

SUPERVISIÓN INDUSTRIAL Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL



José Francisco Salazar Córdova
Carmen Lucila Infante Saavedra
Carlos Ignacio Gallo Aguila
Francisco Javier Cruz Vilchez
Diego Henrri Ojeda Alberca

José Francisco Salazar Córdova,
Carmen Lucila Infante Saavedra,
Carlos Ignacio Gallo Aguila,
Francisco Javier Cruz Vilchez,
Diego Henrri Ojeda Alberca

Supervisión industrial y transformación digital

Atik Editorial



E15D N49-59 y Olivos, San Isidro. Código postal 170515.
Quito, Ecuador

Atik Editorial, es una iniciativa del Centro de Investigaciones CICSAL y está a cargo del departamento de Comunicación y Difusión Científica.

www.atikeditorial.com

Primera Edición: 2026

Derechos de autor/Copyright: José Francisco Salazar Córdova, Carmen Lucila Infante Saavedra, Carlos Ignacio Gallo Aguila, Francisco Javier Cruz Vilchez, Diego Henrí Ojeda Alberca

Editorial: Atik Editorial

Materia Dewey: 658.3 - Gerencia de personal (Gerencia de recursos humanos)

Clasificación Thema: KJMV2 - Gestión de personal y recursos humanos | KJD - Innovación empresarial | KJ - Empresa y gestión

Público objetivo: Profesional/Académico

BISAC: BUS041000

Colección: Ciencias Sociales Aplicadas

Soporte: Digital

Formato: Epub (.epub)/PDF (.pdf)

Publicado: 2026-10-01

ISBN: 978-9907-820-17-1

Disponible para su descarga gratuita en <http://atikeditorial.com>

El presente libro tienen el aval del Centro de Investigaciones en Ciencias y Humanidades desde América Latina - CICSAL.



Título: Supervisión industrial y transformación digital

Industrial Supervision and Digital Transformation

Supervisão Industrial e Transformação Digital

(APA 7)

Salazar Córdova, J. F., Infante Saavedra, C. L., Gallo Aguila, C. I., Cruz Vilchez, F. J., & Ojeda Alberca, D. H. (2026). *Supervisión industrial y transformación digital*. Atik Editorial. <https://doi.org/10.46652/atik-book40>



Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) la cual está disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Se debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

Las consultas relativas a la reproducción fuera del ámbito de esta licencia deberán enviarse al Departamento de Comunicación y Difusión Científica de CICSHAL a la siguiente casilla de correo: info@atikeditorial.com

Los enlaces a sitios web de terceros son facilitados por **Atik** Editorial de buena fe y a título meramente informativo. **Atik** Editorial declina toda responsabilidad por el material contenido en cualquier sitio web de terceros al que se haga referencia en esta obra.

Esta publicación es una obra derivada que surge de la tesis de maestría titulada "Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana, Perú, 2021", defendida por José Francisco Salazar Córdova en la Universidad Nacional de Piura (Perú) en el año 2026. Bajo la coordinación del propio autor de la tesis, un equipo de investigadores ha ampliado, profundizado y actualizado el trabajo original mediante un proceso colaborativo, dando lugar a este libro.

This publication is a derivative work originating from the master's thesis titled "Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana, Perú, 2021", defended by José Francisco Salazar Córdova at the Universidad Nacional de Piura (Perú) in 2026. Under the coordination of the thesis author himself, a team of researchers has expanded, deepened, and updated the original work through a collaborative process, resulting in this book.

AVAL DE REVISIÓN POR PARES

El presente libro constituye el resultado de un riguroso proceso de investigación académica, cuya calidad metodológica y solidez argumental han sido validadas mediante un sistema de revisión por pares externos implementado bajo el protocolo de doble ciego, bajo la supervisión del Centro de Investigaciones en Ciencias y Humanidades desde América Latina (CICSHAL). Como garantía de transparencia y rigor científico, los informes de evaluación realizados por los especialistas designados se conservan en el archivo institucional de la editorial, a disposición de las instancias que así lo requieran.

This book is the result of a rigorous academic research process, whose methodological quality and argumentative solidity have been validated through an external peer-review system implemented under a double-blind protocol, under the supervision of the Center for Research in Sciences and Humanities from Latin America (CICSHAL). As a guarantee of transparency and scientific rigor, the evaluation reports prepared by the designated specialists are preserved in the publisher's institutional archives, available to any party that may require them.

info@atikeditorial.com



AUTORES

AUTHORS

José Francisco Salazar Córdova

Universidad Nacional De Piura | Piura | Perú

<https://orcid.org/0009-0004-5502-8040>

43098274@posgrado.unp.edu.pe

salazarcordovajose@gmail.com

Ingeniero Industrial con Maestría en la Universidad Nacional de Piura, especialista en Sistema de Gestión, Calidad e Inocuidad, Seguridad Industrial, con experiencia como auditor en Programas de Excelencia, implementación en sistema de Gestión Seguridad Alimentaria.

Carmen Lucila Infante Saavedra

Universidad Nacional De Piura | Piura | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-5772-8807>

cinfantes@unp.edu.pe

Ingeniero Industrial con orientación en Sistemas e Informática, Magister en Informática, Doctora en Tecnologías de Información y Comunicación, Doctoranda en Administración de Empresas, Certificada por la Universidad de Liverpool en el curso Adaptación e implementación de cursos virtuales, asesora y jurado de tesis de pregrado y posgrado, miembro del equipo de Semilleros de Investigación y docente principal hace 25 años de la Universidad Nacional de Piura.

Carlos Ignacio Gallo Aguila

Universidad César Vallejo | Piura | Perú

<https://orcid.org/0000-0003-1382-0545>

cigalloa@ucvvirtual.edu.pe

cgalloa@gmail.com

Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional de Piura, Maestro en Docencia Universitaria y Gestión Educativa de la Universidad Alas Peruanas, Doctor en Ciencias de la Educación de la Universidad Enrique Guzmán y Valle.

Francisco Javier Cruz Vilchez

Universidad Nacional De Piura | Piura | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-5910-2437>

fcruzv@unp.edu.pe

Docente Principal del Departamento Académico de Ingeniería Informática de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Piura. Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicaciones. Magister en Ciencias Mención en Informática. Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicaciones. Decano de la Facultad de Ingeniería Industrial - UNP. Asesor de Tesis de Pregrado y Posgrado. Investigaciones en Internet de las cosas. Investigaciones en Inteligencia de Negocios.

Diego Henrri Ojeda Alberca

Universidad Nacional De Piura | Piura | Perú

<https://orcid.org/0009-0002-3704-1829>

75681803@posgrado.unp.edu.pe

diegohehrriojedaalberca@gmail.com

Licenciado en Estadística, manejo de software R, SPSS, Python, SQL, herramientas de inteligencia artificial. Egresado de la Maestría en Ciencia de Datos por la Universidad Autónoma del Perú. Actualmente cursa el Doctorado en Ciencias de la Educación

RESUMEN

En una planta de bebidas ubicada en Sullana, la información sobre la velocidad y la cantidad de producción no estaba disponible en tiempo real, lo que dificultaba la planificación y la toma de decisiones oportunas. Este libro documenta la implementación de un sistema SCADA que permite supervisar en tiempo real las líneas de producción, enlazando las máquinas llenadora y empaquetadora con un servidor central que visualiza los datos desde cualquier punto de la red. A lo largo de sus capítulos se describen los fundamentos de la supervisión industrial, el diseño metodológico de la intervención, la selección de sensores y software, la arquitectura del sistema y la validación estadística de los resultados. La obra muestra cómo la información confiable y oportuna transforma la gestión productiva, reduce errores y fortalece la capacidad de respuesta de la organización.

Palabras clave: Monitoreo en tiempo real, sistema SCADA, supervisión industrial, producción de bebidas, Industria 4.0.

ABSTRACT

At a beverage plant located in Sullana, information regarding production speed and output volume was not available in real time, which hindered planning and timely decision-making. This book documents the implementation of a SCADA system that enables real-time supervision of production lines, linking the filling and packaging machines to a central server that displays data from any point on the network. Throughout its chapters, the fundamentals of industrial supervision, the methodological design of the intervention, the selection of sensors and software, the system architecture, and the statistical validation of results are described. The work demonstrates how reliable and timely information transforms production management, reduces errors, and strengthens the organization's response capacity.

Keywords: Real-time monitoring, SCADA system, industrial supervision, beverage production, Industry 4.0.

RESUMO

Em uma planta de bebidas localizada em Sullana, as informações sobre a velocidade e a quantidade de produção não estavam disponíveis em tempo real, o que dificultava o planejamento e a tomada de decisões oportunas. Este livro documenta a implementação de um sistema SCADA que permite supervisionar em tempo real as linhas de produção, conectando as máquinas enchedora e empacotadora a um servidor central que visualiza os dados de qualquer ponto da rede. Ao longo de seus capítulos, são descritos os fundamentos da supervisão industrial, o desenho metodológico da intervenção, a seleção de sensores e software, a arquitetura do sistema e a validação estatística dos resultados. A obra demonstra como a informação confiável e oportuna transforma a gestão produtiva, reduz erros e fortalece a capacidade de resposta da organização.

Palavras-chave: Monitoramento em tempo real, sistema SCADA, supervisão industrial, produção de bebidas, Indústria 4.0.

SUPERVISIÓN INDUSTRIAL Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

Contenido

Aval de revisión por pares	6
Autores	8
Resumen	10
Abstract	11
Resumo	11
Introducción	17

Capítulo 1 26

La transformación digital de los procesos productivos y el desafío de la información en tiempo real	26
La transformación digital de los procesos productivos y el desafío de la información en tiempo real	27
Los sistemas SCADA y su función articuladora en la industria moderna	30
La necesidad de un sistema SCADA en la empresa de bebidas y su justificación estratégica	34

Capítulo 2 43

Los cimientos conceptuales de la supervisión industrial y su trayectoria investigativa	43
Las bases conceptuales que sostienen la supervisión de procesos productivos	52
El glosario técnico y el marco referencial de la implementación propuesta	59

Capítulo 3 67

El diseño metodológico de la intervención y los procedimientos de recolección de datos	67
Los sujetos, las unidades de análisis y la delimitación operativa	68
Las técnicas, instrumentos y consideraciones éticas de la investigación	74

Capítulo 4 80

Los hallazgos de la implementación y su lectura desde la evidencia	80
La identificación de los puntos críticos y la definición del diagrama de procesos	85
La definición de los dispositivos, el diseño del software y la arquitectura del sistema	90
La selección del software, los sensores y los criterios de evaluación	97

El cronograma de implementación y el análisis de los resultados obtenidos 106

Capítulo 5 116

Del dato confiable a la decisión acertada. Lo que enseña la implementación del sistema SCADA y los caminos que se abren en la planta de bebidas 116
Lo que devela la evidencia. Confiabilidad estadística y sus efectos en la gestión 117

Las decisiones técnicas que sostienen la implementación y su justificación económica 118

Las proyecciones del sistema y los horizontes de mejora continua 120

Capítulo 6 124

La dimensión humana y organizacional de la supervisión industrial. Resistencias, apropiación tecnológica y el factor humano en la implementación del sistema SCADA 124

Un nuevo enfoque para comprender la implementación tecnológica 125

Resistencias y negociaciones. La cara oculta de la implementación técnica 128

Apropiación tecnológica. De la operación manual a la supervisión automatizada 131

Sostenibilidad organizacional. Más allá de la instalación técnica 133

Conclusiones parciales. Hacia una comprensión integral de la implementación tecnológica 136

Conclusiones generales 139

Referencias 144

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Formato de velocidades nominales	76
Tabla 2. Volumen de producción mensual por línea.	77
Tabla 3. Formato de Máquinas enlazadas en el SCADA	77
Tabla 4. Máquinas de línea de producción	81
Tabla 5. Velocidades nominales por formato	82
Tabla 6. Producción mensual por línea.	84
Tabla 7. Eficiencia de equipos por línea de producción.	85
Tabla 8. Cuestionario de recolección de datos	88
Tabla 9. Máquinas enlazadas en el SCADA	90
Tabla 10. Inspección de máquinas	91
Tabla 11. Selección del sistema	98
Tabla 12. Tabla de criterios	99
Tabla 13. Cuadro comparativo de sensores	100
Tabla 14. Cronograma de implementación	106
Tabla 15. Costo de componentes del sistema SCADA	108
Tabla 16. Datos de velocidades manual vs sistema SCADA	109
Tabla 17. Análisis de varianza para velocidades	110
Tabla 18. Datos de paquetes manual vs Sistema SCADA	111
Tabla 19. Análisis de varianza para los paquetes producidos	112

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de flujo de producción.	53
Figura 2. Arquitectura general de un sistema SCADA.	55
Figura 3. Diagrama de proceso	62
Figura 4. Definición y operacionalización de variables	64
Figura 5. Estructura de red	73
Figura 6. Ubicación de sensores contadores	74
Figura 7. Diagrama del proceso productivo.	87
Figura 8. Dispositivos para velocidad y producción	89
Figura 9. Esquema de sistema SCADA	92
Figura 10. Configuración de PLC	93
Figura 11. Tabla de símbolos en PLC	94
Figura 12. Programación Ladder	95
Figura 13. Diseño de programación en Indusoft	96
Figura 15. Reporte de velocidad y producción	105
Figura 16. Clave de acceso al SCADA	105

INTRODUCCION

Una lectura sociotécnica de la supervisión industrial, la apropiación tecnológica y la sostenibilidad organizacional

En el escenario industrial contemporáneo, la capacidad de acceder a información oportuna y confiable sobre los procesos productivos se ha convertido en uno de los factores determinantes de la competitividad empresarial. Las organizaciones que logran monitorear en tiempo real sus variables críticas de producción pueden anticipar desviaciones, optimizar el uso de sus recursos y responder con agilidad a las demandas cambiantes del mercado, mientras que aquellas que dependen de registros manuales y de la transmisión verbal de datos enfrentan limitaciones significativas que se traducen en errores de planificación, sobrecostos operativos e incumplimientos de entrega.

Este libro aborda precisamente esa brecha entre la información disponible y la información necesaria, documentando la implementación de un sistema SCADA en una planta de bebidas ubicada en Sullana, Perú, como respuesta a la necesidad de monitorear en tiempo real la velocidad de las líneas y la cantidad de paquetes producidos. Sin embargo, a diferencia de una lectura exclusivamente técnica o estadística del fenómeno, esta obra propone una interpretación sociotécnica que otorga centralidad analítica a las personas, las organizaciones y los procesos culturales que condicionan la adopción, el funcionamiento y la sostenibilidad de las tecnologías de supervisión industrial.

La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 ha redefinido la manera en que las empresas gestionan sus operaciones, articulando tecnologías de la información, sistemas ciberfísicos y redes de comunicación inteligente para transformar la producción. En este contexto, los sistemas SCADA, cuya denominación corresponde a Supervisory Control and Data Acquisition, se han consolidado como herramientas fundamentales para la supervisión y el control de procesos industriales, pues permiten centralizar la información proveniente de múltiples fuentes, procesarla y presentarla de manera visual e intuitiva a los responsables de la toma de decisiones. La adopción de estas tecnologías no constituye un lujo tecnológico sino una necesidad estratégica en entornos productivos donde la velocidad de respuesta y la precisión de los datos determinan la capacidad de la organización para competir y sostenerse en el mercado. No obstante, la experiencia acumulada en numerosos proyectos de transformación digital ha demostrado que la instalación exitosa de un sistema SCADA no garantiza por sí sola su adopción efectiva por parte de los usuarios ni su sostenibilidad a largo plazo, pues estos resultados dependen de factores humanos, organizacionales y culturales que trascienden la infraestructura tecnológica.

El problema que dio origen a esta investigación se identificó en una empresa de bebidas que cuenta con tres líneas de producción de diferentes formatos, cuyas velocidades y cantidades de producción no se encontraban disponibles en tiempo real. Los datos debían ser consultados a los operadores mediante comunicación por radio, lo que generaba demoras, errores e incertidumbre en la planificación diaria. La información sobre la velocidad de las llenadoras y la cantidad de paquetes producidos llegaba tarde a las áreas de planificación y ventas, dificultando la evaluación de ries-

gos de entrega y la toma de decisiones oportunas. Esta situación, documentada a lo largo del libro, constituye un ejemplo representativo de las limitaciones que enfrentan muchas empresas industriales cuando operan sin sistemas automatizados de supervisión. Sin embargo, la problemática descrita no se agota en la dimensión técnica de la falta de información oportuna, pues la dependencia de la comunicación verbal y del registro manual también revela una organización del trabajo basada en la intermediación humana de los datos, en la que los operadores desempeñaban un rol central como nodos de un sistema de comunicación informal que, aunque ineficiente desde el punto de vista técnico, les otorgaba un poder significativo dentro de la organización.

El objetivo general original de la investigación consistió en implementar un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana, y para alcanzar este propósito se desarrollaron objetivos específicos que incluyeron el análisis de los sistemas de control y monitoreo existentes, la identificación de los puntos críticos de monitoreo a través del diagrama de procesos, la determinación de los dispositivos más adecuados para detectar la velocidad y producción, el diseño del software para enlazar las máquinas con el SCADA y la evaluación de los costos asociados a la implementación. Estos objetivos configuraron una ruta metodológica que articuló el diagnóstico, el diseño, la implementación y la evaluación, asegurando que la propuesta respondiera de manera integral a las necesidades identificadas. No obstante, la experiencia de implementación y el análisis detallado de los datos recolectados revelaron dimensiones del fenómeno que el objetivo original no alcanzaba a capturar plenamente, particularmente aquellas relacionadas con las resistencias al cambio, los procesos de apropiación tecnológica por

parte de los operadores y las condiciones organizacionales que determinan la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Como resultado de esta constatación, el libro ha sido reorientado hacia un nuevo objetivo general que amplía y profundiza la comprensión del fenómeno estudiado. Este nuevo objetivo consiste en interpretar críticamente la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas desde una perspectiva sociotécnica, identificando las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionaron su adopción, funcionamiento y sostenibilidad más allá de la validación estadística de los datos. Para desglosar este objetivo general, se formulan tres objetivos específicos que permiten abordar de manera articulada las distintas facetas del fenómeno. El primer objetivo específico consiste en analizar las resistencias, tensiones y negociaciones que emergieron durante la implementación del sistema SCADA, a partir de los datos empíricos presentes en el libro y de las categorías analíticas que subyacen a las decisiones técnicas adoptadas. El segundo objetivo específico busca examinar los procesos de apropiación tecnológica que protagonizaron los operadores y supervisores de la planta, identificando los factores que facilitaron o dificultaron la transición desde las prácticas manuales de registro hacia la supervisión automatizada en tiempo real. El tercer objetivo específico pretende evaluar las condiciones organizacionales que favorecen la sostenibilidad del sistema SCADA a largo plazo, considerando aspectos como la capacitación del personal, la gestión del conocimiento, el mantenimiento de la infraestructura y la integración del sistema con otras áreas de la organización.

La justificación teórica de esta reorientación se sustenta en perspectivas contemporáneas de los estudios sociales de la tecnología y de la gestión del cambio organizacional. La teoría de la construc-

ción social de la tecnología, desarrollada por Pinch y Bijker (1984), sostiene que el éxito o fracaso de una tecnología no depende exclusivamente de sus propiedades técnicas, sino de los procesos de negociación, interpretación y apropiación que realizan los grupos sociales relevantes que interactúan con ella. Aplicada al caso del sistema SCADA en la planta de bebidas, esta perspectiva permite comprender que la aceptación del sistema por parte de los operadores, supervisores y responsables de planificación no fue un resultado automático de su instalación, sino un proceso que requirió negociaciones, ajustes y aprendizajes que el libro documenta y que merecen una interpretación más profunda. Asimismo, la literatura sobre gestión del cambio organizacional ha evidenciado que las transformaciones tecnológicas exitosas requieren no solo de una infraestructura adecuada, sino también de estrategias explícitas de comunicación, capacitación y acompañamiento que faciliten la transición desde las prácticas anteriores hacia las nuevas formas de trabajo.

La relevancia de esta obra trasciende el ámbito específico de la empresa analizada y se proyecta hacia el conjunto del sector industrial de la región, pues los hallazgos y las soluciones propuestas pueden servir de referencia para otras organizaciones que enfrentan problemáticas similares relacionadas con la falta de información en tiempo real y la necesidad de optimizar sus procesos productivos. En un contexto caracterizado por la creciente competencia, la volatilidad de los mercados y la exigencia de los consumidores, la capacidad de las empresas para acceder a información oportuna y confiable se convierte en un factor determinante de su competitividad y sostenibilidad. La implementación de sistemas SCADA, como se documenta en este libro, no constituye un fin en sí mismo sino un medio para alcanzar niveles su-

periores de eficiencia, calidad y capacidad de respuesta, y su éxito depende en última instancia de la capacidad de la organización para integrar la tecnología en sus prácticas cotidianas y para construir capacidades locales que garanticen su sostenibilidad en el tiempo.

La estructura de la obra se organiza en seis capítulos que recorren de manera progresiva los fundamentos teóricos, el diseño metodológico, la implementación técnica, los resultados obtenidos, las proyecciones del sistema y, finalmente, la interpretación sociotécnica de la experiencia. El primer capítulo presenta la transformación digital de los procesos productivos y el desafío de la información en tiempo real, contextualizando el problema y justificando la necesidad de la intervención desde una perspectiva que articula las dimensiones técnicas y humanas. El segundo capítulo desarrolla los cimientos conceptuales de la supervisión industrial y su trayectoria investigativa, revisando antecedentes internacionales y nacionales, así como las bases teóricas que sustentan el diseño del sistema y las perspectivas sociotécnicas que orientan la nueva interpretación. El tercer capítulo describe el diseño metodológico de la intervención y los procedimientos de recolección de datos, precisando el enfoque, el nivel, el tipo de investigación y las técnicas empleadas, así como los criterios que justifican la pertinencia del nuevo objetivo. El cuarto capítulo expone los hallazgos de la implementación y su lectura desde la evidencia, presentando el análisis de las máquinas, las velocidades por formato, los paquetes producidos, la eficiencia de los equipos, los puntos críticos de monitoreo, los dispositivos seleccionados, el diseño del software, la arquitectura del sistema y la validación estadística de los resultados, incorporando en cada apartado una reflexión sobre las implicaciones humanas y organizacionales de

las decisiones técnicas. El quinto capítulo sintetiza lo que deja entrever el estudio, destacando la confiabilidad estadística del sistema, las decisiones técnicas que sostienen la implementación, su justificación económica y las proyecciones hacia nuevas variables y áreas de la organización, así como las condiciones organizacionales que favorecen la sostenibilidad del sistema. El sexto capítulo, que constituye la contribución más novedosa de esta obra, desarrolla la interpretación sociotécnica de la implementación, analizando las resistencias y negociaciones, los procesos de apropiación tecnológica y las condiciones organizacionales que determinan la sostenibilidad del sistema a largo plazo. Cada capítulo aporta elementos que en su conjunto configuran una visión integral de la implementación, desde la identificación del problema hasta la evaluación de los resultados y la interpretación crítica de la experiencia.

