



Estudio de casos

Análisis y mejora en el área de extrusión del proceso de telares en una empresa textil

Analysis and Improvement of the extrusion area in the weaving process of a textile company

Yesenia Kiabeth Chairez Saucedo , Pedro Cruz Alcantar* 

Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí UASLP-UAMRA, Carretera Cedral Km, 5+600 Ejido San José de las Trojes, Matehuala, San Luis Potosí 78700, México.

Autor de correspondencia: Pedro Cruz Alcantar, Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí UASLP-UAMRA, Carretera Cedral Km, 5+600 Ejido San José de las Trojes, Matehuala, San Luis Potosí 78700, México. Correo electrónico: pedro.cruz@uaslp.mx. ORCID: 0000-0001-9363-494X.

Recibido: 18 de julio del 2026

Aceptado: 4 de septiembre del 2026

Publicado: 17 de septiembre del 2026

Resumen.- La baja disponibilidad de las unidades de bobinado puede afectar la continuidad de la producción y dificultar la toma de decisiones de mantenimiento en procesos textiles. En la empresa estudiada, ubicada en Matehuala, San Luis Potosí, el seguimiento de estos equipos dependía principalmente de registros manuales y referencias asociadas con su ubicación física, lo que limitaba la trazabilidad, el análisis histórico de fallas y la priorización de intervenciones. El objetivo de este estudio fue desarrollar e implementar un método estructurado y de bajo costo para fortalecer la gestión del mantenimiento de las unidades de bobinado del área de extrusión. La investigación se desarrolló como un estudio de caso de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. El método integró diagnóstico del proceso de mantenimiento, observación directa, estudio de tiempos, análisis causa-raíz, inspecciones termográficas, identificación individual de las unidades de bobinado, clasificación de fallas, priorización de equipos críticos, captura digital de información y evaluación mediante indicadores de disponibilidad. La gestión de los registros y el cálculo de indicadores se automatizaron mediante una herramienta desarrollada en Microsoft Excel® con Visual Basic for Applications. El análisis TOP 10 identificó 40 posiciones críticas y 579 recurrencias de inactividad. Después de la implementación, la disponibilidad general de las líneas evaluadas fue de 93.7 %, superior a la meta corporativa de 86.0 %. Los resultados muestran que la integración estructurada de identificación, priorización, trazabilidad y análisis automatizado de indicadores constituye una alternativa práctica y de bajo costo para apoyar la gestión del mantenimiento en condiciones industriales reales.

Palabras clave: Disponibilidad; Mantenimiento; Unidades de bobinado; Extrusión; Hilo de polipropileno; Industria textil.

Abstract.- Low availability of winding units can disrupt production continuity and hinder maintenance decision-making in textile processes. At the textile company studied in Matehuala, San Luis Potosí, equipment monitoring relied mainly on manual records and references associated with physical location, limiting traceability, historical failure analysis, and intervention prioritization. This study aimed to develop and implement a structured, low-cost method to strengthen maintenance management of winding units in the extrusion area. The research was conducted as an applied case study using a quantitative approach and descriptive scope. The method integrated maintenance-process diagnosis, direct observation, time studies, root-cause analysis, thermographic inspections, individual identification of winding units, failure classification, critical-equipment prioritization, digital data capture, and evaluation through availability indicators. Record management and indicator calculation were automated using a Microsoft Excel® tool developed with Visual Basic for Applications. The Top 10 analysis identified 40 critical positions and 579 downtime recurrences. After implementation, the overall availability of the evaluated production lines reached 93.7%, exceeding the company's 86.0% target. The results show that the structured integration of equipment identification, prioritization, traceability, and automated indicator analysis provides a practical and low-cost approach to support maintenance management under real industrial operating conditions.

Keywords: Availability; Maintenance; Winding units; Extrusion; Polypropylene yarn; Textile industry.



1. Introducción

La disponibilidad operativa de los equipos constituye un factor crítico para la continuidad, productividad y competitividad de los sistemas de manufactura debido a que permite evaluar la capacidad de los activos para mantenerse en operación y cumplir con los requerimientos del proceso productivo [1]. En procesos industriales la indisponibilidad de maquinaria puede generar interrupciones en la producción, entregas con retrasos, incremento de costos operativos y repercusiones en la calidad del producto final [2]. Por lo tanto, la gestión del mantenimiento se ha consolidado como una función estratégica orientada a reducir fallas, disminuir tiempos de inactividad y mejorar el desempeño productivo [3], [4].

Los indicadores clave de mantenimiento son herramientas fundamentales para evaluar el comportamiento de los equipos, medir la eficiencia de las acciones implementadas y orientar la mejora continua [5]. Indicadores como disponibilidad, recurrencia de fallas, tiempo de inactividad y estado operativo de los equipos permiten transformar los registros en información útil para la planeación y priorización de actividades [6]. No obstante, para que estos indicadores sean confiables, es necesario contar con un sistema estandarizado de captura de datos, trazabilidad individual de los equipos y mecanismos que permitan consultar información histórica de manera oportuna [7], [8].

La digitalización de registros y la automatización del análisis de la información representan una alternativa para fortalecer la gestión del mantenimiento, especialmente en empresas que aún no cuentan con un sistema de gestión computarizada. Los sistemas computarizados de gestión del mantenimiento permiten centralizar los registros, consultar historiales de activos, dar seguimiento a órdenes de trabajo y generar indicadores para apoyar la toma de decisiones [9], [10]. Asimismo, Microsoft Excel®, complementado con *Visual Basic for Applications* puede utilizarse para desarrollar soluciones de bajo costo orientadas al registro, consulta, procesamiento y visualización de información operativa [11].

En algunos entornos manufactureros, la información relacionada con las fallas, intervenciones, tiempos de inactividad y condiciones de operación se gestiona mediante registros manuales o bases de datos dispersas. Esta situación limita la trazabilidad de los equipos, dificulta la identificación de fallas recurrentes y retrasa la toma de decisiones basada en los indicadores de desempeño [12], [13], [14].

En el estado de San Luis Potosí, en la región de Matehuala, existen empresas vinculadas a la fabricación textil. Este contexto industrial permite ubicar la problemática de investigación en un entorno donde la eficiencia operativa del área de extrusión resulta relevante para mantener la capacidad de producción y la competitividad de las empresas del sector. Dentro de la industria textil, el área de extrusión representa una etapa fundamental para la transformación de materiales poliméricos en hilos utilizados en la fabricación de telas [15].

En esta etapa, las unidades de bobinado desempeñan una función esencial, ya que permiten enrollar, tensionar y almacenar el hilo bajo condiciones controladas de operación. La baja disponibilidad de las bobinadoras puede afectar la continuidad del proceso, generar interrupciones durante la producción y aumentar defectos relacionados con el bobinado y la estabilidad operativa [16]. Sin embargo, la disponibilidad de estos equipos no depende únicamente de su condición mecánica o eléctrica, sino también de la forma en la que se registran, analizan y utilizan los datos generados durante las actividades de mantenimiento [17].



En la empresa objeto de estudio ubicada en Matehuala, San Luis Potosí, se identificó una problemática relacionada con la gestión del mantenimiento de las bobinadoras de extrusión. Antes de la propuesta, el seguimiento dependía de registros manuales, observaciones del personal y referencias asociadas con la ubicación física dentro de las bobinadoras. Esta condición dificultaba conocer el historial de mantenimiento, fallas recurrentes, seguimiento a unidades de bobinado con sobrecalentamiento y establecer prioridades en la asignación de actividades de mantenimiento.

Como consecuencia, la toma de decisiones se veía limitada por la falta de información histórica y por la ausencia de un sistema que integrara los registros técnicos del proceso. Ante esta problemática, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar e implementar un sistema digital para fortalecer la gestión del mantenimiento de las unidades de bobinado del área de extrusión de una empresa textil, mediante la captura y trazabilidad de la información, la identificación de fallas, la priorización de equipos críticos y el análisis de indicadores de disponibilidad.

