Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica
ISSN en línea 3005-2599, Julio - Septiembre 2026,
Volumen 6, Número 3.

DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a.v6i3

OPTIMIZACIÓN DEL SUBPROCESO DE SOPLADO DE BOTELLAS DE PET MEDIANTE HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA DE PROCESOS: UN ESTUDIO DE CASO EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS CARBONATADAS

OPTIMIZATION OF THE PET BOTTLE BLOW-MOLDING SUBPROCESS USING PROCESS ENGINEERING TOOLS: A CASE STUDY IN THE CARBONATED BEVERAGE INDUSTRY

Alejandro Aldana Salcedo Alejandro
Universidad Incca de Colombia, Colombia

Carlos Olivier Hende Peña
Universidad Incca de Colombia, Colombia

Carlos Alberto Correa Vargas
Universidad Incca de Colombia, Colombia

Yuliana Cárdenas Escobar
Universidad Incca de Colombia, Colombia

E. COUTURE
Educación y Ciencias Sociales

Estudios y Perspectivas
Revista Científica y Académica

Estudios y Perspectivas
Revista Científica Multidisciplinaria

DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a..v6i3.2071

Optimización del Subproceso de Soplado de Botellas de PET Mediante Herramientas de Ingeniería De Procesos: Un Estudio de Caso en la Industria de Bebidas Carbonatadas

Alejandro Aldana Salcedo Alejandro
alejandro.aldana@unincca.edu.co
https://orcid.org/0009-0004-5062-8725
Universidad Incca de Colombia, Colombia

Carlos Olivier Hende Peña
cohendep@unincca.edu.co
https://orcid.org/0009-0001-2936-8226
Universidad Incca de Colombia, Colombia

Carlos Alberto Correa Vargas
cacorreav8@unincca.edu.co
https://orcid.org/0009-0001-9144-6942
Universidad Incca de Colombia, Colombia

Yuliana Cárdenas Escobar
ycardenase@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-1592-173X
Universidad Incca de Colombia, Colombia

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar el subproceso de soplado de botellas de tereftalato de polietileno (PET) utilizadas en la producción de bebidas carbonatadas en formatos familiares en AJE Colombia, con el propósito de diseñar un plan de mejora dirigido a reducir la variabilidad del proceso, fortalecer su estabilidad operativa y mejorar la calidad del envase. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y aplicado, con un diseño no experimental, observacional y longitudinal. La información se obtuvo mediante observación directa, revisión de registros históricos de producción y calidad, seguimiento de indicadores operativos y análisis de reportes de fallas y tiempos improductivos. Los resultados mostraron que la variabilidad del proceso se relacionaba con la falta de estandarización de los parámetros operativos, las condiciones ambientales y la dependencia del conocimiento empírico de los trabajadores, factores que afectaban la estabilidad del proceso y la calidad del producto. A partir del diagnóstico, se formuló un plan de mejora orientado a estandarizar las condiciones de operación, fortalecer la gestión del conocimiento e implementar mecanismos de seguimiento y control. La propuesta busca contribuir a la reducción de la variabilidad y al incremento de la eficiencia operativa; su efectividad deberá comprobarse mediante su implementación y evaluación posterior

***Palabras clave*:** soplado de botellas PET; optimización de procesos; estandarización operativa; variabilidad del proceso; calidad del envase

Optimization of the PET Bottle Blow-Molding Subprocess Using Process Engineering Tools: A Case Study in the Carbonated Beverage Industry

ABSTRACT

This study aimed to analyze the polyethylene terephthalate (PET) bottle blow-molding subprocess used to produce family-size carbonated beverages at AJE Colombia. Its purpose was to design an improvement plan to reduce process variability, strengthen operational stability, and improve container quality. The research followed a quantitative, descriptive, and applied approach, with a nonexperimental, observational, and longitudinal design. Data were collected through direct observation, a review of historical production and quality records, monitoring of operational indicators, and analysis of failure and downtime reports. The results showed that process variability was associated with the lack of standardization of operating parameters, environmental conditions, and reliance on workers' empirical knowledge. These factors affected process stability and product quality. Based on the diagnosis, an improvement plan was developed to standardize operating conditions, strengthen knowledge management, and implement monitoring and control mechanisms. The proposal seeks to reduce variability and increase operational efficiency; its effectiveness should be assessed through subsequent implementation and evaluation

Keywords**:** PET bottle blow molding; process optimization; operational standardization; process variability; container quality

Recibido: 28- mayo-2026 / Aprobado: 02-septiembre-2026

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria de bebidas carbonatadas ha intensificado la búsqueda de estrategias orientadas a mejorar la eficiencia de sus procesos productivos, reducir desperdicios y garantizar la calidad de los envases utilizados para sus productos. La fabricación de botellas de tereftalato de polietileno (PET) constituye una etapa crítica debido a su influencia directa en la resistencia mecánica del envase, la continuidad de la producción y el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por el mercado (Robertson, 2016; Selke et al., 2004).

Las botellas PET se fabrican principalmente mediante el estirado-soplado de preformas. En este proceso, el material se somete a un calentamiento controlado y, posteriormente, a etapas de estiramiento, presoplado y soplado con aire a alta presión dentro de un molde que determina la geometría final del envase. En su desarrollo intervienen variables como la temperatura de calentamiento de las preformas, las presiones de presoplado y soplado, los tiempos de ciclo, las condiciones del molde y el funcionamiento de los equipos.

En las bebidas carbonatadas comercializadas en formatos familiares, la fabricación representa un desafío adicional debido al mayor volumen del producto y a las exigencias mecánicas que debe soportar el envase durante su ciclo de vida. Las variaciones del proceso pueden ocasionar deformaciones, una distribución inadecuada del material, pérdida de resistencia mecánica, fugas y otros defectos. Estas desviaciones generan productos no conformes, desperdicio de materia prima, reprocesos y tiempos improductivos.

La variabilidad es inherente a los procesos productivos; sin embargo, cuando sus causas no se identifican y controlan, puede afectar considerablemente la estabilidad y la capacidad del sistema. Montgomery (2019) señala que el análisis de las fuentes de variación permite diferenciar entre el comportamiento propio del proceso y las desviaciones asociadas con causas específicas. El control de las variables críticas y la estandarización de las condiciones operativas resultan, por tanto, necesarios para mejorar la consistencia de los resultados y reducir la generación de defectos.

