Diseño de una hoja de ruta integral para la implementación del sistema de Control Estadístico de Procesos (SPC) en la máquina Triplex de Amcor Flexibles

Integrantes:

María Fernanda Gonzáles Cruz

Néstor Freddy Ramos Rodríguez

Ronald Alexander Vidales Valencia

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Industrial

Director (a):

Figueroa Hernández Diana Paola

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Proyecto de Integración

Bogotá D.C., Colombia

08 de marzo del 2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C., 08 de marzo 2

Dedicatoria

Esta dedicatoria es a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental en cada etapa de nuestra formación, por el apoyo incondicional, comprensión y motivación constante para continuar avanzando en el camino del conocimiento.

A mis docentes y mentores académicos, quienes con su orientación, exigencia y compromiso con la excelencia ha contribuido significativamente a mi desarrollo profesional y al fortalecimiento del pensamiento crítico.

Finalmente, dedico este trabajo al crecimiento del conocimiento aplicado en la ingeniería y a la mejora continua de los procesos industriales, esperando que los aportes realizados en esta investigación contribuyan al fortalecimiento de la gestión de calidad y la toma de decisiones basada en datos dentro de los entornos productivos.

Agradecimientos

De manera especial, se agradece a la docente Diana Paola Figueroa Hernández, por su orientación académica, acompañamiento permanente y valiosos aportes durante el desarrollo del proyecto, los cuáles contribuyeron al fortalecimiento del enfoque investigativo y al rigor del trabajo realizado.

Asimismo, un agradecimiento a la organización Amcor Flexibles, por permitir la facilidad del acceso al contexto industrial que permitió analizar de manera aplicada las condiciones para la implementación del Control Estadístico de Procesos en la línea de laminación Triplex, aportando un escenario real para el desarrollo de este estudio.

Finalmente, se reconoce el apoyo de todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron al desarrollo de este trabajo, brindando su conocimiento, tiempo y motivación durante el proceso de investigación y formación académica.

Resumen

El Control Estadístico de Procesos (SPC) permite monitorear la variabilidad de los procesos productivos y apoyar decisiones con base en datos. En entornos industriales, su aplicación no depende únicamente de contar con un software especializado; también requiere que las variables estén bien definidas, que las fuentes de información sean confiables y que existan condiciones técnicas, económicas y organizacionales para sostener el sistema. En Amcor Flexibles, la máquina Triplex cuenta con una oportunidad inicial porque la empresa dispone de una licencia de InfinityQS ProFicient; sin embargo, todavía se requiere una ruta clara que oriente su uso operativo en el proceso de laminación.

El objetivo de esta investigación fue diseñar una hoja de ruta integral para orientar la futura implementación del sistema SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles. Para ello se identificaron y analizaron los lineamientos técnicos, tecnológicos, económicos y organizacionales que deben considerarse antes de iniciar un piloto. El estudio se desarrolló con enfoque mixto, de tipo aplicado, diseño no experimental, corte transversal y alcance descriptivo, bajo la estrategia de estudio de caso.

La metodología integró la revisión de literatura científica, el análisis de antecedentes internos del proyecto SPC, la revisión de módulos y documentación técnica relacionada con la máquina Triplex, y una revisión funcional preliminar del manual de ProFicient. Esta revisión no incluyó configuración directa ni prueba del software en operación. La información se organizó mediante matrices de revisión documental, levantamiento y clasificación de variables, compatibilidad tecnológica y análisis costo-beneficio; además, se incorporaron criterios de impacto y esfuerzo dentro de la matriz de variables y del análisis económico.

Los resultados evidenciaron que en Triplex coexisten variables visibles en HMI o asociadas al sistema de control con otras que aún dependen de registros manuales, fuentes externas o validaciones posteriores. También se identificó la necesidad de confirmar señales, conectividad, estructura de datos y compatibilidad funcional antes de conectar el proceso al SPC. A partir de estos hallazgos se diseñó un prototipo de hoja de ruta por fases, orientado a una implementación piloto en Triplex y con posibilidad de escalabilidad hacia otras áreas de la planta. Se concluye que la viabilidad del proyecto depende de articular infraestructura tecnológica, disponibilidad de datos, capacitación, roles definidos y criterios económicos que permitan avanzar de manera gradual.

Palabras clave: Control estadístico de procesos; Implementación SPC; variables críticas; compatibilidad tecnológica; mejora continua.

Abstract

Statistical Process Control (SPC) supports the monitoring of process variability and data-based decision-making in manufacturing environments. In real industrial settings, its application does not depend only on having specialized software; it also requires well-defined variables, reliable information sources, and technical, economic, and organizational conditions that allow the system to operate over time. At Amcor Flexibles, the Triplex machine represents an initial opportunity because the company already has an InfinityQS ProFicient license. However, a clear roadmap is still required to guide its operational use in the lamination process.

The objective of this research was to design an integral roadmap to guide the future implementation of the SPC system in the Triplex machine at Amcor Flexibles. To achieve this, the technical, technological, economic, and organizational guidelines that should be considered before starting a pilot implementation were identified and analyzed. The study followed a mixed, applied approach, with a non-experimental, cross-sectional design and descriptive scope, using a case study strategy.

The methodology included a review of scientific literature, an analysis of internal background information related to the SPC project, a review of modules and technical documentation associated with the Triplex machine, and a preliminary functional review of ProFicient requirements based on its manual. This review did not include direct configuration or operational testing of the software. Data were organized through documentary review matrices, variable identification and classification matrices, technological compatibility matrices, and cost-benefit analysis matrices. Impact and effort criteria were also incorporated into the variable matrix and the economic analysis.

The results showed that, in the Triplex machine, some variables are visible on the HMI or associated with the control system, while others still depend on manual records, external sources, or later validations. The findings also showed the need to confirm signals, connectivity, data structure, and functional compatibility before connecting the process to the SPC system. Based on these findings, a phased roadmap prototype was designed to support a pilot implementation in Triplex, with potential scalability to other plant áreas. The study concludes that feasibility

depends on linking technological infrastructure, data availability, training, defined roles, and economic criteria that support gradual implementation.

Keywords: Statistical Process Control; SPC implementation; critical variables; technological compatibility; continuous improvement.

Introducción

El Control Estadístico de Procesos (SPC) es una herramienta utilizada para observar el comportamiento de un proceso, reconocer variaciones y tomar decisiones con base en evidencia. En manufactura, su utilidad se relaciona con la posibilidad de diferenciar causas comunes y causas especiales de variación, así como con el uso de cartas de control, histogramas, diagramas de Pareto, análisis de capacidad e índices como Cp y Cpk. Estas herramientas ayudan a evaluar la estabilidad del proceso y su capacidad para cumplir especificaciones, especialmente cuando la variabilidad tiene efecto directo sobre la calidad del producto (Inda Cunningham, 2007; Mendoza Martínez & Nuño de la Parra, 2013; Shehata et al., 2018).

No obstante, la implementación del SPC en planta no se resuelve solamente con instalar un software o generar gráficos de control. La literatura revisada muestra que también se requieren datos confiables, criterios de reacción, capacitación, apoyo organizacional y una forma clara de integrar el análisis estadístico a la rutina operativa. Kanan et al. (2023) señalan factores como la toma de decisiones, las auditorías, la revisión del proceso, la cultura estadística y las barreras organizacionales. De manera complementaria, Torres-Bermúdez et al. (2024) relacionan el SPC con el ciclo PDCA, resaltando la importancia de estandarizar acciones correctivas y sostener la mejora continua.

Los antecedentes de aplicación permiten entender que el SPC puede aportar a la reducción de defectos, la estabilidad operativa y la mejora del desempeño productivo. Shehata et al. (2018) evidencian el uso de herramientas como gráficos de control, Pareto, Ishikawa e índices de capacidad para identificar causas de defectos y orientar acciones de mejora. Bottani et al. (2021) resaltan la necesidad de validar el sistema de medición y analizar la capacidad antes de tomar decisiones basadas en datos. Por su parte, Pingale y Altay (2025) muestran beneficios productivos y económicos al aplicar SPC y DMAIC en procesos roll-to-roll, un tipo de operación cercana a procesos continuos como impresión, recubrimiento y laminación en empaques flexibles.

En este proyecto, un aspecto central es la integración tecnológica de los datos. Para que el SPC funcione como herramienta preventiva, las variables críticas deben poder capturarse, consultarse, organizarse y relacionarse con el producto y el proceso. Škulj et al. (2013) destacan que la captura, análisis y visualización de datos desde sistemas industriales es fundamental para usar SPC en planta. En el caso de ProFicient, el manual indica que el software trabaja con una estructura basada en Part, Process y Test, y requiere configuraciones de entrada, tamaños de muestra, descriptores, límites, alarmas y opciones de análisis (InfinityQS International, Inc., 2019). Por esta razón, en Triplex no basta con que una variable sea visible en HMI o PLC; también debe confirmarse si puede asociarse a una fuente de datos, una frecuencia de captura, una trazabilidad y una estructura compatible con el sistema SPC.

En Amcor Flexibles AFLA Cali existen antecedentes internos relacionados con el proyecto SPC. Estos documentos evidencian la necesidad de integrar información de proceso y calidad, mejorar la trazabilidad, reducir no conformidades y aprovechar el software InfinityQS ProFicient. (Amcor Flexibles AFLA-Cali, 2020a; Amcor Flexibles AFLA-Cali, 2020b; Amcor Flexibles AFLA-Cali, 2022/2025; Amcor Flexibles AFLA-Cali, 2025). En la máquina Triplex, además, las variables de proceso y producto presentan distintos niveles de disponibilidad digital, criticidad y posibilidad de integración.

A partir de esta situación, se plantea la necesidad de diseñar una hoja de ruta integral que organice los lineamientos técnicos, económicos y organizacionales requeridos para una futura implementación del SPC en la máquina Triplex. En consecuencia, la pregunta que orienta el estudio es: ¿Cuáles son los lineamientos técnicos, económicos y organizacionales orientados a diseñar una hoja de ruta integral y viable que permita la implementación del sistema SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles?

En coherencia con esta pregunta, el objetivo general consiste en diseñar una hoja de ruta integral para la implementación del sistema SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles, a partir de la identificación y análisis de los lineamientos técnicos, económicos y organizacionales necesarios. Para alcanzarlo, se definieron los siguientes objetivos específicos: diagnosticar el estado actual del control estadístico del proceso en Triplex; identificar los requerimientos técnicos para integrar el SPC con la infraestructura existente; determinar la compatibilidad tecnológica de equipos, sistemas de control y protocolos de comunicación; analizar los costos y beneficios asociados; y entregar un prototipo de hoja de ruta que oriente una implementación piloto con posibilidad de continuidad hacia otras áreas de la planta.

El supuesto de trabajo plantea que una hoja de ruta integral, construida a partir del diagnóstico, la priorización de variables, la validación tecnológica y el análisis económico-organizacional, puede reducir la incertidumbre técnica y orientar de manera más ordenada una futura implementación piloto del SPC en la máquina Triplex.

Marco teórico

En las empresas manufactureras, la calidad no puede verse solo como el resultado de una inspección final. Es la consecuencia de que, a lo largo del proceso, se actúe de manera estable y controlada desde el inicio. Desde esta perspectiva, el control estadístico de procesos (SPC) O CEP en español) se convierte en una herramienta importante, ya que permite monitorear la variabilidad, detectar desviaciones y actuar a tiempo para evitar que aparezcan productos no conformes en algún momento del proceso, en términos generales el control estadístico de proceso (SPC) permite a partir de herramientas estadísticas recoger y analizar e interpretar datos del proceso con el objetivo de lograr que el proceso sea más estable y con ello reducir la variación. Esta visión compartida tanto por actores clásicos como por estudios recientes coincide en que el SPC no solo es una técnica de medición, sino una herramienta gestión para la calidad y productividad.

un elemento clave del SPC es la diferencia entre causas comunes y causas especiales de variación, la primera es la variabilidad natural del sistema, propia a las condiciones normales de una planta, las segunda en cambio surge a eventos específicos o anómalos que alteran el desempeño esperado. Como explica Inda Cunningham (2007) que la interpretación adecuada de la variación, no se puede solo representar como bueno o malo, si no de entender que está pasando en el proceso y que tipo de acción corresponde tomar. en la misma línea, Mendoza Martínez y Nuño de la parra, señalan que el SPC busca justamente identificar cuando un proceso está bajo control o no, en tiempo real, permitiendo prevenir fallas antes de que llegue al producto terminado, esto resulta esencial para cualquier propuesta de implementación porque permite sustentar que la mejora del desempeño exige intervenir las causas reales de la variación y no únicamente corregir efectos visibles en el producto.

A partir de esa base conceptual, el SPC se apoya en diversas herramientas prácticas como histogramas, diagramas de Pareto, diagrama causa-efecto y sobre todo cartas de control. Estas últimas permiten seguir el comportamiento de una característica de calidad a lo largo del tiempo y compararlo con límites de control, lo que ayuda a determinar si el proceso se mantiene estable o si aparece señales de alerta. Según Moya Muñoz (2020) las cartas de control permiten saber si el proceso está estable en el tiempo, mientras que la capacidad del proceso permite saber si ese proceso estable realmente cumple con las especificaciones. Por eso, un proceso puede estar estable, pero no ser capaz si trabaja muy cerca de los límites o fuera de las especificaciones. Arturo Inda Cunningham (2007) insiste en que las cartas de Shewhart suministran una base objetiva para actuar sobre el proceso y no solo limitarse a juzgar los resultados finales, por eso, dentro del marco teórico de este proyecto el SPC se entiende como una metodología para comprender y controlar la variabilidad, más que una simple herramienta de inspección.

La literatura muestra que el SPC ha sido ampliamente utilizado en la manufactura para reducir defectos, fortalecer el control de los procesos y mejorar el desempeño operativo, en un estudio industrial Shehata, Heshmat, El-Sharief y El-Sebaie (2018), evidencian que la aplicación de histogramas, hojas de verificación, Pareto, diagramas de ISHIKAWA y las cartas de control, permitió identificar los defectos más críticos y disminuir el porcentaje de productos no conformes. Este trabajo resulta especialmente valioso porque subraya que el éxito de SPC, no depende de las técnicas estadísticas, sino también de condiciones de gestión: compromiso de la dirección, trabajo en equipo, capacitación del personal, en otras palabras la revisión bibliográfica confirma que el SPC por sí solo no garantiza resultados sostenibles: su efectividad está ligada a

que la organización construya un entorno favorable para interpretar datos y tomar decisiones correctivas de manera oportuna.