La contribución del estudio consiste en la integración de un método estructurado y de bajo costo para la gestión del mantenimiento en condiciones industriales reales. El método articula la identificación individual de las unidades de bobinado, el registro histórico de fallas, el monitoreo térmico, la priorización de equipos críticos y la evaluación mediante indicadores de disponibilidad. La herramienta desarrollada en *Microsoft Excel*® mediante *Visual Basic for Applications (VBA)* se utilizó como plataforma para implementar y automatizar estas actividades

2. Método

2.1 Descripción gráfica del proceso

El proceso analizado corresponde a la producción de hilo de polipropileno mediante una línea de extrusión y bobinado. Como se muestra en la Figura 1, el proceso comprende desde la alimentación y extrusión de la materia prima, seguida de las etapas de enfriamiento, orientación y acondicionamiento, hasta el corte de la película en filamentos y su posterior conducción hacia el sistema de bobinado.

Finalmente, los filamentos son conducidos hacia las unidades de bobinado para obtener el producto final. La representación de la línea completa permite visualizar la secuencia de operaciones y la interacción entre los principales componentes del proceso, facilitando la comprensión del sistema. En este contexto, el estudio se centra en los equipos asociados al bobinado, debido a su importancia en la continuidad del proceso y a la problemática identificada en su disponibilidad y mantenimiento.



Figura 1. Línea de producción de hilo de polipropileno mediante extrusión y bobinado.

2.2 Descripción del método utilizado

La investigación se desarrolló mediante un caso de estudio en el área de mantenimiento de bobinadoras de extrusión de una empresa del sector textil dedicada a la fabricación de telas de polipropileno. La planta cuenta con cuatro líneas de extrusión y aproximadamente 1000 unidades de bobinado. Las líneas activas evaluadas en el presente estudio corresponden a las identificadas internamente por la empresa como líneas 1, 2, 6 y 7.

Durante seis meses se analizaron los procedimientos de mantenimiento y los registros históricos para desarrollar y validar la propuesta. El método se estructuró en cinco etapas: (1) diagnóstico del proceso de mantenimiento, (2) diseño del sistema de identificación y codificación de las unidades de bobinado, (3) diseño del sistema de captura y gestión de la información, (4) desarrollo de la herramienta digital, y (5) validación de la propuesta mediante indicadores de desempeño.

La Figura 2 muestra el esquema general del método implementado para mejorar la gestión del mantenimiento de las bobinadoras de extrusión.

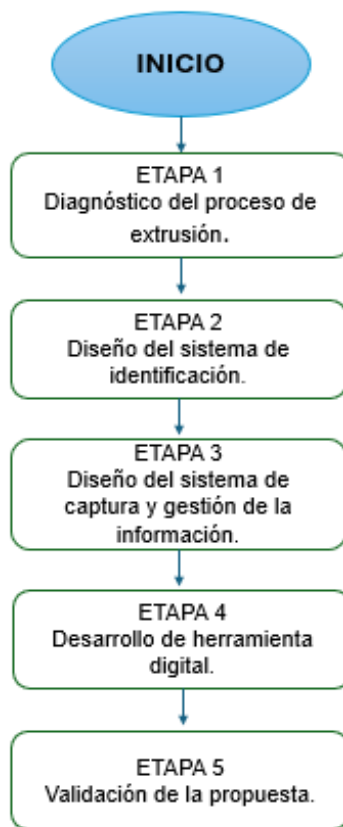


Figura 2. Etapas del método aplicado para la mejora de la gestión del mantenimiento de las bobinadoras de extrusión.

2.3 Diagnóstico del proceso actual de mantenimiento en las bobinadoras de extrusión.

La investigación inició con un diagnóstico del proceso de mantenimiento de las bobinadoras de extrusión utilizadas en la fabricación de telas, con el fin de identificar deficiencias y establecer una línea base para implementar estrategias de mejora que incrementaran la disponibilidad de los equipos. Se realizó el levantamiento del proceso de mantenimiento mediante observación directa de las intervenciones preventivas y correctivas.

La Figura 3 muestra el proceso previo a la propuesta, cuyo análisis permitió identificar actividades con tiempos elevados, falta de estandarización y oportunidades de mejora.

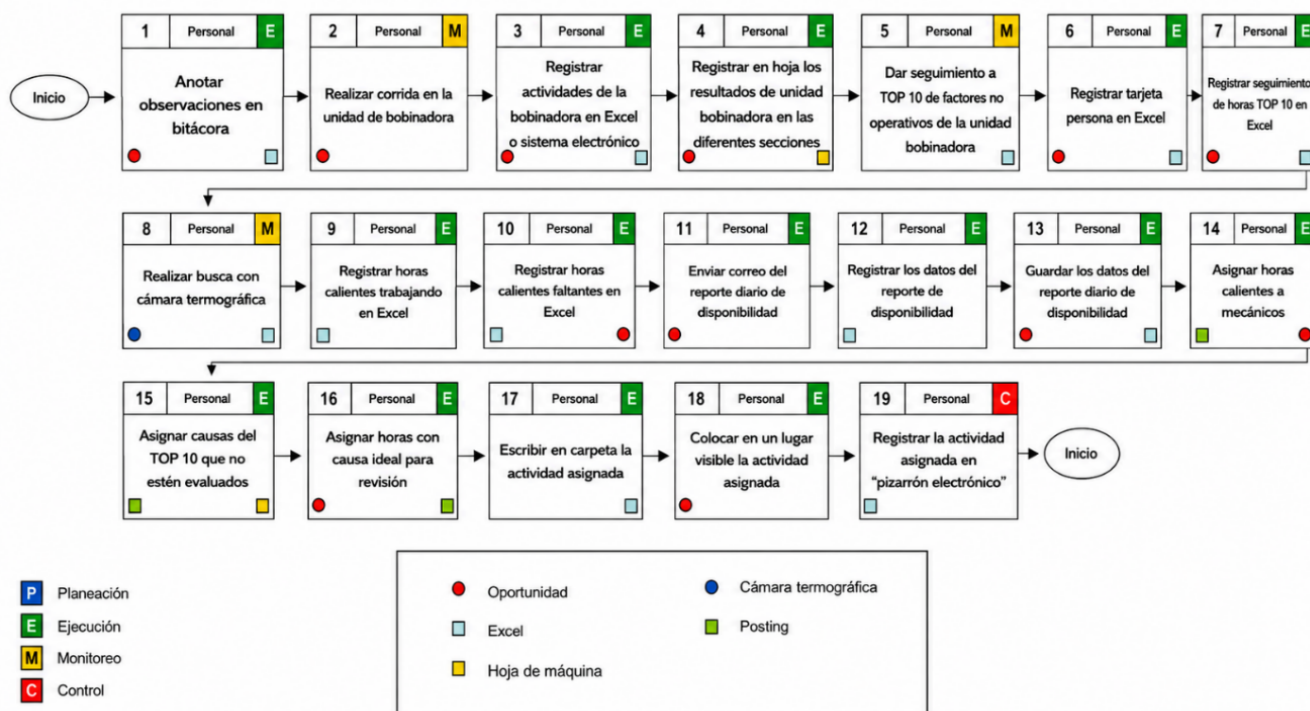


Figura 3. Proceso de mantenimiento de las unidades de bobinado de extrusión previo a la implementación de la propuesta de mejora.

Una vez concluida esta etapa se realizó un estudio de tiempos y movimientos mediante observación directa utilizando un cronómetro digital. Cada actividad se evaluó en cinco repeticiones realizadas por el mismo operador y se calculó el tiempo promedio de ejecución para el análisis del proceso. Como parte del diagnóstico, se realizó una inspección termográfica con una cámara FLIR E6 para identificar anomalías térmicas en las unidades de bobinado de extrusión, definidas como temperaturas superficiales superiores al valor de referencia establecido por la empresa y a las de las unidades de bobinado bajo las mismas condiciones de operación. La Figura 4 muestra la inspección, cuyos resultados permitieron priorizar las actividades de mantenimiento.