El aporte de esta obra al campo de la ingeniería industrial y de la gestión de operaciones se manifiesta en varios niveles. En primer lugar, documenta de manera rigurosa el proceso completo de implementación de un sistema SCADA en un contexto productivo real, ofreciendo un caso de estudio que puede servir de referencia para otras organizaciones. En segundo lugar, aporta evidencia empírica sobre la confiabilidad de los datos capturados por el sistema, respaldada por pruebas estadísticas que demuestran la equivalencia entre las mediciones manuales y las registradas automáticamente. En tercer lugar, propone una metodología de implementación que articula el diagnóstico, el diseño, la programación, la validación y la evaluación de costos, ofreciendo una ruta replicable en contextos similares. En cuarto lugar, y de manera particularmente relevante para esta nueva versión, ofrece una interpretación sociotécnica de la implementación que resignifi-

ca los hallazgos originales a la luz de las dimensiones humanas, organizacionales y culturales, contribuyendo a una comprensión más integral de los procesos de transformación digital en el sector industrial.

Finalmente, este libro está dirigido a profesionales de la ingeniería industrial, gestores de operaciones, responsables de mantenimiento, docentes universitarios y estudiantes de posgrado interesados en la transformación digital de los procesos productivos. No se trata de un manual técnico exhaustivo sobre SCADA, sino de una obra que articula el conocimiento teórico con la experiencia práctica, ofreciendo una visión completa de lo que implica implementar un sistema de supervisión industrial en una planta de bebidas y de las condiciones humanas y organizacionales que determinan su éxito. La invitación que se extiende al lector es a recorrer las páginas que siguen con una mirada crítica y propositiva, reconociendo que la información en tiempo real constituye hoy uno de los activos más valiosos de cualquier organización y que su adecuada gestión marca la diferencia entre operar con incertidumbre y decidir con confianza, pero también que ninguna tecnología, por sofisticada que sea, puede sustituir la inteligencia, la experiencia y el compromiso de las personas que la utilizan.

CAPÍTULO 1

LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y EL DESAFÍO DE LA INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL



La transformación digital de los procesos productivos y el desafío de la información en tiempo real

En el escenario industrial contemporáneo, numerosas empresas alrededor del mundo vienen incorporando tecnologías digitales y sistemas de automatización que están redefiniendo la manera en que se gestionan los procesos productivos. Este fenómeno, conocido como transformación digital, implica una reconfiguración profunda de las operaciones industriales, permitiendo disponer en tiempo real de la información generada en cada etapa del proceso productivo y en todas las áreas involucradas. La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 se presenta así como un paradigma que articula tecnologías de la información, sistemas ciberfísicos y redes de comunicación inteligente para optimizar la producción, mejorar la calidad y reducir los tiempos de respuesta ante las demandas del mercado.

Este nuevo modelo productivo no se limita a la incorporación de herramientas tecnológicas aisladas, sino que supone una transformación integral de la cultura organizacional, de los procesos de toma de decisiones y de la manera en que las empresas se relacionan con sus clientes, proveedores y trabajadores. La digitalización de los procesos productivos permite que la información fluya de manera continua y bidireccional entre los distintos niveles de la organización, desde el piso de planta hasta la alta dirección, facilitando la identificación temprana de desviaciones, la optimización de recursos y la anticipación de riesgos operativos que, de otro modo, permanecerían ocultos hasta que sus consecuencias se manifestaran en pérdidas económicas o incumplimientos contractuales.

Entre los beneficios más destacados de este modelo se encuentran la reducción del tiempo de producción, la optimización de los niveles de calidad, la disminución de costos operativos, el aumento de la seguridad en los procesos, una mayor flexibilidad productiva, la eficiencia en el flujo de datos y el incremento de la competitividad empresarial en entornos cada vez más exigentes y globalizados. Cada uno de estos beneficios responde a necesidades concretas de las organizaciones modernas, que deben operar en mercados caracterizados por la volatilidad de la demanda, la presión sobre los márgenes de ganancia y la exigencia creciente de los consumidores por productos de mayor calidad y entregas más rápidas. La reducción del tiempo de producción, por ejemplo, no solo implica una mayor capacidad de respuesta ante pedidos urgentes, sino también una disminución de los costos asociados al almacenamiento de inventarios y a la inmovilización de capital en productos terminados que esperan ser distribuidos. La optimización de la calidad, por su parte, se traduce en una menor tasa de defectos, lo que reduce los costos de reprocesos, devoluciones y garantías, al tiempo que fortalece la reputación de la marca y la fidelidad de los clientes. La disminución de costos operativos abarca tanto el consumo eficiente de energía y materias primas como la reducción de desperdicios y la mejor utilización de la capacidad instalada.

Diversas iniciativas internacionales reflejan la creciente importancia de esta transformación. En los Estados Unidos, el proyecto Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) impulsa el desarrollo de la industria del futuro, mientras que General Electric trabaja en el proyecto Industrial Internet, orientado a asociar y complementar los avances tecnológicos para optimizar los procesos productivos (Peter y Annunziata, 2012). Estas

experiencias evidencian que la articulación entre tecnologías emergentes y procesos industriales constituye una prioridad estratégica para las economías avanzadas, que buscan mantener su liderazgo en un contexto de competencia global cada vez más intensa. En el contexto latinoamericano, México lidera la adopción de la industria 4.0, seguido por regiones de América Central y del Sur clasificadas como países nacientes en esta materia. Según el Foro Económico Mundial de 2018, México ocupa el puesto 22 en el desarrollo de la industria moderna, Brasil el puesto 41 y Argentina el puesto 50 (Foro Económico Mundial, 2018). Estas cifras evidencian que la región enfrenta desafíos significativos para consolidar su proceso de transformación digital, aunque también revelan oportunidades para avanzar mediante políticas públicas orientadas a la innovación, la capacitación del talento humano y la inversión en infraestructura tecnológica. La brecha entre los países líderes y los países nacientes en materia de Industria 4.0 no solo refleja diferencias en el nivel de desarrollo económico, sino también en la calidad de las instituciones, en la disponibilidad de capital humano especializado y en la capacidad de las empresas para absorber y adaptar tecnologías importadas. Cerrar esta brecha requiere esfuerzos coordinados entre el sector público, el sector privado y las universidades, así como una visión de largo plazo que trascienda los ciclos políticos y las urgencias coyunturales.

La globalización de los modelos económicos ha impulsado a todos los países a mejorar y hacer más eficientes sus procesos productivos. Se tienen procesos más eficientes gracias a la innovación de nuevas tecnologías y la automatización de procesos industriales (Pérez, 2017). En este contexto, la adopción de sistemas de supervisión y monitoreo se convierte en una necesidad estratégica para las empresas que buscan mantenerse competitivas y responder

con agilidad a las demandas del mercado. La automatización de procesos industriales no solo incrementa la productividad y reduce los costos, sino que también mejora las condiciones de trabajo al liberar a los operarios de tareas repetitivas, peligrosas o insalubres, permitiéndoles asumir roles de mayor valor agregado que requieren habilidades cognitivas, capacidad de análisis y toma de decisiones. Esta reconfiguración de las ocupaciones industriales plantea nuevos desafíos en materia de formación profesional y reconversión laboral, pues los trabajadores deben adquirir competencias digitales que les permitan interactuar con sistemas automatizados, interpretar datos y resolver problemas complejos en entornos tecnológicamente densos. La transformación digital, por lo tanto, no es solo un proceso técnico sino también un proceso social que transforma las identidades laborales, las relaciones de poder dentro de las organizaciones y las culturas de trabajo que se han construido a lo largo de décadas.

Los sistemas SCADA y su función articuladora en la industria moderna

En la industria actual se están implementando los llamados sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) como sistemas de supervisión y monitoreo de variables en tiempo real. Como su nombre indica, dichos sistemas cumplen funcionalidades de centralización o adquisición de datos, control y supervisión, permitiendo a los operadores y responsables de planta contar con información actualizada sobre el comportamiento de los procesos productivos. El Sistema SCADA se ubica en los tres primeros niveles del modelo jerárquico de CIM de la pirámide de automatización, donde los dos primeros niveles están compuestos

por el hardware, mientras el tercer nivel lo conforma la aplicación de software, de ahí que los sistemas SCADA sirvan de puente entre los niveles administrativos y el nivel de planta en una industria. Esta posición estratégica dentro de la arquitectura de automatización convierte al SCADA en un elemento clave para la integración de la información operativa con la gestión empresarial, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas. La capacidad del SCADA para centralizar datos provenientes de múltiples fuentes, procesarlos y presentarlos de manera visual e intuitiva permite que los responsables de producción, mantenimiento, calidad y logística accedan a una visión compartida del estado del proceso, reduciendo la fragmentación de la información y los errores de interpretación que suelen surgir cuando cada área gestiona sus propios datos de manera aislada.

La relevancia de estos sistemas se acentúa en contextos donde la información no fluye con la velocidad requerida o donde los datos deben ser recolectados manualmente, generando retrasos y errores que afectan la planificación y el desempeño global de la organización. En el Perú, diversas empresas están logrando su conversión hacia la industria 4.0, especialmente en un contexto marcado por la pandemia y el distanciamiento social, donde muchas organizaciones han invertido en tecnologías de la información para mejorar la comunicación entre áreas y evitar el contacto entre trabajadores. Esta coyuntura ha actuado como catalizador de procesos de digitalización que, en otros momentos, habrían enfrentado mayores resistencias o demoras. La pandemia evidenció con crudeza las limitaciones de los sistemas de información tradicionales, basados en registros manuales y en la transmisión verbal de datos, y puso de manifiesto la necesidad de

contar con plataformas digitales que permitan el acceso remoto a la información, la colaboración entre equipos distribuidos geográficamente y la continuidad operativa en situaciones de crisis. Sin embargo, la urgencia de la respuesta pandémica también reveló que la adopción tecnológica acelerada puede generar tensiones organizacionales y resistencias que requieren de una gestión cuidadosa para evitar que la tecnología se convierta en una fuente de fragmentación en lugar de integración.

A nivel regional, en Piura, se tiene una empresa de bebidas ubicada en Sullana, cuya información de las velocidades y cantidad de producción no se tiene en tiempo real. Actualmente esta empresa cuenta con tres líneas de producción, denominadas Línea 1, Línea 2 y Línea 3, cuyo proceso se realiza en máquinas de producción conformadas por sopladora, etiquetadora, llenadora, capsuladora, inspector y empaquetadora, siendo la llenadora la máquina que define el ritmo de la producción y la empaquetadora aquella que define la cantidad de paquetes producidos. En esta configuración, la llenadora actúa como el corazón del proceso, pues su velocidad condiciona el flujo de toda la línea, mientras que la empaquetadora determina la producción final que se reporta a las áreas administrativas y de planificación. La secuencia de máquinas que conforman cada línea refleja la complejidad del proceso productivo y la interdependencia entre las distintas etapas, de modo que cualquier interrupción o disminución de la velocidad en una de ellas repercute inevitablemente en el desempeño de las demás y en la producción total de la planta. Esta característica de los sistemas de producción en serie exige un monitoreo constante y preciso que permita identificar de inmediato las anomalías y actuar con rapidez para restablecer las condiciones óptimas de operación.

Los datos no se tienen a la mano y muchas veces demoran en registrarse en el sistema, lo cual genera pérdida de tiempo. Otra forma de tomar estos datos es solicitarle al operador mediante comunicación por radio y muchas veces la información no es correcta. Esta forma de obtener los datos genera pérdida de tiempo y una demora en la obtención de los indicadores del área. Asimismo, al no tener la información real a tiempo, no se permite analizar la información ni tomar decisiones inmediatas en función del ritmo de producción. Esta información es requerida por los jefes de áreas y por el área de Planificación para evaluar riesgos de entrega de volumen de producción. La dependencia de la comunicación verbal y del registro manual introduce un margen de error considerable y limita la capacidad de respuesta ante eventuales desviaciones en la producción, lo que repercute directamente en la eficiencia operativa y en la satisfacción de los clientes. Además, la ausencia de registros automatizados dificulta la trazabilidad de los datos históricos, impide la realización de análisis comparativos entre turnos, líneas o períodos, y obstaculiza la identificación de patrones y tendencias que podrían orientar decisiones de mejora continua. La información, cuando se obtiene de manera tardía o fragmentada, pierde gran parte de su valor estratégico y se convierte en un elemento más de incertidumbre que de claridad para la gestión.

Sin embargo, la dependencia de la comunicación verbal y del registro manual no solo representa una limitación técnica sino que también configura una organización del trabajo específica, en la que los operadores desempeñan un rol central como intermediarios de la información. Los operadores conocen las máquinas, interpretan sus señales, anticipan sus fallas y traducen su funcionamiento en datos que transmiten verbalmente a otras áreas.

Este conocimiento práctico, construido a lo largo de años de experiencia, constituye un activo intangible de enorme valor para la organización, pero también un factor de resistencia potencial cuando se introducen tecnologías que pretenden automatizar las funciones que ellos desempeñan. La implementación de un sistema SCADA, al desplazar la función de registro y transmisión de datos desde los operadores hacia los sensores y el software, transforma radicalmente el rol de los operadores y las relaciones de poder dentro de la organización. Los operadores dejan de ser los únicos depositarios de la información sobre el proceso y pasan a ser usuarios de un sistema que genera datos de manera automática, lo que puede generar sentimientos de pérdida de control, de desvalorización de su experiencia y de amenaza a su identidad profesional. La literatura sobre gestión del cambio ha demostrado que estas resistencias, cuando no son gestionadas adecuadamente, pueden comprometer el éxito de la implementación y generar formas de uso superficial o de rechazo velado que limitan el aprovechamiento pleno de las capacidades de la tecnología.

La necesidad de un sistema SCADA en la empresa de bebidas y su justificación estratégica

Esto implica la necesidad de implementar un sistema SCADA que permita registrar la información de los paneles de las máquinas llenadoras y empaquetadoras, y que se pueda mostrar y transferir en tiempo real a las diferentes áreas a través de cualquier punto de red para una mejor toma de decisiones. La implementación de un sistema de esta naturaleza no solo responde a una carencia técnica, sino que se inscribe en una lógica de mejora continua que busca dotar a la organización de herramientas que

fortalezcan su capacidad de anticipación y respuesta ante las dinámicas cambiantes del entorno productivo. Un sistema SCADA bien diseñado e implementado no solo permite visualizar el estado actual de las máquinas, sino que también genera registros históricos que pueden ser analizados para identificar oportunidades de mejora, evaluar el impacto de las intervenciones realizadas y fundamentar decisiones de inversión en mantenimiento, renovación de equipos o ampliación de capacidad. La información en tiempo real se convierte así en un activo estratégico que permite a la organización operar con mayor eficiencia, reducir los costos asociados a las interrupciones no planificadas y mejorar la calidad de sus productos y servicios.

La problemática descrita se articula en torno a una pregunta general que orienta la investigación: ¿cómo implementar un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana? Esta interrogante se descompone en problemas específicos que abordan aspectos concretos del proceso, tales como qué tipo de sistemas se pueden implementar para monitorear la información de las máquinas de una empresa de bebidas, qué diagramas de procesos se aplican en el sistema productivo, qué dispositivos se pueden utilizar para detectar la velocidad y producción de las líneas, qué software implementar para enlazar las máquinas con el SCADA y cómo evaluar los costos de la implementación del sistema. Cada una de estas preguntas contribuye a delimitar el alcance del estudio y a orientar las decisiones metodológicas y técnicas que se adoptarán en el desarrollo de la propuesta. La formulación de estas interrogantes refleja la complejidad del problema y la necesidad de abordarlo desde una perspectiva integral que considere tanto los aspectos

tecnológicos como los organizativos, económicos y humanos involucrados en la implementación de un sistema de supervisión y control.

Sin embargo, la experiencia de implementación y el análisis de los datos recolectados revelaron que la pregunta general original resultaba insuficiente para capturar la complejidad del fenómeno. La mera instalación del sistema SCADA no garantiza su adopción efectiva por parte de los usuarios ni su sostenibilidad a largo plazo, pues estos resultados dependen de factores humanos, organizacionales y culturales que trascienden la infraestructura tecnológica. Por esta razón, la investigación se ha reorientado hacia una nueva pregunta general que amplía y profundiza la comprensión del fenómeno: ¿cómo se construye sociotécnicamente la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas, considerando las resistencias, los procesos de apropiación tecnológica y las condiciones organizacionales que determinan su sostenibilidad más allá de la validación estadística de los datos? Esta nueva interrogante reconoce que la implementación tecnológica no es un proceso lineal ni exento de tensiones, sino una construcción compleja en la que convergen actores con intereses diversos, prácticas organizacionales sedimentadas y culturas de trabajo que condicionan la adopción de las nuevas herramientas.

Debido a la falta de información en tiempo real de las máquinas de las líneas de producción y a la información a destiempo que brindan los operadores cuando se les consulta por cualquier medio de comunicación, ya sean radios o celulares, muchas veces se han tomado decisiones erradas en la planificación de la producción, generando retrasos y costos elevados en la entrega de la producción del día. Por lo que se plantea implementar un sistema SCADA que permita en tiempo real obtener información de producción y

tomar decisiones acertadas en la programación de la producción. Esta justificación adquiere relevancia porque no solo atiende una necesidad operativa inmediata, sino que sienta las bases para una gestión más eficiente y transparente de los recursos productivos. La experiencia acumulada en la empresa evidencia que las decisiones basadas en información incompleta o desactualizada tienden a generar consecuencias negativas que se manifiestan en incumplimientos de entrega, sobrecostos de operación y desgaste en las relaciones con los clientes, lo que refuerza la necesidad de contar con sistemas que proporcionen datos confiables y oportunos para la toma de decisiones.

Es importante que toda la información de producción se encuentre centralizada de tal manera que se logre visualizar rápidamente por todas las áreas y, de esta forma, se tenga la información en tiempo real, permitiendo tomar decisiones ante algún retraso o adelanto de la producción. La presente investigación busca implementar un sistema SCADA que enlace la información que registran las máquinas y lo muestre de manera oportuna y remota a todas las áreas de interés, ayudando a evitar errores en la programación de la producción debido a la falta de información en tiempo real.

Asimismo, contribuye en la toma de decisiones oportunas, la detección temprana de fallas y la disminución de costos, aspectos que en su conjunto inciden directamente en la competitividad de la organización y en su capacidad para responder a las exigencias del mercado. La centralización de la información también favorece la transparencia y la rendición de cuentas, pues permite que los distintos niveles de la organización accedan a los mismos datos y puedan verificar el cumplimiento de los objetivos y metas establecidos, generando un ambiente de confianza y colaboración

que resulta fundamental para el éxito de cualquier iniciativa de mejora.

El objetivo general de la investigación consiste en implementar un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana. Para alcanzar este propósito, se plantean objetivos específicos que incluyen analizar los sistemas de control y monitoreo de datos que se registran en las máquinas de las líneas de producción, identificar puntos de monitoreo a través de los diagramas de procesos del sistema productivo, determinar los dispositivos a utilizar para detectar la velocidad y producción de las líneas, diseñar el software para enlazar las máquinas con el SCADA y analizar los costos asociados a la implementación del sistema. Estos objetivos configuran una ruta metodológica que articula el diagnóstico, el diseño, la implementación y la evaluación, asegurando que la propuesta responda de manera integral a las necesidades identificadas. La secuencia de objetivos específicos refleja una lógica progresiva que comienza con el conocimiento detallado de la situación actual, continúa con la identificación de los puntos críticos de monitoreo y la selección de los dispositivos y software más adecuados, y culmina con la evaluación de los costos, lo que permite valorar la viabilidad económica de la propuesta y sustentar la decisión de implementarla.

No obstante, como se ha señalado, la experiencia de implementación reveló la necesidad de ampliar el objetivo general para incorporar las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionan la adopción y sostenibilidad del sistema. El nuevo objetivo general que orienta esta versión del libro consiste en interpretar críticamente la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas desde una perspectiva sociotécnica, identificando las dimensiones humanas, organizacionales y cultura-

les que condicionaron su adopción, funcionamiento y sostenibilidad más allá de la validación estadística de los datos. Este objetivo se desglosa en tres objetivos específicos que permiten abordar de manera articulada las distintas facetas del fenómeno: analizar las resistencias, tensiones y negociaciones que emergieron durante la implementación del sistema SCADA; examinar los procesos de apropiación tecnológica que protagonizaron los operadores y supervisores de la planta; y evaluar las condiciones organizacionales que favorecen la sostenibilidad del sistema SCADA a largo plazo. La incorporación de estos objetivos no invalida los objetivos originales, sino que los complementa y los enriquece, reconociendo que la implementación tecnológica es un proceso complejo que requiere tanto de soluciones técnicas adecuadas como de estrategias de gestión del cambio que faciliten la adopción y la sostenibilidad del sistema.

La delimitación espacial de la investigación comprende una planta de bebidas ubicada en la provincia de Sullana, específicamente en las máquinas llenadora y empaquetadora de las líneas de producción. La delimitación temporal abarca un período de cuatro meses, durante el cual se recolectó la información necesaria para el desarrollo del estudio. La delimitación económica señala que el costo por la implementación fue asumido por la empresa como una mejora en el control y registro de la información de producción. Estas delimitaciones permiten precisar el alcance del trabajo y establecer con claridad las condiciones bajo las cuales se desarrolló la propuesta, ofreciendo un marco de referencia que facilita la interpretación de los resultados y la evaluación de su pertinencia en contextos similares. La delimitación espacial, al circunscribirse a las máquinas llenadora y empaquetadora, reconoce que estas constituyen los puntos críticos del proceso productivo,

pues la primera determina el ritmo de la línea y la segunda define la producción final, de modo que el monitoreo de ambas variables proporciona una visión representativa del desempeño global de la planta. La delimitación temporal de cuatro meses responde a la necesidad de contar con un período suficiente para recolectar datos representativos de las distintas condiciones operativas, sin prolongar innecesariamente el estudio ni generar costos adicionales que pudieran comprometer su viabilidad. La delimitación económica, finalmente, establece que la inversión fue asumida por la empresa, lo que refleja el compromiso de la organización con la mejora de sus procesos y la confianza en los beneficios que la implementación del sistema SCADA puede aportar a mediano y largo plazo.