Siguiendo esta misma lógica, Moya Muñoz (2020) en un estudio realizado en una empresa de panificación, mostró que utilizar el control estadístico de proceso (CEP) Permitió monitorear variables críticas del producto, crear un plan de acción (OCAP), analizar la capacidad del proceso y estimar una reducción de pérdidas tras la implementación. El estudio concluye que el control estadístico permite disminuir producto no conforme, identificar patrones de comportamiento que generan variabilidad y transformar esas mejoras en beneficios económicos, este aporte es valioso para el presente proyecto ya que nos permite entender que para implementar el control estadístico se debe planear de una forma estructurada y organizada que integra diagnóstico, monitoreo, evaluación de resultados, reacción frente a señales fuera de especificación.

No obstante, implementar SPC en las manufacturas actuales exige considerar también lineamientos técnicos. La investigación de Kosztyán, MacClever, Khan, Hegedűs, Saghir, Csizmadia y Katona (2026) muestra que los gráficos de control tradicionales presentan limitaciones cuando los datos no siguen una distribución normal, cuando el tamaño de muestra es pequeño o cuando se debe detectar patrones de variación más complejos. Por eso estos autores plantean un esquema de monitoreo llamada “distribution-free”, orientado a procesos operativos, donde amplia la discusión sobre qué tipo de gráficos usar. De manera complementaria, Goh et al. (2026) desarrollan cartas de control específicas para procesos con distribución gama y demostraron su utilidad en operaciones de empaque, lo cual resulta muy pertinente para industria como Amcor Flexibles. En ambos casos, la evidencia sugiere que una hoja de ruta viable para implementar SPC debe considerar la naturaleza de los datos, la frecuencia de muestreo, el

comportamiento estadístico del proceso y la conveniencia de herramientas adaptadas al contexto productivo.

El elemento técnico también está ligado a la integración de SPC con sistemas digitales de información. Vrabic, Butala y Sluga (2013) plantea que la implementación de SPC suele apoyarse en plataformas como SCADA, MES O ERP y que, muchas organizaciones enfrentan barreras como el limitado conocimiento estadístico interno o los altos costos de soluciones personalizadas. Por ello proponen un enfoque de "SPC como servicio" basado en tecnologías de información y comunicación que permite que los datos de la planta se envíen a la plataforma de servicio y esta genera reportes, gráficas y análisis listos para usar y esto dependerá solo de conectarse al servicio, este planteamiento es útil para el proyecto actual, ya que sustenta que la viabilidad técnica del SPC no depende únicamente del software en sí mismo, sino también de la integración con los sistemas de captura de datos, interoperabilidad entre plataformas y la capacidad de la empresa para convertir registros operativos en información útil para la toma de decisiones.

Además de la dimensión técnica, la revisión bibliográfica destaca la importancia de los lineamientos organizacionales. Inda Cunningham (2007) enfatiza que conocer cartas de control y otras herramientas son indispensables pero insuficiente si la empresa no cuenta con un sistema de apoyo organizacional que respalde los procesos de mejora. El autor advierte que la alta dirección debe brindar las condiciones mínimas de sostenibilidad para que el SPC no sea solo un ejercicio técnico. Mientras que los trabajadores del proceso juegan un papel clave en la identificación de causas especiales. De forma similar, Moya Muñoz (2020) identifica barreras comunes para implementar el CEP, como la falta de cultura estadística la ausencia de guía prácticas, la resistencia al cambio y el escaso apoyo directivo. Estas ideas permiten concluir una hoja de ruta

integral en la máquina triplex debe incluir, formación, claridad de roles, coordinación entre áreas y liderazgo gerencial como puntos mínimos para garantizar la sostenibilidad.

En la industrial actual, las empresas también deben prepararse desde lo organizacional para adoptar nuevas tecnologias. Mayer, Widera, Michels y Jochem (2026) los autores explican que, cuando el SPC se mejora con aprendizaje automático, los usuarios valoran que el sistema sea confiable, ayude a reducir errores, sea claro en su funcionamiento y se adopte al trabajo diario. este aporte resulta clave para el proyecto, ya que evidencia que, además de contar con una herramienta avanzada, es importante considerar la percepción del usuario frente a su confiabilidad, facilidad de uso e integración en el día a día. En otras palabras, la viabilidad organizacional del SPC no depende unicamente de capacitar al personal en temas estadísticos, sino también de lograr que la tecnología se integre de manera efectiva en las actividades diarias de operación y control del proceso.

La dimensión económica representa un aspecto fundamental dentro del SPC. Caballero-Morales (2014) señala que le diseño económico-estadístico de las cartas de control debe contemplar elementos como el tamaño de muestra, la frecuencia de muestreo y los limites de control, debido a que estos factores influyen directamente en los costos de muestreo, la aparición de falsas alarmas, las interrupciones del proceso y la identificación de causas asignables. El autor advierte que definir los parámetros de las cartas de control sin un análisis adecuado puede ocasionar costos innecesarios y afectar la eficiencia del sistema de control en este mismo sentido, Moya Muñoz (2020) emplea la función de perdida de taguchi para estimar el impacto económico de la variación y muestra una reducción de pérdidas tras aplicar el CEP. Esta revisión teórica permite concluir que una propuesta de SPC debe ser estadísticamente sólida, pero también

económicamente viable, especialmente si se busca construir una ruta de despliegue gradual y realista."

Como complemento, Bashatah (2025) plantea que los sistemas manufactureros deben enfocarse no solo en la optimización de los procesos físicos, sino también en el fortalecimiento de sus procedimientos y mecanismo de control. Aunque su estudio no se orienta exclusivamente al SPC, contribuye a la discusión al proponer una medición cuantitativa del desperdicio en las operaciones manufactureras. Este análisis es importante para el proyecto, ya que muestra que un sistema de control estadístico necesita procedimientos claros, documentos estandarizados y apoyo en prácticas de mejora continua para funcionar adecuadamente. Desde este enfoque, la hoja de ruta para la maquina Triplex debe ir más allá del diseño de graficas o indicadores, incorporando lineamientos relacionados con los procedimientos, la asignación de responsabilidades, la reacción ante desviaciones y la gestión del conocimiento generado por el sistema.

En el caso específico de Triplex, esta dimensión económica se relaciona con la matriz de análisis costo-beneficio, la cual permite organizar los costos o requerimientos asociados a una futura implementación del SPC, como la integración de fuentes de datos, la validación de compatibilidad tecnológica, la capacitación del personal, la estandarización documental y el soporte entre áreas. De igual forma, permite reconocer beneficios esperados como la reducción potencial de producto no conforme, la disminución de tiempos de reacción, el aprovechamiento del software ProFicient ya disponible y la mejora en la toma de decisiones basada en datos. Por ello, la dimensión económica del proyecto no se limita a estimar el costo del software, sino a evaluar si los recursos requeridos y los beneficios esperados justifican una implementación gradual mediante un piloto controlado.

Estado del arte

Metodología de revisión sistemática

El estado del arte se elaboró mediante una revisión organizada de literatura, tomando como referencia lineamientos de la metodología PRISMA para documentar la búsqueda, selección y depuración de estudios. La revisión se concentró en publicaciones entre 2020 y 2026 relacionadas con uso o implementación del SPC en contextos industriales, mejora continua, capacidad de proceso, reducción de desperdicio, variables de proceso y apoyo tecnológico para el control de calidad.

Las búsquedas se realizaron principalmente en Scopus y Web of Science, de acuerdo con los requisitos académicos de la Universidad EAN. Se emplearon ecuaciones booleanas asociadas con control estadístico de procesos, manufactura, mejora de la calidad, capacidad de proceso y procesos roll-to-roll. Entre las expresiones utilizadas se incluyeron combinaciones como TITLE-ABS-KEY("statistical process control" AND implementation), TITLE-ABS-KEY("SPC" AND manufacturing AND quality improvement), TITLE-ABS-KEY("process capability" AND manufacturing) y TITLE-ABS-KEY("statistical process control" AND "roll-to-roll" printing).

Los criterios de inclusión consideraron artículos publicados entre 2020 y 2026, indexados en Scopus o Web of Science, con aplicación en entornos industriales o manufactureros y relación directa o indirecta con SPC, capacidad de proceso, mejora continua o viabilidad operativa. Se excluyeron duplicados, documentos fuera del periodo definido, estudios sin aplicación industrial y publicaciones cuya relación con la pregunta de investigación fuera limitada.

La aplicación de estos criterios permitió concentrar la revisión en estudios útiles para el diseño de una hoja de ruta aplicada a un entorno productivo real. En lugar de revisar únicamente conceptos generales sobre SPC, se priorizaron investigaciones que aportaran elementos sobre implementación, barreras organizacionales, validación de mediciones, integración con metodologías de mejora continua y beneficios esperados en procesos de manufactura.

El proceso de selección inició con la revisión de títulos y resúmenes. Posteriormente, los documentos potencialmente pertinentes se revisaron en texto completo para comprobar su relación con los objetivos del proyecto. Finalmente, se seleccionaron cuatro estudios por su relevancia temática, actualidad, calidad académica y aporte metodológico para el problema de investigación.

En la etapa de identificación se encontraron 60 registros. Después de eliminar duplicados permanecieron 57; de estos, 51 fueron excluidos durante la revisión de títulos y resúmenes. Seis estudios pasaron a revisión de texto completo y cuatro fueron incluidos en el análisis cualitativo.

Análisis narrativo y comparativo de los estudios seleccionados

Los cuatro estudios seleccionados permiten observar que, entre 2021 y 2025, el SPC continúa siendo usado como mecanismo para reducir variabilidad, mejorar capacidad de proceso, disminuir defectos y apoyar decisiones en planta. Sin embargo, también muestran que su implementación no se limita a las cartas de control. En los casos revisados, el SPC aparece

relacionado con capacitación, estandarización, confiabilidad de las mediciones, mejora continua, soporte tecnológico y capacidad de respuesta de la organización.

Kanan et al. (2023) analizaron la implementación de herramientas SPC en empresas alimentarias palestinas mediante cuestionarios dirigidos a personal de gestión de calidad y análisis PLS-SEM. Sus resultados muestran que cerca de la mitad de las empresas participantes utilizaba una o más herramientas SPC y que la implementación estaba relacionada con factores como auditoría, revisión del proceso y toma de decisiones. Para este proyecto, el aporte principal del estudio es que permite mirar la viabilidad del SPC más allá del software, incorporando barreras como resistencia al cambio, bajo conocimiento estadístico y debilidades en los sistemas de medición.

Torres-Bermúdez et al. (2024) estudiaron un caso de la industria automotriz mexicana donde se integraron SPC y PDCA. El estudio combinó gráficos de control X-barra y R con entrevistas al equipo directivo, y reportó mejoras en CPK, PPK, variación del proceso y reducción de piezas no conformes. También evidenció que la toma de decisiones lenta puede limitar el efecto de las herramientas estadísticas. Este hallazgo es importante para Triplex porque confirma que las señales del SPC solo generan valor si la organización define responsables, tiempos de reacción y acciones estandarizadas.

Bottani et al. (2021) desarrollaron un estudio de caso en una línea de ensamblaje de una planta italiana, enfocado en evaluar la capacidad del proceso. Uno de sus aportes más relevantes fue mostrar que antes de medir capacidad se debe validar la confiabilidad del sistema de

medición mediante análisis de repetibilidad y reproducibilidad. Para la hoja de ruta de Triplex, este estudio respalda la necesidad de avanzar por etapas: primero validar mediciones y registros, después estandarizar el proceso y finalmente aplicar herramientas SPC con datos confiables.

Pingale y Altay (2025) analizaron la reducción de desperdicio en impresión rollo a rollo mediante SPC y DMAIC. El estudio es cercano al contexto de empaques flexibles porque aborda procesos continuos de bobinado y reporta mejoras en rendimiento, estabilidad y reducción de desperdicio. Su enfoque por fases aporta una referencia para este proyecto, ya que la propuesta para Triplex también requiere iniciar con un piloto controlado, priorizar variables y escalar solo cuando existan condiciones técnicas y organizacionales suficientes.

Tabla 1

Síntesis comparativa de estudios seleccionados en el estado del arte

Autor(es) / Año	Objetivo principal	Metodología empleada	Variables analizadas	Principales hallazgos
Kanan, M., Jebreen, A., Saleh, Y., Zaid, A. A., Assaf, R., Tunsi, W., & Al-Sartawi, A. (2023).	Evaluar la implementación de siete herramientas de SPC (gráficos de flujo, hojas de verificación, Pareto, Ishikawa, diagramas de dispersión, histogramas y gráficos de control) en la industria alimentaria palestina. Analizar la relación entre estas herramientas y cinco factores críticos de éxito: acciones gerenciales (MA), enfoque de procesos (PA), toma de decisiones (DM), auditoría y revisión (AR), y obstáculos de calidad (QO). Contribuir con evidencia empírica en un contexto de país en desarrollo, donde la aplicación de SPC en alimentos es aún limitada.	La metodología fue empírica, cuantitativa y descriptiva, centrada en encuestas y análisis estadístico para evaluar cómo las empresas alimentarias implementan SPC, qué beneficios obtienen y qué barreras enfrentan. No es un experimento controlado, sino un diagnóstico sectorial que aporta evidencia práctica sobre la realidad de la industria.	Dependientes: nivel de implementación de las siete herramientas SPC. Independientes: factores críticos de éxito (MA, PA, DM, AR, QO). Indicadores adicionales: tamaño de empresa, subsector alimentario, nivel educativo y experiencia de los gerentes. Validación estadística: confiabilidad compuesta (CR), validez convergente (AVE), discriminante (HTMT), R^2 y Q^2 para relevancia predictiva.	Aproximadamente 50% de las empresas han adoptado herramientas SPC, aunque las más avanzadas (Pareto, Ishikawa, dispersión) casi no se usan. Auditoría y revisión (AR) y toma de decisiones (DM) tienen un impacto positivo y significativo en la implementación de SPC. Acciones gerenciales (MA), enfoque de procesos (PA) y obstáculos de calidad (QO) no mostraron influencia significativa. SPC contribuye a reducir defectos en alimentos, mejorar competitividad y satisfacción del cliente.
Autor(es) / Año Torres-Bermúdez, E. G., Pérez-Vicente, H. A., Ruiz-Morales, M., & Velasco-Álvarez, J. (2024).	Demostrar, mediante un caso real en una planta automotriz mexicana dedicada a la remanufactura de motores, cómo la implementación integral del Control Estadístico de Procesos (SPC) y el ciclo PDCA (plan-do-check-Act) puede Establecer un sistema de mejora continua que permita detectar desviaciones, corregirlas y estandarizar prácticas de calidad.	(MIXTO)Plan (Planificar): Identificación de problemas de calidad, definición de indicadores y metas. Do (Hacer): Aplicación de controles estadísticos (gráficos de control, muestreo) y ejecución de acciones correctivas. Check (Verificar): Evaluación de resultados con análisis estadístico y comparación con estándares.	Indicadores de calidad del producto • Porcentaje de defectos: proporción de piezas fuera de especificación. • Tasa de rechazo: cantidad de productos descartados en inspección final. • Rendimiento del proceso: relación entre producción útil y total fabricada Parámetros de proceso • Tiempos de ciclo: duración de cada operación en la línea.	Detección temprana de variaciones especiales • Los gráficos de control permitieron identificar desviaciones antes de que se convirtieran en defectos. • Esto redujo desperdicios y mejoró la estabilidad del proceso. Mejora continua con PDCA • El ciclo PDCA aseguró que las acciones correctivas no fueran puntuales, sino que se estandarizaran. • Cada iteración fortaleció la cultura de calidad y la disciplina operativa.