En el subproceso de soplado de botellas PET analizado en AJE Colombia se presentan variaciones operativas, especialmente durante los arranques de producción y los cambios de formato. Las fluctuaciones de temperatura en el área de producción también pueden influir en el calentamiento de las preformas y modificar la respuesta del material durante el estirado y el soplado.

La experiencia del operador adquiere un papel relevante en la estabilidad del proceso, puesto que parte de los ajustes se realiza a partir del conocimiento adquirido durante la operación y de la observación de los defectos presentes en las botellas. Aunque este conocimiento empírico es valioso, su limitada sistematización dificulta la reproducción de condiciones operativas favorables, la transferencia de conocimientos y la formación del personal nuevo.

La literatura sobre gestión de procesos y mejora continua reconoce la estandarización como una herramienta para disminuir la variabilidad y conservar el conocimiento operativo. Liker (2004) plantea que los métodos de trabajo estandarizados permiten establecer prácticas consistentes y constituyen una base para la mejora continua. De manera complementaria, Pyzdek y Keller (2018) sostienen que el análisis sistemático de datos, la identificación de las causas y la documentación de las soluciones fortalecen la capacidad de las organizaciones para prevenir la repetición de fallas y mejorar el desempeño de sus procesos. En los entornos industriales, la incorporación de tecnologías digitales y sistemas de apoyo a la toma de decisiones ha ampliado las posibilidades de aplicar estos principios al seguimiento de las operaciones productivas.

Los estudios sobre la transformación de plásticos han resaltado la conveniencia de integrar el análisis de datos con estrategias de mejora continua para incrementar la estabilidad de los procesos. A pesar de estos avances, aún es necesario profundizar en su aplicación conjunta en procesos industriales reales de fabricación de envases PET, especialmente cuando las decisiones operativas dependen en gran medida de la experiencia individual del personal.

La presente investigación aborda el subproceso de soplado desde un enfoque de estandarización adaptativa, entendido como la definición de criterios y parámetros operativos que establecen condiciones de referencia y orientan los ajustes requeridos frente a las variaciones reales del proceso.

Este enfoque busca aprovechar el conocimiento técnico existente en la operación y convertirlo en información estructurada que pueda consultarse, compartirse y utilizarse para apoyar la toma de decisiones.

El estudio plantea fortalecer el control del proceso mediante estrategias de bajo costo orientadas a la gestión del conocimiento operativo. La capacitación técnica del personal, la estandarización de los criterios de ajuste y el desarrollo de una herramienta digital para registrar, analizar e identificar fallas pueden reducir la dependencia exclusiva del criterio individual y facilitar una respuesta más consistente ante las desviaciones. En el ámbito organizacional, la propuesta busca apoyar la reducción de defectos y tiempos improductivos; desde la perspectiva académica, presenta una aplicación de herramientas de ingeniería de procesos, estandarización y mejora continua en un entorno industrial real.

El objetivo de esta investigación es analizar el subproceso de soplado de botellas PET utilizadas en la producción de bebidas carbonatadas en formatos familiares en AJE Colombia mediante herramientas de ingeniería de procesos y estandarización operativa. A partir de este análisis, se propone un plan de mejora basado en la capacitación del personal y en el desarrollo de una herramienta digital de apoyo para configurar parámetros e identificar fallas, con el propósito de reducir la variabilidad del proceso, mejorar su estabilidad operativa y fortalecer la calidad del envase.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que se fundamentó en la recopilación, organización y análisis de información relacionada con el comportamiento operativo del subproceso de soplado de botellas de tereftalato de polietileno (PET). Este enfoque permitió examinar variables asociadas con las condiciones de operación, la estabilidad del proceso y la calidad de los envases utilizados para bebidas carbonatadas en formatos familiares.

El estudio fue descriptivo y aplicado. Su alcance descriptivo permitió caracterizar el funcionamiento del proceso y comprender la incidencia del subproceso de soplado en el conjunto de la línea productiva, mediante la identificación de variables críticas y factores asociados con la variabilidad y la

aparición de defectos. Su carácter aplicado respondió a la formulación de una propuesta de mejora dirigida a atender una problemática específica del entorno industrial a partir del diagnóstico realizado. Se empleó un diseño no experimental, observacional y longitudinal, debido a que las variables se analizaron en las condiciones habituales de funcionamiento del proceso, sin manipulación deliberada por parte de los investigadores. El estudio consideró información obtenida en diferentes momentos de la operación para reconocer tendencias, comportamientos recurrentes y condiciones asociadas con la aparición de desviaciones.

El estudio se llevó a cabo en el subproceso de soplado de botellas PET de AJE Colombia, destinado a la fabricación de envases para bebidas carbonatadas en formatos familiares. Esta operación constituye una etapa crítica de la línea productiva, puesto que las características adquiridas por la botella durante su fabricación influyen en su comportamiento en los procesos posteriores de llenado, almacenamiento, transporte y comercialización.

La población estuvo constituida por la información operativa y de calidad generada durante el funcionamiento del subproceso de soplado. La unidad de análisis correspondió a los registros relacionados con las variables operativas, las fallas, los tiempos improductivos y los defectos identificados en los envases. Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, condicionado por la disponibilidad y trazabilidad de los registros de producción y seguimiento del proceso.

La información se recopiló mediante la observación directa del proceso productivo, la revisión documental de los registros de producción y calidad, el seguimiento de indicadores operativos y el análisis de reportes de fallas y tiempos improductivos. Como instrumentos de apoyo se emplearon formatos de control de producción, registros del área de calidad, reportes operativos y de mantenimiento, bases de datos disponibles, hojas de verificación y herramientas digitales para organizar y analizar la información.

Las variables operativas examinadas incluyeron la temperatura de calentamiento de las preformas, las presiones de presoplado y soplado, el tiempo de ciclo y las condiciones de funcionamiento de los equipos. También se analizaron la calidad del envase, la presencia de productos defectuosos, la

frecuencia de fallas, los tiempos improductivos y la estabilidad del proceso. Se consideraron, además, las condiciones ambientales y los criterios de ajuste empleados por los operadores, debido a su posible relación con la respuesta del material y la variabilidad observada durante la producción.