Figura 4. Inspección termográfica realizada a las unidades de bobinado de extrusión para identificar anomalías térmicas.



Finalmente, las causas de la baja disponibilidad de las bobinadoras se identificaron con la participación del personal de mantenimiento y se analizaron mediante un diagrama causa- raíz, organizado bajo las categorías 6M (mano de obra, métodos, maquinaria, materiales, medición y medio ambiente). Las causas se validaron mediante observación directa, sirviendo para definir las acciones de mejora.

2.4 Diseño del sistema de identificación, codificación y priorización de las unidades de bobinado

Concluida la etapa de diagnóstico, se diseñó un sistema de identificación y codificación de las unidades de bobinado de extrusión mediante la asignación de un código único a cada equipo, garantizando su trazabilidad durante las actividades de mantenimiento. Este sistema permitió integrar información de fallas, frecuencia de uso, afectación sobre la continuidad de la producción para facilitar la localización de las unidades de bobinado, estandarizar el registro de incidencias y establecer criterios de priorización para el mantenimiento preventivo y correctivo. Una vez clasificadas las fallas, la prioridad de atención de las unidades de bobinado se estableció mediante el principio de Pareto 80/20, considerando la recurrencia de fallas, la ubicación de la unidad de bobinado en la línea de producción y su impacto en la continuidad del proceso. Con estos criterios se calculó un índice de prioridad para cada unidad de bobinado con la siguiente ecuación:

$$\text{Prioridad} = (W_1 \times R) + [W_2 \times (N_{\max} - S)] \quad (1)$$

En donde:

R: Número de repeticiones de corridas con defecto en la semana.

S: Número de secuencia de la unidad de bobinado; a menor valor, mayor cercanía al extrusor.

N_{máx}: Número máximo de secuencia, correspondiente a la unidad de bobinado más lejana al extrusor.

W1: Peso asignado a la repetición de defectos.

W2: Peso asignado a la cercanía del extrusor.

Los factores de ponderación W1 y W2 fueron definidos por consenso con el personal responsable del área, considerando la experiencia operativa y el impacto de cada criterio en la disponibilidad de las bobinadoras. Con los valores obtenidos, las unidades de bobinado se clasificaron mediante un ABC según su nivel de criticidad: la categoría A correspondió a los equipos de mayor impacto operativo (80 % de la criticidad acumulada), la B a los de importancia intermedia (15 %) y la C a los de menor impacto (5 %). Esta clasificación permitió establecer criterios de atención para las actividades de mantenimiento y elaborar un manual para el personal de producción y mantenimiento, estandarizando la identificación de las unidades de bobinado, la interpretación de códigos y el registro de intervenciones.

2.5 Diseño del sistema de captura y gestión de la información

Una vez implementado el sistema de identificación, se diseñó un sistema para la captura y gestión de la información de mantenimiento, con el fin de estandarizar el registro y garantizar la trazabilidad de las intervenciones. Se integró en una base de datos la información de los mantenimientos preventivos y correctivos, las fallas, las acciones realizadas y el historial de cada unidad de bobinado. La Figura 5



muestra el flujo de trabajo propuesto, el cual integra la identificación de los equipos, la captura digital, el almacenamiento de registros y la consulta del historial de mantenimiento.

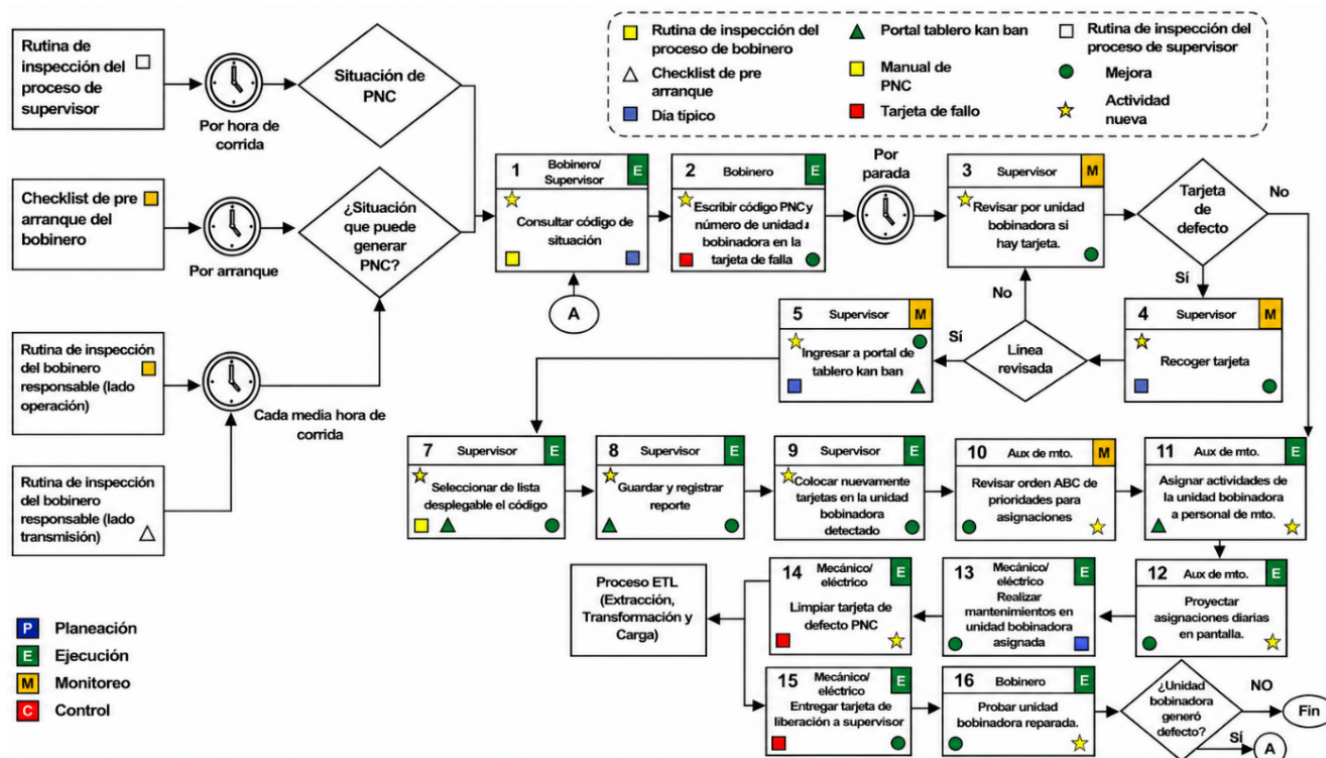


Figura 5. Proceso propuesto para la gestión del mantenimiento de las bobinadoras en extrusión.

Finalmente, se diseñó un formulario digital desarrollado en Microsoft Excel de mantenimiento para estandarizar el registro de las intervenciones realizadas a las unidades de bobinado de extrusión. El formato incluyó información como el código de cada unidad de bobinado, la fecha, el tipo de mantenimiento, la falla detectada, las acciones ejecutadas y las observaciones del técnico. Asimismo, se realizaron pruebas de funcionamiento con registros reales del área de extrusión, verificando el correcto almacenamiento y la recuperación de la información histórica de cada equipo.

2.6 Desarrollo de la herramienta digital para la gestión del mantenimiento

Con base en la información generada en las etapas anteriores, se desarrolló una herramienta digital en Microsoft Excel® mediante Visual Basic for Applications (VBA) para automatizar el registro, consulta y análisis de la información de mantenimiento de las bobinadoras de extrusión. La herramienta integró la captura de datos, la consulta de historiales, el seguimiento de unidades de bobinado inactivas y con sobrecalentamiento, la generación de indicadores de disponibilidad mediante una base de datos asociada con el código de cada unidad de bobinado. Finalmente, se validó su funcionamiento con registros reales del área de extrusión, verificando el almacenamiento y la recuperación correcta de la información histórica de cada equipo.