La relevancia de esta investigación trasciende el ámbito específico de la empresa de bebidas y se proyecta hacia el conjunto del sector industrial de la región, pues los hallazgos y las soluciones propuestas pueden servir de referencia para otras organizaciones que enfrentan problemáticas similares relacionadas con la falta de información en tiempo real y la necesidad de optimizar sus procesos productivos. En un contexto caracterizado por la creciente competencia, la volatilidad de los mercados y la exigencia de los consumidores, la capacidad de las empresas para acceder a información oportuna y confiable se convierte en un factor determinante de su competitividad y sostenibilidad. La implementación de sistemas SCADA, en este sentido, no constituye un fin en sí mismo, sino un medio para alcanzar niveles superiores de eficiencia, calidad y capacidad de respuesta que permitan a las organizaciones prosperar en entornos cada vez más complejos y dinámicos. La experiencia de la empresa de bebidas de Sullana, documentada y analizada en esta investigación, ofrece así un

caso ilustrativo de cómo la tecnología puede contribuir a resolver problemas concretos de gestión y a generar valor para la organización y sus grupos de interés, pero también de cómo la adopción tecnológica requiere de una gestión cuidadosa de las dimensiones humanas y organizacionales para garantizar su sostenibilidad y su contribución efectiva a los objetivos estratégicos de la empresa.

CAPÍTULO 2

LOS CIMIENTOS CONCEPTUALES DE LA SUPERVISIÓN INDUSTRIAL Y SU TRAYECTORIA INVESTIGATIVA



La construcción de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos para el monitoreo en tiempo real de procesos productivos exige, antes que cualquier decisión técnica, una revisión rigurosa de los antecedentes investigativos y de los fundamentos teóricos que han configurado este campo a lo largo de las últimas décadas. Los estudios revisados provienen de contextos geográficos y sectores productivos diversos, y en su conjunto permiten apreciar cómo la implementación de sistemas SCADA ha transformado la manera en que las organizaciones gestionan la información operativa, optimizan el uso de sus recursos y responden con mayor agilidad a las demandas del entorno. Esta revisión no se limita a inventariar experiencias previas, sino que busca identificar los principios técnicos, las arquitecturas de comunicación y los criterios de selección que resultan pertinentes para el diseño de una solución adaptada a las necesidades específicas de una planta de bebidas. La supervisión industrial, entendida como el conjunto de procesos mediante los cuales se capturan, transmiten, procesan y presentan datos provenientes de los equipos y las líneas de producción, constituye hoy un pilar fundamental de la gestión moderna de operaciones, pues permite transformar la información bruta generada por sensores y controladores en conocimiento útil para la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas.

Sin embargo, la revisión de antecedentes y fundamentos teóricos no se agota en las dimensiones técnicas de la supervisión industrial, sino que se extiende a las perspectivas sociotécnicas que permiten comprender las complejas interacciones entre tecnología, organización y personas. La teoría de la construcción social de la tecnología, desarrollada por Pinch y Bijker (1984), sostiene

que el éxito o fracaso de una tecnología no depende exclusivamente de sus propiedades técnicas, sino de los procesos de negociación, interpretación y apropiación que realizan los grupos sociales relevantes que interactúan con ella. Aplicada al campo de la supervisión industrial, esta perspectiva permite comprender que la implementación de un sistema SCADA no es un proceso lineal ni exento de tensiones, sino una construcción compleja en la que convergen actores con intereses diversos, prácticas organizacionales sedimentadas y culturas de trabajo que condicionan la adopción de las nuevas herramientas. La literatura sobre gestión del cambio organizacional ha evidenciado que las transformaciones tecnológicas exitosas requieren no solo de una infraestructura adecuada, sino también de estrategias explícitas de comunicación, capacitación y acompañamiento que faciliten la transición desde las prácticas anteriores hacia las nuevas formas de trabajo (Kotter, 1996; Oreg, 2003).

La revisión de antecedentes internacionales y nacionales permite identificar trayectorias de investigación que han contribuido al desarrollo de soluciones cada vez más sofisticadas, adaptables y eficientes. Estos estudios abordan desde la implementación de sistemas SCADA en procesos de tratamiento de agua salada hasta el control de generación eléctrica, pasando por la supervisión de procesos siderúrgicos, la gestión de bases de datos en entornos automatizados y el diseño de prototipos educativos que ilustran los principios fundamentales de la automatización. Cada uno de estos trabajos aporta elementos conceptuales, metodológicos y técnicos que enriquecen la comprensión del campo y ofrecen lecciones aplicables al contexto específico de la presente investigación. La revisión de estos antecedentes no constituye un ejercicio meramente acumulativo, sino que permite identificar patrones re-

corrientes, dificultades comunes y soluciones exitosas que pueden orientar el diseño de la propuesta que se presenta en este libro.

Rodríguez (2019) diseñó e implementó un sistema SCADA mediante el software MOVICON 11.5 para supervisar el funcionamiento de cinco líneas de tratamiento de agua salada que operaban mediante ósmosis inversa de manera paralela con cuatro pozos costeros y bombas de agua permeada obtenida para una planta. En su investigación se desarrollaron algoritmos incorporados al sistema SCADA mediante códigos script, lo que permitió optimizar las operaciones que afectaban el desempeño de las líneas de ósmosis y garantizar la continuidad productiva del proceso de desalinización. El sistema propuesto emplea alarmas, reportes y tendencias para predecir fallos en las máquinas, planificar mantenimientos predictivos y resolver incidencias, incrementando así la eficiencia global del proceso. Además, se configuró la interfaz de la aplicación Android disponible en dicho sistema SCADA para la gestión remota, lo que demuestra la versatilidad de estas plataformas para adaptarse a distintos dispositivos y contextos operativos. Esta experiencia aporta elementos valiosos para comprender las capacidades del software MOVICON 11.5 y evaluar su posible adaptación al sistema SCADA que se propone implementar en la presente investigación. La incorporación de algoritmos mediante códigos script revela la importancia de la personalización y la flexibilidad en el diseño de soluciones SCADA, pues permite adaptar el comportamiento del sistema a las particularidades de cada proceso y a las necesidades específicas de cada organización.

Paz (2008), en un trabajo desarrollado en la ciudad de Cali, Colombia, presentó el diseño e implementación de un SCADA que enlaza ocho módulos de electrónica de potencia conectados a una red tipo CAN. Se utilizó un rectificador de onda monofásico para

verificar la conectividad y el registro de señales, logrando medir corriente y voltaje para obtener parámetros como el THD y el valor RMS, entre otras características de las señales. Los módulos tienen aplicaciones de conversión de energía y control de máquinas eléctricas del tipo rotativas, y los resultados fueron validados mediante mediciones con un osciloscopio digital Fluke 43B. Esta investigación resulta relevante porque permite comprender cómo un sistema SCADA se interconecta con múltiples módulos de electrónica a través de una red CAN, lo que constituye un antecedente técnico de gran utilidad para el diseño de arquitecturas de comunicación robustas y escalables en entornos industriales. La red CAN, ampliamente utilizada en la industria automotriz y en sistemas de control distribuido, ofrece ventajas significativas en términos de confiabilidad, velocidad de transmisión y capacidad de diagnóstico, lo que la convierte en una opción atractiva para aplicaciones industriales que requieren comunicación en tiempo real entre múltiples dispositivos.

Jung (2016), en una investigación realizada en España, presentó un servidor de Supervisión, Control y Adquisición de Datos diseñado para retransmitir datos entre un servidor SCADA y un servidor principal. El servidor SCADA comprende una unidad de comunicaciones configurada para recibir solicitudes de transmisión de datos desde el servidor principal y para adquirir los datos objetivos solicitados; una unidad de actualización configurada para actualizar los datos de evento correspondientes a los datos objetivo entre los datos de evento en el servidor SCADA y para transmitir los datos solicitados a la unidad de comunicaciones; y una unidad de gestión de sincronización configurada para sincronizar los datos de evento actualizados con un servidor SCADA de respaldo. El servidor SCADA se configura para escanear una base

de datos en tiempo real a intervalos predeterminados, almacenar periódicamente los datos de evento adquiridos en una base de datos local y sincronizar la base de datos local con la base de datos en tiempo real. Asimismo, opera en modo activo cuando la unidad de comunicaciones recibe una solicitud de transmisión de datos del servidor principal, adquiere los datos solicitados de la base de datos local y cambia a un modo de espera tras la recepción de una solicitud de verificación de estado. Esta investigación permite comprender la importancia de las unidades de actualización y sincronización para garantizar la integridad y disponibilidad de los datos en sistemas SCADA distribuidos, aspecto crucial cuando se requiere que múltiples usuarios accedan a la misma información de manera simultánea y confiable.

Pérez (2017), en una investigación desarrollada en la ciudad de Las Tunas, Cuba, diseñó e implementó un sistema de supervisión, control y monitoreo del proceso de producción de palanquillas y barras corrugadas en la empresa Acinox Las Tunas, con el propósito de garantizar la disponibilidad de información de las variables tecnológicas. Para cumplir con las tareas de la investigación se elaboró el marco teórico y referencial sobre el control de la producción, la manufactura integrada por computadora y los sistemas de supervisión, control y monitoreo utilizados en la industria, así como las tendencias y perspectivas actuales de este tipo de productos en el mercado y su uso como herramienta de control en el proceso de toma de decisiones. Se desarrolló una caracterización general de la institución y se expuso una explicación detallada de la situación del sistema de supervisión, control y monitoreo implantado desde sus inicios, describiendo los resultados que determinaban la insuficiente disponibilidad de información de las variables tecnológicas en el proceso de producción y

que provocaban dificultades en la toma de decisiones. Finalmente, se diseñó e implementó un sistema automatizado mediante el paquete de software SCADA denominado Simatic WinCC, lo que dio solución al problema planteado. Esta investigación aporta al marco teórico y referencial sobre el control de la producción y demuestra la pertinencia de los sistemas SCADA en sectores industriales diversos, evidenciando que la disponibilidad oportuna de información constituye un factor determinante para la eficiencia y competitividad de las operaciones.

En el ámbito nacional, Poma (2011) analizó, en el Centro de Manufactura Avanzada de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la gestión de base de datos en los procesos automatizados, con el fin de realizar un buen control en la producción y los recursos, el mantenimiento de los dispositivos y el procesamiento de información para una adecuada toma de decisiones en la empresa. En esta investigación se diseñaron aplicaciones con el software Intouch durante el I Curso Internacional de Supervisión y Automatización Completamente Integrada desarrollado en el SENA de Colombia, con SQL Server de Microsoft en el Centro de Manufactura Avanzada y con LabVIEW de National Instruments en la empresa Equipment & Systems for Advanced Technology SAC, utilizando hardware diverso. Este artículo aporta en la comprensión de las aplicaciones de la gestión de base de datos en los procesos automatizados, aspecto fundamental para garantizar la trazabilidad y disponibilidad de la información operativa. La gestión de bases de datos en entornos industriales no solo permite almacenar y recuperar información histórica para análisis posteriores, sino que también habilita la integración de datos provenientes de múltiples fuentes y la generación de reportes que apoyan la toma de decisiones en distintos niveles de la organización.

Velásquez (2010), en un trabajo desarrollado en la Universidad Ricardo Palma, presentó el prototipo de un seleccionador de piezas en base al tipo y color de material para clasificarlas y distribuirlas a través de sensores. Utilizó un controlador lógico programable cuya función era controlar de manera automática todo el proceso, el cual se iniciaba pulsando un botón en el prototipo o a través de un botón dentro de la pantalla de una computadora. El programa permitía que la distribución de las piezas se realizara hacia distintas rampas donde serían almacenadas, y en la pantalla se mostraba en tiempo real lo que ocurría durante el proceso de selección. Esta investigación aporta en la comprensión del uso de un controlador lógico programable, componente esencial en la arquitectura de cualquier sistema SCADA moderno. Los controladores lógicos programables constituyen el nexo entre los sensores y actuadores del campo y los sistemas de supervisión, y su programación adecuada resulta indispensable para garantizar que las operaciones se ejecuten de acuerdo con los parámetros establecidos y que la información fluya de manera confiable hacia los niveles superiores del sistema.

Ramón (2011), en una investigación realizada en el Centro de Manufactura Avanzada de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, diseñó un sistema SCADA para controlar la temperatura del centro, implementando al final del proyecto tecnología propia materializada en un programa de software SCADA para mejorar las clases de laboratorio del curso de Operaciones Unitarias, y dejando un manual descriptivo de laboratorio que pudiera guiar al alumno en la elaboración de su propio sistema. El módulo de temperatura estaba conformado por un PLC Allen Bradley Micrologix 1200, enlazado mediante un cable RS232 a una computadora para el monitoreo de la temperatura. Esta investigación aporta en el

desarrollo de programas o software SCADA aplicados a contextos educativos y de laboratorio, y demuestra que los principios de la supervisión industrial pueden aplicarse en entornos de formación para que los estudiantes adquieran competencias prácticas en el diseño, la implementación y la operación de sistemas de control y monitoreo.

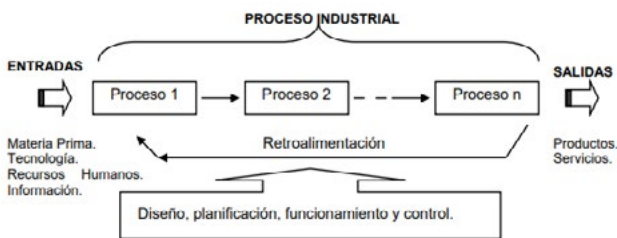
Benique (2017) realizó una tesis en la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A., buscando dar solución a un problema relacionado con la falta de determinación de la cantidad de generación de energía eléctrica en la empresa. Otra razón fundamental para desarrollar la implementación del Sistema Web SCADA fue evitar el costo por licencias al ingresar a un sistema SCADA, utilizando en su lugar una herramienta de software gratuito que permitiera extraer la información en tiempo real desde el sistema SCADA instalado en el Centro de Control en Machupicchu. La herramienta utilizada fue Cogent Datahub, que logró enlazar los datos en tiempo real y sin pérdida de datos con el protocolo OPC. Esta tesis aporta en la comprensión del lenguaje de programación para publicar en un servicio web conectado a un sistema SCADA, lo que resulta particularmente relevante en contextos donde se busca reducir costos de licenciamiento sin sacrificar funcionalidad. La utilización de protocolos abiertos como OPC facilita la interoperabilidad entre sistemas de distintos fabricantes y permite que las organizaciones aprovechen las herramientas existentes sin necesidad de realizar inversiones adicionales en licencias propietarias.

Las bases conceptuales que sostienen la supervisión de procesos productivos

El registro de datos, según Pérez y Merino (2014), se refiere a la acción de almacenar algo en algún tipo de documento, mientras que dato es una información que ayuda al acceso a un conocimiento. El concepto de registro de datos alude a consignar informaciones en un soporte, y hoy en día se utiliza a nivel digital. En la informática, el registro de datos se refiere al bloque con información que forma parte de una tabla. La recolección de datos, por su parte, consiste en la recopilación de información de las velocidades y producción de las líneas de producción, y existen técnicas para ello como las encuestas, la observación, la toma de muestras y las entrevistas, dependiendo del tipo de datos y de los instrumentos disponibles como grabadoras de audio, cámaras de fotos o videos (Pérez y Merino, 2014). La adecuada selección de las técnicas e instrumentos de recolección de datos constituye un paso crítico en cualquier proyecto de supervisión industrial, pues de ello depende la calidad y confiabilidad de la información que alimentará los procesos de análisis y toma de decisiones.

Los procesos industriales son la parte central de los sistemas de manufactura, y en ellos se realiza una interacción entre materiales, energía e información con el fin de producir productos que tengan un valor añadido, de modo que el resultado sea competitivo dependiendo de la correcta gestión de estos flujos.

Figura 1. Esquema de flujo de producción.



Nota: imagen obtenida de Perez (2017).

La figura 1 presenta un esquema del flujo de producción en el proceso industrial, que permite visualizar cómo los insumos se transforman progresivamente en productos terminados a través de una serie de etapas interconectadas en las que intervienen recursos humanos, tecnológicos y materiales. La línea de llenado de bebidas se considera el conjunto de máquinas para producir una bebida, desde la máquina sopladora hasta la empaquetadora. La sopladora es aquella máquina que utiliza preforma para transformarla en botella PET. La etiquetadora es la máquina encargada de colocar la etiqueta a la botella PET. El carbonatador es la máquina donde se mezcla el jarabe con el agua y el CO₂. La llenadora es la máquina encargada de llenar la bebida en la botella y es la que mide el ritmo de producción por considerarse crítica. La capsuladora es la encargada de colocar la tapa en la botella llena. El inspector es la máquina encargada de rechazar las botellas bajas de nivel o mal capsuladas, dejando pasar únicamente la botella llena capsulada en condiciones estándar. La empaquetadora es la encargada de agrupar las botellas en paquetes según el tipo de presentación del producto. Cada una de estas máquinas cumple una función específica dentro de la secuencia productiva, y su correcto funcionamiento e interconexión resulta indispen-

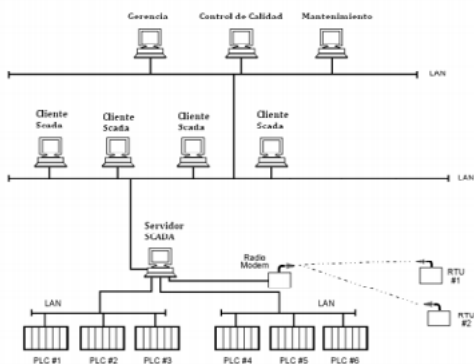
sable para garantizar la continuidad y eficiencia de la línea. La comprensión detallada de cada una de estas etapas resulta fundamental para identificar los puntos críticos de monitoreo y para diseñar estrategias de supervisión que permitan detectar oportunamente cualquier desviación que pudiera afectar la calidad del producto o la eficiencia del proceso.

En la actualidad se ha incrementado el uso de sistemas SCADA como sistemas de supervisión y monitoreo de variables en tiempo real. Como su nombre indica, dichos sistemas se atribuyen las funcionalidades de centralización o adquisición de datos, control y supervisión, y representan el estado actual de esta disciplina en el entorno industrial. En un modelo jerárquico CIM, los sistemas SCADA se ubican en los tres primeros niveles de la pirámide de automatización, donde los dos primeros niveles están compuestos por el hardware, mientras el tercer nivel lo conforma la aplicación de software, de ahí que los sistemas SCADA sirvan de puente entre los niveles administrativos y el nivel de planta en una industria. El nombre SCADA corresponde a la abreviatura de Supervisory Control and Data Acquisition, es decir, Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Un sistema SCADA puede definirse como una aplicación de software diseñada especialmente para funcionar sobre computadoras y servir para el control de la producción, comunicándose con la planta mediante interconexión digital con los reguladores locales básicos y con el usuario mediante interfaces gráficas de alto nivel como sinópticos gráficos, pantallas táctiles, teclados y mouse.

Otra definición muy usada enmarca al SCADA como una tecnología que permite la captura y control de variables de diferentes puntos de medición en lugares remotos, inaccesibles o inconve-

nientes. El SCADA permite, desde la pantalla del ordenador, mediante una aplicación configurada por un usuario y fácilmente modificable, comunicar con los dispositivos de campo para controlar el proceso de forma automática, y utilizando diferentes tecnologías de comunicación permite automatizar el monitoreo y control de procesos industriales, no solo desde los puestos de control, sino además vía web desde lugares distantes de donde se desarrolla el control del proceso. Estos sistemas se encuentran en el grupo de industrias complejas, ya que permiten recolectar gran cantidad de datos de fuentes muy rápidamente y mostrarlos al operador de forma amigable, permitiendo controlar un proceso con eficacia y brindando la información de manera oportuna a diversos usuarios para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. Los sistemas SCADA presentan una arquitectura centralizada del tipo cliente servidor, en donde todas las partes del sistema se centran en torno al servidor SCADA, lo que facilita la gestión unificada de la información y garantiza que todos los usuarios accedan a los mismos datos actualizados.

Figura 2. Arquitectura general de un sistema SCADA.



Nota: imagen obtenida de Castillo (2010).

Para conocer los sistemas SCADA es necesario hablar sobre su proceso evolutivo. En 2000 a.C. existía el ábaco, considerado la primera máquina para realizar operaciones de cálculo. En 1614 John Napier habló de los logaritmos o números artificiales, en donde las multiplicaciones se convierten en sumas, las potencias en productos y las raíces en divisiones, simplificando los cálculos matemáticos. Entre 1452 y 1519 Leonardo Da Vinci descubrió la primera máquina capaz de realizar operaciones matemáticas. En 1642 Blaise Pascal descubrió la Pascalina, considerada la primera calculadora. La calculadora electrónica apareció en los años setenta, el sistema operativo Windows apareció en los ochenta y posteriormente se desarrollaron múltiples aplicaciones para el uso industrial, una de ellas el sistema SCADA, un software que tuvo gran influencia en la industria y la automatización (García, 2012).

Los sistemas de telemetría fueron considerados como los primeros sistemas SCADA, que brindaban reportes periódicos de las condiciones de campo a través de señales que representaban medidas y condiciones de estado en ubicaciones remotas, cuyo control y monitoreo era muy simple. Mientras la tecnología avanzaba, los ordenadores asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo comandos de control y una nueva función de presentación de la información sobre una pantalla de tubos de rayos catódicos. Los ordenadores agregaron la capacidad de programar el sistema para realizar funciones de control más complejas (Zafra, 2004). Los primeros sistemas automatizados SCADA fueron altamente modificados con programas de aplicación específicos para atender requisitos de algún proyecto en particular. Hoy, los proveedores de SCADA están diseñando sistemas

que permiten resolver problemas en muchas industrias a través de software específicos comercialmente disponibles, adaptados para procesamiento de papel y celulosa, industrias de aceite y gas, hidroeléctricas, gerenciamiento y provisión de agua, y control de fluidos, entre otros. Los sistemas de control y adquisición de datos son utilizados por las grandes industrias a nivel mundial para llevar información en tiempo real del estado y funcionamiento de equipos y de los sistemas instalados en la planta, y así optimizar las respuestas del proceso (Zafra, 2004).

Meléndez y Ayza (2013) argumentan que la mayoría de los sistemas SCADA están siendo cada vez más utilizados en la información corporativa. Estos sistemas son vistos como un recurso importante de información y también proporcionan datos a los sistemas y usuarios fuera del ambiente del centro de control que dependen de la información oportuna para basar sus decisiones económicas cotidianas. La mayoría de los vendedores principales de SCADA están desarrollando métodos eficientes para hacer disponibles los datos y lograr la integración con el propósito de potenciar las funcionalidades del conjunto en tiempo real. Esta integración lleva en primer lugar hacia los denominados sistemas MES (Manufacturing Execution System) y se extiende a la integración con software de gestión de la producción, de control de calidad y de gestión empresarial. Asimismo, la integración de aplicaciones permite desarrollar estrategias de supervisión específicas para un proceso concreto, basadas en la aplicación de diferentes tecnologías e integrarlas en un sistema de supervisión y control construido a partir de un sistema SCADA comercial. La tendencia actual de los proveedores de SCADA también va encaminada a lograr como resultado un entorno unificado con integración entre aplicaciones, incluyendo gestión, entorno abierto y generalizan-

do el uso de software o herramientas de terceros, conectividad a través de estándares soportados por Microsoft y posibilidades de conexión vía Intranet e Internet.