El procedimiento metodológico se desarrolló en seis fases. En la primera se realizó el diagnóstico inicial y la caracterización del subproceso de soplado. Se identificaron las actividades principales, los equipos involucrados y las condiciones que podían influir en la estabilidad de la operación y en la calidad del envase.

En la segunda fase se recopiló y organizó la información disponible sobre el comportamiento del proceso. Se consideraron los registros de las condiciones de operación, las fallas, los defectos y los tiempos improductivos, junto con otros datos pertinentes para comprender las situaciones que afectaban el desempeño del subproceso.

Durante la tercera fase se analizaron las variables y los factores críticos asociados con la variabilidad del proceso. Se examinaron los comportamientos recurrentes, las condiciones presentes durante la aparición de fallas y las posibles relaciones entre los ajustes operativos y los defectos identificados en las botellas. Este análisis permitió establecer los aspectos prioritarios para formular las acciones de mejora.

En la cuarta fase se elaboraron representaciones gráficas del comportamiento del proceso y de los principales hallazgos obtenidos durante el diagnóstico. Estas herramientas se utilizaron para organizar visualmente la información, identificar tendencias y reconocer las situaciones de mayor incidencia en la operación. Los resultados se interpretaron de acuerdo con las condiciones observadas y con los fundamentos del control de la variabilidad y la mejora continua.

La quinta fase comprendió el diseño del plan de mejora, estructurado en tres componentes: capacitación técnica del personal operativo, estandarización adaptativa de los criterios de ajuste y desarrollo de una herramienta digital para registrar, consultar e identificar fallas. Estos componentes buscaron organizar el conocimiento existente en la operación y facilitar una respuesta más consistente ante las desviaciones del proceso.

La capacitación se orientó al fortalecimiento de los conocimientos sobre el funcionamiento del proceso, sus variables críticas, la identificación de defectos y los criterios técnicos para la toma de decisiones. La estandarización adaptativa se planteó como un mecanismo para establecer condiciones de referencia y orientar los ajustes requeridos frente a las variaciones observadas durante la producción. La herramienta digital se concibió como un sistema de apoyo destinado a relacionar los defectos identificados con sus posibles causas y alternativas de intervención, además de facilitar el registro y la consulta del conocimiento operativo.

En la sexta fase se evaluó el impacto potencial de la propuesta mediante el análisis de su correspondencia con los problemas identificados durante el diagnóstico. Esta evaluación permitió estimar de qué manera las acciones planteadas podrían fortalecer la estandarización, reducir la dependencia del conocimiento individual, facilitar la identificación de fallas y mejorar la capacidad de respuesta ante las desviaciones del proceso. Debido a que la propuesta no se implementó experimentalmente, esta fase no midió cambios reales en los indicadores de desempeño.

La investigación se desarrolló bajo principios de confidencialidad y uso responsable de la información suministrada por la organización. Los datos se utilizaron exclusivamente con fines académicos e investigativos y se evitó divulgar información estratégica que pudiera comprometer los intereses de la empresa.

Los criterios de inclusión comprendieron los registros relacionados directamente con el subproceso de soplado de botellas PET, la información correspondiente a los formatos familiares analizados y los datos con trazabilidad suficiente para su interpretación. Se excluyeron los registros incompletos o inconsistentes, la información perteneciente a otros procesos productivos y los datos cuyo origen o contexto operativo no pudo determinarse.

La principal limitación fue la disponibilidad de información histórica completa y homogénea para todas las variables del proceso. Debido al alcance de la investigación, la evaluación de las acciones propuestas se concentró en su pertinencia técnica y en su impacto potencial frente a los problemas diagnosticados. Por esta razón, los resultados no representan una validación experimental de la

reducción de defectos, sino un fundamento técnico para la posterior implementación, seguimiento y evaluación de las mejoras planteadas.

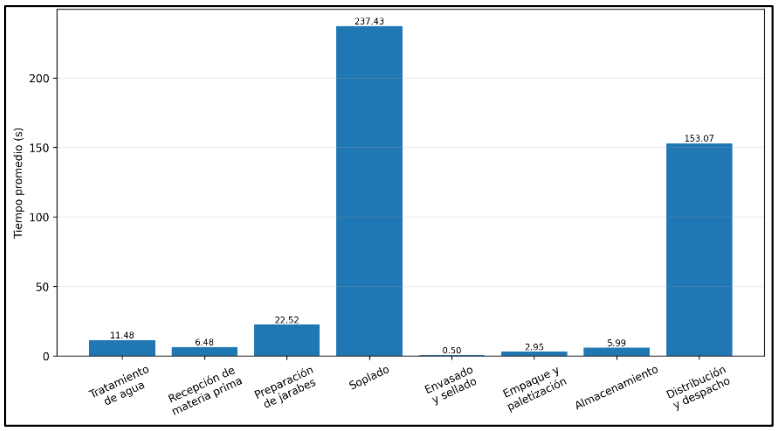
RESULTADOS

El análisis de los datos permitió caracterizar el comportamiento operativo del subproceso de soplado e identificar las principales fuentes de variabilidad relacionadas con la estabilidad del proceso y la calidad de las botellas PET. Los resultados se presentan de manera secuencial: primero se examinan los tiempos de operación; luego, la capacidad y estabilidad del proceso y los defectos predominantes; por último, se expone la propuesta de mejora formulada a partir del diagnóstico.

Comportamiento operativo del proceso

La caracterización inicial permitió analizar el flujo general de producción e identificar los subprocesos con mayor incidencia en el desempeño de la línea. El estudio de los tiempos de operación mostró que el soplado constituye uno de los puntos críticos del sistema productivo, debido a la duración de sus ciclos y a la dispersión observada entre los registros.