2.7 Validación de la propuesta mediante indicadores de desempeño

La validación se realizó mediante la comparación descriptiva de los indicadores de desempeño antes y después de la implementación de la propuesta, utilizando los registros históricos del sistema de mantenimiento correspondientes a un periodo de seis meses en cada etapa. Se evaluó la disponibilidad de las unidades de bobinado como principal indicador de desempeño para determinar el impacto de la propuesta. No se realizaron pruebas inferenciales debido a la naturaleza del estudio de caso y a la disponibilidad limitada de registros históricos, por lo que los resultados se interpretan desde una perspectiva descriptiva y exploratoria.

3. Resultados

Los resultados se presentan en secuencia metodológica de la investigación, mostrando la relación entre el diagnóstico del proceso de mantenimiento, la identificación y priorización de las unidades de bobinado, la captura digital de la información, el desarrollo de la herramienta digital y su validación mediante indicadores de desempeño.

3.1 Resultados del diagnóstico del proceso de mantenimiento

El diagnóstico del área de mantenimiento identificó oportunidades de mejora en la organización del proceso, la gestión de información y la disponibilidad de las unidades de bobinado de extrusión. Se observó una alta dependencia de registros manuales y de la experiencia del personal, lo que dificultaba la consulta del historial, intervenciones y programación de mantenimientos preventivos.

Asimismo, se identificaron actividades sin valor agregado, como la búsqueda de información en bitácoras, el registro manual de las intervenciones y la localización de las unidades de bobinado, las cuales incrementaban los tiempos de atención. Estos hallazgos evidenciaron la necesidad de implementar un sistema estandarizado que facilitara la identificación de los equipos, la consulta de su historial y el registro de las intervenciones realizadas.

El diagnóstico realizado en cuatro líneas de producción del área de extrusión identificó seis categorías de causas asociadas a la baja disponibilidad de las unidades de bobinado : método, materiales, maquinaria, personas, ambiente y tecnología. Esta clasificación permitió distinguir las fallas técnicas de las deficiencias en los registros, la estandarización y el seguimiento de la información.

La Figura 6 muestra el análisis causa-raíz mediante un diagrama de Ishikawa, en el que las principales causas se agruparon en seis categorías. El análisis permitió identificar deficiencias relacionadas con la estandarización, el mantenimiento preventivo, el monitoreo y la gestión de la información. Estos resultados evidenciaron que la baja disponibilidad respondía tanto a fallas técnicas como organizacionales.

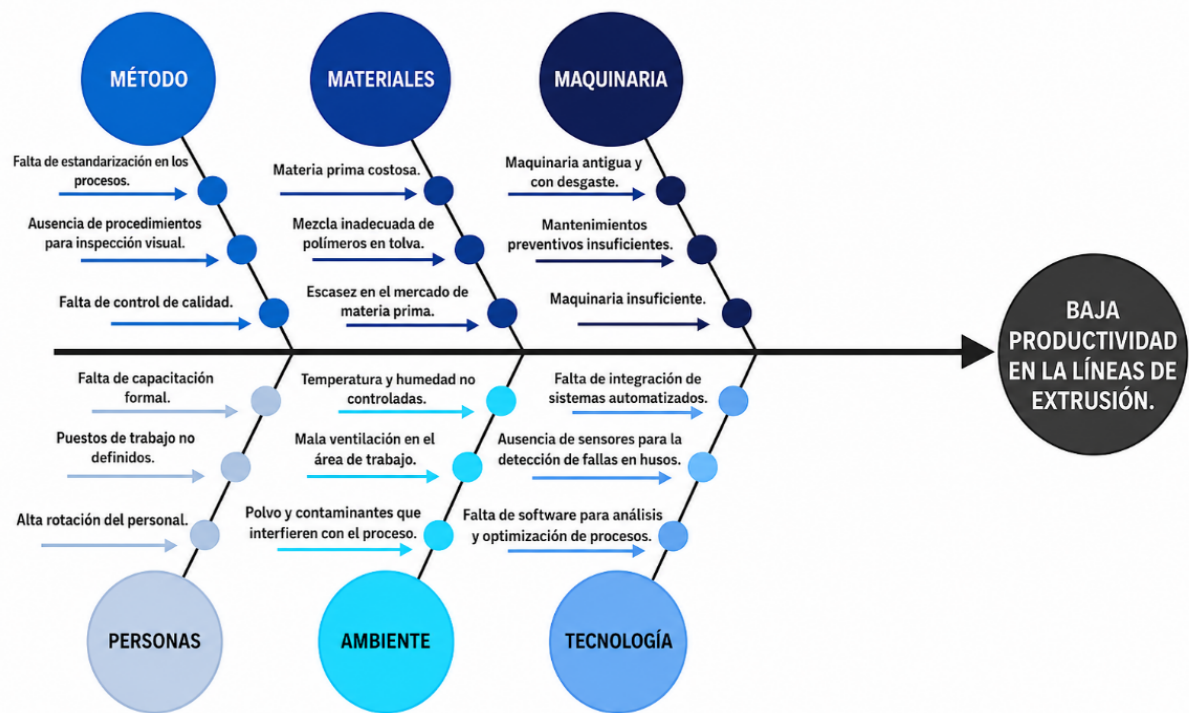


Figura 6. Diagrama Ishikawa para identificar causas asociadas a la baja disponibilidad de las bobinadoras.

El estudio de tiempos mostró que la búsqueda de información, la localización de las unidades de bobinado y el registro manual concentraban la mayor parte del tiempo de atención, evidenciando la necesidad de digitalizar y estandarizar el proceso. La inspección termográfica realizada con una cámara FLIR E6 permitió identificar las unidades de bobinado con temperaturas superiores al valor de referencia. Los registros se incorporaron al sistema digital para priorizar las actividades de mantenimiento. La Figura 7 presenta el registro digital utilizado para el monitoreo de las unidades de bobinado con sobrecalentamiento. El sistema almacena las inspecciones y calcula automáticamente la frecuencia de sobrecalentamiento, facilitando la identificación y priorización de los equipos críticos.

EVENO	REGISTRO	LINEA	HUSOS CALIENTE	ESTILO
1	30/04/2024	Linea 1	114	TRAMA CARPET NEGRO 1050
2	30/04/2024	Linea 1	108	TRAMA CARPET NEGRO 1050
3	30/04/2024	Linea 1	92	TRAMA CARPET NEGRO 1050
4	30/04/2024	Linea 1	87	TRAMA CARPET NEGRO 1050
5	30/04/2024	Linea 1	88	TRAMA CARPET NEGRO 1050
6	30/04/2024	Linea 1	72	TRAMA CARPET NEGRO 1050
7	30/04/2024	Linea 1	67	TRAMA CARPET NEGRO 1050
8	30/04/2024	Linea 1	60	TRAMA CARPET NEGRO 1050
9	30/04/2024	Linea 1	52	TRAMA CARPET NEGRO 1050
10	30/04/2024	Linea 1	165	TRAMA CARPET NEGRO 1050
11	30/04/2024	Linea 1	177	TRAMA CARPET NEGRO 1050
12	30/04/2024	Linea 1	193	TRAMA CARPET NEGRO 1050
13	30/04/2024	Linea 6	2	TRAMA BASE 6 oz 1800
14	30/04/2024	Linea 6	29	TRAMA BASE 6 oz 1800
15	30/04/2024	Linea 6	38	TRAMA BASE 6 oz 1800
16	30/04/2024	Linea 6	49	TRAMA BASE 6 oz 1800
17	30/04/2024	Linea 6	58	TRAMA BASE 6 oz 1800
18	30/04/2024	Linea 6	63	TRAMA BASE 6 oz 1800

LINEA

Linea 1

Etiquetas de fila

Cuenta de REGISTRO

177	18
193	13
60	13
87	10
246	10
181	10
232	9
114	8
88	8
92	8
165	8
72	7
217	7
108	4
242	4
120	4
4	3

Figura 7. Registro y monitoreo de unidades de bobinado con sobrecalentamiento para la priorización de actividades de mantenimiento



El monitoreo de las unidades de bobinado con sobrecalentamiento permitió comparar el comportamiento térmico entre las líneas de producción. El registro mostrado para la línea uno, la unidad de bobinado 177 concentró 18 registros de temperatura elevada, seguido de las unidades de bobinado 193 y 60 con 13 registros cada uno. Asimismo, las unidades de bobinado 87, 246 y 181 presentaron 10 registros cada uno. Este comportamiento permitió identificar recurrencias de sobrecalentamiento y diferenciar los incrementos de temperatura asociados con condiciones normales de operación de aquellos vinculados con posibles fallas mecánicas o eléctricas. En la línea seis se identificaron unidades de bobinado con temperaturas superiores a los 80°C y antecedentes recurrentes de mantenimiento correctivo, lo que evidenció sus condiciones de desgaste y justificó su atención prioritaria. En conjunto, el diagnóstico mostró que la indisponibilidad de las unidades de bobinado obedecía a fallas y a la falta de un sistema organizado de seguimiento, justificando la implementación de un sistema de priorización y registro digital de la información.