El software es un programa que permite construir la interfaz hombre máquina, y debe ser capaz de restringir el acceso de las personas al sistema y generar señales de alarma en caso de fallas. Permite la comunicación tanto entre dispositivos de campo como entre los niveles de supervisión, niveles gerenciales y administrativos. La interfaz hombre máquina puede ser una simple lámpara indicadora o constar de un conjunto de pantallas donde se encuentra esquematizado gráficamente el proceso que se desea monitorear. En otras palabras, es el mecanismo que permite la interacción del ser humano con el proceso. Una característica de los sistemas SCADA es que sus componentes son diseñados por distintos proveedores, sin coordinación entre sí, de modo que se tienen diferentes proveedores para las RTU, módems, radios, minicomputadores, software de supervisión e interfaz con el operador y software de detección de pérdidas. Ejemplos de sistemas SCADA en el mercado actual pueden ser Intouch, Simatic WinCC, LabView y Citect, entre otros (García, 1999).

Para seleccionar y diseñar un sistema SCADA se deben tener en cuenta diferentes factores que cumplan con las especificaciones propuestas. Según las especificaciones del sistema y el nivel de complejidad que se requiera, cambian los criterios de diseño. Entre ellos se encuentran la robustez, entendida como la capacidad del sistema para mantener su operatividad ante la presencia de un fallo; la disponibilidad, que es la medida en que sus parámetros de funcionamiento permanecen en las especificaciones estipuladas; la seguridad, que garantiza que personal no autorizado manipule el sistema; las prestaciones, que van aparejadas tanto

para el hardware como para el software y deben cumplir con las especificaciones del proyecto en cuestión; y la escalabilidad, que permite ampliar más equipos y servicios adaptándose a los requerimientos de la industria, con especial hincapié en la conectividad y en el número de variables (García, 1999). Un cuello de botella en una línea de producción es aquel recurso, etapa o proceso cuya capacidad efectiva es menor o igual a la demanda que se le exige (Goldratt, 1984).

El glosario técnico y el marco referencial de la implementación propuesta

La base de datos es el conjunto de datos que pertenecen al mismo grupo, almacenados sistemáticamente para luego ser procesados, mientras que un sistema administrador de base de datos es una herramienta de software que permite crear estructuras, almacenar datos y posteriormente acceder a ellos de forma rápida, segura y eficiente. Los enlaces de comunicación son los nexos de unión entre los equipos remotos y los equipos del centro de control, y los medios de comunicación más habituales son la radio, el satélite, las líneas telefónicas analógicas y digitales, o las conexiones vía cable. El hardware funciona como barreras físicas, desde la valla de protección de los recintos y los sistemas de vigilancia hasta las llaves de las salas de control o de los armarios que contienen los elementos de mando. Una línea de producción se define como el conjunto de máquinas que funcionan en secuencia para producir un producto, y en el caso de la presente investigación hace referencia a tres líneas de producción de estudio en una empresa de bebidas no alcohólicas, a saber, la Línea 01 para producciones de PET de formatos pequeños como 355 ml, 500 ml

y 625 ml, la Línea 02 para producciones de PET de formatos grandes como 1.5 L, 2 L, 2.25 L y 3 L, y la Línea 03 para producciones de vidrio como 355 ml, 650 ml y 1.25 L.

La unidad terminal maestra cumple el cometido de procesar la información proveniente de la red de automatización y presentarla de manera comprensible al operador mediante representaciones gráficas y numéricas. La máquina llenadora es la máquina cuello de botella cuya función es llenar la botella con bebida y es aquella que define el ritmo de producción de la línea. La máquina empaquetadora es la que envuelve las botellas y va formando agrupaciones en paquetes según la presentación de cada formato de producto. La máquina crítica es aquella que genera parada de línea desde el punto de vista de calidad, seguridad y productividad. Los controladores lógicos programables comenzaron como sistemas de dedicación exclusiva al control de instalaciones, máquinas o procesos, y con el tiempo han ido evolucionando, incorporando cada vez más prestaciones en forma de módulos de ampliación, entre ellos los procesadores de comunicaciones, que han hecho desvanecerse la línea divisoria entre RTU y PLC, quedando incluidas todas las prestaciones en el PLC.

La planta de producción es la fábrica donde se elaboran bebidas gasificadas y no gasificadas, y cuenta con líneas de producción para procesar los productos. Las producciones PET son producciones de agua y gaseosas que se envasan en botellas de plástico, mientras que las producciones vidrio son producciones de gaseosas envasadas en botellas de vidrio. Las unidades terminales remotas son los equipos encargados de la adquisición de datos y el control de planta, así como la comunicación con el sistema maestro, y también se les conoce como subestaciones. El SCADA

es cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. Los sensores de proximidad se utilizan para detectar las botellas llenas y los paquetes producidos. El SQL es un conjunto de instrucciones normalizadas que permite trabajar con los objetos de una base de datos y realizar operaciones con los datos. Un tag es un identificador único para una variable de proceso, como la temperatura, presión o nivel de un tanque, que representa datos en tiempo real de dispositivos de campo como los PLC. La velocidad nominal se define como la velocidad óptima en la que las máquinas operan sin problemas, es decir, la velocidad a la que fueron seteadas cuando entraron en funcionamiento, y es diferente a la velocidad máxima o de fabricación. La eficiencia de línea es la medida de cuán bien una línea de producción utiliza sus recursos y tiempo para maximizar la producción y minimizar el desperdicio, evaluando la relación entre los productos generados y los insumos.

La empresa se encuentra certificada en la norma internacional ISO 45001, correspondiente al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como en la norma internacional ISO 9001, correspondiente al Sistema de Gestión de Calidad. La investigación se enfocó en una empresa de bebidas cuyo sistema de producción comprende las etapas de soplado, etiquetado, llenado, capsulado, codificado, inspección y empaquetado.

Figura 3. Diagrama de proceso



Nota: Salazar Córdova (2026).

La figura 3 presenta el diagrama de proceso que permite visualizar la secuencia de etapas que conforman el sistema productivo de la empresa. Se implementó un sistema SCADA en el que se registró la información de la velocidad y cantidad de producción de las líneas de producción. La velocidad de la línea estará determinada por la máquina llenadora y la cantidad de producción por la máquina empaquetadora. Dentro de una línea de producción se encuentran las máquinas de producción iniciando por la sopladora, cuya función es soplar la botella, la etiquetadora, cuya función es colocar la etiqueta en la botella, la rinser, cuya función es enjuagar la botella, la llenadora, cuya función es llenar la botella con bebida, la capsuladora, encargada de colocarle la tapa a la botella, la empaquetadora, cuya función es ordenar las botellas para formar el paquete, y finalmente la envolvedora de pallet, encargada de colocarle film stretch a los pallets que serán llevados al almacén general. La máquina llenadora es la máquina cuello de botella cuya función es llenar la botella con bebida previamente carbonatada y es aquella que define el ritmo de producción de la línea. La máquina empaquetadora es la que envuelve las botellas y va formando agrupaciones en paquetes según la presentación de cada formato de producto, y es envuelta a través de film

contráible. La zona donde se desarrolló la investigación fue en la ciudad de Sullana, en una empresa de bebidas.

Con la implementación del sistema SCADA se podrá monitorear en tiempo real la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana. La variable sistema SCADA se define conceptualmente como una aplicación de software y hardware diseñada especialmente para funcionar sobre computadoras y servir para el control de la producción (Castillo, 2010). Operacionalmente, el sistema SCADA se comunicará con la planta para tomar datos de producción en diferentes procesos mediante interconexión digital, periféricos, software, con los reguladores locales básicos y los usuarios mediante interfaces gráficas.

Sus dimensiones son el hardware, con indicadores como el número de sensores y el tipo de PLC, y el software, con indicadores como la velocidad de producción, los paquetes producidos y la herramienta de análisis de datos. El monitoreo en tiempo real se define como el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos y para guiar las decisiones de gestión (Rodríguez, 1999), y operacionalmente consiste en el seguimiento de velocidad y producción de las líneas de producción en tiempo real, con dimensiones referidas a las máquinas de las líneas de producción e indicadores como el número de máquinas que determinan la velocidad de producción, el número de máquinas que determinan la producción, la velocidad de producción y la eficiencia de equipos.

la excelencia operacional. Sin embargo, como se ha señalado en los apartados anteriores, la efectividad de estos sistemas depende no solo de su calidad técnica sino también de las condiciones organizacionales y humanas que determinan su adopción y sostenibilidad, aspectos que serán abordados en profundidad en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO 3

EL DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INTERVENCIÓN Y LOS PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS



El diseño metodológico de la presente investigación responde a la necesidad de abordar de manera integral y rigurosa el fenómeno de la implementación de un sistema SCADA en una planta de bebidas, considerando tanto las dimensiones técnicas y estadísticas que sustentan la validación del sistema como las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionan su adopción y sostenibilidad. La investigación se enmarca en un enfoque mixto que combina métodos cuantitativos, orientados a la validación estadística de los datos capturados por el sistema, y métodos cualitativos, orientados a la interpretación de los procesos de apropiación tecnológica, las resistencias al cambio y las condiciones organizacionales que determinan la sostenibilidad del sistema a largo plazo. Este enfoque mixto permite capturar la complejidad del fenómeno estudiado y responder de manera articulada a los objetivos generales y específicos que orientan la investigación, tanto en su dimensión original como en la nueva orientación sociotécnica que se ha incorporado.

Los sujetos, las unidades de análisis y la delimitación operativa

Las máquinas por monitorear en las líneas de producción son la llenadora y la empaquetadora. En el caso de la llenadora, es porque determina la velocidad de producción, y la empaquetadora, porque determina la cantidad de paquetes producidos, además de ser la última máquina del proceso en donde se forman los paquetes que son entregados al almacén. La elección de estas dos máquinas responde a un criterio técnico y funcional claramente definido, pues la llenadora constituye el cuello de botella de la línea al condicionar el ritmo de toda la secuencia productiva,

mientras que la empaquetadora representa el punto final del proceso y el lugar donde se materializa la producción que se reporta a las áreas administrativas y de planificación. Monitorear ambas máquinas permite obtener una visión completa y representativa del desempeño de la línea, pues se capturan tanto la velocidad de operación como la cantidad de producto terminado que efectivamente sale al mercado. La selección de estas dos máquinas constituye una decisión estratégica que optimiza los recursos disponibles y concentra los esfuerzos de monitoreo en los puntos donde la información resulta más relevante para la toma de decisiones operativas y de planificación.

La población de estudio está constituida por tres líneas de producción, debido a que la empresa en estudio solo cuenta con tres líneas. La Línea 1 corresponde a presentaciones PET pequeñas como 355 ml, 500 ml y 625 ml; la Línea 2 corresponde a presentaciones PET grandes como 1 L, 2 L y 3 L; y la Línea 3 corresponde a presentaciones de vidrio. La muestra está conformada por dos máquinas, la llenadora y la empaquetadora, ya que dichas máquinas son las que definen la velocidad y la cantidad de producción respectivamente. Esta delimitación de la población y la muestra responde a criterios de pertinencia técnica y de viabilidad operativa, pues monitorear la totalidad de las máquinas de las tres líneas implicaría una complejidad y un costo que exceden el alcance de la investigación, mientras que enfocarse en las dos máquinas críticas permite obtener información representativa del desempeño global de la planta sin incurrir en inversiones desproporcionadas. La decisión de trabajar con una muestra reducida pero estratégicamente seleccionada constituye una práctica común en investigaciones aplicadas donde el objetivo no es la ge-

neralización estadística sino la resolución de problemas concretos en contextos específicos.

Sin embargo, la delimitación de la muestra no solo responde a criterios técnicos sino que también tiene implicaciones para el análisis de las dimensiones humanas y organizacionales del fenómeno. Al enfocarse en las máquinas llenadora y empaquetadora, la investigación privilegia los puntos del proceso donde la información resulta más relevante para la toma de decisiones, pero también donde las transformaciones en las prácticas laborales son más significativas. Los operadores de estas máquinas son quienes experimentan de manera más directa los cambios asociados a la implementación del sistema SCADA, pues son ellos quienes antes registraban manualmente los datos y ahora deben interactuar con sensores y software que automatizan estas funciones. La selección de estas máquinas, por lo tanto, no solo optimiza los recursos de monitoreo sino que también concentra la atención en los actores humanos que protagonizan los procesos de apropiación tecnológica y de resistencia al cambio que este libro busca interpretar.

El procedimiento para la implementación del sistema SCADA comprende una secuencia ordenada de actividades que comienzan con la inspección de todas las máquinas de las líneas de producción y continúan con la identificación de las máquinas que serán enlazadas con el sistema. Posteriormente se revisará si las máquinas cuentan con la tecnología para hacer la interfaz con el sistema SCADA y, en caso de no contar con ella, se propondrá una actualización del sistema para poder establecer dicha interfaz. Luego se definirá el tipo de software SCADA de acuerdo con el número de máquinas que se enlazarán, se hará la programación en el software seleccionado y se suministrará la licencia correspon-

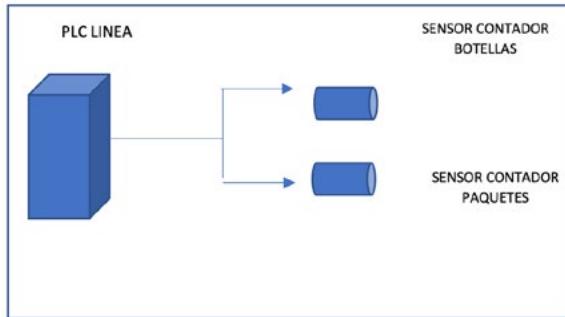
diente para la sala de control. Se definirá el lugar para instalar la unidad terminal maestra, se revisará la conexión tipo red para centralizar los registros, se hará un costeo de todos los componentes para la instalación del sistema SCADA y, finalmente, se procederá con la implementación según el cronograma de actividades establecido. Cada una de estas etapas requiere la participación coordinada del personal técnico, de los operarios de planta y de los responsables de las áreas de producción y mantenimiento, pues la implementación exitosa de un sistema SCADA depende no solo de la calidad de los componentes tecnológicos sino también de la adecuada gestión del cambio organizacional que acompaña a la introducción de nuevas herramientas de supervisión y control. La secuencia de actividades propuesta refleja una lógica progresiva que va desde el diagnóstico inicial hasta la implementación final, pasando por el diseño, la programación y la validación, lo que permite reducir los riesgos asociados a la introducción de nuevas tecnologías y asegurar que cada etapa se complete satisfactoriamente antes de avanzar a la siguiente.

Como instrumento se utilizará la ficha de registro para tomar nota de la instalación de sensores de presencia de botellas llenas en la llenadora y de sensores de presencia de paquetes en la máquina empaquetadora al final del transportador, con el fin de contabilizar los paquetes que salen en buen estado. Asimismo, se registrará la instalación de la unidad terminal maestra, compuesta por PC y monitores, y la instalación de la unidad terminal remota, que incluye PLC, cableado y red. Se definirá el lugar adecuado para la unidad terminal maestra según el espacio disponible, se tomarán lecturas de las interfaces hombre máquina de las máquinas llenadora, inspector de llenas y empaquetadora, y se realizarán pruebas comparativas entre la información regis-

trada por el SCADA y la registrada en los sistemas que maneja la empresa. Estas actividades permitirán validar el funcionamiento del sistema y asegurar que los datos que proporciona sean confiables y consistentes con la realidad operativa de la planta. La ficha de registro constituye un instrumento fundamental para documentar de manera sistemática cada una de las actividades realizadas durante la implementación, permitiendo llevar un control detallado de los avances y facilitando la identificación de posibles desviaciones o dificultades que requieran atención inmediata.

A continuación, se muestra el diseño para hacer la conexión de los sensores contadores de botellas llenas y de paquetes. Este diseño contempla la arquitectura de red que permitirá enlazar los sensores instalados en la máquina llenadora y en la máquina empaquetadora con la unidad terminal remota, la cual se encargará de transmitir la información hacia la unidad terminal maestra donde se centralizarán los datos para su visualización y análisis. La definición de esta estructura de red constituye un paso fundamental en el proceso de implementación, pues de ella depende que la comunicación entre los dispositivos de campo y el sistema SCADA se realice de manera confiable y sin pérdida de información. Asimismo, el diseño de la red debe considerar aspectos como la topología, los protocolos de comunicación, el tipo de cableado y los equipos de interconexión que se utilizarán, garantizando la compatibilidad entre los distintos componentes y la posibilidad de ampliar el sistema en el futuro si las necesidades de la planta así lo requieren.

Figura 5. Estructura de red

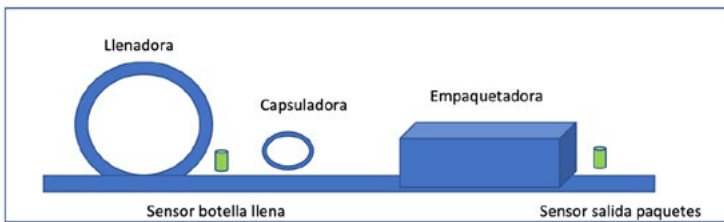


Nota: Salazar Córdova (2026).

A continuación, se muestran las ubicaciones de los sensores contadores de botella y de paquetes. La ubicación precisa de cada sensor dentro de la línea de producción constituye un aspecto crítico para garantizar la exactitud de los conteos y la confiabilidad de los datos que alimentarán al sistema SCADA. Los sensores de presencia de botellas llenas se instalarán en la máquina llenadora, en el punto donde las botellas ya han sido llenadas y capsuladas, mientras que los sensores de presencia de paquetes se colocarán en la máquina empaquetadora, al final del transportador, en el lugar donde los paquetes salen en buen estado y se dirigen al almacén. La correcta ubicación de los sensores permitirá contabilizar con precisión tanto las botellas llenas como los paquetes producidos, proporcionando información confiable para la toma de decisiones operativas y para la evaluación del desempeño de las líneas de producción. Sin embargo, la ubicación de los sensores también tiene implicaciones para los operadores, pues transforma los puntos de observación y registro que antes eran de su dominio exclusivo. Los operadores que antes podían observar directamente el funcionamiento de las máquinas y registrar los datos

según su criterio ahora deben confiar en sensores que capturan información de manera automática. Esta transformación de las prácticas de registro puede generar resistencias o ansiedades que deben ser gestionadas mediante estrategias de comunicación y capacitación que expliquen los beneficios del sistema y reconozcan el valor de la experiencia de los operadores.

Figura 6. Ubicación de sensores contadores



Nota: Salazar Córdova (2026).

Las técnicas, instrumentos y consideraciones éticas de la investigación

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados en esta investigación combinan métodos cuantitativos y cualitativos, en coherencia con el enfoque mixto que orienta el estudio. Desde el punto de vista cuantitativo, se utilizaron fichas de registro para documentar las mediciones de velocidad y producción realizadas manualmente con cronómetro y las registradas automáticamente por el sistema SCADA. Estas mediciones permitieron realizar las pruebas estadísticas que validaron la equivalencia entre ambos tipos de datos. Desde el punto de vista cualitativo, se utilizaron técnicas de observación participante y entrevistas informales con operadores, supervisores y responsa-

bles de planificación, que permitieron recoger información sobre las percepciones, actitudes y resistencias asociadas a la implementación del sistema. Estas técnicas cualitativas, aunque no fueron presentadas explícitamente en el diseño original de la investigación, emergieron de manera natural durante el trabajo de campo y proporcionaron información valiosa para interpretar las dimensiones humanas y organizacionales del fenómeno.

La observación participante permitió documentar las transformaciones en las prácticas laborales de los operadores, las interacciones entre los distintos actores involucrados en la implementación y las estrategias que desarrollaron para adaptarse a los nuevos requerimientos de su puesto de trabajo. Las entrevistas informales, realizadas de manera no estructurada en el contexto de la planta, permitieron recoger testimonios sobre las expectativas, temores y valoraciones que los actores construyeron en torno al sistema SCADA. Aunque estas técnicas no siguieron un protocolo formal de investigación cualitativa, proporcionaron información valiosa que complementa y enriquece la interpretación de los datos cuantitativos y que sustenta las reflexiones sobre resistencias, apropiación tecnológica y sostenibilidad organizacional que se desarrollan en los capítulos siguientes. La literatura sobre métodos mixtos ha demostrado que la combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas permite capturar la complejidad de los fenómenos organizacionales y generar interpretaciones más ricas y matizadas que las que se obtienen con un solo tipo de datos (Creswell & Plano Clark, 2011).

De igual manera, se recopilará información sobre la producción programada por mes por línea de producción.

Tabla 1. Formato de velocidades nominales

Línea de producción		
Línea	Formato	Velocidad Nominal (botxmin)
Línea 1		
Línea 2		
Línea 3		

Nota: Salazar Córdova (2026).

Esta información permitirá conocer con precisión cuáles son las metas de producción que la empresa establece para cada línea en cada período mensual, así como las variaciones que se presentan en función de la demanda estacional, la disponibilidad de materias primas y las condiciones del mercado. Contar con estos datos resulta indispensable para evaluar el desempeño del sistema SCADA, pues permitirá comparar la producción real registrada por el sistema con la producción programada por la empresa, identificando desviaciones que puedan requerir acciones correctivas o ajustes en la planificación. La información de producción programada por mes constituye, por lo tanto, un insumo fundamental para el análisis de la eficiencia de las líneas y para la evaluación del impacto que la implementación del sistema SCA-

DA tiene sobre la capacidad de la organización para cumplir con sus compromisos de entrega y satisfacer las expectativas de sus clientes.

Tabla 2. Volumen de producción mensual por línea.

Línea	Cantidad (paquetes)
Línea 1	
Línea 2	
Línea 3	

Nota: Salazar Córdova (2026).

Tabla 3. Formato de Máquinas enlazadas en el SCADA

Línea	Máquina
Línea 1	
Línea 2	
Línea 3	

Nota: Salazar Córdova (2026).