	Act (Actuar): Estandarización de mejoras y ajustes en procedimientos, reiniciando el ciclo PDCA. Se apoyó en herramientas como histogramas, Pareto, diagramas de causa-efecto y gráficos de control. SPC (Statistical Process Control): un enfoque cuantitativo, basado en datos estadísticos, gráficos de control, índices de capacidad y pruebas estadísticas. PDCA (Plan–Do–Check–Act): un enfoque cualitativo y práctico, centrado en la gestión, la acción correctiva y la mejora continua.	• Estabilidad de máquinas: frecuencia de paradas, variaciones en velocidad y ajustes. • Condiciones ambientales: temperatura, humedad, vibraciones que afectan la calidad. Validación estadística (SPC) • Gráficos de control (X-bar/R, I-MR): para detectar variaciones comunes vs. especiales. • Índices de capacidad (Cp, Cpk): para medir si el proceso cumple con especificaciones. • Nivel sigma: referencia a estándares Six Sigma para comparar desempeño. • Histogramas y Pareto: identificación de causas principales de defectos. Factores humanos y organizacionales • Capacitación de operadores: nivel de entrenamiento en SPC y PDCA. • Disciplina en la ejecución: cumplimiento de SOP (procedimientos estandarizados). • Auditorías internas: revisión periódica de cumplimiento de estándares. • Cultura de calidad: grado de compromiso de la gerencia y del personal. Herramientas de mejora continua (PDCA) • Plan: definición de metas e indicadores. • Do: implementación de controles y acciones correctivas. • Check: verificación con datos estadísticos.	• Reducción de defectos y desperdicio • Se logró una disminución significativa en la tasa de rechazo y en el porcentaje de defectos. • Esto impactó directamente en la eficiencia y satisfacción del cliente. • Fortalecimiento de la cultura de calidad • La combinación SPC–PDCA generó un cambio organizacional: mayor compromiso gerencial y participación de los operarios. • Se consolidó la idea de que la calidad es responsabilidad de todos. Validación estadística del proceso • Los índices Cp y Cpk mostraron mejoras en la capacidad del proceso. • El nivel sigma aumentó, acercando los resultados a estándares Six Sigma. • El análisis R&R confirmó que la confiabilidad del sistema de medición era clave para sostener las mejoras. Integración de factores humanos y técnicos • Se comprobó que la capacitación y disciplina de los operadores son tan importantes como los indicadores estadísticos. • Sin cultura de calidad, los resultados técnicos no se sostienen.

			• Act: estandarización de mejoras y retroalimentación.	
Bottani, E., Montanari, R., Volpi, A., Tebaldi, L., & Di Maria, G. (2021).	Desarrollar un modelo de Interpretive Structural Modeling (ISM) para analizar los factores que influyen en la implementación del SPC (Statistical Process Control). Identificar las relaciones jerárquicas entre los elementos críticos de éxito y cómo se interconectan para fortalecer la cultura de calidad en la industria. Proporcionar un marco que ayude a gerentes y responsables de calidad a priorizar acciones estratégicas.	Enfoque cualitativo–estructural: uso de ISM para mapear relaciones entre factores. Etapas: Identificación de variables críticas relacionadas con SPC. Construcción de la matriz de auto interacción (SSIM). Conversión a matriz de alcance Nivelación jerárquica de factores. Elaboración del diagrama ISM que muestra dependencias y jerarquías. Validación mediante revisión de expertos y consistencia lógica del modelo.	Capacidad del proceso (Cp, Cpk): mide qué tan bien el proceso cumple con las especificaciones y si está centrado. Reproducibilidad y repetibilidad (R&R): parte del análisis de sistemas de medición, asegura que los resultados sean consistentes entre diferentes operadores y equipos. Estabilidad del proceso: verificada con gráficos de control (X-bar/R, I-MR) para confirmar que la variación es solo común y no especial. Indicadores de calidad: porcentaje de defectos, tasa de rechazo, rendimiento del proceso. Factores humanos y organizacionales: capacitación, disciplina de operadores, auditorías internas, toma de decisiones basadas en datos.	índices de capacidad del proceso (Cp y Cpk) • Cp mide la amplitud del proceso respecto a los límites de especificación. • Cpk evalúa si el proceso está centrado dentro de esos límites. • Ejemplo del estudio: o Caso 1 (backlash piñón-corona): Cp = 1.51, Cpk = 1.45, sigma ≈ 4.3. o Caso 2 (altura de clamps): Cp = 1.45, Cpk = 0.30, sigma ≈ 0.9 (no centrado). Reproducibilidad y repetibilidad (Gage R&R) • Se aplicó ANOVA Gage R&R para validar el sistema de medición. • Resultados iniciales: %Study Var = 71.77% (no aSPCtable). • Tras SOP y entrenamiento: bajó a 46.58%. • Con herramienta de alineación 3D: bajó a 15.56%, dentro del rango aSPCtable (<30%). • Caso 2 (clamps): %Study Var ≈ 27%, considerado aSPCtable. Variación parte a parte (Part-to-Part) • En el backlash, la variación entre componentes fue significativa (≈ 69.6% de la variación total). • En clamps, la variación se mantuvo dentro de límites aSPCtables tras ajustes. Sigma Level (nivel sigma) • Se compararon resultados con Six Sigma: o Cp ≥ 1.33 corresponde a 4 sigma (63 ppm defectos). o Cp ≥ 2 corresponde a 6 sigma (0.002 ppm defectos). • Caso 1 alcanzó 4.3 sigma.

	• Caso 2 inicialmente 0.9 sigma, pero tras simulaciones y ajustes con arandelas de 0.1 mm se logró 6 sigma. 1. Tiempo de ciclo y eficiencia o Ajuste manual de clamps: 75 min. o Con software de optimización: 20 min (ahorro del 73%). o Se incluyó como variable de desempeño complementaria.

Nota. Elaboración propia a partir de los estudios seleccionados en la revisión del estado del arte.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, porque integró información cualitativa y cuantitativa para analizar la viabilidad de una futura implementación del sistema SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles. El componente cualitativo permitió interpretar las condiciones tecnológicas, organizacionales y operativas del proceso, así como las brechas existentes para incorporar el sistema. El componente cuantitativo se apoyó en la identificación, clasificación y priorización de variables críticas, la revisión de su disponibilidad digital y el análisis preliminar de costos y beneficios.

El estudio fue de tipo aplicado, ya que buscó aportar una solución metodológica a una necesidad real de la empresa: organizar una ruta para usar el SPC en la línea Triplex. El diseño fue no experimental, porque no se manipularon variables ni se intervino la operación normal de la planta. También tuvo corte transversal, dado que la información se recopiló y analizó a partir del estado actual de la máquina, la documentación técnica disponible y los antecedentes internos del proyecto SPC. El alcance fue descriptivo, pues se orientó a diagnosticar el estado actual, identificar requerimientos técnicos, evaluar compatibilidades tecnológicas, analizar condiciones económicas y organizacionales, y proponer una hoja de ruta integral. La estrategia metodológica correspondió a un estudio de caso centrado en la máquina Triplex.

La población de estudio estuvo conformada por la información técnica, documental y operativa relacionada con la posible implementación del SPC en Triplex. Esta incluyó documentos internos del proyecto SPC, presentaciones de avance, propuestas de implementación, levantamientos preliminares de variables, información de costos y beneficios esperados, documentación técnica de la máquina y referencias asociadas con conectividad, protocolos de comunicación y requerimientos funcionales de ProFicient. No se utilizó una

muestra probabilística, debido a que el objetivo no fue generalizar resultados, sino analizar un caso específico. En su lugar, se empleó un muestreo intencional por criterio, seleccionando las fuentes que respondían a la pregunta de investigación y a los objetivos planteados.

Se utilizaron instrumentos diseñados para organizar y analizar información técnica, documental y operativa. El primero fue una matriz de revisión documental, en la que se sistematizaron artículos científicos y antecedentes internos de Amcor Flexibles. El segundo fue una matriz de levantamiento y clasificación de variables, donde se registraron datos como nombre de la variable, ubicación en el proceso, origen de información, tipo de variable, disponibilidad en pantalla, disponibilidad en PLC, forma de registro, conexión a red y posibilidad de integración. El tercer instrumento fue una matriz de compatibilidad tecnológica, orientada a revisar equipos, sistemas de control, protocolos, infraestructura de red y condiciones necesarias para integrar el SPC. El cuarto instrumento fue una matriz de análisis costo-beneficio con criterios de priorización por impacto y esfuerzo.

Los instrumentos fueron revisados mediante juicio de expertos para valorar su pertinencia, claridad, coherencia y aplicabilidad dentro del contexto del estudio. Esta validación fue pertinente porque las matrices no buscaban medir percepciones masivas, sino organizar información especializada sobre procesos, variables, infraestructura y condiciones de implementación. La revisión consideró perfiles con experiencia en gestión de calidad, control estadístico de procesos, automatización industrial, sistemas de información en planta o procesos productivos. A partir de las observaciones recibidas se plantearon los ajustes necesarios antes de la aplicación definitiva.

El procedimiento metodológico se organizó en cinco fases relacionadas con los objetivos específicos. En la fase 1 se realizó el diagnóstico del estado actual del control estadístico del

proceso en Triplex, mediante revisión de documentación interna del proyecto SPC, presentaciones de seguimiento, antecedentes de implementación, registros técnicos e información preliminar de variables. Esta fase permitió identificar cómo se gestiona actualmente la información de proceso y calidad, así como las principales brechas frente a una implementación futura.

En la fase 2 se identificaron y clasificaron las variables críticas de proceso y producto de la máquina Triplex. Para ello se utilizó la matriz de variables, en la que se registraron aspectos como nombre de la variable, origen, tipo de dato, forma de captura, disponibilidad en pantalla, conexión a PLC, registro manual y posibilidad de integración. Esta fase permitió diferenciar variables con mayor posibilidad de conexión inicial de aquellas que requieren validación técnica adicional.

La fase 3 correspondió a la evaluación de compatibilidad tecnológica de la infraestructura existente. Se revisaron sistemas de control, interfaces, protocolos de comunicación, equipos y dispositivos asociados a Triplex, con el fin de determinar su preparación frente a una futura integración con el SPC. También se contrastaron condiciones actuales como disponibilidad de señales, HMI, PLC, registros manuales, archivos Excel/CSV y sistemas de información con los requerimientos preliminares identificados en el manual de ProFicient.

La fase 4 se orientó al análisis de costos, beneficios y condiciones organizacionales. En esta etapa se revisaron antecedentes internos relacionados con licencias, adecuaciones, entrenamiento, metas de ahorro, beneficios esperados, riesgos y barreras de implementación. También se valoraron aspectos como formación del personal, uso actual de registros, soporte técnico y necesidad de coordinación entre áreas.

La fase 5 consistió en el diseño del prototipo de hoja de ruta integral para orientar una implementación piloto del SPC en la máquina Triplex, con posibilidad de escalabilidad hacia otras áreas de la planta. En esta etapa se integraron los hallazgos de las fases anteriores para definir prioridades, acciones, requerimientos técnicos y necesidades organizacionales.

El prototipo se estructuró como una representación gráfica y operativa de fases, responsables, entregables y criterios de avance. Su propósito fue mostrar qué acciones pueden desarrollarse en una etapa inicial, cuáles requieren preparación técnica adicional y cuáles podrían proyectarse a mediano plazo. Esta lógica por fases se relaciona con los antecedentes internos del proyecto SPC y con la necesidad de avanzar de forma gradual, priorizada y sustentada en condiciones previamente validadas.

El análisis de la información combinó técnicas cualitativas y cuantitativas de carácter descriptivo. En el componente cualitativo se aplicó análisis documental a artículos científicos, antecedentes internos, presentaciones técnicas, manuales del software y documentación de equipos de comunicación industrial. En el componente cuantitativo se usaron tablas y matrices para clasificar variables críticas, identificar origen del dato, disponibilidad digital, nivel de integración y criticidad. La priorización por impacto y esfuerzo se integró en la matriz de variables y en el análisis costo-beneficio: el impacto se relacionó con calidad, estabilidad del proceso, reducción de PNC y toma de decisiones; el esfuerzo se relacionó con disponibilidad en HMI/PLC, conexión a red, forma de registro y recursos requeridos. Microsoft Excel se utilizó como herramienta de apoyo para consolidar datos, construir matrices, comparar criterios técnicos y priorizar acciones.

Resultados

Resultado 1

Como primer resultado, se construyó una matriz de revisión documental para organizar los antecedentes científicos e internos relacionados con el Control Estadístico de Procesos. En esta matriz se incluyeron artículos sobre SPC, PDCA, DMAIC, capacidad de proceso y procesos roll-to-roll, junto con documentos internos de Amcor Flexibles asociados al proyecto SPC, condiciones de la máquina Triplex, software ProFicient y compatibilidad tecnológica. Esta revisión permitió identificar qué aportes técnicos, económicos, tecnológicos y organizacionales debían considerarse en la hoja de ruta.

La revisión documental fue sistematizada en una matriz de análisis, presentada en el Anexo A, a partir de la cual se elaboró la síntesis de resultados mostrada en la Tabla 2.

Tabla 2

Matriz síntesis de revisión documental y antecedentes del proyecto SPC

Tipo de fuente	**Aporte identificado**	**Dimensión relacionada**	**Implicación para la hoja de ruta**
Artículos científicos sobre SPC	Evidencian que el SPC requiere herramientas estadísticas, análisis de capacidad, gráficos de control y validación de sistemas de medición.	Técnica y metodológica	Se deben definir variables críticas, tipo de dato, frecuencia de medición y criterios de control.
Artículos sobre PDCA y DMAIC	Muestran que el SPC se incrementa cuando se integra con ayudas de metodologías de mejora continua.	Metodológica y organizacional	La hoja de ruta debe tener en cuenta fases de diagnóstico, análisis, mejora, control y homogeneizar procesos.
Artículos sobre procesos roll-to-roll	Presentan beneficios asociados a reducción de desperdicio, mejora de la eficiencia y la adaptabilidad en los procesos continuos.	Técnica y económica	Asisten como referencia para fundamentar beneficios esperados en procesos similares a impresión, recubrimiento o laminación.
Documentos internos del proyecto SPC	Muestran antecedentes de implementación, costos, licencias, selección de software y necesidad de integración de datos.	Técnica, económica y organizacional	Confirman que existe una iniciativa previa que requiere ser estructurada mediante una hoja de ruta específica para Triplex.
Documentos técnicos de Triplex	Identifican variables de proceso, disponibilidad en pantalla, registros manuales y limitaciones de conectividad.	Técnica y tecnológica	Permiten priorizar variables según disponibilidad, criticidad y posibilidad de integración al SPC.
Manuales técnicos y de software	Permiten identificar, de forma preliminar, requerimientos de ProFicient relacionados con estructura de datos, configuraciones de entrada, límites, alarmas, análisis, interfaces y comunicación industrial.	Tecnológica	Orientan la validación posterior entre la infraestructura actual de Triplex y las condiciones que debe cumplir la fuente de datos para integrarse al SPC.