3.2 Resultados de la implementación del sistema de identificación y priorización de las unidades de bobinado

La Figura 8 muestra el sistema de identificación implementado en las unidades de bobinado de extrusión mediante la asignación de códigos individuales. Cada unidad quedó asociada a un identificador único, lo que facilitó su localización, el registro de las intervenciones de mantenimiento y la consulta de su historial operativo. Con ello se eliminó la dependencia de referencias basadas únicamente en su ubicación física dentro de la bobinadora y se estableció la trazabilidad individual de fallas por equipo.



Figura 8. Sistema de identificación de las unidades de bobinado con fallas mediante códigos.

La implementación del sistema incorporó una estructura de codificación estandarizada para identificar las unidades de bobinado y clasificar las fallas registradas según su tipo y causa. Esta codificación uniformó los registros entre técnicos y turnos de trabajo, redujo inconsistencias en la captura de información y facilitó el análisis de recurrencias, la consulta del historial de mantenimiento y la programación de intervenciones preventivas. Las unidades de bobinado se priorizaron mediante el principio de Pareto 80/20 considerando frecuencia de fallas, ubicación e impacto operativo. El análisis TOP 10 permitió identificar



40 posiciones críticas para orientar la programación de mantenimiento. La Figura 9 presenta la priorización de las unidades de bobinado críticas mediante un análisis TOP 10 por la línea de producción. Al considerar cuatro líneas, se analizan 40 posiciones correspondientes a las diez unidades de bobinado con mayor recurrencia de inactividad. Este análisis proporcionó un criterio cuantitativo para orientar las actividades de mantenimiento, ubicar puntos críticos y dirigir los recursos hacia aquellas unidades de bobinado cuya indisponibilidad afectaba en mayor medida a la continuidad de la producción.

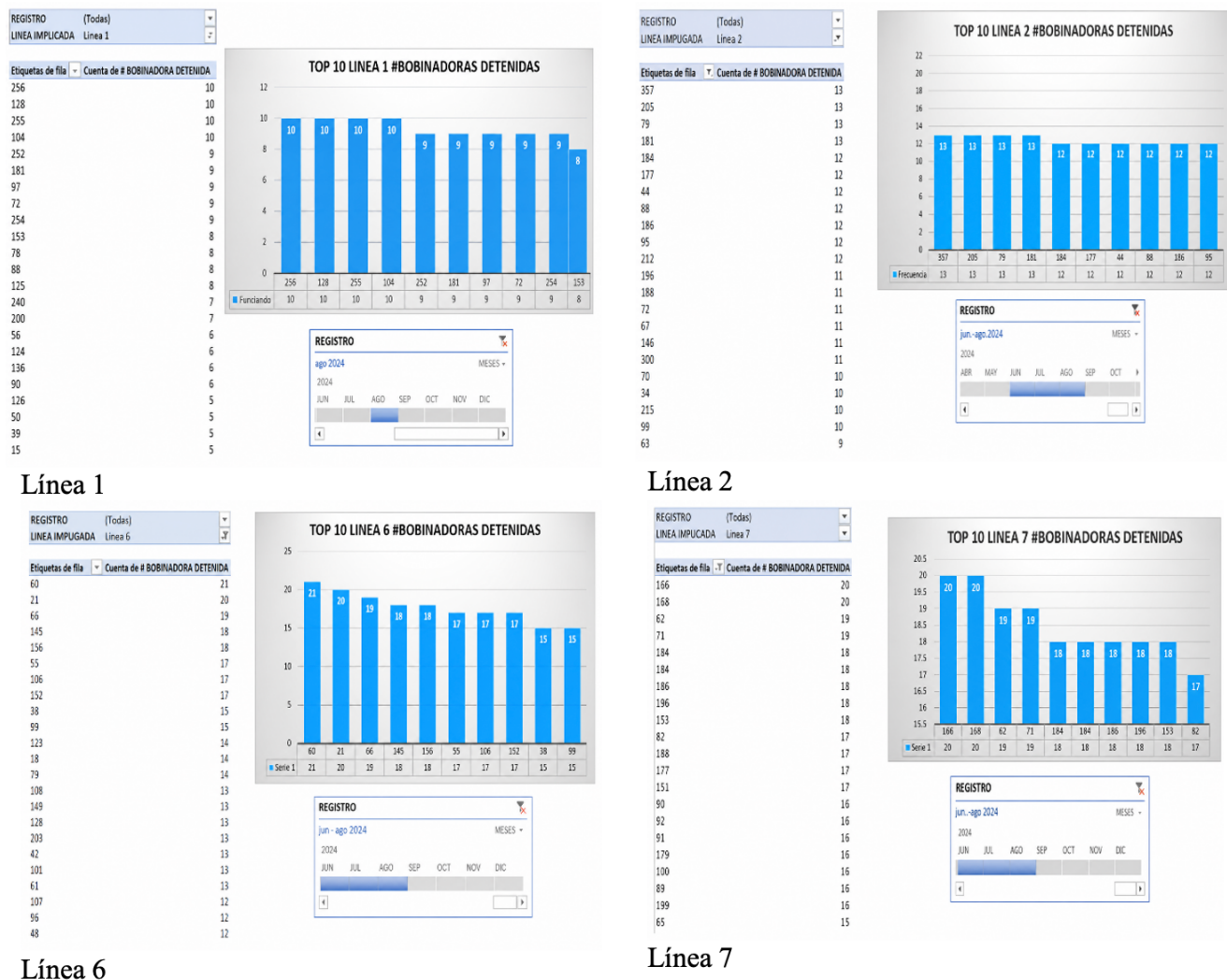


Figura 9. Priorización de unidades de bobinado críticas mediante análisis TOP 10 por la línea de producción.

Los resultados de la Tabla 1 muestran que se analizaron 40 posiciones críticas correspondientes a unidades de bobinado con mayor inactividad. La línea siete presentó el mayor total de recurrencias con 185, seguida de la línea seis con 177, la línea dos con 124 mientras que la línea uno registró 93. Estos resultados permitieron establecer prioridades de intervención con base en la inactividad.



Tabla 1. Resultados cuantitativos del análisis TOP 10 de unidades de bobinado críticas.

Línea evaluada	Unidades de bobinado analizadas	Rango de recurrencias	Total, de recurrencias	Promedio de recurrencias por unidad crítica	Unidades de bobinado con mayor recurrencia
<i>Línea 1</i>	10	8 a 10	93	9.3	256, 128, 255 y 204
<i>Línea 2</i>	10	12 a 13	124	12.4	167, 205, 79 y 181
<i>Línea 6</i>	10	15 a 21	177	17.7	60
<i>Línea 7</i>	10	17 a 20	185	18.5	166 y 168
Total	40	8 a 21	579	14.5	-

La priorización permitió programar el mantenimiento con base en datos históricos y criticidad operativa, mejorando la trazabilidad de las unidades de bobinado y la organización de la información para el desarrollo de la herramienta digital.