Las consideraciones éticas de la investigación incluyen el respeto a la confidencialidad de los datos proporcionados por la empresa, la protección de la identidad de los trabajadores que participaron en las entrevistas y observaciones, y el cumplimiento de las normas de seguridad y salud en el trabajo durante las visitas a la planta. El investigador asegura el respeto y la confidencialidad de los datos, así como el cumplimiento de normas de calidad en la investigación. La investigación es original y se desarrolla con apego a los principios de integridad académica y responsabilidad profesional que rigen la actividad científica en el ámbito de la in-

geniería industrial. El compromiso con la seguridad industrial no solo responde a una exigencia normativa sino también a una responsabilidad ética con los trabajadores que interactuarán con el sistema, pues la implementación de nuevas tecnologías debe realizarse garantizando condiciones de trabajo seguras y saludables que protejan la integridad física y psicológica de las personas involucradas. La originalidad de la investigación se sustenta en la aplicación específica de los principios de la supervisión industrial a un contexto productivo particular, generando conocimiento aplicado que contribuye tanto al avance de la disciplina como a la solución de problemas concretos en el sector de bebidas de la región, así como en la interpretación sociotécnica que resignifica los hallazgos originales a la luz de las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionan la adopción y sostenibilidad de las tecnologías de supervisión industrial.

CAPÍTULO 4

**LOS HALLAZGOS DE LA IMPLEMENTACIÓN Y SU
LECTURA DESDE LA EVIDENCIA**



Este capítulo presenta los hallazgos de la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas, organizados en torno a las distintas dimensiones del proceso: el análisis de las máquinas, las velocidades por formato, los paquetes producidos, la eficiencia de los equipos, los puntos críticos de monitoreo, los dispositivos seleccionados, el diseño del software, la arquitectura del sistema y la validación estadística de los resultados. Cada uno de estos apartados incorpora, además de la presentación de los datos, una reflexión sobre las implicaciones humanas y organizacionales de las decisiones técnicas adoptadas, en coherencia con el nuevo enfoque sociotécnico que orienta esta versión del libro. La presentación de los hallazgos no se limita a la descripción técnica de los resultados, sino que busca interpretar los datos a la luz de las condiciones organizacionales y culturales que condicionaron la implementación y que determinan su sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 4. Máquinas de línea de producción

Item	Máquina
1	Sopladora
2	Rinser
3	Etiquetadora
4	Llenadora
5	Carbonatador
6	Capsuladora
7	Empaquetadora
8	Paletizadora

Nota: Salazar Córdova (2026).

Cada línea de producción tiene un formato de producto establecido de acuerdo con las necesidades del mercado, y las veloci-

dades cambian en función del formato y de la línea de producción. Esta variabilidad responde a factores como el tamaño de la botella, el tipo de material y las características técnicas de cada máquina, lo que exige un monitoreo diferenciado por formato para garantizar que las mediciones reflejen con precisión el comportamiento real de cada línea. La velocidad nominal, entendida como la velocidad óptima a la que las máquinas operan sin problemas, constituye el parámetro de referencia que permite evaluar si el desempeño real de la línea se ajusta a lo esperado o si, por el contrario, existen desviaciones que requieran intervención. Estudios sobre gestión de la producción señalan que el establecimiento de parámetros de referencia claros es una condición indispensable para evaluar objetivamente el desempeño de los procesos industriales y para fundamentar decisiones de mejora continua (Torres, 2016). A continuación, se mencionan las velocidades por formato, las cuales permiten establecer los parámetros de referencia contra los cuales se compararán los datos registrados por el sistema SCADA.

Tabla 5. Velocidades nominales por formato

Línea de producción		
Línea	Formato	Velocidad Nominal (bot_x_min)
Línea 1	355ml	300
	500ml	300
	625ml	300

Línea de producción		
Línea	Formato	Velocidad Nominal (bot_x_min)
Línea 2	1L	200
	1.5L	200
	2L	150
	2.25L	120
	3L	100
Línea 3	355ml	400
	650ml	300
	1.25L	200

Nota: Salazar Córdova (2026).

Cada línea de producción tiene un volumen de producción que varía de acuerdo con la temporada del año, pues la demanda de bebidas presenta fluctuaciones estacionales que inciden directamente en la planificación y en el uso de la capacidad instalada. En el siguiente cuadro se muestran los paquetes producidos por mes según el formato de mayor consumo, información que resulta indispensable para evaluar el desempeño del sistema SCADA y para verificar si la producción registrada coincide con las metas establecidas por la empresa en cada período. La literatura especializada en gestión de operaciones ha documentado que el análisis de los patrones estacionales de producción permite optimizar la programación de las líneas y anticipar los requerimientos de recursos, reduciendo así los costos asociados a la sobrecapacidad o a la subutilización de los equipos (Pérez, 2017). Contar con estos datos permite, además, identificar patrones de producción que pueden ser utilizados para optimizar la programación de las líneas y para anticipar los requerimientos de recursos humanos,

materiales y energéticos que cada período demanda. La información histórica de producción constituye, en este sentido, un insumo estratégico para la gestión operativa y para la evaluación del impacto que la implementación del sistema SCADA tiene sobre la capacidad de la organización para cumplir con sus compromisos de entrega.

Tabla 6. Producción mensual por línea.

Línea	Cantidad (paquetes) x mes
Línea 1	734,400
Línea 2	918,000
Línea 3	612,000

Nota: Salazar Córdova (2026).

La eficiencia de los equipos combina tres factores: tiempo, velocidad y calidad. Su fórmula es eficiencia de los equipos igual a disponibilidad por rendimiento por calidad, donde la disponibilidad se calcula como tiempo operativo entre tiempo planificado de producción, el rendimiento como producción real entre producción teórica máxima, y la calidad como piezas buenas entre total de piezas producidas. Esta fórmula, ampliamente utilizada en la gestión industrial, permite obtener una medida integral del desempeño de cada línea y constituye un indicador fundamental para evaluar el impacto de la implementación del sistema SCADA en la eficiencia global de la planta. La eficiencia de los equipos, cuando se calcula de manera sistemática y se analiza en el tiempo, permite identificar tendencias y anticipar problemas antes de que se manifiesten en pérdidas significativas de producción. Asimismo, este indicador facilita la comparación entre líneas y entre

períodos, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones sobre inversiones, mantenimiento y mejora continua. La literatura sobre mantenimiento industrial ha evidenciado que el cálculo sistemático de la eficiencia de los equipos constituye una práctica fundamental en las organizaciones que buscan mantener altos niveles de competitividad y responder con agilidad a las demandas del mercado (García, 1999).

Tabla 7. Eficiencia de equipos por línea de producción.

Línea	Eficiencia por línea
Línea 1	91%
Línea 2	93%
Línea 3	89%

Nota: Salazar Córdova (2026).

La identificación de los puntos críticos y la definición del diagrama de procesos

En el siguiente cuadro se muestran las máquinas que forman parte del sistema productivo, iniciando el proceso por la máquina sopladora que almacena la preforma en un silo para luego transportarla al horno y lograr la temperatura a 200 °C para iniciar el proceso de soplado a través de unos moldes según el formato instalado. Posteriormente la botella soplada pasa a la máquina etiquetadora donde se le coloca la etiqueta a través de un tambor en vacío. La botella etiquetada pasa a la máquina llenadora donde se llena la botella junto al tanque carbonatador para inyección de CO₂ y bebida. La botella llena pasa a la máquina capsuladora donde se le coloca la tapa. Una vez capsulada, se le coloca un

código a través de un codificador donde se registra el lote de producción. Posteriormente la botella capsulada y codificada pasa por un inspector para revisar que cumpla con los estándares de calidad de nivel de llenado, capsulado y etiquetado, y finalmente pasa a la máquina empaquetadora donde se organizan las botellas según la presentación de paquetes programados. Cada una de estas etapas requiere condiciones específicas de operación y mantenimiento que garanticen la continuidad del proceso y la calidad del producto final.

En el diagrama de procesos se somborean las máquinas críticas, siendo la llenadora aquella máquina que nos da la velocidad nominal de la línea de producción y la empaquetadora aquella que nos da los paquetes finales para entregar a la zona de almacén. La identificación de estas dos máquinas como puntos críticos de monitoreo responde a un análisis detallado del flujo productivo, en el que se determinó que la llenadora condiciona el ritmo de toda la secuencia al ser la máquina más lenta del conjunto, mientras que la empaquetadora constituye el punto final del proceso donde se materializa la producción que se reporta a las áreas administrativas y de planificación. Esta decisión constituye una decisión estratégica que permite concentrar los esfuerzos de supervisión en los puntos donde la información resulta más relevante para la toma de decisiones operativas y de planificación. La llenadora, al ser el cuello de botella, determina la velocidad máxima que puede alcanzar la línea, mientras que la empaquetadora define la cantidad de producto terminado que efectivamente se entrega al almacén, por lo que monitorear ambas variables proporciona una visión completa del desempeño de la línea. La teoría de restricciones, formulada por Goldratt (1984), sostiene que toda línea de

producción tiene al menos un cuello de botella que limita su capacidad, y que la identificación y gestión adecuada de esa restricción constituye la clave para mejorar el desempeño global del sistema.

Figura 7. Diagrama del proceso productivo.



Nota: Salazar Córdova (2026).

Sin embargo, la identificación de los puntos críticos de monitoreo no solo responde a criterios técnicos sino que también tiene implicaciones para la organización del trabajo y para las prácticas de los operadores. La llenadora y la empaquetadora son las máquinas donde se concentra la atención del sistema SCADA, pero también son los puntos donde los operadores experimentan de manera más directa la transformación de sus prácticas laborales. Los operadores de la llenadora, que antes regulaban manualmente la velocidad de la máquina y registraban los datos en formatos de papel, ahora deben confiar en sensores que capturen la información de manera automática y en un software que la presenta de manera visual. Esta transformación puede generar sentimientos de pérdida de control y de desvalorización de su experiencia, especialmente si no se les involucra en el diseño y la implementación del sistema y si no se les capacita adecuadamente para comprender y utilizar las nuevas herramientas. La literatura sobre factores humanos en la automatización industrial ha demostrado que la participación de los operadores en el diseño e

implementación de sistemas de monitoreo mejora significativamente la aceptación y la eficacia de estos mecanismos (Stanton & Baber, 2008).

Tabla 8. Cuestionario de recolección de datos

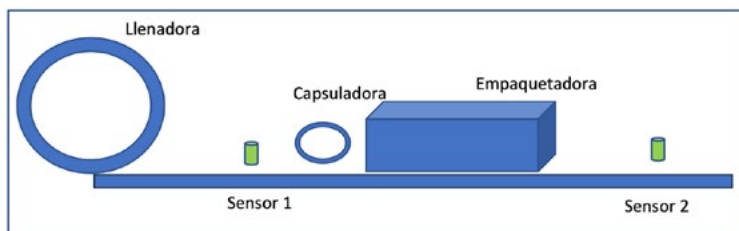
Items de cuestionario	Verificación	Observaciones
¿Las máquinas llenadora, empaquetadora cuentan con tecnología con PLC actualizada para conectar al SCADA?	SI	
¿Las líneas de producción: L1, L2, L3 están funcionando?	SI	
¿Existen tipos de SCADA que permitan enlazar las máquinas de producción? Si o No	SI	
¿Existen espacios dentro de los transportadores de botellas para instalar sensores detectores de botellas y paquetes?	SI	A salida de llenadora y salida de empaquetadora
¿Existe un área de tecnología de información para soporte?	SI	Existe área de soporte TI
¿Se tiene conocimiento del costo de implementación del sistema SCADA?	SI	Costo cubierto por la empresa

Nota: Salazar Córdova (2026).

En el cuestionario se logra revisar el espacio disponible para instalación de sensores detectores de botellas a la salida de llenadora y a la salida de la empaquetadora para registrar los paquetes empaquetados. La verificación de estos espacios resulta fundamental para garantizar que los sensores puedan instalarse en los puntos donde capten con precisión las señales que se requieren para el monitoreo, evitando interferencias o lecturas erróneas

que pudieran afectar la confiabilidad de los datos. Asimismo, la revisión de los espacios permitió confirmar que los sensores seleccionados son compatibles con las condiciones físicas de la línea y que su instalación no interferirá con el funcionamiento normal de las máquinas ni con las actividades de los operarios. La verificación de los espacios y la selección de los sensores constituyen pasos fundamentales para garantizar la confiabilidad del sistema, pero también para asegurar que la implementación no genere interrupciones innecesarias en la producción ni tensiones con los operadores que podrían resistirse a la instalación de dispositivos que perciben como una amenaza a su trabajo.

Figura 8. Dispositivos para velocidad y producción



Nota: Salazar Córdova (2026).

Se consideran las máquinas llenadora y empaquetadora ya que son las máquinas que definen la velocidad y los paquetes producidos respectivamente. La selección de estas dos máquinas responde a un criterio técnico y funcional claramente definido, pues la llenadora constituye el cuello de botella de la línea al condicionar el ritmo de toda la secuencia productiva, mientras que la empaquetadora representa el punto final del proceso y el lugar donde se materializa la producción que se reporta a las áreas administrativas y de planificación. Monitorear ambas máquinas permite obtener una visión completa y representativa del desem-

peño de la línea, pues se capturan tanto la velocidad de operación como la cantidad de producto terminado que efectivamente sale al mercado. La selección de estas dos máquinas constituye una decisión estratégica que optimiza los recursos disponibles y concentra los esfuerzos de monitoreo en los puntos donde la información resulta más relevante para la toma de decisiones operativas y de planificación.

Tabla 9. Máquinas enlazadas en el SCADA

Línea	Máquina
Línea 1	Llenadora
	Empaquetadora
Línea 2	Llenadora
	Empaquetadora
Línea 3	Llenadora
	Empaquetadora

Nota: Salazar Córdova (2026).

La definición de los dispositivos, el diseño del software y la arquitectura del sistema

Se instaló un sensor banner SI8U a la salida de llenadora para detectar las botellas llenas, y se instaló un sensor banner SI8U a la salida de empaquetadora para detectar los paquetes formados. Para la automatización de este proceso se usó un PLC Siemens de la gama 1215 con sus respectivos módulos, variadores, guarda motores y sensores. Los sensores se conectaron al PLC CPU 1215C para luego enviar la señal al servidor central donde se almacenará toda la información para visualización de velocidad de llenado y paquetes producidos. Se utilizó software Indusoft web para desa-

rollar la visualización y control de los puntos a monitorear como velocidad de llenado y paquetes producidos. La programación principal del PLC y el enlace con el SCADA fue desarrollada por el proveedor especialista, lo que garantiza que la implementación se realice con los estándares técnicos requeridos y que el sistema funcione adecuadamente desde el primer momento. Sin embargo, la dependencia de un proveedor externo para la programación del sistema plantea desafíos para la sostenibilidad a largo plazo, pues la empresa puede quedar en una situación de dependencia tecnológica que limite su capacidad para modificar o ampliar el sistema de manera autónoma.

Tabla 10. Inspección de máquinas

Inspección de máquinas		
Línea	Máquina	Tecnología para enlazar a SCADA
Línea 1	Sopladora	Cuenta con PLC
	Llenadora	Cuenta con PLC
	Empaquetadora	Cuenta con PLC
Línea 2	Sopladora	Cuenta con PLC
	Llenadora	Cuenta con PLC
	Empaquetadora	Cuenta con PLC
Línea 3	Sopladora	Cuenta con PLC
	Llenadora	Cuenta con PLC
	Empaquetadora	Cuenta con PLC

Nota: Salazar Córdova (2026).

Se configura el hardware de PLC Simatic marca Siemens con CPU S7-1200 y módulo de entradas digitales DI16XDC24V. La configuración del hardware constituye una etapa fundamental en la

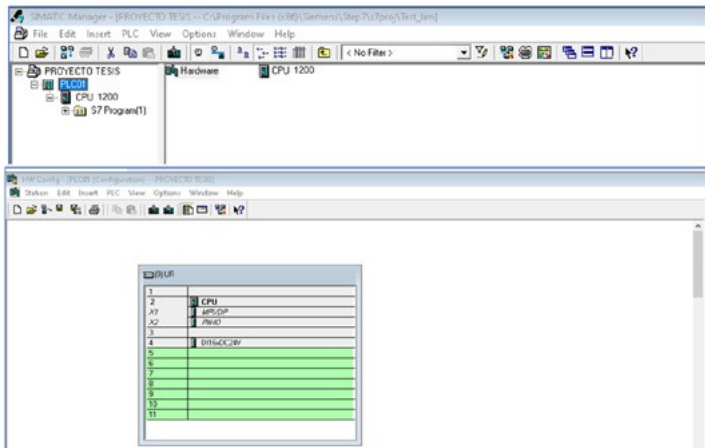
puesta en marcha del sistema, pues de ella depende que el PLC reconozca adecuadamente los módulos instalados y que las señales provenientes de los sensores sean procesadas de acuerdo con la lógica programada. Asimismo, la configuración del hardware permite establecer los parámetros de comunicación con el servidor central y con los demás dispositivos de la red, garantizando la interoperabilidad entre los distintos componentes del sistema. La configuración del hardware, aunque es una tarea eminentemente técnica, también tiene implicaciones organizacionales, pues determina las capacidades del sistema y las posibilidades de ampliación futura. Una configuración adecuada que prevea la incorporación de nuevos sensores y variables puede facilitar la ampliación del sistema y contribuir a su sostenibilidad, mientras que una configuración limitada puede obligar a realizar inversiones adicionales en el futuro.

Figura 9. Esquema de sistema SCADA



Nota: Salazar Córdova (2026).

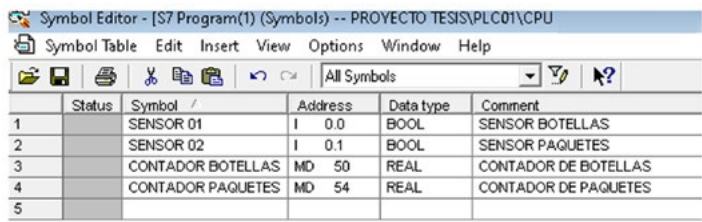
Figura 10. Configuración de PLC



Nota: Salazar Córdova (2026).

Se define lista de símbolos en el PLC, incluyendo el sensor de botellas, el sensor de paquetes, el contador de botellas y el contador de paquetes, con sus respectivas direcciones y tipos de datos. La correcta definición de estos símbolos constituye un paso fundamental en la programación del PLC, pues de ello depende que las señales provenientes de los sensores sean interpretadas adecuadamente y que los contadores registren con precisión los valores que posteriormente serán visualizados en el SCADA. Asimismo, la lista de símbolos constituye un documento de referencia que facilita las tareas de mantenimiento y actualización del sistema, pues permite identificar rápidamente cada variable y su ubicación dentro de la estructura del programa. La documentación del sistema, aunque frecuentemente subestimada, constituye un factor crítico para la sostenibilidad a largo plazo, pues permite que el personal de la empresa pueda comprender y modificar el sistema sin depender exclusivamente del proveedor externo.

Figura 11. Tabla de símbolos en PLC

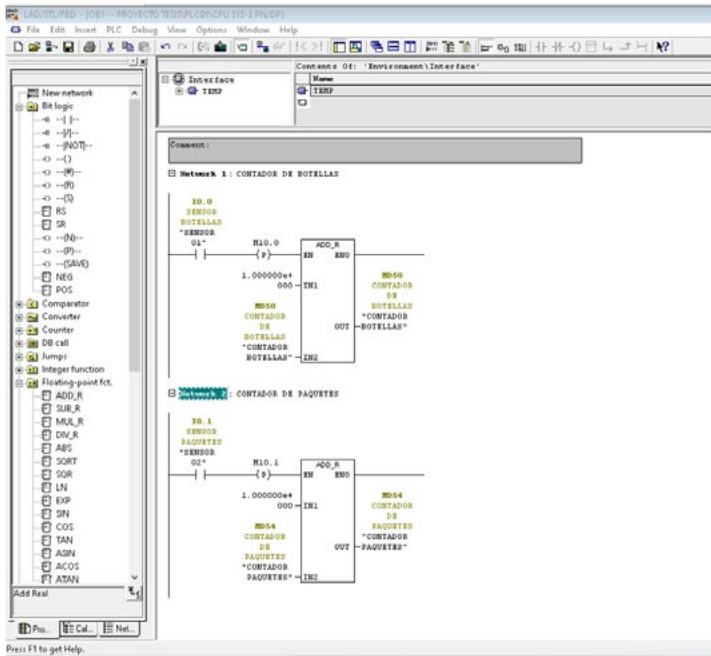


	Status	Symbol /	Address	Data type	Comment
1		SENSOR 01	I 0.0	BOOL	SENSOR BOTELLAS
2		SENSOR 02	I 0.1	BOOL	SENSOR PAQUETES
3		CONTADOR BOTELLAS	MD 50	REAL	CONTADOR DE BOTELLAS
4		CONTADOR PAQUETES	MD 54	REAL	CONTADOR DE PAQUETES
5					

Nota: Salazar Córdova(2026).

Se realiza la programación Ladder en PLC Simatic, la cual permite definir la lógica de funcionamiento del sistema y establecer las condiciones bajo las cuales los contadores incrementan su valor en función de las señales recibidas de los sensores. La programación Ladder constituye uno de los lenguajes más utilizados en la industria para la programación de controladores lógicos programables, pues su representación gráfica basada en contactos y bobinas facilita la comprensión de la lógica de control incluso para personal con conocimientos limitados de programación. En el caso particular de este proyecto, la programación Ladder permitió implementar los contadores que registran las botellas llenas y los paquetes producidos, así como las condiciones de habilitación y reinicio que garantizan la correcta operación del sistema. Asimismo, la programación Ladder facilita las tareas de mantenimiento y actualización, pues cualquier persona con conocimientos básicos de este lenguaje puede interpretar la lógica implementada y realizar modificaciones si las necesidades del proceso así lo requieren.

Figura 12. Programación Ladder

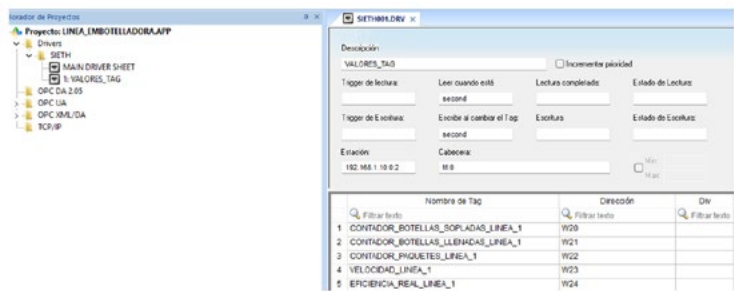


Nota: Salazar Córdova (2026).