Nota. Elaboración propia a partir de la matriz de revisión documental y antecedentes del proyecto SPC. SPC = Control Estadístico de Procesos; PDCA = ciclo Planear, Hacer, Verificar y Actuar; DMAIC = Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

La revisión documental mostró que la implementación del SPC en Triplex requiere integrar varias dimensiones. En la dimensión técnica se identificó la necesidad de seleccionar variables críticas, definir herramientas estadísticas, validar mediciones y establecer criterios de control. En la dimensión tecnológica, el énfasis estuvo en la disponibilidad de datos, conectividad de la máquina, compatibilidad con sistemas internos y contraste con los requerimientos de ProFicient. En la dimensión económica se reconocieron costos de implementación, capacitación, soporte técnico y beneficios esperados. Finalmente, en la dimensión organizacional se evidenció la importancia de roles, cultura estadística, capacitación y gestión del cambio.

Este primer instrumento permitió confirmar que la hoja de ruta no debía centrarse solo en el software SPC, sino en la articulación de condiciones técnicas, tecnológicas, económicas y organizacionales que hicieran posible una aplicación gradual en la máquina Triplex.

Resultado 2

Como segundo resultado, se construyó una matriz de levantamiento y clasificación de variables de la máquina Triplex, orientada a identificar qué parámetros del proceso y del producto pueden ser considerados en una futura implementación del Control Estadístico de Procesos. Esta matriz permitió registrar información asociada al área de la máquina, submódulo,

variable específica, familia de variable, tipo de dato, unidad de medida, criticidad para la calidad, origen del dato, disponibilidad en HMI y PLC, forma de registro actual, prioridad para piloto, nivel de esfuerzo de integración y modo preliminar de conexión al SPC. La prioridad para piloto y el nivel de esfuerzo de integración funcionaron como criterios para interpretar el impacto y el esfuerzo.

La matriz completa de levantamiento y clasificación de variables se presenta en el Anexo B. A partir de esta información se elaboró una síntesis de los principales hallazgos, presentada en la Tabla 3.

La Tabla 3 resume las principales familias de variables identificadas en la máquina Triplex y su relación con la priorización para una futura integración al sistema SPC.

Tabla 3

Matriz síntesis de variables críticas identificadas en la máquina Triplex

Familia de variable	**Variables identificadas**	**Origen del dato**	**Forma de registro actual**	**Prioridad para piloto**	**Implicación para la hoja de ruta**
Tensión	Tensión B1, LC2, LC3, LC13, LC14, B16, LC17, B20 y tensión decreciente.	HMI, pantalla de máquina o módulo de unidad.	Mixta o manual, según el punto de medición.	Alta o media, según disponibilidad.	Requiere validar disponibilidad en PLC y conexión a red para definir integración semiautomática o automática.
Presión	Presión de aplicador, presión de laminado, presión de arrastre y presión presor rebobinador.	Pantalla de controles de máquina, PLC/HMI o registro manual.	Manual, mixta o por confirmar.	Alta o por confirmar.	Puede ser crítica para estabilidad del proceso; se requiere validar señal, trazabilidad y forma de captura.
Temperatura	Temperatura NIP, hornos 1 a 4, temperatura de aplicador, dosificador, resina y catalizador.	Pantalla de máquina, termorregulador o módulos del sistema.	Manual o automática, según el equipo.	Alta o media.	Requiere corroborar la comunicación del equipo, disponibilidad digital y posibilidad de extracción de datos.
Velocidad	Velocidad de banda.	HMI del módulo de des embobinador.	Automática.	Alta.	Es una variable destacada para la continuidad del proceso y su integración puede apoyar el monitoreo preventivo.
Dimensional	Diámetro actual, diámetro mínimo, diámetro de cambio y ancho de manga.	HMI, pantalla de módulo o medición manual.	Automática o manual.	Media o baja.	Puede utilizarse como variable de monitoreo operativo, aunque algunas requieren validación o captura manual.
Propiedad física de proceso	Adhesivo, tratamiento corona y viscosidad.	Módulo individual o sistema digital y medición manual.	Manual, automática o semiautomática.	Media o por confirmar.	Son variables relevantes para la adhesión y desempeño del laminado, pero presentan brechas de integración por captura manual o falta de red.

Nota. Elaboración propia a partir de la matriz de levantamiento y clasificación de variables de la máquina Triplex. HMI = interfaz hombre-máquina; PLC = controlador lógico programable; SPC = Control Estadístico de Procesos; PNC = producto no conforme.

La matriz evidencia que Triplex cuenta con un conjunto amplio de variables de proceso que podrían aportar a una futura estrategia SPC. Sin embargo, no todas tienen el mismo nivel de preparación para integrarse al sistema. Variables como tensiones, velocidad de banda y algunos parámetros visibles en HMI muestran una mayor posibilidad de integración inicial, siempre que se confirme su disponibilidad en PLC y conexión a red. En cambio, variables como viscosidad, adhesivo, ancho de manga o parámetros de módulos individuales requieren validaciones adicionales porque dependen de captura manual, fuentes externas o equipos no conectados.

La clasificación también permitió diferenciar variables con prioridad alta, media o baja para un eventual piloto. Las de mayor prioridad son aquellas que tienen mayor impacto en la estabilidad del proceso, la calidad del laminado o la continuidad de operación, y que además presentan alguna posibilidad de captura digital o semiautomática. Las variables de prioridad media o baja no se descartan, pero requieren mayor preparación técnica antes de incluirse en una primera fase.

En consecuencia, el hallazgo central de este instrumento es que el piloto SPC en Triplex debería iniciar con variables de mayor criticidad y menor esfuerzo de conexión. Esta decisión evita plantear una integración total e inmediata y permite avanzar con una lógica progresiva, basada en disponibilidad del dato, criticidad para la calidad y viabilidad tecnológica.

Resultado 3. Evaluación de compatibilidad tecnológica de la infraestructura existente

Como tercer resultado, se elaboró una matriz de compatibilidad tecnológica orientada a identificar el nivel de preparación de la infraestructura actual de la máquina Triplex y de los sistemas asociados frente a una futura implementación del Control Estadístico de Procesos. Esta matriz permitió analizar elementos tecnológicos internos, fuentes de datos, sistemas de información, equipos de medición, documentación técnica y el software ProFicient, con el fin de establecer qué componentes pueden aportar datos al SPC, qué condiciones exige ProFicient para recibirlos de forma estructurada y qué validaciones técnicas deben realizarse antes de avanzar hacia una integración piloto.

La matriz completa de compatibilidad tecnológica se presenta en el Anexo C. A partir de esta información se elaboró una síntesis de los principales hallazgos, presentada en la Tabla 4.

La Tabla 4 resume los elementos tecnológicos evaluados y su aporte para el diseño de la hoja de ruta integral de implementación del SPC en la máquina Triplex.

Tabla 4

Matriz síntesis de compatibilidad tecnológica para la implementación del SPC en Triplex

Elemento tecnológico	Aporte potencial al SPC	Estado identificado	Validación requerida	Implicación para la hoja de ruta
PLC de la máquina	Puede contener señales de variables de proceso como tensión, temperatura, presión, velocidad y estados de máquina.	Digitalizado, pero con conexión a red por validar.	Confirmar disponibilidad real de señales, extracción de datos y compatibilidad con SPC.	Es un elemento clave para una futura integración automática de variables críticas.

Elemento tecnológico	Aporte potencial al SPC	Estado identificado	Validación requerida	Implicación para la hoja de ruta
HMI o pantalla de operación	Permite visualizar parámetros, alarmas, estados de operación y ajustes usados por el operario.	Digitalizada, pero no garantiza integración directa.	Verificar si los datos visibles provienen del PLC y si pueden exportarse o historizarse.	Ayuda a identificar variables ya visibles y potencialmente priorizables para SPC.
Sistema de control de Triplex	Organiza parámetros de operación, secuencias, ajustes por módulo y condiciones de marcha.	Digitalizado, con arquitectura por validar.	Revisar arquitectura, protocolos de comunicación y ruta de acceso a los datos.	Permite evaluar si la estructura de control facilita o dificulta la integración tecnológica.
Oracle y Proalnet	Aportan información de órdenes, producción, calidad y trazabilidad.	Sistemas digitalizados y en red.	Definir qué datos pueden relacionarse con variables de proceso o calidad.	Funcionan como fuentes complementarias para trazabilidad y contexto del análisis SPC.
FileMaker	Contiene hojas de proceso, especificaciones, registros operativos, metros, kilogramos y datos de trazabilidad.	Digitalizado, con posibilidad parcial de uso para SPC.	Validar estructura del dato, estandarización, frecuencia de captura y exportación.	Puede servir como base histórica y operativa para reorganizar información antes de una integración automática.
Archivos Excel/CSV	Contienen consolidados, históricos, reportes o exportaciones de datos.	Digitalizados, con conexión parcial.	Revisar formato, actualización y compatibilidad de importación.	Pueden funcionar como etapa intermedia para pruebas piloto mientras se valida una conexión automática.
Equipos de medición de laboratorio	Generan resultados de calidad del producto, como adhesión, delaminación, COF u otras propiedades.	Parcialmente digitalizados o manuales.	Verificar si generan salida digital o si el dato sigue dependiendo de registro manual.	Aportan variables del producto como complemento al monitoreo de variables de proceso.
Software SPC ProFicient	Permite configurar proyectos SPC, datos Part-Process-Test, capturas de datos, cartas de control, análisis de capacidad, alarmas y reportes.	Disponible; revisión funcional preliminar por manual, sin configuración directa en Triplex.	Contrastar requisitos del software con variables priorizadas, fuentes de datos, estructura de captura, límites, descriptores, importación/CSV y conectividad.	Define qué debe preparar Triplex antes de un piloto: datos estructurados, trazabilidad, frecuencia de captura y reglas SPC.
Documentación técnica disponible	Aporta manuales, diagramas, especificaciones, lógica de equipos y antecedentes.	Disponible de forma parcial.	Revisar actualización, completitud y utilidad para validar conexiones y arquitectura.	Sirve como soporte para definir rutas de integración y secuenciar acciones en la hoja de ruta.

Nota. Elaboración propia a partir de la matriz de compatibilidad tecnológica. PLC = controlador lógico programable; HMI = interfaz hombre-máquina; SPC = Control Estadístico de Procesos; CSV = valores separados por comas; COF = coeficiente de fricción.

Los resultados de la matriz evidencian que la infraestructura tecnológica de Triplex presenta condiciones parciales para una futura integración con el SPC. Por un lado, existen elementos digitalizados que pueden aportar información relevante, como el PLC, la HMI, el sistema de control de la máquina, FileMaker, Oracle, Proalnet, archivos Excel/CSV y el software ProFicient. Sin embargo, la disponibilidad digital no implica automáticamente compatibilidad con el SPC, debido a que aún deben validarse aspectos como conexión a red, extracción de señales, estructura del dato, frecuencia de captura, protocolos de comunicación, posibilidad de historización y correspondencia con la lógica Part-Process-Test requerida por ProFicient.

El análisis también permitió diferenciar fuentes principales y complementarias de información. El PLC, la HMI y el sistema de control de Triplex son componentes centrales para una posible captura de variables de proceso; mientras que Oracle, Proalnet y FileMaker aportan trazabilidad, información histórica y contexto operativo. Por su parte, los archivos Excel/CSV pueden funcionar como una alternativa intermedia para pruebas piloto, especialmente mientras se confirma la integración automática. Los equipos de medición de laboratorio aportan información de variables del producto, aunque su utilidad para monitoreo continuo depende de si los resultados pueden digitalizarse o integrarse al sistema.

En consecuencia, el hallazgo central de esta matriz es que la hoja de ruta debe incluir una etapa previa de validación tecnológica antes de plantear cualquier integración automática al SPC. La existencia de datos visuales, digitales o históricos no garantiza su conexión directa con ProFicient; por ello, la implementación debe estructurarse de forma gradual, iniciando con fuentes aprovechables y validando progresivamente la compatibilidad de los sistemas, señales y formatos de datos.

Resultado 4. Análisis de costos, beneficios y condiciones de viabilidad

Como cuarto resultado, se elaboró una matriz de análisis de costos, beneficios y condiciones de viabilidad para la futura implementación del Control Estadístico de Procesos en la máquina Triplex. Este instrumento permitió identificar aspectos relacionados con el uso del software SPC, la integración de fuentes de datos, la capacitación del personal, la identificación de variables críticas, la definición de herramientas estadísticas, la reducción potencial de producto no conforme, la mejora en la toma de decisiones, la estandarización documental, la participación de áreas involucradas, la reducción de tiempos de reacción, la compatibilidad tecnológica y la justificación económica del proyecto.

La matriz completa de costos, beneficios y condiciones de viabilidad se presenta en el Anexo D. A partir de esta información se elaboró una síntesis de los principales hallazgos, presentada en la Tabla 5.

La Tabla 5 resume los aspectos económicos y organizacionales identificados como relevantes para el diseño de una hoja de ruta integral y viable.