3.3 Resultados de la implementación del sistema de captura y gestión de la información

La implementación del sistema de captura y gestión de la información transformó el registro manual de las actividades de mantenimiento en un proceso estandarizado y digital. El flujo de trabajo definió la secuencia de actividades desde la detección de fallas hasta el cierre de la intervención, incorporando puntos de captura y validación que mejoraron la trazabilidad de los registros, redujeron la pérdida de información y facilitaron la comunicación entre las áreas de producción y mantenimiento.

La utilización de un formulario digital y una base de datos centralizada permitió registrar de forma homogénea la información de la intervención, eliminando errores asociados a la transcripción manual y proporcionando un acceso inmediato al historial de mantenimiento de las unidades de bobinado. Como resultado, fue posible consultar antecedentes, identificar tendencias de fallas y disponer de información confiable para la programación de mantenimientos, la generación de reportes automáticos y el cálculo de indicadores, estableciendo la base para el desarrollo de la herramienta digital de gestión.

La Figura 10 presenta el formulario digital utilizado para el registro de las actividades de mantenimiento en las bobinadoras de extrusión. La interfaz permite capturar la información general del equipo intervenido, datos de la falla detectada, estado del sistema, refacciones utilizadas, observaciones del técnico y la hora de intervención. La estructura del formulario facilitó la incorporación de la información a la base de datos para el seguimiento del mantenimiento.



Figura 10. Formulario digital para el registro de actividades de mantenimiento.

3.4 Desarrollo e implementación de la herramienta digital

La Figura 11 muestra la interfaz principal de la herramienta digital desarrollada en Microsoft Excel® mediante Visual Basic for Applications. La herramienta integró seis módulos funcionales: captura de información, historial, monitoreo de unidades de bobinado con sobrecalentamiento, estado de bobinadoras, reportes e indicadores. Dichas funciones permitieron estandarizar la gestión del mantenimiento y consultar la información operativa desde una misma interfaz.



Figura 11. Interfaz principal de la herramienta digital desarrollada para la gestión del mantenimiento de las unidades de bobinado.



Entre las funciones principales de la herramienta destacó la generación automática del historial de mantenimiento de cada unidad de bobinado. El sistema concentró información registrada para cada equipo, incluyendo las intervenciones realizadas, los tipos de fallas, las fechas de registro, las observaciones del técnico y el índice de disponibilidad asociado.

Esta estructura facilitó la identificación de fallas recurrentes y automatizó el cálculo de los indicadores de mantenimiento considerando las condiciones de operación y el estado de los equipos, proporcionando información para apoyar la toma de decisiones.

3.5 Validación de la propuesta mediante indicadores de desempeño.

La validación de la propuesta se realizó mediante la comparación descriptiva de los indicadores de desempeño antes y después de la implementación del sistema, utilizando los registros históricos disponibles de mantenimiento correspondientes a un periodo de seis meses en cada etapa.

Se evaluó principalmente la disponibilidad de las unidades de bobinado para determinar el impacto de la propuesta sobre la gestión de mantenimiento.

La Tabla 2 presenta la comparación de la disponibilidad antes y después de la implementación, así como su relación con la meta corporativa establecida por la empresa.

Tabla 2. Comparación de la disponibilidad antes y después de la implementación.

Indicador	Antes	Después	Variación
Disponibilidad de las unidades de bobinado (%)	83.60	97.38	+ 13.78 puntos porcentuales (+16.48 %)
Meta corporativa (%)	86.00	86.00	+ 11.38 puntos porcentuales sobre la meta

Como se observa en la Tabla 2, la disponibilidad de las unidades de bobinado aumentó de 83.60 % a 97.38 %, lo que representa un incremento de 13.78 puntos porcentuales (16.48 %). Además, el valor alcanzado superó en 11.38 puntos porcentuales la meta corporativa de disponibilidad establecida, lo que muestra una mejora temporalmente asociada con la implementación del sistema de identificación, priorización y gestión digital de la información.

La Figura 12 muestra el tablero de control desarrollado para el seguimiento automático de los indicadores de mantenimiento. La interfaz presenta el índice de disponibilidad por línea y su comparación con la meta establecida de la empresa del 86.0 %, permitiendo evaluar el desempeño operativo de las bobinadoras.

Todas las líneas superaron la meta establecida, alcanzando una disponibilidad entre el 86.2 % y 97% con una disponibilidad general reportada por la herramienta del 93.7 %.

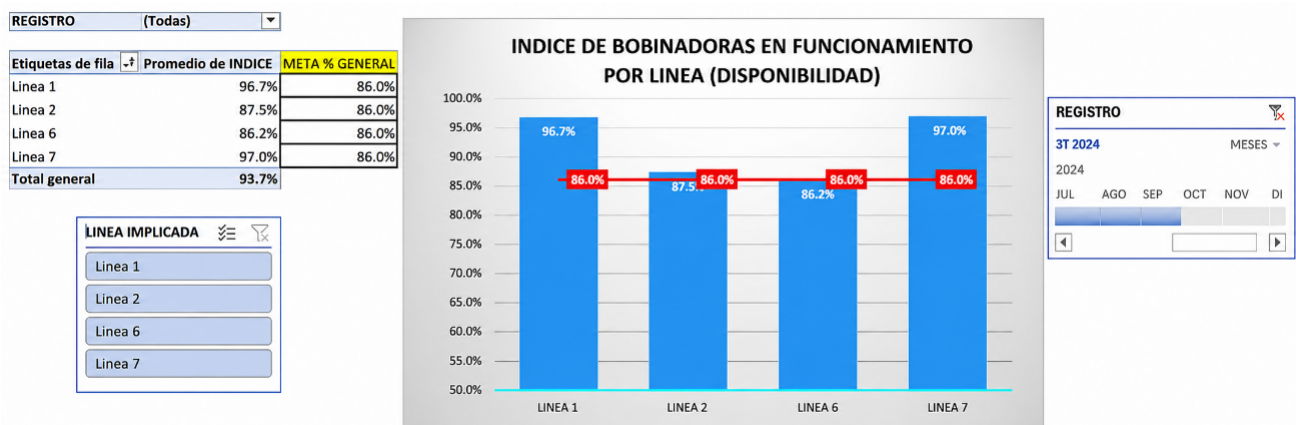


Figura 12. Tablero de control e indicadores de disponibilidad generados por la herramienta digital.

Los resultados de la Tabla 3 muestran que todas las líneas evaluadas superaron la meta. La línea seis presentó el valor mínimo (86.2 %) debido a su menor frecuencia de utilización; sin embargo, la disponibilidad general reportada por la herramienta fue de 93.7 % equivalente a 7.7 puntos porcentuales por encima de la meta. Estos resultados proporcionan evidencia cuantitativa del desempeño operativo de las bobinadoras después de la implementación de la propuesta.

Tabla 3. Indicadores de disponibilidad obtenidos mediante la herramienta digital.

Indicador evaluado	Resultado
Meta corporativa de disponibilidad	86.0 %
Disponibilidad línea 1	96.7 %
Disponibilidad línea 2	87.5 %
Disponibilidad línea 6	86.2 %
Disponibilidad línea 7	97.0 %
Disponibilidad mínima registrada	86.2 %
Disponibilidad máxima registrada	97.0 %
Disponibilidad general	93.7 %
Diferencia de disponibilidad respecto a la meta	+7.7 puntos porcentuales.

La Figura 13 muestra la evolución semanal y mensual de la disponibilidad de las unidades de bobinado de la línea 1 durante el periodo comprendido entre marzo y septiembre. La disponibilidad aumentó de 83.60 % al inicio del seguimiento a 97.38 % al cierre del periodo, lo que representa un incremento absoluto de 13.78 puntos porcentuales y una mejora relativa de 16.48% respecto al valor inicial. Durante los últimos cuatro meses evaluados, el indicador se mantuvo por encima de dicha meta lo que evidencia una mejora sostenida en la disponibilidad operativa de la línea.