Para la programación en el SCADA se utilizaron los siguientes Tags para definir las variables en el software Indusoft según imagen, incluyendo el contador de botellas llenas, el contador de paquetes y la velocidad de línea. Los Tags constituyen identificadores únicos que permiten referenciar cada variable del proceso dentro del software SCADA, de modo que los valores capturados por los sensores puedan ser almacenados, procesados y visualizados de manera consistente a lo largo de todo el sistema. La correcta definición de los Tags resulta fundamental para garantizar que la información fluya sin errores desde el PLC hasta las interfaces gráficas que utilizan los operadores y supervisores, evitando con-

fusiones que pudieran derivar en interpretaciones erróneas de los datos. Asimismo, la organización sistemática de los Tags facilita las tareas de mantenimiento y actualización del sistema, pues permite identificar rápidamente cada variable y su ubicación dentro de la estructura del proyecto SCADA.

Figura 13. Diseño de programación en Indusoft



Nota: Salazar Córdova (2026).

La información recolectada por el PLC es guardada a través del software Indusoft web, dicha información se usó para posteriormente comparar la información con los datos recolectados manualmente y así verificar la efectividad de la información. Los datos en tiempo real serán visualizados por las personas que tendrán acceso a través de un usuario y una contraseña, garantizando así la confidencialidad y seguridad de la información. El sistema SCADA permite que distintos usuarios accedan a la información de acuerdo con su nivel de autorización, asegurando que cada persona visualice únicamente los datos que le corresponden según su función dentro de la organización. La seguridad de la información constituye un aspecto crítico en los sistemas de supervisión industrial, pues la exposición indebida de datos

operativos puede comprometer la competitividad de la empresa y afectar la integridad de los procesos productivos. Sin embargo, la segmentación del acceso a la información también puede generar fragmentación en la comprensión del proceso y limitar la capacidad de los operadores para tomar decisiones informadas, por lo que es importante encontrar un equilibrio entre la seguridad de la información y la accesibilidad que requieren los distintos usuarios para desempeñar sus funciones.

La selección del software, los sensores y los criterios de evaluación

En la tabla se muestran los criterios que se tomaron para escoger el software. En este caso se recomendó el uso del software Indusoft web ya que funciona en cualquier plataforma y es de menor costo. La selección del software SCADA constituye una decisión estratégica de gran relevancia, pues de ella depende no solo la funcionalidad inmediata del sistema sino también su sostenibilidad en el tiempo y su capacidad para adaptarse a los cambios que puedan producirse en los procesos productivos. Entre los criterios considerados se encuentran el costo de licenciamiento, la capacidad del software para comunicarse con dispositivos de distintos fabricantes, la facilidad de operación para los usuarios finales y la disponibilidad de soporte técnico. El software Indusoft web resultó particularmente atractivo porque ofrece un equilibrio adecuado entre estas dimensiones, permitiendo que la empresa acceda a una herramienta robusta sin incurrir en costos excesivos de licenciamiento ni en la necesidad de adquirir hardware especializado.

Tabla 11. Selección del sistema

SCADA	PROVEE-DOR	SISTEMA OPE-RATIVO	Cos-to	Multi-driver	Opera-tividad	Total
LabView	Nacional Ins-truments	Windows 95/98/NT	2	2	2	6
Intouch	WonderWare	Windows 95/98/NT	2	2	2	6
RSView	Rockwell	Win-dowsNT/2000	2	2	2	6
WinCC	Siemens	Windows XP	2	2	2	6
FIX	Intelletion	Windows XP	2	2	2	6
Citec	Schneider	Windows XP	2	2	2	6
Indusoft web	Schneider	Windows XP	3	3	2	8

Nota: Salazar Córdova (2026).

Se utilizaron los siguientes criterios de evaluación de costo, multidriver y operatividad. Cada uno de estos criterios fue valorado en una escala de tres niveles que permite comparar objetivamente las distintas alternativas disponibles en el mercado. El criterio de costo evalúa el nivel de inversión requerido para adquirir la licencia del software, considerando como bajo costo el nivel tres, medio costo el nivel dos y alto costo el nivel uno. El criterio de multidriver evalúa la capacidad del software para comunicarse con dispositivos de distintos fabricantes, considerando como nivel tres la aceptación de cualquier tipo de driver, nivel dos la aceptación de algunos tipos y nivel uno la no aceptación de diferentes marcas. El criterio de operatividad evalúa la facilidad de uso del software, considerando como nivel tres la facilidad de operación, nivel dos la operación regular y nivel uno la complejidad en la operatividad. La aplicación sistemática de estos criterios permitió identificar el software Indusoft web como la alternativa

más adecuada para las necesidades específicas de la empresa de bebidas analizada. García (1999) señala que para seleccionar un sistema SCADA se deben considerar factores como la robustez, la disponibilidad, la seguridad, las prestaciones y la escalabilidad, criterios que coinciden con los utilizados en esta evaluación.

Tabla 12. Tabla de criterios

Criterios de Evaluación Costo		Criterios de Evaluación Multidriver		Criterios de Evaluación Operatividad	
Nivel	Descripción	Nivel	Descripción	Nivel	Descripción
3	Bajo costo	1	No acepta diferentes marcas de driver	1	Complejo en operatividad
2	Medio costo	2	Acepta algunos tipos de driver	2	Regular en operar
1	Alto costo	3	Acepta cualquier tipo de driver	3	Fácil de operar

Nota: Salazar Córdova (2026).

Se realiza cuadro comparativo para seleccionar el tipo de sensor contador de botellas y paquetes. La comparación consideró aspectos como el rango de costo, el tipo de material que cada sensor puede detectar, la distancia típica de detección y la vida útil o durabilidad esperada. Entre las alternativas evaluadas se encuentran los sensores inductivos, capacitivos, magnéticos, fotoeléctricos y ultrasónicos, cada uno con ventajas y limitaciones específicas que deben ser consideradas en función de las características del proceso y de las condiciones ambientales en las que operarán. La selección del sensor adecuado constituye un paso fundamental para garantizar la confiabilidad de las mediciones y la sostenibilidad del sistema de monitoreo a lo largo del tiempo.

Tabla 13. Cuadro comparativo de sensores

Tipo de Sensor	Rango de Costo (Aprox.)	Costo Relativo	¿Qué detecta?	Distancia típica	Vida útil / Durabilidad
Inductivo	\$10–\$50 USD	Bajo	Solo Metales (hierro, acero, aluminio)	Corta (< 50 mm)	Alta: Muy robusto, sin partes móviles.
Capacitivo	\$30–\$80 USD	Medio	Todo (Metal, plástico, líquidos, polvos)	Corta (< 40 mm)	Media: Sensible a suciedad y humedad.
Magnético	\$3–\$15 USD	Muy Bajo	Solo Imanes (requiere un imán externo)	Media (< 100 mm)	Alta: Simple y duradero.
Fotoeléctrico	\$100–\$350+ USD	Medio	Casi todo (depende de reflexión/bloqueo luz)	Larga (hasta 50m+)	Alta: Mantener lentes libre de polvo.
Ultrasónico	\$200–\$500+ USD	Alto	Objetos sólidos, líquidos, transparentes	Larga (hasta 8m+)	Alta: Inmune al polvo y color del objeto.

Nota: Salazar Córdova (2026).

Se recomendó usar sensor fotoeléctrico ya que detecta todo tipo de material y son de alta vida útil, además que la empresa usa este tipo de sensor en otros procesos y están familiarizados en su uso. La familiaridad del personal con este tipo de sensor constituye una ventaja significativa, pues reduce la curva de aprendizaje y facilita las tareas de instalación, configuración y mantenimiento. Asimismo, la disponibilidad de repuestos y el conocimiento de los proveedores locales agilizan las actividades de soporte y reposición en caso de fallas, lo que contribuye a garantizar la continuidad operativa del sistema de monitoreo. La selección del sensor fotoeléctrico responde, por lo tanto, no solo a criterios técnicos sino también a consideraciones prácticas relacionadas con la experiencia previa de la empresa y con la disponibilidad de recursos para su mantenimiento.

Se define utilizar el área de TI para centralizar la información, debido a que esa zona cuenta con cámaras de seguridad y es zona restringida. Asimismo, se define usar conexión de cableado con fibra óptica, dicha conexión se instaló por una empresa especialista en redes. La elección del área de TI responde a criterios de seguridad y disponibilidad, pues se trata de un espacio controlado donde los equipos están protegidos de accesos no autorizados y donde se garantiza el suministro eléctrico y la climatización adecuada para el funcionamiento continuo del servidor. La fibra óptica, por su parte, ofrece ventajas significativas en términos de velocidad de transmisión, inmunidad a interferencias electromagnéticas y capacidad para cubrir distancias sin pérdida de señal, lo que garantiza que los datos provenientes de las máquinas lleguen al servidor central de manera oportuna y confiable.

Entre las especificaciones técnicas de los componentes se encuentra el sensor de proximidad banner S18UBAQ, descrito como un sensor para detección de objetos por barrera fotoeléctrica, ideal para conteo de cajas de cartón, metal y botellas de plástico. Sus especificaciones incluyen fabricante Banner Engineering, categoría de producto sensores de proximidad, método de detección ultrasónico, distancia de detección de 30 mm a 300 mm, estilo de montaje bracket, configuración de salida NPN/PNP, tamaño del tambor M18, altura de 90.9 mm, frecuencia máxima de 300 kHz, temperatura máxima de trabajo de 60 °C, temperatura mínima de trabajo de 20 °C bajo cero, voltaje de alimentación de 10 VDC a 30 VDC, tipo de producto photoelectric sensors y serie S18U. Estas características técnicas garantizan que el sensor sea adecuado para las condiciones de operación de la línea y que proporcione lecturas confiables a lo largo del tiempo. La selección de sensores con especificaciones adecuadas a las condiciones del proceso

constituye una práctica fundamental en el diseño de sistemas de supervisión industrial, pues de ello depende la calidad de los datos que alimentarán los procesos de análisis y toma de decisiones.

El PLC CPU 1215C DC/DC/DC se describe como un controlador con conectividad avanzada que permite un control de nivel, medición y regulaciones precisas en procesos industriales. Sus especificaciones incluyen fabricante Siemens, tipo SIMATIC S7-1200 CPU, guardado de datos de 125 kB, entradas digitales de 6 conectores de gran velocidad, entradas analógicas de 0 a 10 V, salidas digitales de 10 con 4 a 100 kHz tren de impulsos, salidas analógicas de 2 con 0 a 20 mA, dimensiones de 130x100x75 mm, montaje en carril DIN 35, voltaje de entrada de 24 V DC, rango admisible de 20 a 28 V DC, intensidad de entrada de 1 mA, frecuencia de 100 kHz, resolución de 10 bit, temperatura máxima de 60 °C, temperatura mínima de 20 °C bajo cero e interfaz Ethernet con 2 puertos switch RJ45. Estas características técnicas garantizan que el PLC sea capaz de procesar las señales provenientes de los sensores y de comunicarse con el servidor central de manera eficiente y confiable.

La computadora PC servidor se describe como un sistema informático que proporciona recursos, servicios y datos a otros ordenadores a través de una red, basado en procesador Intel estándar. Sus especificaciones incluyen sistema operativo Windows Server o Linux, almacenamiento de 500 GB a más, memoria de 32 GB a más, procesador de 8 núcleos a más, base de datos PostgreSQL o SQL Server y marca Dell. Estas características garantizan que el servidor tenga la capacidad suficiente para almacenar y procesar la información generada por el sistema SCADA, así como para atender las solicitudes de los usuarios que acceden a la información desde distintos puntos de la red.

Las variables a monitorear son la velocidad de producción, que a través del sensor detector de botellas llenas ubicado a salida de llenadora permitirá calcular las botellas llenas en un determinado período de tiempo. También se considera la variable de paquetes producidos a través de un sensor a la salida de la empaquetadora que permitirá contabilizar los paquetes llenos disponibles para almacenar.

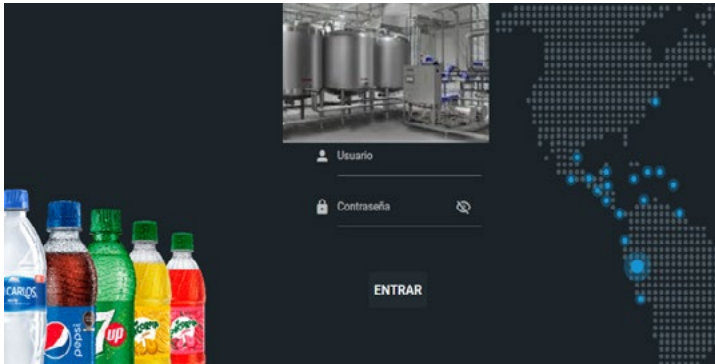
El monitoreo de estas dos variables proporciona información complementaria que permite evaluar el desempeño de la línea desde dos perspectivas distintas pero complementarias, pues la velocidad refleja la capacidad de procesamiento de la máquina crítica mientras que los paquetes producidos reflejan el resultado final del proceso productivo. La combinación de ambas variables permite obtener una visión integral del desempeño de la línea y fundamentar decisiones informadas sobre la programación de la producción y la asignación de recursos.

El SCADA Indusoft muestra reporte a nivel operativo y gerencial. Para ello se tiene una lista de personal operativo y personal administrativo autorizado, teniendo un usuario y clave de acceso. La generación de reportes diferenciados por nivel jerárquico constituye una de las funcionalidades más relevantes de los sistemas SCADA contemporáneos, pues permite que cada usuario acceda a la información que resulta pertinente para sus funciones específicas dentro de la organización.

Los reportes operativos se orientan al monitoreo inmediato de las variables de producción, mientras que los reportes gerenciales ofrecen una visión agregada y estratégica que facilita la evaluación del desempeño global de la planta. La existencia de perfiles diferenciados garantiza que la información sensible sea accesible

únicamente a las personas autorizadas, protegiendo así la confidencialidad de los datos y asegurando que las decisiones se sustenten en información verificada y oportuna.

Figura 14. Acceso a reporte



Nota: Salazar Córdova (2026).

A nivel de visualización se muestra un reporte de velocidad y producción del día. Este reporte permite a los usuarios autorizados consultar en tiempo real las variables críticas del proceso, facilitando la identificación de desviaciones y la toma de decisiones oportunas para mantener la continuidad operativa. La interfaz gráfica del sistema ha sido diseñada para presentar la información de manera clara e intuitiva, de modo que los operadores y supervisores puedan interpretar rápidamente los datos sin requerir conocimientos técnicos especializados. Asimismo, el reporte diario constituye un insumo fundamental para la planificación de la producción del día siguiente, pues proporciona información sobre el cumplimiento de las metas establecidas y sobre las condiciones en que se desarrolló la operación.

Figura 15. Reporte de velocidad y producción



Nota: Salazar Córdova (2026).

Figura 16. Clave de acceso al SCADA



Nota: Salazar Córdova (2026).

El sistema SCADA Indusoft tiene acceso solo a personal autorizado validado por el gerente de Planta, los cuales tienen usuario y claves de acceso. Por defecto, están configurados como mínimo dos niveles de seguridad, y se pueden agregar más de acuerdo con las especificaciones y requerimientos. El nivel de operador permite la operación por defecto del sistema SCADA, visualización, acceso a reportes e históricos, mientras que el nivel de supervisor permite además el manejo de parámetros de ajuste o setpoints. La gestión de niveles de seguridad constituye una práctica fundamental en los sistemas de supervisión industrial, pues permite garantizar que cada usuario acceda únicamente a las funciones que corresponden a su rol dentro de la organización, reduciendo así los riesgos de errores operativos o de accesos no autorizados.

El cronograma de implementación y el análisis de los resultados obtenidos

En el siguiente cuadro se muestra el cronograma de implementación del sistema SCADA, el cual abarca un período de cuatro meses comprendidos entre agosto y noviembre de 2024. Las actividades programadas incluyen la revisión de información sobre sistemas SCADA, las inspecciones de las máquinas de las líneas de producción, la identificación de las máquinas que serán enlazadas al sistema, la revisión de las máquinas que cuentan con la tecnología para realizar la interfaz con el SCADA, la definición del tipo de software a instalar, la definición del lugar para instalar el servidor, la revisión del tipo de conexión de red, la coordinación con terceros especialistas en implementar SCADA, el análisis de costos de los equipos y accesorios, la ejecución del SCADA y las pruebas del sistema comparando los datos manuales con los registrados por el SCADA. La secuencia de actividades refleja una lógica progresiva que permite reducir los riesgos asociados a la implementación y asegurar que cada etapa se complete satisfactoriamente antes de avanzar a la siguiente.

Tabla 14. Cronograma de implementación

ACTIVIDADES	MESES			
	Ago-24	Set-24	Oct-24	Nov-24
Revisión de información sistemas SCADA	X			
Inspecciones de las máquinas de las líneas de producción	X			
Identificación de máquinas que serán enlazados al sistema SCADA	X			

ACTIVIDADES	MESES			
	Ago-24	Set-24	Oct-24	Nov-24
Revisión de máquinas que cuentan con la tecnología para realizar la interfase con el SCADA		X		
Definición del tipo de software a instalar		X		
Definición del lugar para instalar el servidor		X		
Revisión del tipo de conexión red		X		
Coordinación con tercero especialista en implementar SCADA			X	
Análisis de costo de los equipos y accesorios del SCADA			X	
Ejecución del SCADA				X
Pruebas del sistema SCADA (manual vs SCADA)				X

Nota: Salazar Córdova (2026).

En el siguiente cuadro se muestran los costos de implementación del sistema SCADA, los cuales incluyen los sensores banner S18UBAQ, los PLC CPU 1215C DC/DC/DC, la computadora PC servidor, el cable de fibra óptica, la licencia del software y el servicio de implementación. El costo total de implementación del sistema SCADA para medir las dos variables de velocidad y producción fue de 6,566 dólares, monto que fue asumido por la empresa de bebidas y que se destinó a la contratación de un tercero especialista para instalar el sistema. La evaluación de los costos constituye un aspecto fundamental en cualquier proyecto de implementación tecnológica, pues permite determinar la viabilidad económica de la propuesta y fundamentar la decisión de invertir en la mejora de los procesos productivos. Sin embargo, la evaluación económica no se agota en el cálculo de los costos directos, sino que debe con-

siderar también los costos indirectos asociados a la capacitación del personal, la gestión del cambio y el mantenimiento del sistema a largo plazo, así como los beneficios intangibles derivados de la mayor satisfacción de los usuarios y de la mejora en la calidad de las decisiones.

Tabla 15. Costo de componentes del sistema SCADA

Item	Componente	Canti- dad	Unidad	Precio (dólares)	Costo Total (dólares)
1	Sensor banner sl8ubaq	2	Und	434	868
2	PLC CPU I2I5c DC/ DC/DC	2	Und	1,233	2,466
3	Computadora PC	1	Und	1,096	1,096
4	Cable fibra óptica	1	Servicio	219	219
5	Licencia	1	Servicio	822	822
6	Implementación	1	Servicio	1,096	1,096
Total					6,566

Nota: Salazar Córdova (2026).

En la tabla se muestran los datos recolectados manualmente y registrados por el sistema SCADA de la línea de producción Línea 1, correspondientes a las velocidades medidas con cronómetro y las registradas por el sistema. Se plantea la hipótesis nula de que el promedio de velocidad tomada manualmente con con-tómetro es igual al promedio de velocidad tomada en el sistema SCADA, y la hipótesis alternativa de que ambos promedios son di-ferentes. Se realiza prueba de t Student para medias de dos mues-tras emparejadas, utilizando análisis de datos de hojas de cálculo de Excel con un nivel de confianza del 95 por ciento. Los resulta-dos del análisis de varianza muestran que el valor de P es de 0.42,

mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, y que el valor de t Student es de 0.809, menor al valor crítico de t de 2.09, por lo que también se acepta la hipótesis nula. Esto quiere decir que las velocidades del sistema SCADA son estadísticamente iguales a las velocidades tomadas manualmente, garantizando que los valores sean confiables.

Tabla 16. Datos de velocidades manual vs sistema SCADA

Medida	Cronómetro (botellas/ minutos)	SCADA (botellas/ minutos)
1	309	308
2	309	308
3	309	309
4	309	309
5	309	309
6	309	308
7	309	308
8	309	309
9	309	309
10	309	309
11	309	309
12	309	308
13	309	308
14	309	308
15	309	309
16	304	308
17	309	309
18	309	309
19	309	309
20	309	308

Nota: Salazar Córdova (2026).

En la tabla se muestran los datos de paquetes contados manualmente y registrados por el sistema SCADA, correspondientes a las mediciones horarias realizadas durante veinte periodos. Se plantea la misma hipótesis nula y alternativa que en el caso anterior, y se realiza prueba de t Student para medias de dos muestras emparejadas con un nivel de confianza del 95 por ciento. Los resultados muestran que el valor de P es de 0.65, mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, y que el valor de t Student es de 0.456, menor al valor crítico de t de 2.09, por lo que también se acepta la hipótesis nula. Esto quiere decir que los paquetes registrados en el sistema SCADA son estadísticamente iguales a los paquetes contados manualmente, garantizando que los valores sean confiables. La aplicación de pruebas estadísticas como la t de Student constituye una práctica rigurosa que permite validar objetivamente el funcionamiento de los sistemas de medición y sustentar las conclusiones en evidencia verificable.

Tabla 17. Análisis de varianza para velocidades

	Variable 1	Variable 2
Media	308.75	308.55
Varianza	1.25	0.26052632
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	0.25362864	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	0.80942721	
P(T<=t) una cola	0.21414515	
Valor crítico de t (una cola)	1.72913281	
P(T<=t) dos colas	0.4282903	
Valor crítico de t (dos colas)	2.09302405	

Nota: Salazar Córdova (2026).

Tabla 18. Datos de paquetes manual vs Sistema SCADA

Medida (Horas)	Cronómetro	SCADA
	Paquetes x hora	Paquetes x hora
1	1230	1231
2	1210	1210
3	1230	1230
4	1214	1215
5	1221	1222
6	1212	1210
7	1214	1215
8	1250	1249
9	1200	1205
10	1230	1225
11	1220	1222
12	1225	1226
13	1215	1214
14	1232	1230
15	1225	1226
16	1230	1230
17	1214	1215
18	1215	1216
19	1222	1223
20	1216	1215

Nota: Salazar Córdova (2026).

Tabla 19. Análisis de varianza para los paquetes producidos

	Variable 1	Variable 2
Media	1221.25	1221.45
Varianza	116.092105	100.576316
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	0.98474695	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	0.4556866	
P(T<=t) una cola	0.32689019	
Valor crítico de t (una cola)	1.72913281	
P(T<=t) dos colas	0.65378038	
Valor crítico de t (dos colas)	2.09302405	

Nota: Salazar Córdova (2026).