Tabla 5

Matriz síntesis de costos, beneficios y condiciones de viabilidad para el SPC en Triplex

Aspecto evaluado	Tipo	Evidencia actual	Implicación para la hoja de ruta	Prioridad
Uso del software SPC ProFicient	Costo-beneficio	La empresa cuenta con licencia adquirida, pero no se utiliza plenamente en Triplex.	Permite definir requerimientos técnicos y funcionales para	Alta

Aspecto evaluado	Tipo	Evidencia actual	Implicación para la hoja de ruta	Prioridad
			aprovechar el software disponible.	
Integración de fuentes de datos	Costo	La información se encuentra dispersa entre PLC, HMI, FileMaker, Oracle y registros manuales.	Se requiere estructurar la integración de datos para una futura implementación SPC.	Alta
Capacitación del personal	Costo	No se cuenta con formación formal suficiente en herramientas SPC.	Debe incluirse un plan de capacitación dentro de la hoja de ruta.	Alta
Identificación de variables críticas	Costo-beneficio	A parir del levantamiento realizado, se identificaron familias de variables críticas en triplex; sin embargo aún requiere validar su disponibilidad real en PLC, conexión a red y facilidad de captura para definir cuales pueden iniciar el piloto SPC	Permite definir el alcance técnico inicial del sistema SPC.	Alta
Definición de herramientas estadísticas	Costo-beneficio	No hay uso estandarizado de cartas de control para monitoreo.	Se requiere seleccionar herramientas según el tipo de variable.	Alta
Reducción potencial de PNC	Beneficio	Se presentan PNC asociados a variabilidad del proceso de laminación.	Justifica económicamente el enfoque preventivo del SPC.	Alta
Mejora en la toma de decisiones	Beneficio	Las decisiones dependen principalmente de la experiencia del operario.	Permite avanzar hacia decisiones basadas en datos y criterios de reacción.	Alta
Estandarización documental	Costo-beneficio	Actualmente la informacion del proceso Triplex requiere una guía única que indique como registrar, interpretar y actuar frente a los datos de SPC en una futura implementación	Se requiere diseñar formatos, instructivos y matrices soporte.	Media
Participación de áreas involucradas	Costo	La implementación requiere articulación entre producción, calidad, mantenimiento e IT.	Deben definirse roles y responsabilidades por fase.	Media
Reducción de tiempos de reacción	Beneficio	Las desviaciones se detectan de forma tardía o posterior al proceso.	Se deben plantear alertas y criterios de reacción preventiva.	Alta
Compatibilidad tecnológica	Costo	Se debe validar si la infraestructura actual soporta el SPC.	Es necesario analizar PLC, HMI, sistemas y conectividad antes del piloto.	Alta
Justificación económica del SPC	Beneficio esperado	los antecendes del proyecto SPC permite identificar beneficios generales asociados a reducción de PNC, mejor trazabilidad, disminución de tiempos de reacción, y aprovechamiento del software proficient sin embargo, para triplex se requiere una evaluación posterior con datos reales de operación para estimar ahorros, costos y retorno esperado	Permite sustentar de forma preliminar la viabilidad del proyecto y orientar a una futura evaluación económica más detallada para la implementación piloto ante la organización.	Media

Nota. Elaboración propia a partir de la matriz de análisis de costos, beneficios y condiciones de viabilidad. SPC = Control Estadístico de Procesos; PNC = producto no conforme; PLC =

controlador lógico programable; HMI = interfaz hombre-máquina; IT = tecnologías de la información.

Los resultados de la matriz evidencian que la viabilidad de una futura implementación del SPC en Triplex depende de la articulación entre costos necesarios y beneficios esperados. Dentro de los principales costos o requerimientos se identificaron la integración de fuentes de datos, la capacitación del personal, la validación de compatibilidad tecnológica y la estandarización documental. Estos elementos no representan únicamente gastos, sino condiciones previas necesarias para que el sistema SPC pueda funcionar de manera ordenada y sostenible.

En cuanto a los beneficios esperados, la matriz permitió identificar oportunidades relacionadas con la reducción potencial de producto no conforme, la disminución de tiempos de reacción, la mejora en la toma de decisiones y el aprovechamiento del software ProFicient ya disponible en la empresa. Estos beneficios refuerzan la necesidad de una hoja de ruta gradual, en la cual se prioricen primero las acciones de mayor impacto y viabilidad, antes de avanzar hacia una implementación más amplia.

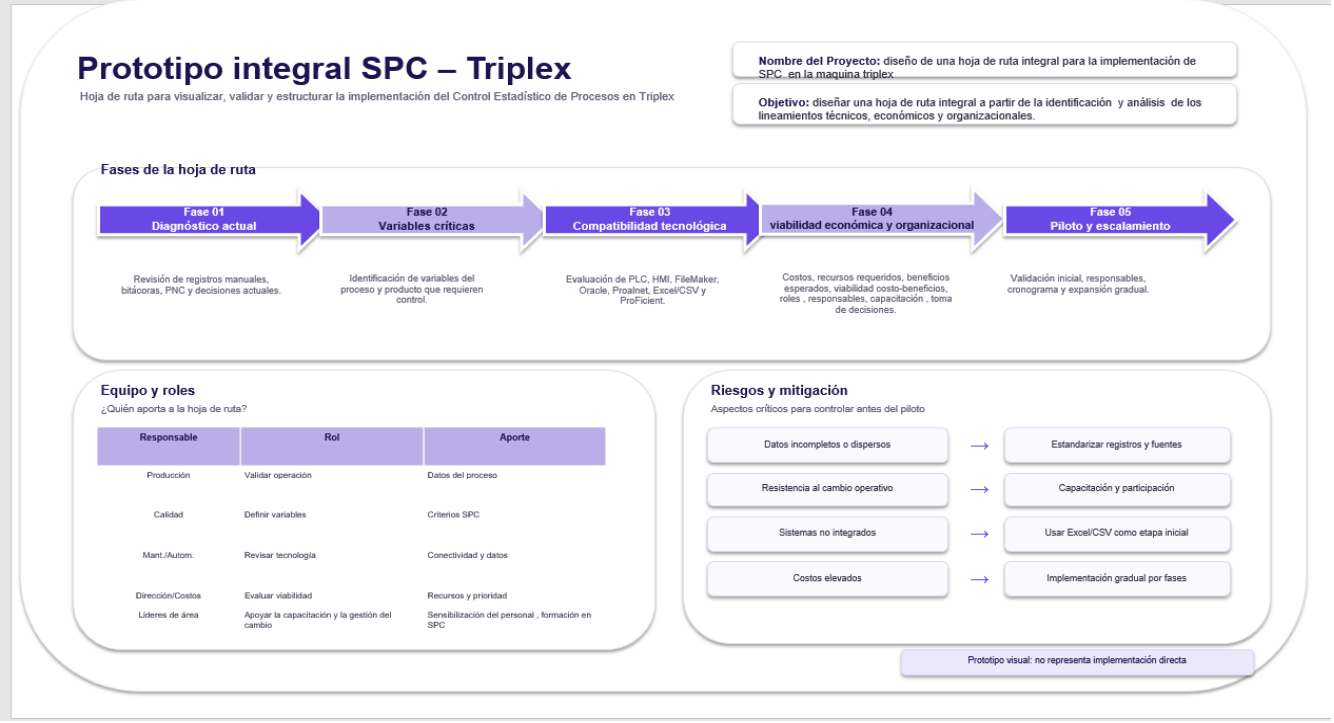
En consecuencia, el hallazgo central de esta matriz es que la hoja de ruta debe contemplar una evaluación económica y organizacional previa a la implementación, considerando tanto los recursos requeridos como los beneficios esperados. Esto permite sustentar que la propuesta no debe limitarse a una solución técnica, sino que debe integrar criterios de viabilidad, priorización, capacitación, gestión del cambio y toma de decisiones basada en datos.

Resultado 5. Prototipo de hoja de ruta integral para la implementación de SPC

El Resultado 5 corresponde al diseño del prototipo de hoja de ruta integral para orientar una futura implementación piloto del sistema SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles. El soporte completo del prototipo se ubica en el Anexo E; el cronograma de seis meses y la tabla de roles/equipos se ubican en el Anexo F. La Figura 1 presenta la síntesis visual del prototipo propuesto y la Tabla 6 organiza la estructura técnica que lo respalda.

Figura 1

Prototipo de hoja de ruta integral para la implementación de SPC en la máquina Triplex



Para complementar la lectura de la Figura 1, se elaboró una tabla de soporte que explica la función de cada fase, las actividades que la integran y los entregables que permiten verificar el avance del prototipo. Esta tabla permite evidenciar que la hoja de ruta se fundamenta en los resultados previos del estudio y en los anexos técnicos desarrollados.

Tabla 6

Estructura técnica de soporte del prototipo de hoja de ruta integral

Fase del prototipo	**Propósito**	**Actividades y soporte documental**	**Entregable / criterio de avance**
Fase 1. Diagnóstico inicial	Caracterizar el monitoreo actual del proceso Triplex y reconocer brechas frente al enfoque SPC.	Revisión de antecedentes internos, registros actuales, fuentes de datos, PNC, bitácoras y documentación relacionada con el proceso.	Matriz de diagnóstico y revisión documental; brechas de monitoreo identificadas.
Fase 2. Identificación y priorización de variables críticas	Definir qué variables de proceso y producto deben considerarse inicialmente para el piloto SPC.	Levantamiento de variables, clasificación por familia, tipo de dato, unidad, criticidad, origen del dato, disponibilidad en HMI/PLC y forma de registro.	Matriz de variables críticas; variables priorizadas según impacto y esfuerzo de integración.
Fase 3. Validación técnica y tecnológica	Establecer las condiciones mínimas de integración entre Triplex, las fuentes de datos y ProFicient.	Revisión de PLC, HMI, sistema de control, FileMaker, Oracle, Proalnet, archivos Excel/CSV, conectividad, trazabilidad y requerimientos funcionales del software.	Matriz de compatibilidad tecnológica; fuentes, señales y validaciones requeridas definidas.
Fase 4. Evaluación económica y organizacional	Analizar recursos, beneficios esperados, responsables y condiciones internas para sostener la implementación.	Revisión de costos de integración, entrenamiento, soporte, licencias, mantenimiento, roles por área, necesidades de capacitación y gestión del cambio.	Matriz costo-beneficio y lineamientos de roles/equipos; requerimientos y beneficios esperados identificados.
Fase 5. Consolidación, validación y escalabilidad	Integrar los hallazgos en un prototipo comprensible, revisable y aplicable como base para una implementación gradual.	Diseño visual, cronograma de seis meses, revisión del prototipo, ajustes finales y definición de criterios para continuidad hacia otras áreas.	Prototipo de hoja de ruta integral, cronograma de soporte y criterios de avance para el piloto SPC.

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en las matrices de revisión documental, variables críticas, compatibilidad tecnológica y análisis costo-beneficio. SPC = Control Estadístico de Procesos; HMI = interfaz hombre-máquina; PLC = controlador lógico programable.

Como se observa en la Tabla 6, el prototipo se estructura en cinco fases secuenciales que permiten pasar de la caracterización del estado actual hacia la consolidación de una propuesta viable. Esta organización facilita identificar qué debe validarse antes del piloto, qué áreas deben participar y qué entregables respaldan cada decisión.

El cronograma de seis meses complementa el prototipo porque distribuye las actividades de diagnóstico, levantamiento de información, análisis técnico, análisis económico-organizacional, consolidación y validación dentro de un periodo coherente con el desarrollo del semestre académico. Además, las matrices anexas permiten evidenciar que cada fase del

prototipo tiene un soporte documental específico y no corresponde únicamente a una representación visual.

En conjunto, el prototipo permite transformar la información dispersa del proyecto SPC en una hoja de ruta integral, ya que conecta diagnóstico, priorización de variables, validación tecnológica, análisis económico-organizacional, responsables y entregables. De esta manera, la hoja de ruta no se limita a una imagen del proceso, sino que funciona como un instrumento de planeación para orientar una implementación gradual y sostenible del SPC en Triplex.

Análisis de resultados

Los resultados permiten interpretar que el diseño de una hoja de ruta integral para la implementación del SPC en la máquina Triplex necesita la articulación de tres tipos de lineamientos principales: técnicos, económicos y organizacionales. Estos aparecen de manera aislada, sino que se relacionan entre sí y condicionan la viabilidad de una futura implementación. los hallazgos confirman que el oportunidad de mejora de la empresa no consiste únicamente en contar con un software SPC disponible, sino en preparar las condiciones operativas, tecnológicas, económicas y humanas necesarias para que el sistema pueda ser utilizado de forma correcta.

Desde la parte documental se identificó que la implementación del SPC en entornos industriales necesita una estructura previa que integre herramientas estadísticas, confiabilidad de datos, capacitación, apoyo organizacional y mejora continua. Los artículos revisados muestran la importancia de enfoques como PDCA y DMAIC, lo que aporta una lógica ordenada para

diagnosticar, medir, analizar, mejorar y controlar los procesos. A su vez, los documentos internos de Amcor evidenciaron que ya existe un antecedente del proyecto SPC, una licencia disponible del software ProFicient y una necesidad previamente identificada de integrar información de proceso y calidad. Esto da como resultado que la hoja de ruta propuesta no parte de una necesidad nueva, sino de una iniciativa existente que requiere ser estructurada y aterrizada específicamente a la máquina Triplex.

Con respecto a los lineamientos técnicos, la matriz de variables permitió identificar que la máquina Triplex cuenta con variables relevantes para el control del proceso, entre ellas tensiones, presiones, temperaturas, velocidad de banda, tratamiento corona, viscosidad, adhesivo, diámetro y ancho de manga. el análisis muestra que no todas las variables tienen el mismo nivel de criticidad ni la misma facilidad de integración. Varias variables se encuentran visibles en HMI o asociadas al sistema de control, mientras que otras dependen de registros manuales, equipos externos o validaciones técnicas adicionales. Esto nos muestra que la hoja de ruta debe organizar variables según tres criterios: impacto en la calidad, disponibilidad del dato y nivel de esfuerzo requerido para su integración.

A partir de esto, se interpreta que una futura implementación del SPC no debería iniciar con todas las variables del proceso al mismo tiempo. Si no que, el piloto debería concentrarse inicialmente en variables de alta criticidad y con mayor posibilidad de captura digital o semiautomática. Esta decisión minimiza el riesgo de una implementación demasiado amplia y permite formar una base técnica más controlada para validar el sistema. Así, la priorización de variables se convierte en un lineamiento técnico central de la hoja de ruta.

El análisis de compatibilidad tecnológica refuerza esta interpretación. Aunque existen fuentes de información como PLC, HMI, FileMaker, Oracle, Proalnet, archivos Excel/CSV y el software ProFicient, la existencia de datos digitales no garantiza su integración automática al SPC. La matriz tecnológica muestra que todavía deben validarse aspectos como disponibilidad real de señales, conexión a red, estructura del dato, frecuencia de captura, posibilidad de exportación, historización, descriptores del dato y compatibilidad con la lógica de configuración de ProFicient. Por tanto, uno de los hallazgos más relevantes es que la hoja de ruta debe incluir una fase previa de validación tecnológica antes de plantear cualquier conexión directa entre la máquina y el software.

En este punto se identifica un punto importante: los sistemas pueden organizarse en fuentes principales y fuentes complementarias. Las fuentes principales para el monitoreo del proceso serían el PLC, la HMI y el sistema de control de la Triplex, porque allí podrían encontrarse señales asociadas a variables como tensión, temperatura, presión y velocidad. En cambio, Oracle, Proalnet y FileMaker cumplen un papel complementario, ya que aportan trazabilidad, información de órdenes, registros operativos y datos históricos. Los archivos Excel/CSV funciona como una alternativa intermedia para pruebas piloto, mientras se valida la integración automática. Esta organización permite orientar la hoja de ruta hacia una implementación gradual, evitando asumir que todas las fuentes tienen la misma función o el mismo nivel de preparación.

