores y de esta manera predecir el peso de salida, humedad: 0.965; Agua: 38.5; temperatura 27.5. esta configuración es un peso de 12.2524 con un índice de predicción entre 12.0848-12.4201) con una confianza del 95%. Es necesario sensibilizar a los operadores en los factores y la dirección ya que si se involucra en el proceso de mejoramiento continuo de la calidad se obtienen mejores resultados [15]

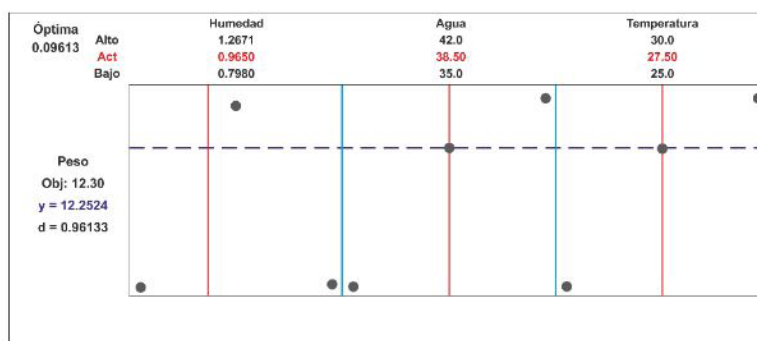


Figura 4. Informe de predicción y optimización

En la Figura 4 en informe de predicción y optimización, se obtiene la configuración óptima de cada uno de los factores para alcanzar el valor objetivo, determinando que la humedad debe estar en 0,965%, la cantidad de agua en 38,5 L y la temperatura a 27,46 °k, encontrándose en un 95% seguro de que la media del proceso estaría entre 12,16 y 12,440 utilizando esta configuración. Además, se puede determinar que el intervalo de predicción el cual indica que se puede estar el 95% seguro de que la concentración pronosticada para un

solo barquillo este aproximadamente entre 12,0848 y 12,4201 g y que según el intervalo de confianza se puede estar el 95% seguro de que la media de proceso podría estar entre 12,11 g y 12,39 g. Con la media propuesta de 12.2 y utilizando la misma desviación estándar los índices de capacidad quedarían C_{pi} a 1.011 y C_{ps} de 2.043, asegurando la especificación superior dentro de los límites de especificación.

El valor *d* indica que el 96,13% de la configuración óptima de los factores es posible obtener el peso objetivo de los productos en la línea de producción barquillos 6, determinando también que existe alrededor de un 4% de incertidumbre.

Conclusiones

El diagnóstico realizado para analizar la situación en la que se encuentra el proceso fue apropiado, ya que permitió definir que el proceso no se encuentra bajo un control estadístico y no está siendo capaz de cumplir con las especificaciones establecidas entre (12.6-13.1) gramos, encontrando este mismo escenario para todas referencias seleccionadas de chocolate, chocaleche y fresa, el proceso se encuentra desviado hacia la derecha es decir por encima de la media esperada y *cp* menores a 1 que significa que no es adecuado el proceso y requiere de modificaciones serías, la referencia arequipe se desvía hacia la izquierda, lo que indica que los productos están saliendo por debajo de las especificaciones.

Al realizar la iteración de los tres factores, se observó que el factor con mayor afectación en el peso es el agua, seguido de la temperatura aplicada al agua y la combinación de la humedad y temperatura.

Al identificar que los factores humedad, Agua y la interacción entre los factores agua y temperatura, humedad y temperatura son

influyentes en la variabilidad del peso en los productos de barquillos, se obtuvieron los niveles de los factores en los cuales se debe trabajar para lograr el valor objetivo, al cruzar los factores se observa que la humedad debe estar en 0965, cantidad de litros por lote de 38.5 y mantener una temperatura de 28.5°K.

Con la metodología de diseños de experimentos se obtuvieron patrones y respuestas válidas y objetivas, aplicando la ecuación de regresión se puede pronosticar el peso de salida de los barquillos para lograr un control de sobrepeso.

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a:

Daniela Hoyos López y Ayda Mabel Narváez, egresadas del programa de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca, quienes ayudaron en el desarrollo de la investigación y construcción del artículo. Así mismo, a la Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca y la empresa de galletería, por el apoyo y oportuno desarrollo de las actividades propias del presente proyecto.

Referencias

- [1] L. Republica, "Nutresa se ubica como líder en el mercado de las galletas dulces en Colombia", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/consumo/nutresa-y-alpina-suman-casi-20-del-mercado-de-las-galletas-dulces-en-colombia-2858622>
- [2] A. Ruiz-Falcó Rojas, *Control Estadístico de Proceso*, Madrid: Universidad Pontificia Comillas Madrid, 2006
- [3] E. E. Díaz, C. Díaz, L. C. Flores y S. Heyser, "Estudio de la Variabilidad

- de Proceso en el Área de envasado de un producto en polvo", *Información tecnológica*, vol. 20, no. 6, pp. 105–113, 2009. doi:10.1612/inf.tecnol.4105it.08
- [4] S. M. G. Castro, "Reducción del sobrepeso en masas procesadas por la máquina", Universidad de San Buenaventura, Santiago de Cali, 2017
- [5] S. Sousa, N. Rodrigues y E. Nunes, "Evolution of process capability in a manufacturing process", *J. Manag. Anal.*, vol. 5, no. 2, pp. 95-115, 2018
- [6] M. A. Abtey, S. Kropi, Y. Hong y L. Pu, "Implementación of Statical Process Control (SPC) in the Sewing Section of Garment Industry for Quality Improvement", *Autex Res J*, vol. 18, n° 2, pp. 160-172, 2018
- [7] A. Haq, J. Brown y E. Moltchanova, "New Synthetic Control Charts for Monitorings Process Mean and Process Dispersion", *Qual Reliab Eng*, vol. 31, n° 8, pp. 1305-1325, 2015
- [8] R. d. l. V. S. Humberto Gutierrez Pulido, *Control estadístico de la Calidad y seis Sigma*, Mexico D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2004
- [9] Minitab, "Introuccion mINITAB 19 para windows", 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/MinitabGettingStarted_ESMX.pdf. [Último acceso: 26 08 2019]
- [10] D. C. Montgomery, *Control Estadístico de la Calidad*, Limusa, SA. de C.V., 2005.
- [11] R. Mahshid, Z. Mansourvar y H. N. Hansen, "Tolerance analysis in manufacturing using process capability ratio with measurement uncertainty", *precis Eng*, vol. 52, no. August, pp. 201-210, 2018
- [12] Minitab, "Soporte de Minitab", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/getting-started/designing-an-experiment/>. [Último acceso: 19 julio 2019]
- [13] D. d. E. (DOE)
- [14] R. Caro y D. Gonzalez, "Control estadístico de Procesoso", pp. 1-74, 2006
- [15] G. O. Merli, "Gestión de la calidad: Control Estadístico y Seis Sigma", *Telos*, vol. 14, no. 2, pp. 269-274, 2012
- [16] L. E. C. Navarro, "SlidePlayer" 2019. [En línea]. Disponible: <https://slideplayer.es/slide/6177326/>. [Último acceso: 18 julio 2019]
- [17] H. D. Rendon, *Control Estadístico de Calidad*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, 2013
- [18] R. d. l. V. S. Humberto Gutierrez Pulido, *Análisis y Diseños de experimentos*, Mexico D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V., 2003
- [19] D. G. G. Roberto Garro Paz, "Control Estadístico de Procesos de Administración de las Operaciones", Universidad Nacional Mar de la Plata, 2019, p. 20
- [20] Software Minitab, *Minitab*, 2019