Para analizar los sistemas de control y monitoreo de datos que se registran en las máquinas de las líneas de producción en la empresa de bebidas, se registraron todos los datos de las líneas de producción como las máquinas en cada línea, formatos producidos, velocidades de cada formato y paquetes producidos. En este estudio se consideraron los datos que se registran en las líneas de producción como las velocidades de producción y paquetes producidos por formato en cada línea. Según el estudio de Merino (2014), la recolección de datos puede utilizar distintos instrumentos como formatos, cámaras y videos que se aplican a las variables a controlar y que permiten analizar los datos. La coincidencia entre los hallazgos de este estudio y los reportados por la literatura especializada confirma la pertinencia de las decisiones metodológicas adoptadas y refuerza la validez de los resultados obtenidos.

Para identificar los puntos de monitoreo se analizaron los diagramas de procesos del sistema productivo de las líneas de producción. En este estudio se definen los puntos a monitorear a través del diagrama de procesos, en este caso se controla la velocidad de la línea y la cantidad de paquetes con la instalación de sensores ubicados a la salida de llenadora y empaquetadora respectivamente. Tomando en cuenta lo mencionado por Pérez (2017), los procesos industriales son la parte central de los sistemas de manufactura y por lo tanto se pueden analizar y definir las variables a controlar según su diagrama de procesos. La identificación de los puntos críticos de monitoreo a partir del diagrama de procesos constituye una práctica fundamental en el diseño de sistemas SCADA, pues permite concentrar los recursos en los lugares donde la información resulta más relevante para la toma de decisiones.

Para determinar los dispositivos a utilizar para detectar la velocidad y producción de las líneas, se definieron instrumentos de control como sensores de proximidad banner para detectar las botellas llenas y los paquetes producidos. Según Castillo (2010), en el diseño del sistema SCADA se muestran los instrumentos de campo que son los dispositivos que permiten realizar la automatización o control del sistema junto a los PLC, considerando como instrumentos de campo a los sensores, tal cual se ha utilizado en este estudio. La selección de sensores de proximidad responde a criterios técnicos relacionados con la precisión, la confiabilidad y la durabilidad, así como a consideraciones prácticas vinculadas con la familiaridad del personal y la disponibilidad de repuestos en el mercado local.

Para diseñar el software que enlaza las máquinas con el SCADA, se diseñó el esquema del sistema SCADA donde se muestran los

componentes que serán enlazados al sistema. Considerando lo que menciona Castillo (2010), donde muestra una arquitectura general del sistema SCADA mencionando los componentes del SCADA, dichos componentes son semejantes a los que se han colocado en el esquema del presente estudio. La coincidencia entre la arquitectura propuesta y la reportada por la literatura especializada confirma la pertinencia del diseño adoptado y refuerza la confiabilidad de la solución implementada. Asimismo, el esquema del sistema permite visualizar de manera clara la forma en que los distintos componentes se interconectan para garantizar el flujo de información desde los sensores hasta los usuarios finales. Los resultados de este estudio y los reportados por Poma (2011) refuerzan la validez de los hallazgos y confirman la pertinencia de la solución implementada para mejorar el control de los procesos productivos.

CAPÍTULO 5
DEL DATO CONFIABLE A LA DECISIÓN ACERTADA.
LO QUE ENSEÑA LA IMPLEMENTACIÓN DEL
SISTEMA SCADA Y LOS CAMINOS QUE SE ABREN EN
LA PLANTA DE BEBIDAS



Lo que devela la evidencia. Confiabilidad estadística y sus efectos en la gestión

Los resultados obtenidos a partir de la contrastación estadística permiten afirmar con solidez que las velocidades y los paquetes registrados por el sistema SCADA son estadísticamente iguales a las velocidades y paquetes reales, con un nivel de confianza del 95 por ciento. Este hallazgo reviste una importancia capital porque valida la confiabilidad del sistema implementado y confirma que la información que proporciona puede ser utilizada como base para la toma de decisiones operativas y estratégicas dentro de la organización. La coincidencia estadística entre los datos registrados manualmente y los capturados automáticamente por el sistema demuestra que la tecnología seleccionada cumple con los estándares de precisión requeridos para respaldar la gestión de la producción, eliminando las incertidumbres que tradicionalmente acompañaban a los registros manuales y permitiendo que las áreas de planificación y ventas trabajen con información verificada y oportuna. La aplicación de pruebas estadísticas como la *t* de Student constituye una práctica rigurosa que permite validar objetivamente el funcionamiento de los sistemas de medición y sustentar las conclusiones en evidencia verificable, tal como lo señala Anderson (2008) en su obra sobre estadística para administración y economía.

El monitoreo en tiempo real de las velocidades y los paquetes producidos genera beneficios que trascienden el ámbito estrictamente operativo, pues proporciona información confiable para la gestión y contribuye al ahorro de costos derivado de decisiones mejor fundamentadas con el área de ventas. Cuando la informa-

ción fluye de manera oportuna y precisa, los responsables de la planificación pueden anticipar desviaciones, ajustar la programación de la producción y coordinar con mayor eficacia las entregas a los clientes, reduciendo así los riesgos de incumplimiento y los costos asociados a las correcciones de última hora. Este impacto positivo sobre la eficiencia operativa y sobre la satisfacción del cliente constituye uno de los argumentos más sólidos para justificar la inversión realizada y para proyectar la ampliación del sistema hacia otras variables y otras áreas de la organización. La experiencia de la empresa de bebidas analizada demuestra que la información en tiempo real no es un lujo tecnológico sino una necesidad estratégica en contextos productivos donde la velocidad de respuesta y la precisión de los datos determinan la capacidad de la organización para competir y sostenerse en el mercado. Sin embargo, la confiabilidad estadística de los datos, aunque necesaria, no es suficiente para garantizar el éxito del sistema a largo plazo, pues la sostenibilidad depende también de factores humanos y organizacionales que serán analizados en profundidad en el capítulo siguiente.

Las decisiones técnicas que sostienen la implementación y su justificación económica

La selección de los sensores banner SI8UBAQ para detectar las botellas llenas y los paquetes producidos responde a criterios técnicos de precisión, confiabilidad y durabilidad, así como a consideraciones prácticas relacionadas con la familiaridad del personal y la disponibilidad de repuestos en el mercado local. La integración de estos sensores con el PLC y con el software SCADA permite que la información fluya sin interrupciones desde el piso de planta hasta las interfaces gráficas que utilizan los operadores y supervisores, asegurando que las decisiones se sustenten en datos verificados y oportunos. Castillo (2010) señala que en el diseño del sistema SCADA se muestran los instrumentos de campo que son los dispositivos que permiten realizar la automatización o control del sistema junto a los PLC, considerando como instrumentos de campo a los sensores, tal cual se ha utilizado en este estudio. La elección de sensores familiares para el personal no es solo una decisión pragmática de mantenimiento, sino una estrategia de gestión del cambio que busca minimizar las resistencias y facilitar la aceptación, reconociendo que la familiaridad con los componentes tecnológicos constituye uno de los predictores más robustos de la adopción exitosa por parte de los usuarios finales (Rogers, 2003).

El costo de implementación de las dos variables a monitorear, velocidad y paquetes producidos, fue de 6,566 dólares, monto que fue asumido por la empresa de bebidas y que se destinó a la contratación de un tercero especialista para instalar el sistema. Esta inversión, considerada en relación con los beneficios esperados en

términos de eficiencia operativa, reducción de errores y mejora en la toma de decisiones, representa un costo razonable que se recupera a través de las mejoras sostenidas en el control de los procesos productivos. La evaluación económica de la propuesta constituye, en este sentido, un elemento fundamental para fundamentar la decisión de invertir y para proyectar la ampliación del sistema hacia nuevas funcionalidades y nuevas áreas de la organización. La literatura sobre gestión de operaciones ha documentado que las inversiones en tecnología de supervisión industrial tienden a recuperarse en plazos relativamente cortos cuando se implementan de manera adecuada y cuando se acompañan de procesos de capacitación y gestión del cambio que aseguren su adopción efectiva por parte de los usuarios.

Las proyecciones del sistema y los horizontes de mejora continua

Se recomienda aprovechar el SCADA Indusoft para monitorear más variables como consumo de CO₂, consumo de agua y consumo de energía, entre otras, pues la arquitectura del sistema permite incorporar nuevos puntos de medición sin necesidad de modificar la infraestructura existente. La ampliación del alcance del sistema hacia variables relacionadas con el consumo de recursos permitiría obtener una visión más completa del desempeño de la planta y contribuiría a la identificación de oportunidades de ahorro y de mejora en la eficiencia energética. Asimismo, el monitoreo de estas variables facilitaría la implementación de estrategias de sostenibilidad ambiental que resultan cada vez más relevantes en el contexto industrial contemporáneo. La posibilidad de integrar nuevas variables sin requerir inversiones adicionales

significativas constituye una de las ventajas más valiosas de los sistemas SCADA modernos, pues permite que la organización amplíe progresivamente el alcance de su supervisión conforme maduran sus necesidades y se identifican nuevas oportunidades de mejora.

Se recomienda incluir parámetros de alarmas ante algún desvío para alertar al usuario, ya que el sistema SCADA sí lo permite, lo que contribuiría a detectar oportunamente cualquier anomalía en el proceso y a reducir los tiempos de respuesta ante eventuales fallas. La configuración de alarmas constituye una funcionalidad estándar de los sistemas SCADA contemporáneos y su implementación resulta relativamente sencilla una vez que el sistema se encuentra operativo, por lo que representa una oportunidad inmediata de mejora que puede ser aprovechada con un esfuerzo adicional mínimo. Las alarmas permiten que los operadores y supervisores sean notificados de manera automática cuando alguna variable se desvía de los parámetros establecidos, lo que reduce la dependencia de la vigilancia humana constante y mejora la capacidad de respuesta ante situaciones críticas que podrían afectar la continuidad de la producción o la calidad del producto. La implementación de alarmas podría contribuir a que los operadores perciban el sistema no como un instrumento de control externo sino como una herramienta que les permite desempeñar mejor su trabajo y anticipar problemas antes de que se manifiesten en fallas o pérdidas de producción (Stanton & Baber, 2008).

Se recomienda evaluar la integración de otras áreas que deseen monitorear en tiempo real sus variables, pues la experiencia adquirida en esta implementación puede servir de referencia para otros procesos de la organización que enfrenten problemáticas

similares relacionadas con la falta de información oportuna. La ampliación del sistema hacia nuevas áreas permitiría aprovechar las economías de escala derivadas de la infraestructura ya instalada y contribuiría a consolidar una cultura organizacional orientada a la gestión basada en datos, en la que las decisiones se sustenten en información verificada y no en suposiciones. La experiencia de Poma (2011) en el Centro de Manufactura Avanzada de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde también se implementó un SCADA para mejorar el control de la producción y los recursos, confirma que este tipo de sistemas puede adaptarse a contextos diversos y generar beneficios sostenidos cuando se implementan con una visión integral que considere tanto los aspectos técnicos como los organizacionales y humanos.

CAPÍTULO 6

LA DIMENSIÓN HUMANA Y ORGANIZACIONAL DE LA SUPERVISIÓN INDUSTRIAL. RESISTENCIAS, APROPIACIÓN TECNOLÓGICA Y EL FACTOR HUMANO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA



Un nuevo enfoque para comprender la implementación tecnológica

El libro que antecede ha documentado con rigor la implementación de un sistema SCADA en una planta de bebidas ubicada en Sullana, Perú, describiendo con detalle los aspectos técnicos, metodológicos y estadísticos que sustentaron la intervención. Los capítulos previos han abordado los fundamentos de la supervisión industrial, el diseño metodológico de la investigación, la selección de sensores y software, la arquitectura del sistema y la validación estadística de los resultados obtenidos. La narrativa dominante ha sido, hasta este punto, la de una transformación tecnológica exitosa, respaldada por pruebas de hipótesis que confirman la equivalencia estadística entre los datos registrados manualmente y los capturados automáticamente por el sistema SCADA. Sin embargo, una lectura atenta de los datos empíricos presentes en el libro revela dimensiones que no han sido suficientemente exploradas y que merecen una interpretación más profunda. Este capítulo propone un nuevo enfoque interpretativo que desplaza la mirada desde la infraestructura tecnológica hacia las personas y las organizaciones que la implementan, utilizan y sostienen en el tiempo.

El nuevo enfoque que aquí se propone puede formularse con el título sugerente de La supervisión industrial como proceso de construcción sociotécnica: resistencias, apropiación y sostenibilidad del sistema SCADA más allá de la validación estadística. Esta perspectiva interpretativa sostiene que la implementación de un sistema SCADA no constituye únicamente un acto de instalación de hardware y software, sino un proceso complejo de

construcción sociotécnica en el que convergen factores humanos, organizacionales y culturales que determinan el éxito o el fracaso de la intervención a mediano y largo plazo. El libro original, al centrarse en la validación estadística y en la descripción técnica del sistema, ha dejado en segundo plano las voces de los operadores, las resistencias implícitas al cambio, las transformaciones en las prácticas laborales cotidianas y las condiciones organizacionales que hacen posible la sostenibilidad del sistema una vez que el equipo implementador se retira de la planta. El nuevo enfoque busca resignificar el fenómeno estudiado, otorgando centralidad analítica a los actores humanos y a los procesos organizacionales que acompañan la adopción tecnológica.

La justificación teórica de este enfoque se sustenta en perspectivas contemporáneas de los estudios sociales de la tecnología y de la gestión del cambio organizacional. La teoría de la construcción social de la tecnología, desarrollada por Pinch y Bijker (1984), sostiene que el éxito o fracaso de una tecnología no depende exclusivamente de sus propiedades técnicas, sino de los procesos de negociación, interpretación y apropiación que realizan los grupos sociales relevantes que interactúan con ella. Aplicada al caso del sistema SCADA en la planta de bebidas, esta perspectiva permite comprender que la aceptación del sistema por parte de los operadores, supervisores y responsables de planificación no fue un resultado automático de su instalación, sino un proceso que requirió negociaciones, ajustes y aprendizajes que el libro documenta solo parcialmente. Asimismo, la literatura sobre gestión del cambio organizacional ha evidenciado que las transformaciones tecnológicas exitosas requieren no solo de una infraestructura adecuada, sino también de estrategias explícitas de comunicación, capacitación y acompañamiento que faciliten la transición

desde las prácticas anteriores hacia las nuevas formas de trabajo (Kotter, 1996; Oreg, 2003).

El objetivo general que orienta este nuevo capítulo consiste en interpretar críticamente la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas desde una perspectiva sociotécnica, identificando las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionaron su adopción, funcionamiento y sostenibilidad más allá de la validación estadística de los datos. Para desglosar este objetivo general, se formulan tres objetivos específicos que permiten abordar de manera articulada las distintas facetas del fenómeno estudiado.

El primer objetivo específico consiste en analizar las resistencias, tensiones y negociaciones que emergieron durante la implementación del sistema SCADA, a partir de los datos empíricos presentes en el libro y de las categorías analíticas que subyacen a las decisiones técnicas adoptadas. El segundo objetivo específico busca examinar los procesos de apropiación tecnológica que protagonizaron los operadores y supervisores de la planta, identificando los factores que facilitaron o dificultaron la transición desde las prácticas manuales de registro hacia la supervisión automatizada en tiempo real. El tercer objetivo específico pretende evaluar las condiciones organizacionales que favorecen la sostenibilidad del sistema SCADA a largo plazo, considerando aspectos como la capacitación del personal, la gestión del conocimiento, el mantenimiento de la infraestructura y la integración del sistema con otras áreas de la organización.

Resistencias y negociaciones. La cara oculta de la implementación técnica

La implementación de un sistema SCADA en una planta de producción no ocurre en un vacío social ni organizacional. Cada decisión técnica, desde la selección de los sensores hasta la definición de los niveles de acceso al software, implica negociaciones entre distintos actores con intereses, expectativas y temores diversos. El libro documenta que la implementación fue asumida por la empresa como una mejora en el control y registro de la información de producción, y que el costo total de 6,566 dólares fue cubierto íntegramente por la organización. Sin embargo, esta narrativa de inversión y compromiso institucional oculta las tensiones que probablemente emergieron entre los operadores, quienes vieron transformadas sus rutinas laborales, y los supervisores, que debieron adaptarse a nuevas formas de monitoreo y control. La literatura sobre gestión del cambio ha demostrado que las resistencias no son irracionales ni deben interpretarse como obstáculos a superar, sino como expresiones legítimas de preocupación por la pérdida de autonomía, la desconfianza hacia lo desconocido o el temor a ser evaluados con nuevos criterios (Ford, Ford & D'Amelio, 2008).

El libro menciona que los datos debían ser consultados a los operadores mediante comunicación por radio, lo que generaba demoras, errores e incertidumbre en la planificación diaria. Esta situación previa a la implementación revela que los operadores desempeñaban un rol central como intermediarios de la información, actuando como verdaderos nodos humanos de un sistema de comunicación informal que, aunque ineficiente desde el punto

de vista técnico, les otorgaba un poder significativo dentro de la organización. La implementación del sistema SCADA transformó radicalmente este rol, desplazando la función de registro y transmisión de datos desde los operadores hacia los sensores y el software. Este desplazamiento, que desde una perspectiva técnica representa una mejora evidente en la precisión y oportunidad de la información, desde una perspectiva sociotécnica constituye una reconfiguración de las relaciones de poder y de las identidades laborales que puede generar resistencias sutiles pero significativas. La pregunta que el libro no aborda explícitamente es cómo vivieron los operadores esta transformación y qué estrategias desarrollaron para adaptarse o resistir a los nuevos requerimientos de su puesto de trabajo.

La decisión de seleccionar sensores fotoeléctricos en lugar de otros tipos de sensores se justifica en el libro por criterios técnicos como la capacidad de detectar todo tipo de material y la alta vida útil, pero también por consideraciones prácticas relacionadas con la familiaridad del personal y la disponibilidad de repuestos en el mercado local. Este último argumento, aunque presentado como una ventaja operativa, revela una dimensión profundamente humana de la implementación tecnológica: la importancia de reducir la incertidumbre y la ansiedad que genera la introducción de equipos desconocidos. La elección de tecnologías familiares para el personal no es solo una decisión pragmática de mantenimiento, sino una estrategia de gestión del cambio que busca minimizar las resistencias y facilitar la aceptación. La literatura sobre transferencia de tecnología ha documentado que la familiaridad con los componentes tecnológicos constituye uno de los predictores más robustos de la adopción exitosa por parte de los usuarios finales (Rogers, 2003). En este sentido, la decisión de utilizar sen-

sores fotoeléctricos, aunque presentada en el libro como una elección técnica, puede interpretarse como una decisión sociotécnica que reconoce implícitamente la importancia de las dimensiones humanas en la implementación.

El sistema SCADA fue configurado con dos niveles de seguridad: un nivel de operador que permite la visualización, el acceso a reportes e históricos, y un nivel de supervisor que además permite el manejo de parámetros de ajuste o setpoints. Esta diferenciación de roles, aunque responde a criterios de seguridad de la información, también refleja y reproduce las jerarquías organizacionales existentes. Los operadores, que antes tenían acceso directo a la información de producción y podían interpretarla según su experiencia, ahora acceden a una versión mediada por el software que ha sido configurada por otros. Esta mediación tecnológica transforma la relación de los operadores con la información, introduciendo una capa de intermediación que puede generar sentimientos de pérdida de control o de dependencia tecnológica. La pregunta que emerge es si esta transformación fue acompañada de estrategias de capacitación y empoderamiento que permitieran a los operadores comprender y utilizar plenamente las nuevas herramientas, o si, por el contrario, se limitó a una formación mínima orientada a la operación básica del sistema. El libro menciona que la programación principal del PLC y el enlace con el SCADA fueron desarrollados por un proveedor especialista, lo que sugiere una dependencia externa que podría haber limitado la apropiación del sistema por parte del personal de la planta.

Apropiación tecnológica. De la operación manual a la supervisión automatizada

La apropiación tecnológica es un proceso mediante el cual los usuarios incorporan una nueva tecnología a sus prácticas cotidianas, transformando no solo sus formas de trabajar sino también sus marcos interpretativos y sus identidades profesionales. El libro documenta que la implementación del sistema SCADA permitió monitorear en tiempo real las velocidades y los paquetes producidos, y que las pruebas estadísticas confirmaron la equivalencia entre los datos registrados manualmente y los capturados automáticamente. Sin embargo, la validación estadística, aunque necesaria, no es suficiente para comprender si los operadores y supervisores se apropiaron efectivamente del sistema o si, por el contrario, continuaron dependiendo de prácticas manuales paralelas. La literatura sobre apropiación tecnológica distingue entre la adopción superficial, que implica el uso instrumental de la tecnología sin transformación de las prácticas, y la apropiación profunda, que supone una reintegración de la tecnología en los esquemas mentales y en las rutinas organizacionales (Orlikowski, 2000).

El libro menciona que el sistema SCADA Indusoft web muestra reportes a nivel operativo y gerencial, y que se tiene una lista de personal operativo y administrativo autorizado con usuario y clave de acceso. Esta diferenciación de reportes sugiere que la información se presenta de manera diferenciada según el nivel jerárquico, lo que podría facilitar la apropiación al proporcionar a cada usuario la información pertinente para sus funciones específicas. Sin embargo, también podría generar fragmentación en la com-

prensión del proceso, al limitar el acceso a una visión integral que permita a los operadores comprender cómo su trabajo se inserta en el conjunto de la organización. La pregunta que el libro no responde es si los operadores utilizan efectivamente los reportes del sistema para tomar decisiones operativas o si continúan confiando en su experiencia y en la observación directa de las máquinas. La respuesta a esta pregunta es crucial para evaluar la profundidad de la apropiación tecnológica y para identificar áreas de mejora en futuras implementaciones.

La decisión de instalar sensores a la salida de la llenadora y de la empaquetadora responde a un criterio técnico claramente definido: la llenadora determina la velocidad de la línea y la empaquetadora define la cantidad de paquetes producidos. Sin embargo, desde una perspectiva de apropiación tecnológica, esta decisión también implica una selección de los puntos de observación que privilegia ciertas variables sobre otras. Los operadores que antes podían observar directamente el funcionamiento de todas las máquinas de la línea ahora acceden a una representación parcial del proceso, mediada por los sensores y el software. Esta parcialidad de la información, aunque justificada técnicamente, puede generar en los operadores una sensación de desconexión con el proceso productivo, especialmente si no comprenden cabalmente los criterios que guiaron la selección de las variables monitoreadas.

La literatura sobre sistemas de información ha documentado que la aceptación de los sistemas de monitoreo depende en gran medida de la percepción de utilidad y de la comprensión de los criterios que guían su diseño (Davis, 1989). En este sentido, la capacitación de los operadores no debería limitarse al uso instrumental del software, sino extenderse a la comprensión de la lógica que subya-

ce al sistema y de los beneficios que aporta tanto a la organización como a su propio trabajo.