Figura 1. Tiempo promedio de los subprocesos de la línea de producción

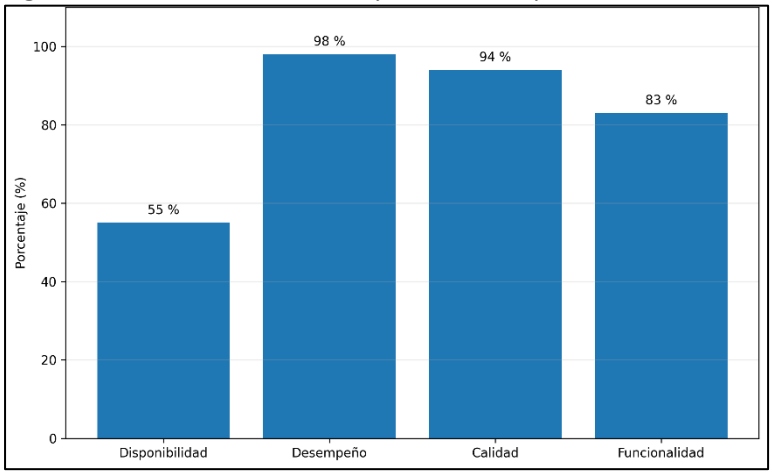


Fuente: elaboración propia a partir de los datos del proceso.

El tiempo promedio registrado fue de 237,43 segundos, con una desviación estándar de 29,99 segundos. Los valores oscilaron entre aproximadamente 104 segundos y más de 260 segundos, lo que muestra diferencias considerables entre los ciclos de operación. La mayor concentración de observaciones se ubicó en los intervalos comprendidos entre 206 y 274 segundos, mientras que los ciclos correspondientes a los rangos inferiores presentaron una menor frecuencia.

La dispersión de los tiempos indica que el subproceso de soplado no mantuvo un comportamiento uniforme bajo las condiciones evaluadas. Esta variabilidad podría relacionarse con la interacción de diversos factores, como los ajustes efectuados durante los arranques de producción, los cambios de formato, las variaciones en la temperatura de las preformas y las decisiones adoptadas por los operadores para estabilizar el proceso. Los datos muestran, por tanto, oportunidades para fortalecer la estandarización operativa y reducir la influencia de factores no controlados en el desempeño del sistema productivo. El tiempo de ciclo es uno de los principales indicadores de desempeño del subproceso de soplado, pues se relaciona con la productividad de la línea, el consumo energético y la continuidad de las operaciones posteriores. La variabilidad identificada no representa únicamente una diferencia entre los registros de producción, sino una condición que podría afectar la eficiencia general del proceso y la calidad final del envase. Los resultados son coherentes con lo planteado por Montgomery (2019), quien señala que una dispersión elevada en los procesos productivos puede estar asociada con fuentes de variación que afectan la estabilidad del sistema. Los datos respaldan la necesidad de implementar mecanismos de seguimiento y criterios estandarizados de ajuste para disminuir la variabilidad operativa y mejorar el comportamiento del proceso frente a las exigencias de producción. La variabilidad observada constituye, por tanto, una condición prioritaria de intervención. Su reducción podría favorecer la estabilidad operativa, la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

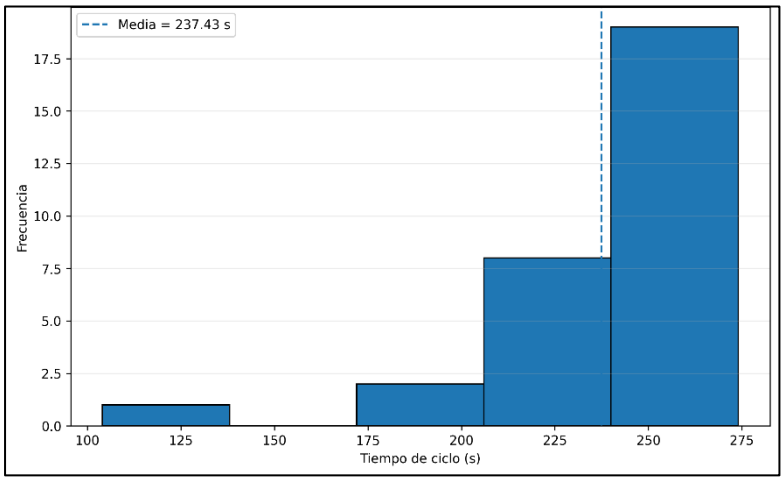
Figura 2. Indicadores de desempeño de la sopladora.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del proceso.

Los indicadores de desempeño muestran diferencias entre los distintos momentos de operación de la sopladora, lo que confirma la presencia de variaciones en el proceso. Los datos disponibles no permiten determinar por sí solos si estas diferencias corresponden al comportamiento habitual del sistema o a causas específicas. No obstante, sugieren la posible influencia de factores operativos relacionados con los cambios de formato, las condiciones de arranque y las decisiones tomadas durante la producción. El seguimiento continuo de estos indicadores permitiría detectar desviaciones y orientar acciones de mejora sustentadas en los registros del proceso.

Figura 3. Distribución de los tiempos de ciclo del subproceso de soplado.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del proceso.

La amplitud entre los valores mínimos y máximos muestra que el proceso no presentó un comportamiento uniforme. Esta variabilidad podría relacionarse con diferentes condiciones de operación, entre ellas los ajustes efectuados durante los arranques y cambios de formato, la configuración de los parámetros de la máquina, las condiciones ambientales y las decisiones adoptadas por los operadores ante las desviaciones observadas.

Este resultado coincide con lo planteado por Montgomery (2019), quien sostiene que la variabilidad es inherente a los procesos productivos, aunque una dispersión elevada requiere examinar sus posibles fuentes antes de atribuirla a causas específicas. En el caso analizado, las diferencias entre los tiempos de operación muestran la necesidad de fortalecer los mecanismos de seguimiento y establecer criterios de ajuste que permitan responder de manera más consistente ante las variaciones del proceso. La observación de la operación también permitió identificar una marcada dependencia

del conocimiento adquirido por los operadores. Parte de los ajustes necesarios para estabilizar el proceso se realiza a partir de la experiencia individual y de la interpretación de los defectos observados en las botellas. Aunque este conocimiento constituye un recurso técnico valioso, su limitada sistematización puede generar diferencias entre turnos y dificultar la reproducción de condiciones favorables de operación.