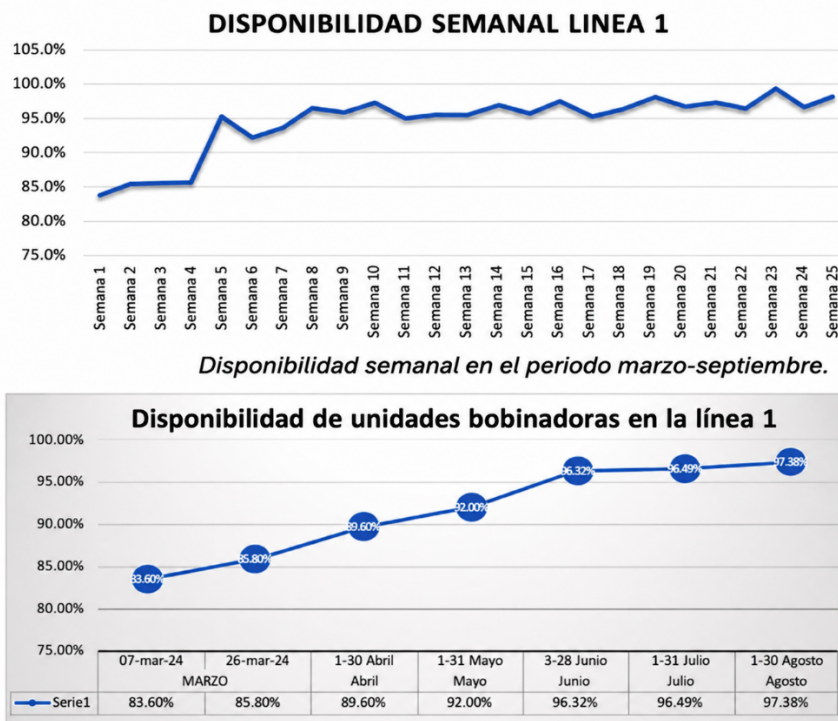


Figura 13. Evolución semanal y mensual de la disponibilidad en la línea uno.

En conjunto, la propuesta permitió digitalizar el proceso de mantenimiento, establecer la trazabilidad de las unidades de bobinado, priorizar intervenciones con base en datos históricos y fortalecer el seguimiento de la disponibilidad operativa. Los resultados cuantitativos mostraron que las líneas superaron la meta corporativa. Además, el análisis TOP 10 permitió evaluar 40 posiciones críticas y registrar 579 recurrencias de inactividad en las unidades de bobinado con mayor impacto operativo. Estos resultados evidencian que la integración de herramientas digitales de bajo costo constituye una alternativa viable para fortalecer la gestión del mantenimiento en procesos de extrusión.

4. Discusiones

Los resultados muestran que la aplicación del método propuesto permitió fortalecer la gestión del mantenimiento de las unidades de bobinado y estuvo asociada con un incremento de su disponibilidad en condiciones reales de producción. La digitalización de registros, la identificación individual de los equipos y la integración de la información son consistentes con la evolución del mantenimiento hacia esquemas basados en datos. Zonta *et al.* [18] destacan la importancia de la adquisición, almacenamiento y análisis de datos para el mantenimiento predictivo, mientras que Silvestri *et al.* [19] señalan que la transformación digital también requiere reorganizar procesos y gestionar adecuadamente la información. De forma complementaria, Bokrantz *et al.* [20] plantean que el mantenimiento inteligente integra tecnología, organización y toma de decisiones. La sustitución de registros manuales por un sistema estructurado fue un componente relevante de la propuesta. La calidad de los datos de mantenimiento depende tanto de las herramientas utilizadas como de factores humanos y organizacionales asociados con su captura [21].



Asimismo, la estructuración de procesos, la trazabilidad de la información y el uso de indicadores son congruentes con los principios de gestión de activos [22]. Estos antecedentes respaldan la importancia de disponer de información estandarizada para apoyar la toma de decisiones.

La disponibilidad se utilizó como principal indicador para evaluar descriptivamente el comportamiento de las unidades de bobinado. Este tipo de indicadores permite identificar pérdidas y oportunidades de mejora en sistemas manufactureros [23], [24], siempre que los estados y tiempos de operación se definan consistentemente [25]. En este estudio, la disponibilidad general alcanzó 93.7 %, mientras que en la línea 1 aumentó de 83.60 % a 97.38 %. Debido al carácter descriptivo del estudio, estos cambios deben interpretarse como temporalmente asociados con la implementación de la propuesta y no como evidencia de una relación causal. La inspección termográfica complementó los registros históricos mediante información sobre la condición térmica de los equipos. El monitoreo de condición constituye una base del mantenimiento basado en condición [26], y la termografía infrarroja ha mostrado utilidad para la detección de anomalías y el diagnóstico de fallas en equipos industriales [27], [28]. En este trabajo se utilizó como herramienta complementaria para identificar recurrencias de sobrecalentamiento y apoyar la priorización de las intervenciones, sin pretender constituir por sí misma un sistema predictivo.

En la industria textil también se han desarrollado sistemas de mantenimiento que incorporan análisis en la nube y modelos predictivos [29], [30]. Frente a estos enfoques, la propuesta desarrollada presenta una menor complejidad tecnológica al emplear Microsoft Excel® y VBA, pero permite establecer trazabilidad, estandarización y priorización con una infraestructura accesible. Esto puede representar una alternativa para organizaciones que aún no disponen de plataformas especializadas de Industria 4.0.

La herramienta desarrollada puede considerarse una etapa inicial hacia esquemas de mantenimiento más avanzados. La incorporación futura de gemelos digitales [31], aprendizaje automático [32], sensores inteligentes [33] y modelos predictivos basados en información histórica y operativa [34] permitiría ampliar sus capacidades de monitoreo y diagnóstico. La base de datos generada en este estudio podría proporcionar información para desarrollar estas aplicaciones.

Finalmente, los beneficios del mantenimiento pueden extenderse más allá de la disponibilidad e incluir productividad, costos, calidad, vida útil de los activos y sostenibilidad [35]. Estos efectos no fueron cuantificados en el presente estudio y representan oportunidades para investigaciones posteriores. Asimismo, al tratarse de un estudio de caso único con un periodo limitado de seguimiento, será necesario validar el método en otras líneas y empresas, ampliar el periodo de evaluación e incorporar análisis estadísticos y tecnologías de monitoreo en tiempo real.

5. Conclusiones

La implementación del sistema digital para la gestión del mantenimiento de las bobinadoras de extrusión mejoró la organización de la información, fortaleció la trazabilidad de los equipos y apoyó la toma de decisiones mediante indicadores de desempeño. La integración de la identificación individual de las unidades de bobinado, la priorización de equipos críticos, la captura digital de información y una herramienta desarrollada en Microsoft Excel con VBA permitió establecer un sistema estructurado para la gestión del mantenimiento.



Los principales hallazgos de la investigación permiten concluir lo siguiente:

- La digitalización del proceso de mantenimiento fortaleció la gestión mediante la integración del historial de las bobinadoras y el cálculo automático de indicadores. La validación descriptiva mostró una disponibilidad general del 93.7 %, valor superior a la meta corporativa de 86.0 %. En la línea 1, caracterizada por una mayor frecuencia de utilización, la disponibilidad aumentó de 83.60 % a 97.38 %, mostrando una asociación favorable con la implementación del sistema.
- El diagnóstico evidenció que la baja disponibilidad de las bobinadoras estaba asociada tanto a fallas técnicas como a deficiencias en la gestión de la información. La identificación y priorización de los equipos permitió identificar 40 posiciones críticas con 579 recurrencias de inactividad, facilitando la programación del mantenimiento.
- El método propuesto estableció un procedimiento sistemático para implementar y validar mejoras en la gestión del mantenimiento. La integración secuencial del diagnóstico, identificación de equipos críticos, digitalización de información y evaluación mediante indicadores de desempeño mostró ser una estrategia estructurada con potencial de reproducción en otros contextos industriales.
- Dado que la investigación se desarrolló como un estudio de caso en una empresa del sector textil y durante un periodo de seguimiento de seis meses, la generalización de los resultados requiere su validación en otros entornos industriales. Futuras investigaciones deberán ampliar el periodo de evaluación, incorporar análisis estadísticos y evaluar la integración del sistema con plataformas computarizadas para la gestión del mantenimiento y tecnologías de monitoreo en tiempo real para fortalecer las estrategias de mantenimiento predictivo.