El libro menciona que el sistema SCADA permite que distintos usuarios accedan a la información de acuerdo con su nivel de autorización, asegurando que cada persona visualice únicamente los datos que le corresponden según su función dentro de la organización. Esta segmentación del acceso a la información, aunque responde a criterios de seguridad y confidencialidad, también puede interpretarse como una forma de mantener las jerarquías organizacionales existentes. Los operadores, que antes tenían acceso directo y sin mediaciones a la información de producción, ahora acceden a una versión filtrada que ha sido configurada por otros. Esta pérdida de control sobre la información puede generar resistencias sutiles, como la continuación de prácticas paralelas de registro manual o la reticencia a utilizar el sistema como fuente primaria de información. La literatura sobre gestión del conocimiento ha demostrado que la imposición de sistemas de información sin considerar las prácticas y los saberes de los usuarios finales tiende a generar rechazo o a producir formas de uso superficial que no aprovechan plenamente las capacidades de la tecnología (Nonaka & Takeuchi, 1995).

Sostenibilidad organizacional. Más allá de la instalación técnica

La sostenibilidad de un sistema SCADA a largo plazo depende de factores que trascienden la calidad de los componentes tecnológicos y la precisión de los datos que genera. El libro documenta que la implementación fue realizada por un proveedor

especialista y que el costo fue asumido por la empresa, pero no aborda explícitamente las condiciones organizacionales que garantizarán que el sistema continúe funcionando adecuadamente una vez que el equipo implementador se retire. La literatura sobre sostenibilidad de proyectos tecnológicos ha identificado varios factores críticos que determinan la continuidad de los sistemas una vez finalizada la fase de implementación, entre los que se incluyen la capacitación del personal, la documentación de los procesos, la disponibilidad de recursos para el mantenimiento, la integración del sistema con otras áreas de la organización y la existencia de una cultura organizacional que valore la información como activo estratégico (Heeks, 2002).

El libro menciona que se recomendó aprovechar el SCADA Indusoft para monitorear más variables como consumo de CO₂, consumo de agua y consumo de energía, entre otras, pues la arquitectura del sistema permite incorporar nuevos puntos de medición sin necesidad de modificar la infraestructura existente. Esta recomendación, aunque presentada como una proyección técnica, implica también una apuesta por la sostenibilidad y la ampliación del sistema. Sin embargo, la ampliación del alcance del sistema requiere no solo de capacidades técnicas sino también de una cultura organizacional que valore la información y que esté dispuesta a invertir en su ampliación y mantenimiento. La pregunta que emerge es si la empresa cuenta con las condiciones organizacionales necesarias para sostener y ampliar el sistema, o si la implementación quedará como una intervención puntual que, una vez que se cumpla el período de garantía del proveedor, podría deteriorarse por falta de mantenimiento o de actualización.

La recomendación de incluir parámetros de alarmas ante algún desvío para alertar al usuario sugiere que el sistema actual no cuenta con esta funcionalidad o que no ha sido plenamente implementada. Esta carencia, que desde una perspectiva técnica puede parecer menor, desde una perspectiva organizacional revela una oportunidad de mejora que podría fortalecer la apropiación del sistema por parte de los operadores. Las alarmas no son solo mecanismos técnicos de notificación, sino también dispositivos organizacionales que transforman la relación de los operadores con el sistema al otorgarles un rol más activo en la detección y respuesta ante desviaciones. La implementación de alarmas podría contribuir a que los operadores perciban el sistema no como un instrumento de control externo sino como una herramienta que les permite desempeñar mejor su trabajo y anticipar problemas antes de que se manifiesten en fallas o pérdidas de producción. La literatura sobre factores humanos en la automatización industrial ha demostrado que la participación de los operadores en el diseño e implementación de sistemas de alarma mejora significativamente la aceptación y la eficacia de estos mecanismos (Stanton & Baber, 2008).

La recomendación de evaluar la integración de otras áreas que deseen monitorear en tiempo real sus variables sugiere que el sistema SCADA podría convertirse en una plataforma organizacional más amplia, que trascienda el ámbito de la producción para abarcar otras funciones como el mantenimiento, la calidad o la logística. Esta proyección, aunque ambiciosa, plantea desafíos organizacionales significativos, pues requiere de una coordinación interárea que no siempre existe en las empresas industriales. La integración de nuevas áreas al sistema SCADA implica negociaciones sobre el acceso a la información, la definición de respon-

sabilidades y la coordinación de acciones que pueden generar tensiones entre departamentos. La literatura sobre sistemas integrados de gestión ha documentado que la ampliación del alcance de los sistemas de información tiende a generar resistencias y conflictos que deben ser gestionados explícitamente para evitar que la integración se convierta en una fuente de fragmentación organizacional (Markus, 2004). En este sentido, la sostenibilidad del sistema SCADA no depende solo de su infraestructura técnica sino también de la capacidad de la organización para gestionar las relaciones interárea y para construir consensos en torno al uso de la información.

Conclusiones parciales. Hacia una comprensión integral de la implementación tecnológica

El nuevo enfoque propuesto en este capítulo permite resignificar la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas, desplazando la mirada desde la infraestructura técnica hacia las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionaron su adopción y sostenibilidad. La interpretación crítica de los datos empíricos presentes en el libro revela que la implementación no fue un proceso lineal ni exento de tensiones, sino una construcción sociotécnica compleja en la que convergieron resistencias, negociaciones, procesos de apropiación y condiciones organizacionales que el libro original abordó solo parcialmente. La validación estadística de los datos, aunque constituye un logro significativo, no agota la comprensión del fenómeno, pues la confiabilidad técnica no garantiza por sí sola la sostenibilidad del sistema ni la satisfacción de los usuarios que interactúan con él cotidianamente.

La primera conclusión parcial que emerge de este análisis es que las resistencias y negociaciones que acompañaron la implementación del sistema SCADA, aunque no documentadas explícitamente en el libro, pueden inferirse a partir de las decisiones técnicas adoptadas y de las transformaciones en las prácticas laborales que el sistema implicó. La elección de sensores familiares para el personal, la diferenciación de niveles de acceso a la información y la dependencia de un proveedor externo para la programación del sistema son indicios de que la implementación fue gestionada con atención a las dimensiones humanas y organizacionales, aunque quizás sin una estrategia explícita de gestión del cambio que abordara las preocupaciones y expectativas de los operadores. La literatura sobre gestión del cambio sugiere que las implementaciones tecnológicas exitosas requieren de una comunicación clara sobre los objetivos y beneficios del sistema, de oportunidades de participación para los usuarios finales y de un acompañamiento sostenido durante la fase de transición (Kotter, 1996).

La segunda conclusión parcial es que la apropiación tecnológica por parte de los operadores y supervisores constituye un proceso que trasciende la validación estadística de los datos y que requiere de condiciones organizacionales que faciliten la integración del sistema en las prácticas cotidianas. La segmentación del acceso a la información, aunque justificada por criterios de seguridad, puede limitar la comprensión integral del proceso y generar dependencia de prácticas paralelas de registro manual. La literatura sobre apropiación tecnológica sugiere que los usuarios tienden a adoptar profundamente una tecnología cuando perciben que esta les otorga mayor control sobre su trabajo, cuando comprenden la lógica que subyace a su diseño y cuando participan en las decisiones que afectan su implementación (Orlikowski, 2000). En

este sentido, la capacitación de los operadores no debería limitarse al uso instrumental del software sino extenderse a la comprensión de la arquitectura del sistema y de los criterios que guiaron su diseño.

La tercera conclusión parcial es que la sostenibilidad del sistema SCADA a largo plazo depende de factores organizacionales que trascienden la calidad de los componentes tecnológicos. La documentación de los procesos, la disponibilidad de recursos para el mantenimiento, la integración del sistema con otras áreas y la existencia de una cultura organizacional que valore la información como activo estratégico son condiciones indispensables para garantizar que el sistema continúe funcionando adecuadamente una vez finalizada la fase de implementación. La recomendación de ampliar el sistema para monitorear nuevas variables y de integrar otras áreas sugiere que la empresa reconoce el potencial del sistema, pero también plantea desafíos organizacionales significativos que requerirán de una gestión cuidadosa para evitar resistencias y conflictos. La literatura sobre sostenibilidad de proyectos tecnológicos ha demostrado que la continuidad de los sistemas depende en gran medida de la existencia de capacidades locales para su mantenimiento y actualización, así como de una masa crítica de usuarios que utilicen el sistema de manera regular y que puedan actuar como agentes de cambio dentro de la organización (Heeks, 2002).

Este capítulo ha buscado contribuir a una comprensión más integral de la implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas, complementando la narrativa técnica y estadística del libro original con una perspectiva sociotécnica que otorga centralidad analítica a los actores humanos y a los procesos organizacionales. La articulación de ambas perspectivas permite apreciar

que la transformación digital de los procesos productivos no es solo un desafío técnico sino también un desafío humano y organizacional que requiere de estrategias explícitas de gestión del cambio, de capacitación y de construcción de consensos. La experiencia documentada en este libro, enriquecida con la interpretación crítica que aquí se propone, ofrece lecciones valiosas para otras organizaciones que enfrentan desafíos similares y que buscan no solo instalar tecnología sino también construir capacidades organizacionales para sostenerla y aprovecharla plenamente.

Conclusiones generales

La implementación del sistema SCADA en la planta de bebidas de Sullana ha sido documentada y analizada a lo largo de este libro desde una doble perspectiva que articula la validación técnica y estadística del sistema con una interpretación sociotécnica de las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionaron su adopción y sostenibilidad. Esta doble mirada permite afirmar que la transformación digital de los procesos productivos no se agota en la instalación de hardware y software, sino que constituye un proceso complejo de construcción sociotécnica en el que convergen actores con intereses diversos, prácticas organizacionales sedimentadas y culturas de trabajo que condicionan la adopción de las nuevas herramientas. La confiabilidad estadística de los datos, respaldada por las pruebas de t Student que confirmaron la equivalencia entre las mediciones manuales y las registradas automáticamente, constituye un logro significativo que valida la calidad técnica de la solución implementada, pero no garantiza por sí sola la sostenibilidad del sistema ni la satisfacción de los usuarios que interactúan con él cotidianamente.

El objetivo general original de la investigación, que consistía en implementar un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana, se ha cumplido cabalmente, como lo demuestran los resultados obtenidos y la validación estadística de los datos. Los objetivos específicos que desglosaban este propósito general también se han alcanzado satisfactoriamente, pues se analizaron los sistemas de control y monitoreo existentes, se identificaron los puntos críticos de monitoreo a través del diagrama de procesos, se determinaron los dispositivos más adecuados para detectar la velocidad y producción, se diseñó el software para enlazar las máquinas con el SCADA y se evaluaron los costos asociados a la implementación. Estos logros configuran una contribución significativa al campo de la ingeniería industrial y de la gestión de operaciones, pues documentan de manera rigurosa un caso de implementación exitosa que puede servir de referencia para otras organizaciones que enfrentan problemáticas similares.

El nuevo objetivo general que ha orientado esta versión del libro, que consistía en interpretar críticamente la implementación del sistema SCADA desde una perspectiva sociotécnica, identificando las dimensiones humanas, organizacionales y culturales que condicionaron su adopción, funcionamiento y sostenibilidad más allá de la validación estadística de los datos, también se ha cumplido satisfactoriamente. Los tres objetivos específicos que desglosaban este nuevo propósito general han sido abordados en profundidad en el capítulo sexto, donde se analizaron las resistencias, tensiones y negociaciones que emergieron durante la implementación, se examinaron los procesos de apropiación tecnológica que protagonizaron los operadores y supervisores, y se evaluaron las condiciones organizacionales que favorecen la sos-

tenibilidad del sistema a largo plazo. Este análisis complementa y enriquece la comprensión del fenómeno estudiado, reconociendo que la implementación tecnológica es un proceso complejo que requiere tanto de soluciones técnicas adecuadas como de estrategias de gestión del cambio que faciliten la adopción y la sostenibilidad del sistema.

La principal conclusión que emerge de este libro es que la transformación digital de los procesos productivos constituye un desafío integral que no puede reducirse a la dimensión técnica, pues involucra transformaciones en las prácticas laborales, en las relaciones de poder dentro de la organización y en las culturas de trabajo que se han construido a lo largo de décadas. La implementación de un sistema SCADA, al automatizar la captura y transmisión de datos, desplaza funciones que antes desempeñaban los operadores y transforma radicalmente su rol dentro de la organización. Este desplazamiento, que desde una perspectiva técnica representa una mejora evidente en la precisión y oportunidad de la información, desde una perspectiva sociotécnica constituye una reconfiguración de las identidades laborales que puede generar resistencias sutiles pero significativas. La gestión exitosa de estas resistencias requiere de estrategias explícitas de comunicación, capacitación y participación que permitan a los operadores comprender los beneficios del sistema y apropiarse de las nuevas herramientas, reconociendo el valor de su experiencia y otorgándoles un rol activo en la detección y respuesta ante desviaciones.

La segunda conclusión relevante es que la sostenibilidad de los sistemas SCADA a largo plazo depende de factores organizacionales que trascienden la calidad de los componentes tecnológicos. La documentación de los procesos, la disponibilidad de recursos para el mantenimiento, la integración del sistema con otras áreas y la

existencia de una cultura organizacional que valore la información como activo estratégico son condiciones indispensables para garantizar que el sistema continúe funcionando adecuadamente una vez finalizada la fase de implementación. La dependencia de un proveedor externo para la programación del sistema, aunque garantiza la calidad técnica de la solución, plantea desafíos para la sostenibilidad a largo plazo, pues la empresa puede quedar en una situación de dependencia tecnológica que limite su capacidad para modificar o ampliar el sistema de manera autónoma. La construcción de capacidades locales para el mantenimiento y actualización del sistema constituye, en este sentido, una inversión estratégica que debería ser considerada desde las etapas iniciales de la implementación.

La tercera conclusión que merece destacarse es que la ampliación del sistema SCADA hacia nuevas variables y nuevas áreas de la organización constituye una oportunidad significativa para consolidar una cultura organizacional orientada a la gestión basada en datos. La arquitectura del sistema permite incorporar nuevos puntos de medición sin necesidad de modificar la infraestructura existente, lo que facilita la ampliación progresiva del alcance de la supervisión conforme maduran las necesidades de la organización. Sin embargo, esta ampliación plantea desafíos organizacionales significativos, pues requiere de una coordinación interárea que no siempre existe en las empresas industriales y que puede generar tensiones entre departamentos. La gestión cuidadosa de estas tensiones, mediante estrategias de comunicación y construcción de consensos, resulta indispensable para evitar que la integración se convierta en una fuente de fragmentación organizacional en lugar de un factor de cohesión.

Finalmente, este libro invita a reflexionar sobre el papel de las personas en los procesos de transformación digital. La tecnología, por sofisticada que sea, no puede sustituir la inteligencia, la experiencia y el compromiso de los trabajadores que la utilizan. La implementación exitosa de un sistema SCADA requiere no solo de una infraestructura adecuada sino también de una gestión cuidadosa de las dimensiones humanas y organizacionales que determinan su adopción y sostenibilidad. La experiencia de la empresa de bebidas de Sullana, documentada y analizada en esta obra, ofrece lecciones valiosas para otras organizaciones que enfrentan desafíos similares y que buscan no solo instalar tecnología sino también construir capacidades organizacionales para sostenerla y aprovecharla plenamente. La información en tiempo real constituye hoy uno de los activos más valiosos de cualquier organización, y su adecuada gestión marca la diferencia entre operar con incertidumbre y decidir con confianza, pero también entre implementar tecnología de manera superficial y construir capacidades organizacionales que perduren en el tiempo.

REFERENCIAS

Anderson, D. R. (2008). *Estadística para administración y economía*. Itsjapon.

Aquilino, R. (2017). *Sistemas SCADA*. Alfaomega Grupo Editor.

Ávila, Z., & Ramón, W. (2015). *Procedimiento para la toma de decisiones operativas programadas en el proceso de producción de acero en la empresa ACINOX Las Tunas* [Tesis de maestría, Universidad Vladimir Illich Lenin].

Benavides, E. (2020). Industria 4.0 y transformación digital: Retos para la gestión de operaciones en América Latina. *Revista de Ingeniería Industrial*, 41(3), 215–230. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000300215>

Benique, P. (2017). *Implementación del sistema web de supervisión, control y adquisición de datos–SCADA en la empresa de generación eléctrica Machupicchu* [Tesis de titulación, Universidad Andina del Cusco].

Castillo, B., & Rangel, R. (2010). *Sistemas SCADA*. Curso Sistemas Flexibles de Manufactura, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Chen, Y., & Wang, L. (2020). Industrial Internet of Things and SCADA integration for smart manufacturing: A systematic review. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 345–362. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.015>

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2011, 1 de agosto). *Aplicación del método de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) en los controladores del sistema de reinyección para disposición de agua salada en la selva norte del Perú*. <https://n9.cl/iskz78>

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2017, 1 de marzo). *Implementación del sistema web de supervisión, control y adquisición de datos–SCADA en la empresa de generación eléctrica Machupicchu*. <https://n9.cl/atfy2>

- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research* (2nd ed.). Sage Publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340.
- Definicion.de. (2016, 1 de agosto). *Definición de datos*. <https://definicion.de/recoleccion-de-datos/>
- Ford, J. D., Ford, L. W., & D'Amelio, A. (2008). Resistance to change: The rest of the story. *Academy of Management Review*, 33(2), 362–377.
- Fraga, P. (2018). A review on human-centered IoT-connected smart labels for the Industry 4.0. *IEEE Access*, 6, 25939–25957. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2833501>
- García, M. (1999). *Automatización de procesos industriales: Robótica y automática*. Editorial Universitat Politècnica de Valencia.
- García, R. (2012). *Evolución histórica de los sistemas de supervisión y control industrial*. Editorial Académica Española.
- Gilberto, J. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de supervisión, control y monitoreo de la producción de palanquillas y barras corrugadas mediante el uso de software SCADA* [Tesis de maestría, Universidad de Las Tunas].
- Goldratt, E., & Cox, J. (1984). *La meta: Un proceso de mejora continua*. North River Press Publishing Corporation.
- Heeks, R. (2002). Information systems and developing countries: Failure, success, and local improvisations. *The Information Society*, 18(2), 101–112.

- Impactotic. (2020, 1 de marzo). *Los 5 países líderes en la cuarta revolución industrial*. <https://n9.cl/hjp4bn>
- Jung, D., & Lansey, K. (2016). Optimal meter placement for pipe burst detection in water distribution systems. *Journal of Hydroinformatics*, 18(4), 738–756. <https://doi.org/10.2166/hydro.2016.033>
- Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- López, M., & Ramírez, C. (2022). Implementación de sistemas SCADA en pymes industriales: Factores críticos de éxito. *Revista Tecnología y Sociedad*, 15(2), 88–104. <https://doi.org/10.29394/TS.2022.15.2.6>
- Markus, M. L. (2004). Technochange management: Using IT to drive organizational change. *Journal of Information Technology*, 19(1), 4–20.
- Martínez, T. (2016). *Introducción al estudio de la ciencia económica. Análisis económico*. Astra Ediciones.
- Meléndez, J., & Ayza, R. (2013). Integración de sistemas SCADA con sistemas corporativos: Tendencias y desafíos. *Revista de Ingeniería Industrial*, 34(2), 145–158.
- Merino, M. (2014). *Instrumentos de recolección de datos en la investigación aplicada*. Editorial Trillas.
- Ministerio de la Producción del Perú. (2021). *Industria 4.0 en el Perú: Diagnóstico y hoja de ruta*. PRODUCE.

- Montero, J., & Herrera, P. (2019). Supervisión y control de procesos industriales mediante SCADA: Una revisión de tendencias actuales. *Ingeniería y Ciencia*, 15(30), 45–72. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.15.30.3>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.
- Norma APA. (2020). *Manual de publicaciones de la American Psychological Association*.
- Oreg, S. (2003). Resistance to change: Developing an individual differences measure. *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 680–693.
- Orlikowski, W. J. (2000). Using technology and constituting structures: A practice lens for studying technology in organizations. *Organization Science*, 11(4), 404–428.
- Paz Parra, A. (2009). Sistema SCADA para un laboratorio de electrónica de potencia. *Ingeniería y Desarrollo*, (25).
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2014). *Definición de recolección de datos*. Definicion.de. <https://definicion.de/recoleccion-de-datos/>
- Pérez, C. (2019). *Diseño de implementación de un sistema de supervisión, control y monitoreo de la producción de palanquillas y barras corrugadas mediante el uso de software SCADA* [Tesis de maestría, Universidad de Las Tunas].
- Peter, C., & Annunziata, M. (2012). *Industrial Internet: Pushing the boundaries of minds and machines*. General Electric.

- Pinch, T. J., & Bijker, W. E. (1984). The social construction of facts and artefacts: Or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. *Social Studies of Science*, 14(3), 399–441.
- Poma Deza. (2011). Gestión de base de datos con SCADA para el control automatizado de una válvula de control proporcional. *Industrial Data*, 14(2), 26–33.
- Ramón, J. (2011). *Diseño de un sistema SCADA para el control de temperatura en el Centro de Manufactura Avanzada* [Tesis de titulación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Ramos Pérez, J. D. (2017). *Planeamiento y control de la producción para incrementar la productividad en la empresa Procesadora Star Group S.A.C, Comas, 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
- Revista ElectroIndustria. (2016, 1 de abril). *Sistemas SCADA, la evolución de las plataformas de monitoreo y control*. <https://n9.cl/hrjc6>
- Rodríguez, J. (2019). Sincronización e integración en SCADA de un proceso de desalinización. *Tecnología Química*, 39(2), 296–312.
- Rodríguez, M. (1999). *Monitoreo y evaluación de programas: Fundamentos y aplicaciones*. Editorial Universitaria.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Salazar Córdova, J. F. (2026). *Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de la producción en una empresa de bebidas ubicada en Sullana, Perú, 2021* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Piura].

- Stanton, N. A., & Baber, C. (2008). *Modelling command and control: Event analysis of systemic teamwork*. Ashgate Publishing.
- Torres, J. (2016). *Producción y capacidad productiva: Fundamentos económicos*. Editorial McGraw-Hill.
- Velásquez, J. (2010). Diseño SCADA para un prototipo seleccionador de piezas. *Industrial Data*, 13(1), 62–66. <https://doi.org/10.15381/idata.v13i1.6164>
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2020). Implementing smart factory of Industry 4.0: An outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0: Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Zafra, A. (2004). *Sistemas de supervisión y adquisición de datos: Evolución y aplicaciones*. Editorial Limusa.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2022). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

Atik Editorial

 **ATIK**
editorial



ISBN: 978-9907-820-17-1