El hallazgo coincide con los principios de estandarización planteados por Liker (2004), según los cuales la documentación de los métodos de trabajo contribuye a reducir las diferencias en la ejecución de las actividades y facilita la transferencia del conocimiento. La variabilidad identificada no debe interpretarse exclusivamente como un problema de la maquinaria, sino como una condición relacionada con la interacción entre los aspectos técnicos del proceso, el entorno operativo y los criterios empleados para tomar decisiones durante la producción.

Capacidad y estabilidad del proceso

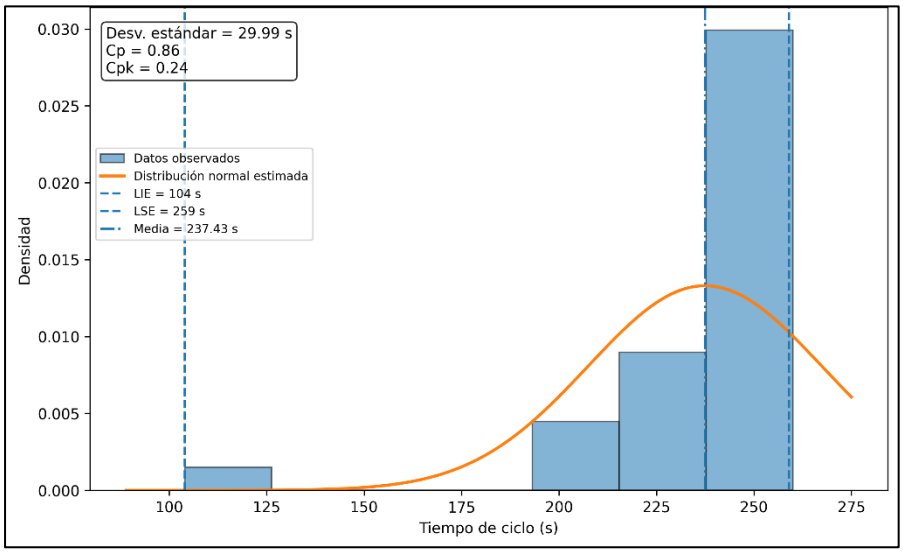
El análisis de capacidad permitió evaluar el comportamiento del proceso frente a los límites de referencia empleados en el estudio. Los resultados mostraron una media de 237,43 segundos y una desviación estándar de 29,99 segundos. Con un límite inferior de referencia de 104 segundos (LIE) y un límite superior de 259 segundos (LSE), se obtuvo un índice de capacidad potencial Cp de 0,86 y un índice de capacidad real Cpk de 0,24.

El valor de Cp = 0,86 indica que la dispersión del proceso supera el intervalo considerado deseable frente a los límites utilizados. A su vez, el valor de Cpk = 0,24 muestra que la media se encuentra desplazada hacia el límite superior. En conjunto, ambos indicadores señalan que el proceso no presenta capacidad suficiente para operar de manera consistente bajo las condiciones y los límites de referencia analizados.

La diferencia entre Cp y Cpk constituye uno de los principales hallazgos del estudio. El comportamiento identificado combina una dispersión superior a la deseable con un marcado descentrado del proceso. Por esta razón, las acciones de mejora no deberían limitarse a reducir los tiempos de ciclo, sino que

tendrían que orientarse a controlar la variabilidad y mantener el proceso alrededor de un valor de referencia estable.

Figura 4. Análisis de capacidad del subproceso de soplado.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del proceso.

Desde la perspectiva del control estadístico de procesos, los resultados respaldan la necesidad de examinar y controlar las fuentes de variación antes de establecer nuevos objetivos de desempeño. Montgomery (2019) señala que la capacidad potencial y el desempeño real pueden diferir cuando un proceso se encuentra descentrado o afectado por fuentes de variación no controladas. Esta situación se observa en la diferencia registrada entre Cp y Cpk.

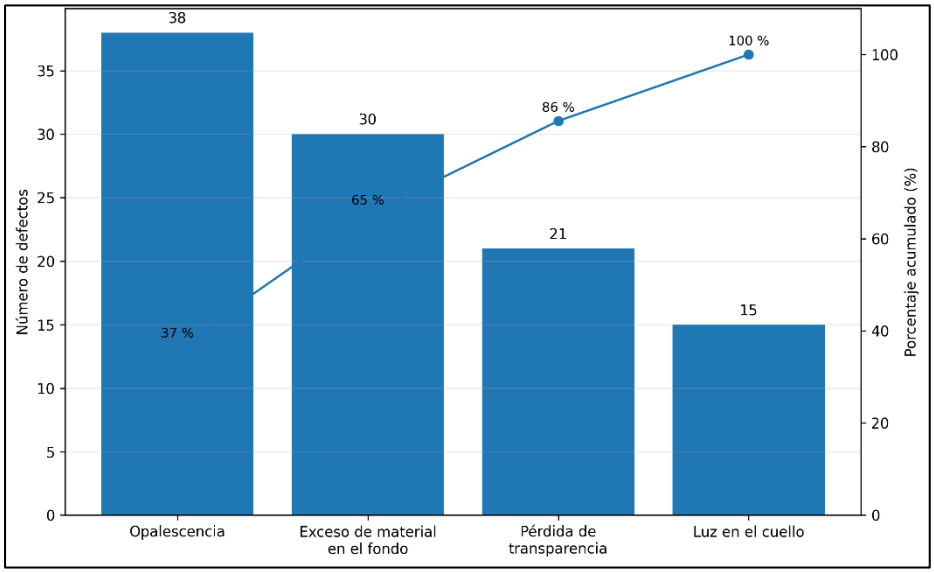
En términos operativos, la estabilización requiere fortalecer el seguimiento de variables como la temperatura de calentamiento, las presiones de presoplado y soplado y los tiempos de operación. Los hallazgos también indican que el control técnico debe complementarse con mecanismos de estandarización que orienten la respuesta de los operadores frente a los cambios en las condiciones del proceso.

El incremento de la capacidad requiere intervenir las posibles fuentes de variación de manera conjunta, en lugar de efectuar ajustes aislados en los parámetros de operación. Este resultado respalda la estrategia planteada en la investigación, basada en la integración de criterios técnicos, estandarización adaptativa y gestión del conocimiento operativo.