Desde lo económico, los resultados muestran que la viabilidad del proyecto depende de equilibrar los costos requeridos con los beneficios esperados. Entre los principales costos o requerimientos se identifican la integración de fuentes de datos, la capacitación del personal, la

estandarización documental, la validación de compatibilidad tecnológica y la definición de herramientas estadísticas. deben entenderse como inversiones necesarias para que el SPC pueda operar de manera sostenible. los beneficios esperados se relacionan con la reducción potencial de producto no conforme, la disminución de tiempos de reacción, el aprovechamiento del software ya adquirido y la mejora en la toma de decisiones basada en datos.

Este anilisis permite entender que la viabilidad económica no debe únicamente desde el costo de implementar el software, porque la empresa ya cuenta con una licencia disponible. El punto crítico está en los costos asociados a poner en funcionamiento el sistema de manera efectiva: integración tecnológica, preparación de datos, formación del personal, definición de criterios de control y soporte entre áreas. el lineamiento económico principal consiste en justificar la implementación a partir de una relación costo-beneficio gradual.

En relación con los lineamientos organizacionales, los resultados evidencian que la implementación del SPC requiere la participación articulada de varias áreas. Producción aporta el conocimiento operativo de la máquina; calidad define variables críticas, especificaciones y criterios de control; mantenimiento y automatización validan señales, PLC, HMI y conectividad; sistemas o IT apoya la integración de datos; finanzas o costos contribuye al análisis económico; y la dirección facilita la toma de decisiones y asignación de recursos. Esto muestra que la hoja de ruta no puede depender únicamente del área de calidad, ya que su viabilidad requiere coordinación transversal.

También se encontró que la capacitación del personal es un punto organizacional crítico. La matriz de costos y beneficios muestra que el personal no cuenta con formación suficiente en herramientas SPC, lo que podría limitar la interpretación de cartas de control, alarmas, límites y

criterios de reacción. Por esta razón, la hoja de ruta debe contemplar actividades de formación y gestión del cambio, el componente organizacional es tan importante como el técnico, porque un sistema estadístico solo genera valor si las personas saben interpretar los datos y actuar oportunamente.

En conjunto, los resultados sugieren que la hipótesis o supuesto central del estudio se valida, en la medida en que una hoja de ruta integral sí requiere lineamientos técnicos, económicos y organizacionales claramente definidos. Los hallazgos muestran que la implementación futura del SPC en Triplex no debe asumirse como una instalación directa del software, sino como un proceso gradual que inicia con diagnóstico, priorización de variables, validación tecnológica, análisis costo-beneficio, definición de responsables, capacitación y construcción de un piloto

Finalmente, el análisis permite responder la pregunta de investigación al establecer que los requerimientos son: en la dimensión técnica, la identificación de variables críticas, tipo de dato, frecuencia de medición, herramientas estadísticas y criterios de reacción; en la dimensión tecnológica, la validación de PLC, HMI, sistemas de información, estructura del dato y compatibilidad con ProFicient; en la dimensión económica, la estimación de costos, recursos, beneficios esperados y priorización por viabilidad; y en la dimensión organizacional, la definición de roles, capacitación, gestión del cambio y toma de decisiones basada en datos. La integración de los resultados en el prototipo de hoja de ruta permitió evidenciar que la futura implementación del SPC debe abordarse como un proceso gradual, en el cual primero se diagnostican las condiciones actuales, luego se priorizan variables, se valida la compatibilidad

tecnológica, se analizan los recursos requeridos y finalmente se definen responsables y criterios de avance.

Tabla 7

Síntesis interpretativa de lineamientos derivados del análisis de resultados

Dimensión	Lineamientos derivados	Implicación para la hoja de ruta
Técnica	Variables críticas, tipo de dato, herramientas SPC, frecuencia de medición y criterios de reacción.	Permite definir qué controlar, cómo medir y cómo interpretar desviaciones.
Tecnológica	Validación de PLC, HMI, fuentes de datos, conectividad, historización y compatibilidad con ProFicient.	Permite determinar qué datos pueden integrarse y qué brechas deben resolverse.
Económica	Costos de integración, capacitación, soporte, beneficios esperados y reducción potencial de PNC.	Permite sustentar la viabilidad y priorizar una implementación gradual.
Organizacional	Roles, responsables, capacitación, gestión del cambio y toma de decisiones basada en datos.	Permite asegurar participación de las áreas y sostenibilidad del sistema.

Nota. Elaboración propia a partir del análisis integrado de los resultados obtenidos en las matrices de investigación.

Propuesta de solución a la problemática

Con base en los resultados, se evidencia que la máquina Triplex de Amcor Flexibles cuenta con condiciones iniciales para avanzar hacia una futura implementación del Control Estadístico de Procesos. Sin embargo, esas condiciones deben organizarse, validarse y priorizarse antes de iniciar un piloto. La empresa dispone de una licencia de ProFicient adquirida previamente, pero su aprovechamiento en Triplex aún no se ha consolidado. Por ello, la problemática no se limita a la disponibilidad del software, sino a la ausencia de una ruta que conecte variables críticas, fuentes de datos, compatibilidad tecnológica, costos, roles y criterios de avance.

El diagnóstico documental evidenció que la compañía ya había reconocido la necesidad de integrar información de proceso y calidad, mejorar la trazabilidad, reducir no conformidades y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. También se observó que la información del proyecto SPC se encuentra distribuida en documentos, sistemas y registros diferentes, lo cual dificulta establecer una visión completa del estado actual.

Desde lo técnico, la matriz de variables permitió reconocer parámetros relevantes del proceso de laminación, como tensiones, presiones, temperaturas, velocidad de banda, viscosidad, adhesivo, tratamiento corona y variables dimensionales. Estos parámetros presentan diferencias en criticidad, disponibilidad del dato, forma de captura y facilidad de integración. Algunas variables se visualizan en pantalla o están asociadas al sistema de control, mientras que otras dependen de registros manuales o validaciones externas.

La evaluación de compatibilidad tecnológica permitió identificar fuentes de información potencialmente útiles para el SPC, pero también brechas en conectividad, estructura de datos, historización, frecuencia de captura y compatibilidad funcional con ProFicient. Entonces

Antes de avanzar a un piloto se requiere precisar qué variables pueden tomarse directamente del sistema de control, cuáles deben registrarse de forma semiautomática y cuáles seguirían como soporte manual.

Por otra parte, los resultados muestran que la viabilidad de la implementación está condicionada por aspectos económicos y organizacionales. Entre los principales requerimientos se encuentran la integración de fuentes de datos, la capacitación del personal, el soporte técnico, la estandarización documental y la validación tecnológica. Como beneficios potenciales se reconocen la reducción de producto no conforme, la disminución de tiempos de reacción, la mejora en la toma de decisiones y el aprovechamiento de recursos tecnológicos ya disponibles.

Oportunidades identificadas

Los hallazgos de la investigación permiten identificar oportunidades concretas para abordar la problemática. La primera es la disponibilidad del software ProFicient, que representa una ventaja inicial porque la empresa ya cuenta con una herramienta orientada al análisis estadístico, cartas de control, alarmas y análisis de capacidad. Sin embargo, su aprovechamiento depende de la preparación previa de variables, fuentes de datos, criterios de control y responsabilidades operativas.

La segunda oportunidad es la existencia de información histórica y operativa en sistemas internos. Aunque la dispersión de datos es una limitación, también constituye una base para iniciar la estructuración del proyecto. Esta información puede apoyar la trazabilidad, el reconocimiento de variables disponibles y la definición de un piloto inicial, incluso antes de lograr una integración automática completa.

La tercera oportunidad corresponde a la organización de variables críticas. La matriz permitió diferenciar variables con mayor impacto sobre la estabilidad del proceso y la calidad del

producto, lo cual facilita definir un alcance técnico inicial. Esta priorización orienta la hoja de ruta hacia variables de mayor criticidad y menor esfuerzo de integración, reduciendo el riesgo de una implementación amplia, costosa o difícil de controlar.

Otra oportunidad se relaciona con el fortalecimiento de la toma de decisiones. Actualmente, el control del proceso se apoya en la experiencia operativa, registros manuales y revisión posterior de eventos. La incorporación gradual del SPC permitiría avanzar hacia decisiones basadas en datos, mediante límites de control, criterios de reacción, análisis de tendencias y alertas tempranas.

Finalmente, se identifica una oportunidad asociada con la formación del personal y la articulación entre áreas. La integración del SPC requiere que producción, calidad, mantenimiento, automatización, sistemas, costos y dirección participen de manera coordinada. Por ello, la hoja de ruta debe contemplar responsabilidades, actividades de capacitación y mecanismos de gestión del cambio que favorezcan la apropiación del sistema.

Propuesta de solución al problema planteado

Como solución a la problemática identificada, se propone una hoja de ruta integral para orientar la futura implementación del sistema SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles. La propuesta se estructura a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico, la matriz de variables, la evaluación de compatibilidad tecnológica y el análisis costo-beneficio. Su propósito es convertir información dispersa en una secuencia de acciones que pueda ser revisada por las áreas involucradas antes de iniciar un piloto.

La hoja de ruta se organiza en cinco fases secuenciales. La primera corresponde al diagnóstico del estado actual, orientado a consolidar la información existente sobre el proyecto SPC, las fuentes de datos, los registros operativos y las brechas de monitoreo en Triplex.

La segunda fase se enfoca en los lineamientos técnicos. En esta fase se priorizan variables críticas del proceso y del producto, considerando impacto en la calidad, tipo de dato, frecuencia de captura, forma de registro y posibilidad de integración al SPC.

La tercera fase corresponde a la validación tecnológica. Su finalidad es evaluar la compatibilidad entre las fuentes de datos existentes y los requerimientos funcionales de ProFicient, revisando disponibilidad de señales, conexión a red, estructura del dato, historización, interfaces y posibles mecanismos de captura manual, semiautomática o automática.

La cuarta fase integra los lineamientos económicos y organizacionales. Desde el componente económico se estiman costos asociados a integración de datos, configuración, capacitación, soporte técnico y estandarización documental. Desde el componente organizacional se definen roles, responsabilidades, necesidades de formación, mecanismos de acompañamiento y criterios de gestión del cambio.

La quinta fase corresponde a la consolidación del prototipo de hoja de ruta integral. En ella se integran fases, actividades, responsables, entregables, riesgos y criterios de avance en un plan visual y operativo que sirva como base para validaciones técnicas posteriores o para un piloto controlado.

El aporte principal de la propuesta consiste en transformar una problemática dispersa en una estructura de intervención ordenada. En lugar de plantear el SPC como una acción inmediata centrada en el software, la hoja de ruta propone avanzar por etapas: primero ordenar la

información, luego priorizar variables, validar tecnología, estimar recursos y definir responsabilidades.

Frente al objetivo general, la propuesta cumple el propósito de diseñar una hoja de ruta integral para la implementación del SPC en Triplex. Su utilidad radica en entregar a Amcor Flexibles un instrumento de planificación que facilite la toma de decisiones y permita evaluar, antes de invertir o configurar el sistema, cuáles condiciones están listas y cuáles requieren preparación adicional.

La solución se considera viable porque reconoce las condiciones reales del proceso y plantea una implementación gradual. Al iniciar con diagnóstico, priorización de variables, validación tecnológica y análisis económico-organizacional, la empresa puede reducir incertidumbre, evitar una implementación demasiado amplia y construir un piloto con mayor probabilidad de sostenibilidad.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el diseño de una hoja de ruta integral para implementar SPC en la máquina Triplex no puede limitarse a la disponibilidad del software ProFicient. Aunque la licencia disponible representa una ventaja inicial, el análisis evidenció que el verdadero reto está en preparar las condiciones del proceso: variables críticas, fuentes de datos, compatibilidad tecnológica, criterios de reacción, costos, roles y capacitación.

Los antecedentes revisados coinciden en que el SPC requiere datos confiables, cultura estadística, capacitación, apoyo organizacional y metodologías de mejora continua. Esta relación se evidenció en el caso Triplex, donde existen variables de interés para monitoreo, pero también brechas asociadas con registro manual, conectividad, estructura de datos y articulación entre áreas.

Desde el componente técnico, la identificación de variables como tensiones, presiones, temperaturas, velocidad de banda, viscosidad, adhesivo y tratamiento corona muestra que el proceso cuenta con parámetros relevantes para monitoreo estadístico. No obstante, estas variables no tienen el mismo nivel de criticidad ni la misma facilidad de integración. Por ello, una implementación viable debe iniciar con variables de alto impacto en la calidad y con mayor posibilidad de captura, evitando integrar todos los parámetros al mismo tiempo.

La evaluación tecnológica permitió diferenciar entre la existencia del dato y su uso efectivo para SPC. Algunas variables son visibles en HMI o están asociadas al sistema de control, pero esto no garantiza que puedan extraerse, historiarse o conectarse automáticamente a ProFicient. Este hallazgo confirma la necesidad de incluir una fase previa de validación tecnológica, en la cual se revisen señales, conexión a red, estructura del dato y compatibilidad funcional con el software.

Desde los componentes económico y organizacional, los resultados indican que la viabilidad del proyecto depende de equilibrar recursos requeridos y beneficios esperados. Los costos no se relacionan únicamente con el software, sino con integración de datos, capacitación, soporte técnico, estandarización documental y gestión del cambio. Los beneficios potenciales se asocian con reducción de producto no conforme, mejor toma de decisiones y menor tiempo de

reacción. En este sentido, iniciar con un piloto gradual permitiría reducir riesgos y justificar mejor la inversión.

Finalmente, los hallazgos muestran que una futura implementación del SPC en Triplex requiere la participación coordinada de producción, calidad, mantenimiento, automatización, sistemas, costos y dirección. La hoja de ruta propuesta aporta valor porque organiza esa participación y convierte los resultados del diagnóstico, la matriz de variables, la compatibilidad tecnológica y la viabilidad en una herramienta de decisión para la empresa. Así, el SPC puede fortalecer el monitoreo preventivo del proceso siempre que su aplicación se desarrolle de forma gradual, planificada y sustentada en datos confiables.

Plan de divulgación

El producto principal de la investigación será un artículo científico orientado a presentar el diseño de la hoja de ruta integral y la viabilidad de una futura implementación del SPC en la máquina Triplex de Amcor Flexibles. Este canal se considera apropiado porque el proyecto no corresponde a una patente, diseño industrial o modelo de negocio, sino a una propuesta metodológica aplicada que reúne lineamientos técnicos, económicos y organizacionales para apoyar la toma de decisiones en un entorno industrial.

La difusión se realizará mediante la entrega y carga del artículo en la plataforma institucional definida por la Universidad EAN. Para ello, el trabajo será ajustado de acuerdo con los criterios de la universidad, incluyendo estructura del artículo, coherencia entre problema, objetivos, metodología, resultados y conclusiones, presentación de tablas y figuras, anexos técnicos y referencias en formato APA. Este proceso permitirá visibilizar el aporte académico del

proyecto y servir como referencia para estudios relacionados con calidad, SPC, mejora continua e integración de datos en manufactura.

Como propuesta adicional, se plantea una socialización interna en Amcor Flexibles, siempre que la empresa lo autorice. Esta presentación incluiría el prototipo de hoja de ruta, las fases propuestas, las variables críticas identificadas, las oportunidades tecnológicas, los lineamientos económicos y las responsabilidades por área. El propósito no sería implementar directamente el SPC, sino entregar un insumo estructurado para futuras decisiones sobre el proceso Triplex.

Para concretar la divulgación se plantean las siguientes acciones: revisión final del documento, depuración de tablas y figuras, organización de anexos, verificación de citación APA, carga del artículo en la plataforma EAN y preparación de una versión ejecutiva para la empresa. El cronograma estimado se desarrollará en cuatro momentos: en la primera semana se ajustará el artículo; en la segunda se organizarán anexos y evidencias; en la tercera se realizará la carga institucional; y en la cuarta se preparará la presentación interna.

Los recursos necesarios incluyen el artículo final, las matrices desarrolladas, el prototipo de hoja de ruta, el cronograma, la tabla de equipos y roles, y las orientaciones metodológicas de la Universidad EAN. Como respaldo institucional se considera el apoyo del docente tutor y la retroalimentación académica. En el ámbito organizacional, los actores asociados serían las áreas de calidad, producción, mantenimiento, desarrollo, sistemas y dirección de planta.

Las metas del plan de divulgación son resaltar el aporte académico del proyecto, facilitar el intercambio de conocimiento entre universidad y empresa, dejar una base documental para futuras decisiones y promover una comprensión clara de las condiciones necesarias para implementar SPC de manera gradual. En síntesis, se espera que el trabajo de grado no se limite al

cumplimiento académico, sino que también pueda servir como insumo para fortalecer el monitoreo preventivo y la toma de decisiones basada en datos en Triplex.

Conclusiones

La investigación permitió responder la pregunta del problema al identificar que una hoja de ruta integral para la futura implementación del SPC en la máquina Triplex debe articular lineamientos técnicos, económicos y organizacionales.

Respecto al diagnóstico del estado actual, se concluye que Amcor Flexibles cuenta con antecedentes internos, información técnica y una licencia disponible del software SPC, lo cual representa una base importante para avanzar. No obstante, la información asociada al proceso y al proyecto se encuentra dispersa, y el monitoreo actual conserva componentes manuales y reactivos. Esto confirma la necesidad de una hoja de ruta que organice la información existente y defina acciones progresivas para Triplex.

En relación con las variables críticas, se identificaron parámetros relevantes para el monitoreo estadístico, como tensiones, presiones, temperaturas, velocidad de banda, viscosidad, adhesivo, tratamiento corona y variables dimensionales

Por ello, una futura implementación debería iniciar con variables de alto impacto en la calidad y mayor viabilidad de captura, usando la priorización como criterio central de la matriz de variables.

En cuanto a la compatibilidad tecnológica, se concluye que existen fuentes de datos potencialmente útiles, como PLC, HMI, sistema de control, FileMaker, Oracle, Proalnet, archivos Excel/CSV y equipos de medición. No obstante, la existencia de datos visibles o digitalizados no garantiza su integración automática con ProFicient. Cada dato debe poder

relacionarse con producto, proceso, variable de control, frecuencia de captura, descriptores, límites y trazabilidad. Por esta razón, la hoja de ruta debe incluir una validación técnica previa antes de avanzar hacia una conexión piloto.

Desde los aspectos económicos y organizacionales, la viabilidad depende de equilibrar los recursos requeridos con los beneficios esperados. Entre los principales requerimientos se encuentran integración de datos, capacitación, soporte técnico, estandarización, organización documental y coordinación entre áreas. Como beneficios potenciales se identifican reducción de producto no conforme, disminución de tiempos de reacción, mejor toma de decisiones y aprovechamiento de recursos tecnológicos disponibles.

Como resultado final, se diseñó un prototipo de hoja de ruta integral que organiza las condiciones necesarias para una futura implementación del SPC en Triplex. Este prototipo integra fases, lineamientos técnicos, económicos y organizacionales, responsables, entregables y criterios de avance, por lo que constituye una herramienta de planificación para orientar posteriores validaciones técnicas o pruebas piloto.

Finalmente, se reconoce como limitación que el estudio no incluye la implementación real del SPC ni la validación estadística de datos en operación. Los resultados se basan en revisión documental, antecedentes internos y matrices de análisis. Como oportunidades futuras, se propone desarrollar un piloto con variables priorizadas, validar la conexión con ProFicient, medir el impacto sobre PNC y tiempos de reacción, y evaluar la escalabilidad hacia otras máquinas o procesos de la planta.

Referencias

Bashatah, J. A. (2025). Development of the Procedural Waste Index (PWI): A framework for quantifying waste in manufacturing standard operating procedures. Systems, 13, Article 1015.

Bottani, E., Montanari, R., Volpi, A., Tebaldi, L., & Di Maria, G. (2021). Statistical process control of assembly lines in a manufacturing plant: Process capability assessment. Procedia Computer Science, 180, 1024–1033.

Caballero-Morales, S.-O. (2014). Building cost function 3D benchmarks to improve the economic statistical design of X control charts. Mathematical Problems in Engineering, 2014, Article 879456.

Cunningham, A. I. (2007). Introducción al control estadístico de procesos: Estrategias para el mejoramiento de la calidad y la productividad en la industria alimentaria.

Goh, K. L., Teoh, W. L., Chong, Z. L., Saha, S., & Chew, X. (2026). Monitoring gamma processes using optimal one-sided variable sampling interval multi-region run sum control charts: An application to the packaging industry. Computers & Industrial Engineering, 215, 111891.

InfinityQS International, Inc. (2019). ProFicient fundamentals training exercise workbook. InfinityQS International.

Kanan, M., Jebreen, A., Saleh, Y., Zaid, A. A., Assaf, R., Tunsi, W., & Al-Sartawi, A. (2023). Assessing the implementation of statistical process control in food industries: An empirical study from a developing country context. Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications, 6(3), 367–385.

Kosztyán, Z. T., MacClever, A., Khan, Z., Hegedűs, C., Saghir, A., Csizmadia, T., & Katona, A. I. (2026). Advancing process monitoring: A distribution-free control framework for operation processes. Computers in Industry, 177, 104449.

Mayer, J., Widera, P., Michels, D., & Jochem, R. (2026). Industry perception of machine learning-enhanced statistical process control: A comprehensive study on the acceptance of evaluation criteria. Production & Manufacturing Research, 14(1), 2637975.

Mendoza Martínez, V., & Nuño de la Parra, P. (s. f.). El control estadístico de procesos (SPC): Aplicaciones y beneficios en la industria.

Moya Muñoz, S. A. (2020). Implementación del control estadístico de procesos (CEP) en una empresa de panificación [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Universidad de Chile.

Pingale, R. R., & Altay, B. N. (2025). Reducing waste and increasing yield in roll-to-roll printing: A case study with global scalability. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 141, 4139–4153.

Pérez-Vicente, H. A., Torres-Bermúdez, E. G., Ruiz-Morales, M., & Velasco-Álvarez, J. (2024). Control estadístico de proceso y PDCA para mejora de la calidad en la industria automotriz mexicana. Ingeniería Investigación y Tecnología, 25(1), 1–8.

Shehata, A.-R. S., Heshmat, M., El-Sharief, M. A., & El-Sebaie, M. G. (2018). Implementation of statistical process control techniques to reduce the defective ratio: A case study. En Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (pp. 666–675). IEOM Society International.

Škulj, G., Vrabič, R., Butala, P., & Sluga, A. (2013). Statistical process control as a service: An industrial case study. Procedia CIRP, 7, 401–406.

Anexo A

Matriz completa de revisión documental y antecedentes del proyecto SPC

Código	Tipo de fuente	Nombre del documento	Autor / entidad	Año	Objetivo del documento	Tema principal	Hallazgos o aportes clave	Dimensión que aporta	relación con el proyecto	Uso en la investigación	Limitaciones reportadas	variables evaluadas	Metodología	Observaciones	Observaciones	Observaciones
ART-01	Artículo científico	Increasing the Implementation of Statistical Process Control in Food Industries: An Empirical Study from a Developing Country Context	Rahim, M., Jaleesh, S., Ahmed, S., Ali, M., Asadi, A., Tunio, M., & Al Garoudi, A. (2023).	2023	Evaluar el nivel de implementación de seis herramientas de SPC en empresas alimentarias de países en desarrollo, y identificar los factores críticos que influyen en su adopción.	Evaluación de la implementación de herramientas SPC en empresas alimentarias de países en desarrollo, con énfasis en los factores críticos que influyen en su adopción.	Aproximadamente 50% de las empresas han adoptado herramientas SPC, aunque las más avanzadas (Pareto, Ishikawa, diagramas) son las de uso básico. Auditoría y revisión (AR) y toma de decisiones (DM) tienen un impacto positivo y significativo en la implementación de SPC. Actitudes gerenciales (ME), enfoque de procesos (PA) y colaboración de calidad (QC) no muestran influencia significativa. SPC contribuye a reducir defectos en alimentos, mejorar competitividad y satisfacción del cliente.	Organizacional/Gestión	Esta artículo es altamente relevante para el proyecto porque aporta evidencia sobre los factores organizacionales y de gestión que determinan el éxito o fracaso de la implementación de SPC. Identifica que el dificultad no una falta de una falta de técnicas Triplex, sino de la falta de una cultura de mejora continua, apoyo gerencial y capacitación del personal, exactamente el tipo de barreras que el proyecto SPC busca superar en la máquina Triplex.	para interpretar factores críticos de éxito, identificar y factores organizacionales que se deben considerar en el caso de estudio SPC	Cultura organizacional poco favorable a la mejora continua. Falta de capacitación y conocimiento técnico en SPC. Limitaciones financieras para adquirir tecnología o contratar consultores. Resistencia al cambio por parte de operarios y mandos medios. Falta de apoyo gerencial sostenido. Dificultad para mantener la disciplina en el uso de gráficos de control. Poca integración entre departamentos (producción, calidad, mantenimiento). Escasa formación en estadística básica entre los trabajadores. Dificultad para interpretar correctamente los gráficos de control. Falta de tiempo para dedicar a actividades de mejora. Rotación de personal que afecta la continuidad de los programas. Ausencia de un sistema de registro y análisis de datos confiable. Dificultad para adaptar herramientas diseñadas para otros contextos industriales. Poca participación de los operarios en la toma de decisiones. Falta de seguimiento y evaluación de los resultados obtenidos. Limitada comunicación entre niveles jerárquicos. Dificultad para justificar la inversión ante la dirección. Procesos demasiado variables para ser controlados con SPC. Falta de documentación de los procesos. Resistencia a compartir información entre áreas. Dificultad para mantener el interés a largo plazo. Falta de reconocimiento a los logros del equipo. Dificultad para integrar SPC con otros sistemas de gestión. Falta de recursos para mantenimiento preventivo. Dificultad para identificar causas raíz de los problemas. Poca claridad en los objetivos de la mejora. Dificultad para medir el retorno de la inversión en SPC. Falta de liderazgo en el equipo de mejora. Dificultad para mantener la motivación a largo plazo. Falta de integración con los sistemas de información. Dificultad para adaptar los límites de control a cambios en el proceso. Falta de tiempo para capacitar a nuevos operarios. Dificultad para mantener la documentación actualizada. Falta de apoyo de los proveedores en la calidad de la materia prima. Dificultad para mantener la consistencia en la aplicación de las reglas. Falta de integración con los sistemas de planificación. Dificultad para mantener la relevancia de los indicadores. Falta de integración con los sistemas de mantenimiento. Dificultad para mantener la participación de todos los turnos. Falta de integración con los sistemas de calidad. Dificultad para mantener la coherencia entre diferentes gráficos. Falta de integración con los sistemas de producción. Dificultad para mantener la relevancia de los datos. Falta de integración con los sistemas de gestión. Dificultad para mantener la motivación a largo plazo. Falta de integración con los sistemas de calidad. Dificultad para mantener la relevancia de los indicadores. Falta de integración con los sistemas de mantenimiento. Dificultad para mantener la participación de todos los turn