Análisis de los defectos de calidad

El análisis de los registros de calidad permitió identificar 104 defectos distribuidos entre los tres turnos de producción. La opalescencia presentó la mayor incidencia, con 38 registros, equivalentes al 36,5 % del total. En segundo lugar se ubicó el exceso de material en el fondo, con 30 casos, correspondientes al 28,8 %. La pérdida de transparencia representó aproximadamente el 20 %, mientras que la presencia de luz en el cuello concentró cerca del 14 % restante.

Figura 5. Diagrama de Pareto de los defectos de calidad.



Fuente: elaboración propia.

La opalescencia y el exceso de material en el fondo concentraron conjuntamente el 65,4 % de los defectos registrados. Este resultado permite priorizar ambas categorías en las acciones de mejora, debido a que su intervención tendría el mayor impacto potencial en la reducción de productos no conformes.

La concentración de los defectos en pocas categorías es coherente con el principio de priorización del análisis de Pareto. En lugar de intervenir simultáneamente todas las desviaciones posibles, los resultados permiten dirigir los esfuerzos hacia los defectos de mayor frecuencia y examinar las condiciones operativas relacionadas con su aparición.

Desde el punto de vista técnico, la opalescencia puede estar relacionada con el comportamiento térmico del material durante el calentamiento y la deformación de la preforma. El exceso de material en el fondo, por su parte, podría asociarse con la distribución del material durante las etapas de

estiramiento y soplado. Estas posibles relaciones muestran la conveniencia de controlar la interacción entre la temperatura, la presión y las condiciones de estirado, aunque los datos analizados no permiten establecer por sí solos relaciones causales.

Selke et al. (2004) señalan que la distribución del material en las botellas PET depende de la interacción adecuada entre las condiciones térmicas y mecánicas del proceso. De manera similar, Thielen (2018) destaca la sensibilidad de los procesos de transformación de plásticos ante pequeñas variaciones de los parámetros operativos. Los resultados son consistentes con estos planteamientos, ya que los defectos predominantes afectan características que pueden estar relacionadas con la distribución térmica y mecánica del material.

El análisis también mostró diferencias en el número de defectos registrado en cada turno: 33 casos en el primero, 40 en el segundo y 31 en el tercero. Estas frecuencias no permiten establecer una relación causal con el desempeño de los operadores ni comparar directamente los turnos sin considerar sus respectivos volúmenes de producción. Sin embargo, justifican profundizar en el análisis de las condiciones presentes en cada jornada. Variables como la temperatura ambiente, los formatos producidos, las condiciones de arranque, los ajustes efectuados, la experiencia del personal y la cantidad de unidades fabricadas deberían formar parte de los sistemas de registro para facilitar la identificación de patrones.

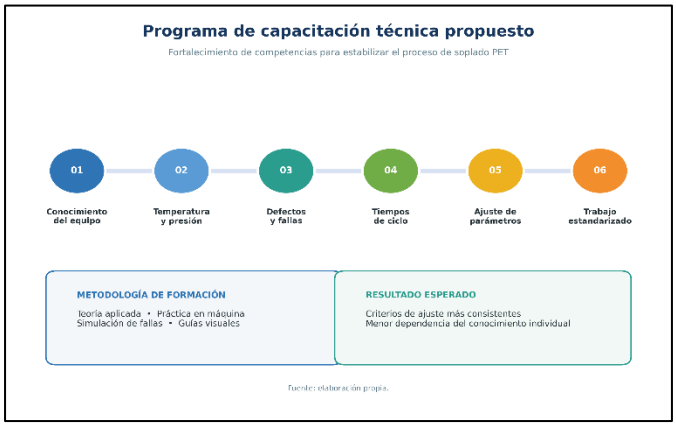
Propuesta de mejora derivada del diagnóstico

Los resultados del diagnóstico mostraron que la problemática del subproceso no puede abordarse únicamente mediante la modificación de un parámetro de la máquina. La dispersión de los tiempos, la concentración de los defectos, las mermas y la dependencia del conocimiento empírico indican la necesidad de una intervención integral que articule el control técnico con la gestión del conocimiento operativo.

A partir de estos hallazgos, se diseñó un plan de mejora estructurado en tres componentes: capacitación técnica del personal, estandarización adaptativa de los criterios de operación y desarrollo de una herramienta digital para el registro y análisis de fallas.

El primer componente corresponde a la capacitación del personal operativo. La propuesta busca fortalecer los conocimientos relacionados con el funcionamiento de la sopladora, las variables críticas, la interpretación de los defectos y la respuesta ante desviaciones frecuentes. Se plantea combinar contenidos teóricos con actividades prácticas en la máquina y ejercicios de análisis de fallas, de modo que el aprendizaje se relacione directamente con las situaciones observadas durante la producción.

Figura 6. Programa de capacitación técnica propuesto.



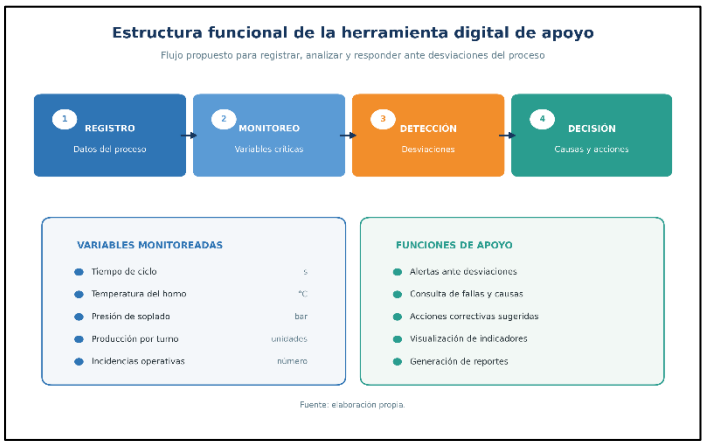
Fuente: elaboración propia.