Anexo C

Matriz completa de compatibilidad tecnológica para la implementación del SPC

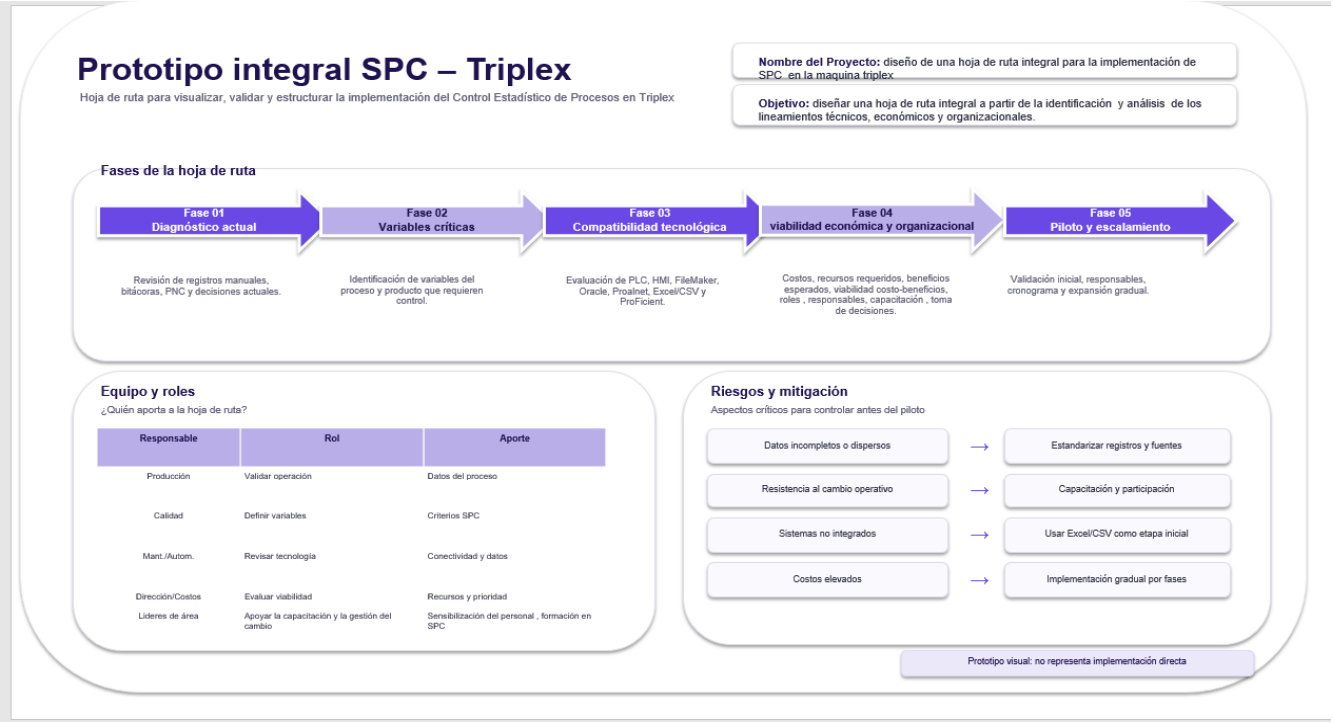
Elemento tecnológico	¿Qué información maneja hoy?	¿Cómo se accede al dato?	¿Está en red?	¿Está digitalizado?	¿Puede servir para SPC?	¿Qué se debe validar?	Observaciones	que aporta al proceso	que te ayuda a responder	
plc de la maquina	Señales y variables de operación del proceso como tensión, temperatura, presión, velocidad y estados de máquina	A través del sistema de control, HMI y revisión con automatización	Por validar	Sí	Sí	Disponibilidad real de señales, extracción de datos y compatibilidad con SPC	Elemento clave para una futura integración automática	s variables del proceso pueden existir como señales dentro del control de la máquina.	¿Las variables como tensión, temperatura, presión o velocidad pueden estar disponibles en el control? ¿Existe posibilidad de leer esas señales? ¿Podrían extraerse para una futura integración con el SPC?	El PLC de la máquina aporta para identificar si las variables críticas del proceso pueden estar disponibles como señales digitales aprovechables para una futura integración al SPC.
HMI o pantalla de operación	Visualización de parámetros de proceso, alarmas, estados de operación y ajustes	Consulta directa en pantalla por el operario	Por validar	Sí	Sí, parcialmente	Si los datos visibles provienen del PLC y si pueden exportarse o historizarse	La HMI no garantiza que la variable se pueda integrar al SPC, pero sí muestra que el dato ya existe operativamente.	Aporta porque te permite identificar: qué variables ya son visibles en operación, cuáles están disponibles para consulta inmediata, y si existe una base digital operativa.	¿el dato existe visualmente? ¿el operario ya lo usa? ¿hay variables que podrían priorizarse para SPC?	
sistema de control de la triplex	Parámetros de operación, secuencias de proceso, ajustes por módulo y condiciones de marcha	Mediante HMI, paneles de control y revisión técnica del sistema	Por validar	Sí	Sí	Arquitectura del sistema, protocolos de comunicación y ruta de acceso a los datos	Es fundamental para revisar viabilidad de integración con SPC	cómo está **organizada la arquitectura general de control** de la Triplex.	¿La máquina tiene un sistema de control centralizado o fragmentado? ¿Cómo se relacionan PLC, HMI, paneles locales y módulos? ¿La estructura general facilita o dificulta integrar el SPC?	El sistema de control de la Triplex aporta para analizar si la estructura general de control de la máquina favorece o limita una futura integración tecnológica con el SPC.
oracle	Información de órdenes, referencias, lotes y trazabilidad productiva general	Consulta en sistema	Sí	Sí	Sí, como fuente complementaria	Qué datos son útiles para SPC y cómo relacionarlos con variables del proceso	Aporta contexto, **pero no monitoreo en tiempo real,** Oracle no reemplaza al SPC, pero sí puede complementar la trazabilidad del sistema.	No te sirve tanto para capturar variables del proceso en tiempo real, pero sí aporta al contexto de: trazabilidad, órdenes, identificación de lotes, relación entre producción y calidad.	hay datos de contexto que puedan complementar el análisis SPC? ¿se puede relacionar una variable del proceso con una orden o lote?	
proalnet	Información de producción, calidad o trazabilidad según uso interno	Consulta en sistema	Sí	Sí	Sí, parcialmente	Qué información puede asociarse al control estadístico del proceso	Proalnet puede servir como fuente complementaria, aunque no necesariamente como fuente principal de señales del proceso.	Te ayuda a revisar si ya existe información útil que pueda apoyar: seguimiento, consulta histórica, identificación de eventos, o relación con resultados de calidad.	¿hay información relevante ya digitalizada? ¿el SPC podría complementarse con este sistema?	
file maker	Hojas de proceso, especificaciones, registros operativos, información de órdenes trabajadas, metros, kilogramos y datos de trazabilidad del proceso.	Consulta y registro directo en el sistema por parte del personal operativo y de seguimiento.	Sí / Por validar	Sí	Sí, parcialmente	Estructura del dato, nivel de estandarización, frecuencia de captura y posibilidad de exportación o integración con el software SPC.	Constituye una fuente importante de información histórica y operativa del proceso, aunque no equivale a captura automática en tiempo real.	Aporta muchísimo porque muestra que la empresa **sí tiene información histórica y operativa**, aunque no toda sea automática.	¿qué datos ya se están registrando? ¿la información está estructurada o dispersa? ¿hay una base documental que se pueda aprovechar?	File Maker es clave para entender el estado actual del registro del proceso y para ver qué información podría aprovecharse o reorganizarse en una futura hoja de ruta.
archivos excel /CSV	Consolidados, históricos, reportes o exportaciones de datos	Apertura de archivos compartidos o locales	Sí / Parcial	Sí	Sí	Formato del dato, frecuencia de actualización y compatibilidad de importación	Pueden servir como etapa intermedia para pruebas piloto	Excel / CSV aporta como soporte digital intermedio para organizar, exportar o analizar información útil para una futura implementación del SPC.	¿ya existen datos organizados en archivos digitales? ¿hay información que pueda exportarse? ¿podría usarse como insumo para análisis preliminares? ¿puede funcionar como puente mientras no exista una conexión automática al SPC?	puede servir para ordenar y consolidar datos actuales, puede ayudar a hacer pruebas piloto, puede funcionar como una etapa intermedia mientras se valida una integración más automática, y permite saber si ya hay una base digital aprovechable.
equipos de medicion de laboratorio	Resultados de ensayos de calidad del producto como adhesión, delaminación, COF u otras propiedades	Medición directa y registro del resultado	Por validar	Parcial	Sí, principalmente para variables del producto	Si generan salida digital o si el dato sigue siendo manual	Estos equipos no suelen servir para monitoreo continuo en tiempo real, pero sí son importantes para el control de calidad del producto y para ver qué información del producto podría integrarse de forma complementaria.	Aporta porque el proyecto no solo debe mirar variables del proceso, sino también variables del producto que permiten evaluar el resultado del proceso de laminación.	qué variables de calidad del producto ya se miden? ¿esas mediciones son digitales o manuales? ¿qué tan integrables son al SPC?	Estos equipos son importantes para el control del producto, aunque suelen ser menos útiles para monitoreo continuo en tiempo real.
software SPC proficient	Cartas de control, análisis de capacidad, alarmas y monitoreo SPC	Acceso directo al software	Sí	Sí	Sí	Compatibilidad con fuentes de datos, configuración, conectividad y alcance funcional	La empresa ya cuenta con licencia, pero falta integración efectiva	Aporta directamente porque es el sistema objetivo del proyecto	¿la empresa ya tiene una herramienta SPC? ¿qué falta para aprovecharla realmente? ¿el problema es de software o de integración?	ProFicient demuestra que la empresa ya tiene una base importante, pero también ayuda a evidenciar que el reto no es solo tener licencia, sino lograr conectar datos, variables y condiciones organizacionales.
doc tecnica disponible	Manuales, diagramas, especificaciones técnicas, lógica de equipos y antecedentes	Revisión documental	No / Parcial	Sí / Parcial	Sí, como soporte técnico	Actualización, completitud y utilidad para validar conexiones y arquitectura	La documentación técnica no da señales en tiempo real, pero sí es clave para entender la viabilidad de una futura integración y para estructurar la hoja de ruta.	Aporta porque te ayuda a validar: cómo está hecha la máquina, qué variables existen, qué sistemas intervienen, y qué se puede o no conectar.	¿hay soporte técnico suficiente para entender la integración? ¿se pueden confirmar rutas de dato, módulos o interfaces? ¿qué tan documentado está el entorno tecnológico?	La documentación técnica no da señales en tiempo real, pero sí es clave para entender la viabilidad de una futura integración y para estructurar la hoja de ruta.

Anexo D

Matriz completa de costos, beneficios y condiciones de viabilidad

Aspecto a evaluar	Tipo	Descripción / evidencia actual	Impacto esperado en la hoja de ruta	Acción o requerimiento asociado	Prioridad	Observaciones
Evaluación del uso del software SPC (InfinityQS ProFicient)	Costo–beneficio	La empresa cuenta con licencia adquirida desde 2021, pero no se utiliza plenamente en el proceso Triplex.	Permite definir lineamientos técnicos para su aprovechamiento dentro de la hoja de ruta.	Identificar requerimientos técnicos y funcionales para su implementación futura.	Alta	No implica implementación directa, solo análisis de uso.
Integración de fuentes de datos del proceso	Costo	La información se encuentra dispersa entre PLC, HMI, FileMaker, Oracle y registros manuales.	Permite estructurar cómo deberían integrarse los datos en una futura implementación SPC.	Analizar origen de datos, disponibilidad y posibles formas de integración.	Alta	Insumo clave para la matriz de compatibilidad tecnológica.
Capacitación del personal en herramientas SPC	Costo	El personal no cuenta con formación formal en control estadístico de procesos.	Permite definir necesidades de formación dentro de la hoja de ruta.	Identificar competencias requeridas y proponer plan de capacitación.	Alta	Hace parte del componente organizacional.
Identificación de variables críticas del proceso	Costo–beneficio	A parir del levantamiento realizado, se identificaron familias de variables críticas en triplex; sin embargo aún requiere validar su disponibilidad real en PLC, conexión a red y facilidad de captura para definir cuales pueden iniciar el piloto SPC	Permite definir el alcance técnico del sistema SPC en la hoja de ruta.	Clasificar variables según impacto, tipo de dato y facilidad de captura.	Alta	Base para selección de herramientas SPC.
Definición de herramientas estadísticas (cartas de control)	Costo–beneficio	Actualmente no hay uso estandarizado de herramientas estadísticas para monitoreo.	Permite establecer qué herramientas serían necesarias en la implementación.	Seleccionar cartas de control según tipo de variable (continua, atributo).	Alta	Relacionado con el diseño metodológico del SPC.
Reducción potencial de producto no conforme	Beneficio	Se presentan PNC asociados a variabilidad del proceso de laminación.	Permite justificar económicamente la implementación futura del SPC.	Estimar impacto del control preventivo sobre reducción de PNC.	Alta	Se basa en datos históricos.
Mejora en la toma de decisiones	Beneficio	Las decisiones se basan principalmente en experiencia del operario.	Permite evidenciar el valor del SPC como soporte para decisiones basadas en datos.	Definir criterios de interpretación y uso de datos en la hoja de ruta.	Alta	Impacto organizacional importante.
Estandarización de procesos y documentación	Costo–beneficio	Actualmente la informacion del proceso Triplex requiere una guía única que indique como registrar, interpretar y actuar frente a los datos de SPC en una futura implementación	Permite estructurar la documentación necesaria para la implementación.	Diseñar formatos, instructivos y matrices dentro de la hoja de ruta.	Media	Aporta al orden y sostenibilidad del sistema.
Participación de áreas involucradas	Costo	La implementación requiere interacción entre producción, calidad, mantenimiento e IT.	Permite definir roles y responsabilidades dentro de la hoja de ruta.	Identificar actores clave y su participación en cada fase.	Media	Componente organizacional clave.
Reducción de tiempos de reacción (potencial)	Beneficio	Las desviaciones se detectan de forma tardía o posterior al proceso.	Permite evidenciar beneficios del monitoreo en tiempo real.	Plantear uso de alertas y criterios de reacción dentro del modelo propuesto.	Alta	Enfoque preventivo del SPC.
Evaluación de compatibilidad tecnológica	Costo	Se requiere validar si la infraestructura actual soporta SPC.	Permite definir viabilidad técnica dentro de la hoja de ruta.	Analizar PLC, HMI, sistemas y conectividad.	Alta	Se relaciona con matriz tecnológica.
Justificación económica del SPC	Beneficio	los antecendes del proyecto SPC permite identificar beneficios generales asociados a reducción de PNC, mejor trazabilidad, dismninución de tiempos de reacción, y aprovechamiento del software proficient sin embargo, para triplex se requiere una evaluación posterior con datos reales de operación para estimar ahorros, costos y retorno esperado	Permite sustentar de forma preliminar la viabilidad del proyecto y orientar a una futura evaluación económica más detallada para la implementación piloto ante la organización.	Comparar costos de no calidad vs beneficios esperados.	Media	Apoya la toma de decisiones gerencial.

Anexo E


Prototipo integral SPC – Triplex
Hoja de ruta para visualizar, validar y estructurar la implementación del Control Estadístico de Procesos en Triplex
Nombre del Proyecto: diseño de una hoja de ruta integral para la implementación de SPC en la maquina triplex
Objetivo: diseñar una hoja de ruta integral a partir de la identificación y análisis de los lineamientos técnicos, económicos y organizacionales.
Fases de la hoja de ruta
Fase 01 Diagnóstico actual
Fase 02 Variables críticas
Fase 03 Compatibilidad tecnológica
Fase 04 viabilidad económica y organizacional
Fase 05 Piloto y escalamiento
Revisión de registros manuales, bitácoras, PNC y decisiones actuales.
Identificación de variables del proceso y producto que requieren control.
Evaluación de PLC, HMI, FileMaker, Oracle, Proalnet, Excel/CSV y ProFicient.
Costos, recursos requeridos, beneficios esperados, viabilidad costo-beneficios, roles , responsables, capacitación , toma de decisiones.
Validación inicial, responsables, cronograma y expansión gradual.
Equipo y roles
¿Quién aporta a la hoja de ruta?
Responsable
Rol
Aporte
Producción
Validar operación
Datos del proceso
Calidad
Definir variables
Criterios SPC
Mant./Autom.
Revisar tecnología
Conectividad y datos
Dirección/Costos
Evaluar viabilidad
Recursos y prioridad
Líderes de área
Apoyar la capacitación y la gestión del cambio
Sensibilización del personal , formación en SPC
Riesgos y mitigación
Aspectos críticos para controlar antes del piloto
Datos incompletos o dispersos
Estandarizar registros y fuentes
Resistencia al cambio operativo
Capacitación y participación
Sistemas no integrados
Usar Excel/CSV como etapa inicial
Costos elevados
Implementación gradual por fases
Prototipo visual: no representa implementación directa

Anexo F

Cronograma de soporte.