El segundo componente corresponde a la estandarización adaptativa. A diferencia de un sistema basado exclusivamente en valores fijos, la propuesta busca establecer parámetros de referencia y criterios técnicos que orienten los ajustes cuando cambien las condiciones de operación. Esta estrategia responde a la sensibilidad del proceso frente a las variables del entorno y a las diferencias entre los formatos de producción.

La propuesta contempla actualizar los manuales, instructivos y guías visuales, además de documentar las relaciones identificadas entre los defectos, sus posibles causas y las acciones de intervención. De esta manera, el conocimiento acumulado por los operadores podría convertirse en un recurso organizacional disponible para los diferentes turnos y para la formación del personal nuevo.

El tercer componente consiste en una herramienta digital de apoyo al proceso. Su función sería registrar los tiempos de ciclo, los parámetros de operación, las incidencias y los defectos observados, además de facilitar la consulta de posibles causas y acciones recomendadas. La herramienta no pretende sustituir el conocimiento técnico del operador, sino organizar la información y respaldar la toma de decisiones.

Figura 7. Estructura funcional de la herramienta digital de apoyo.



Fuente: elaboración propia.

Las variables previstas para el seguimiento incluyen el tiempo de ciclo, la temperatura del horno, la presión de soplado, la producción por turno y las incidencias operativas. La integración de estos datos permitiría construir una base histórica para analizar patrones y evaluar posteriormente la efectividad de las acciones implementadas.

La propuesta coincide con el enfoque de Pyzdek y Keller (2018), quienes destacan la importancia de combinar el análisis de datos, la identificación de causas y la estandarización para mejorar los procesos. También se relaciona con el planteamiento de Liker (2004) sobre la necesidad de conservar y transferir el conocimiento mediante prácticas de trabajo documentadas.

La contribución del estudio consiste en formular una respuesta al problema de variabilidad que no se limita a una inversión tecnológica ni a la modificación aislada de los parámetros de la máquina. El enfoque integra las condiciones técnicas del proceso, el conocimiento del personal y el uso de información para respaldar las decisiones operativas. Esta articulación resulta pertinente en entornos industriales donde las condiciones de operación pueden cambiar y parte del conocimiento técnico permanece concentrado en la experiencia individual.

Evaluación del impacto potencial de la propuesta

Como ejercicio de estimación, se planteó un escenario en el que el tiempo promedio de ciclo podría pasar de aproximadamente 237 a 210 segundos. Esta diferencia representa una reducción potencial cercana al 11,4 %. El resultado corresponde a una proyección del impacto esperado y no a una

disminución comprobada mediante la implementación experimental de la propuesta. Por esta razón, debe interpretarse como una referencia para establecer metas de seguimiento y no como evidencia de la efectividad de las acciones planteadas.

Esta precisión delimita el alcance de los resultados y establece una base para una futura etapa de implementación y validación experimental.

En conjunto, los hallazgos muestran que el subproceso presenta oportunidades de mejora relacionadas con el control de las variables operativas y con la forma en que el conocimiento se documenta y utiliza durante la producción. La combinación de capacitación, estandarización adaptativa y apoyo digital constituye una propuesta técnicamente coherente con el diagnóstico. Su efectividad deberá comprobarse mediante una fase posterior de implementación y seguimiento que permita medir el impacto real en la estabilidad del proceso, los tiempos de ciclo y la calidad del envase.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la variabilidad del subproceso de soplado constituye una de las principales condiciones que limitan su estabilidad operativa y pueden afectar la calidad de las botellas PET. La dispersión de los tiempos de ciclo, junto con los índices de capacidad obtenidos (Cp = 0,86 y Cpk = 0,24), indica que el proceso presenta dificultades para cumplir de manera consistente los límites de referencia empleados en el análisis. Estos hallazgos coinciden con lo expuesto por Montgomery (2019), quien señala que un proceso con elevada variabilidad y bajos índices de capacidad requiere identificar y controlar sus fuentes de variación antes de aplicar mejoras orientadas únicamente a incrementar la productividad.

El análisis indica que la variabilidad observada no se relaciona exclusivamente con el funcionamiento de la maquinaria. Los ajustes efectuados por los operadores, las condiciones ambientales, los cambios de formato y la limitada documentación del conocimiento operativo también pueden intervenir en el comportamiento del proceso. Este resultado concuerda con Liker (2004), quien sostiene que la estandarización del trabajo reduce las diferencias en la ejecución de las actividades y facilita la transferencia del conocimiento dentro de la organización.

La diferencia entre los índices Cp y Cpk muestra que el proceso combina una dispersión superior a la deseable con un desplazamiento de la media hacia el límite superior de referencia. Esta condición sugiere que las acciones de mejora no deben enfocarse únicamente en disminuir los tiempos de ciclo, sino también en reducir su variabilidad y mantener condiciones de operación estables. El seguimiento de la temperatura de calentamiento de las preformas, las presiones de presoplado y soplado y los tiempos de operación resulta necesario para mejorar el comportamiento del proceso. Sin embargo, la confirmación de un estado de control estadístico requeriría aplicar y analizar gráficas de control en una fase posterior.

El análisis de Pareto mostró que la opalescencia y el exceso de material en el fondo concentraron el 65,4 % de los defectos registrados. Este resultado confirma la utilidad de esta herramienta para priorizar las categorías con mayor incidencia en la calidad del producto. Ambos defectos pueden relacionarse con la distribución térmica y mecánica del material durante su transformación. Selke et al. (2004) y Thielen (2018) señalan que las variaciones en los parámetros de procesamiento pueden alterar la distribución del material y la calidad final de los envases PET. Aunque los hallazgos son consistentes con estos planteamientos, los datos analizados no permiten atribuir causalidad directa a un parámetro específico.

Otro hallazgo fue la dependencia del conocimiento adquirido por los operadores para ajustar y estabilizar el proceso. La falta de documentación formal puede generar diferencias en los criterios aplicados entre los turnos y dificultar la reproducción de condiciones favorables de operación. La gestión del conocimiento representa, por ello, un componente pertinente de la propuesta, pues busca convertir parte del conocimiento tácito en información documentada mediante procedimientos estandarizados, guías técnicas y herramientas de apoyo para la toma de decisiones.

La investigación propone un enfoque que combina capacitación técnica, estandarización adaptativa y una herramienta digital para registrar y analizar información operativa. Esta integración es coherente con el planteamiento de Pyzdek y Keller (2018), quienes relacionan la mejora sostenida de los procesos con el análisis de datos, la estandarización y el desarrollo de las competencias del personal. La

propuesta reconoce que la modificación aislada de los parámetros de la máquina puede resultar insuficiente cuando la operación también depende de las condiciones del entorno y de los criterios utilizados por los trabajadores.

La posible reducción del tiempo promedio de ciclo de aproximadamente 237 a 210 segundos corresponde a una estimación derivada del análisis y no a un resultado comprobado mediante una implementación experimental. Por tanto, no puede afirmarse que el plan produzca una mejora del 11,4 % hasta que se aplique y se comparen los indicadores antes y después de la intervención bajo condiciones equivalentes de producción. Esta limitación delimita el alcance de los hallazgos y plantea la necesidad de una fase posterior de implementación, seguimiento y evaluación.

La contribución del trabajo consiste en mostrar que la optimización del subproceso de soplado de botellas PET requiere articular herramientas de ingeniería de procesos, análisis estadístico, estandarización operativa y gestión del conocimiento. La propuesta busca reducir la variabilidad, mejorar la calidad del producto y fortalecer la respuesta de la organización ante los cambios en las condiciones productivas. Debido a que el estudio corresponde a un caso específico y la propuesta aún no ha sido implementada, sus resultados no pueden generalizarse directamente a todas las empresas del sector. No obstante, ofrecen un referente para organizaciones que emplean procesos de soplado de envases PET y enfrentan problemas semejantes de estabilidad operativa, eficiencia productiva y documentación del conocimiento técnico.

CONCLUSIONES

La investigación permitió establecer que la variabilidad del subproceso de soplado de botellas PET constituye una de las principales condiciones que afectan su estabilidad operativa y la calidad del envase. Las diferencias observadas en los tiempos de ciclo y en el comportamiento del proceso confirman la necesidad de fortalecer el seguimiento de las variables críticas e identificar sus fuentes de variación.

El análisis de capacidad mostró que el proceso no opera en condiciones óptimas de desempeño, debido a la combinación de una dispersión elevada y un desplazamiento respecto de los límites de

referencia utilizados. Las acciones de mejora deben orientarse principalmente a reducir la variabilidad y estabilizar el proceso, en lugar de concentrarse únicamente en disminuir el tiempo de ciclo.

Los defectos de mayor incidencia fueron la opalescencia y el exceso de material en el fondo, que concentraron el 65,4 % de los registros analizados. Este hallazgo ofrece un criterio técnico para priorizar futuras acciones de mejora y dirigir los esfuerzos hacia las categorías con mayor impacto potencial en la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

El estudio muestra que la optimización del subproceso de soplado requiere integrar el conocimiento técnico con estrategias de estandarización adaptativa y gestión del conocimiento operativo. Este enfoque permite superar las intervenciones centradas exclusivamente en el ajuste aislado de los parámetros de operación.

La herramienta digital propuesta constituye un mecanismo de apoyo para registrar sistemáticamente los parámetros operativos, los defectos y las incidencias del proceso. Su implementación permitiría consolidar una base de conocimiento para analizar tendencias, identificar patrones y respaldar la toma de decisiones con información histórica.

Aunque la propuesta presenta coherencia técnica con los resultados del diagnóstico, su efecto en la reducción de defectos, la estabilidad operativa y la capacidad del proceso deberá validarse mediante una fase posterior de implementación y seguimiento. Esta evaluación deberá comparar los indicadores de desempeño antes y después de la intervención bajo condiciones equivalentes de producción.

Agradecimientos

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, fuente de sabiduría y perseverancia, cuya presencia nos acompañó durante cada etapa de esta investigación.

Expresamos también nuestro profundo agradecimiento a nuestras familias por su apoyo y comprensión. Su acompañamiento fue esencial para afrontar los desafíos surgidos durante el desarrollo del trabajo.

Extendemos un reconocimiento especial a nuestros colegas Yefferson Tenorio Rodríguez y Julián Antonio Sánchez por su valioso apoyo y contribución al cumplimiento de los objetivos de la investigación. Agradecemos igualmente a la Universidad INCCA de Colombia y al semillero de investigación CICMA de la Facultad de Ingeniería Industrial por promover una educación de calidad y respaldar la construcción de conocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Liker, J. K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.

Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control (8th ed.). Wiley.

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2018). The Six Sigma handbook (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Robertson, G. L. (2016). Food packaging: Principles and practice (3rd ed.). CRC Press.

Selke, S. E. M., Culter, J. D., & Hernández, R. J. (2004). Plastics packaging: Properties, processing, applications, and regulations. Hanser Publishers.

Thielen, M. (2018). Plastics processing: Fundamentals and applications. Hanser Publishers.

Bubeck, R., & Barger, M. (2000). Injection blow molding technology for polyethylene terephthalate. International Polymer Processing.

García, J. (2018). Optimización del proceso de soplado de botellas PET mediante el análisis de parámetros de operación [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].

Liker, J. K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.

López, D. (2021). Aplicación de herramientas de mejora continua en el proceso de soplado de envases plásticos [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].

Martínez, L. (2019). Análisis de la variabilidad del proceso de soplado de envases PET mediante control estadístico de procesos [Tesis de pregrado, Universidad del Valle].

Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control (8th ed.). Wiley.

Pérez, A. (2022). Análisis del proceso de producción de envases PET y su impacto en la eficiencia de la línea de envasado [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira].

Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). The Six Sigma handbook (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Robertson, G. L. (2016). Food packaging: Principles and practice (3rd ed.). CRC Press.

Rodríguez, M. (2020). Mejora del proceso de fabricación de botellas PET mediante herramientas de mejora continua [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid].

Selke, S., Cutler, J. D., & Hernández, R. (2004). Plastics packaging: Properties, processing, applications, and regulations. Hanser Publishers.

Soroka, W. (2014). Fundamentals of packaging technology (5th ed.). Institute of Packaging Professionals.

Thielen, M. (2018). Plastics processing: Fundamentals and applications. Hanser Publishers.