6. Agradecimientos de autoría

Yesenia Kiabeth Cháirez Saucedo: Conceptualización; Investigación; Método; Análisis formal; Borrador original. *Pedro Cruz Alcantar:* Conceptualización; Supervisión; Escritura; Revisión y edición.

Referencias

- [1] C. E. David, R. Uche, O. Nwifo, D. A. Ekpechi, and C. C. Kingsley, “Integrating machine availability and preventive maintenance to improve productive efficiency in a manufacturing industry,” *Asian Journal of Current Research*, vol. 9, no. 2, pp. 91–109, 2024, doi: 10.56557/ajocr/2024/v9i28610.
- [2] J. M. Wakiru, L. Pintelon, P. Muchiri, and P. Chemweno, “Integrated maintenance policies for performance improvement of a multi-unit repairable, one product manufacturing system,” *Production Planning & Control*, vol. 32, no. 5, pp. 347–367, 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1736684.
- [3] E. Tovar Porras, “Tipos de mantenimiento industrial,” monografía de pregrado, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú, 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.une.edu.pe/items/96312717-9e73-4acf-a695-006062a06de3>. [Accessed: Dic. 15, 2025].



- [4] M. Holgado, M. Macchi, and S. Evans, “Exploring the impacts and contributions of maintenance function for sustainable manufacturing,” *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 23, pp. 7292–7310, 2020, doi: 10.1080/00207543.2020.1808257.
- [5] F. Rodriguez and L. Gomez Bravo, *Indicadores de calidad y productividad de la empresa*. Caracas, Venezuela: CAF, 1991. [Online]. Available: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/863>. [Accessed: Dic. 15, 2025].
- [6] J. T. Selvik and E. P. Ford, “Down time terms and information used for assessment of equipment reliability and maintenance performance,” in *System Reliability*, C. Volosencu, Ed. IntechOpen, 2017, doi: 10.5772/intechopen.71503.
- [7] M. Hodkiewicz and M. T.-W. Ho, “Cleaning historical maintenance work order data for reliability analysis,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 146–163, 2016, doi: 10.1108/JQME-04-2015-0013.
- [8] ISO 14224:2016, *Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries—Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment*, 3rd ed. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/64076.html>. [Accessed: Jun. 25, 2026].
- [9] G. Alemayehu, M. Avvari, B. Alemu, and A. M. Gebrekidan, “Performance evaluation of Faffa Food Share Company through computerized maintenance management system (CMMS),” *Journal of Engineering*, vol. 2023, Art. no. 4856457, 2023, doi: 10.1155/2023/4856457.
- [10] A. Labib, “World-class maintenance using a computerised maintenance management system,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 66–75, 1998, doi: 10.1108/13552519810207470.
- [11] Microsoft, “Automatizar tareas con la grabadora de macros,” *Microsoft Support*. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/es-es/excel/automate-tasks-with-the-macro-recorder>. [Accessed: Oct. 15, 2025].
- [12] Y.-J. Lu, W.-C. Lee, and C.-H. Wang, “Using data mining technology to explore causes of inaccurate reliability data and suggestions for maintenance management,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 83, Art. no. 105063, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jlp.2023.105063.
- [13] A. Salonen, M. Bengtsson, and V. Fridholm, “The possibilities of improving maintenance through CMMS data analysis,” in *SPS2020: Proceedings of the Swedish Production Symposium, October 7–8, 2020*, K. Säfsten and F. Elgh, Eds., *Advances in Transdisciplinary Engineering*, vol. 13, pp. 249–260, 2020, doi: 10.3233/ATDE200163.
- [14] S. Lukens, M. Naik, K. Saetia, and X. Hu, “Best practices framework for improving maintenance data quality to enable asset performance analytics,” *Annual Conference of the PHM Society*, vol. 11, no. 1, 2019, doi: 10.36001/phmconf.2019.v11i1.836.



- [15] C. Rauwendaal, *Polymer Extrusion*, 5th ed. Munich, Germany: Carl Hanser Verlag, 2014, doi: 10.3139/9781569905395.
- [16] S. Hube, M. Behr, S. Elgeti, M. Schön, J. Sasse, and C. Hopmann, “Numerical design of distributive mixing elements,” *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 204, Art. no. 103733, 2022, doi: 10.1016/j.finel.2022.103733.
- [17] I. El Hassani, C. El Mazgualdi, and T. Masrour, “Artificial intelligence and machine learning to predict and improve efficiency in manufacturing industry,” *arXiv preprint arXiv:1901.02256*, 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1901.02256>. [Accessed: Sep. 10, 2025].
- [18] T. Zonta, C. A. da Costa, R. da R. Righi, M. J. de Lima, E. S. da Trindade, and G. P. Li, “Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 150, Art. no. 106889, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106889.
- [19] L. Silvestri, A. Forcina, V. Introna, A. Santolamazza, and V. Cesarotti, “Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review,” *Computers in Industry*, vol. 123, Art. no. 103335, 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103335.
- [20] J. Bokrantz, A. Skoogh, C. Berlin, T. Wuest, and J. Stahre, “Smart Maintenance: A research agenda for industrial maintenance management,” *International Journal of Production Economics*, vol. 224, Art. no. 107547, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107547.
- [21] K. Mahlamäki and M. Nieminen, “Analysis of manual data collection in maintenance context,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 26, no. 1, pp. 104–119, 2020, doi: 10.1108/JQME-12-2017-0091
- [22] R. F. da Silva and G. F. M. de Souza, “Modeling a maintenance management framework for asset management based on ISO 55000 series guidelines,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 28, no. 4, pp. 915–937, 2022, doi: 10.1108/JQME-08-2020-0082.
- [23] P. Muchiri and L. Pintelon, “Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion,” *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 13, pp. 3517–3535, 2008, doi: 10.1080/00207540601142645.
- [24] T. Ylipää, A. Skoogh, J. Bokrantz, and M. Gopalakrishnan, “Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 66, no. 1, pp. 126–143, 2017, doi: 10.1108/IJPPM-01-2016-0028.
- [25] M. M. Schiraldi and M. Varisco, “Overall Equipment Effectiveness: Consistency of ISO standard with literature,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 145, Art. no. 106518, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106518
- [26] H. N. Teixeira, I. Lopes, and A. C. Braga, “Condition-based maintenance implementation: A literature review,” *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 228–235, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.033



- [27] P. Venegas, E. Ivorra, M. Ortega, and I. Sáez de Ocáriz, “Towards the automation of infrared thermography inspections for industrial maintenance applications,” *Sensors*, vol. 22, no. 2, Art. no. 613, 2022, doi: 10.3390/s22020613.
- [28] R. Wang, X. Zhan, H. Bai, E. Dong, Z. Cheng, and X. Jia, “A review of fault diagnosis methods for rotating machinery using infrared thermography,” *Micromachines*, vol. 13, no. 10, Art. no. 1644, 2022, doi: 10.3390/mi13101644.
- [29] R.-I. Chang, C.-Y. Lee, and Y.-H. Hung, “Cloud-based analytics module for predictive maintenance of the textile manufacturing process,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 21, Art. no. 9945, 2021, doi: 10.3390/app11219945.
- [30] Y.-H. Hung, “Developing an improved ensemble learning approach for predictive maintenance in the textile manufacturing process,” *Sensors*, vol. 22, no. 23, Art. no. 9065, 2022, doi: 10.3390/s22239065
- [31] I. Errandonea, S. Beltrán, and S. Arrizabalaga, “Digital Twin for maintenance: A literature review,” *Computers in Industry*, vol. 123, Art. no. 103316, 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103316.
- [32] T. P. Carvalho, F. A. A. M. N. Soares, R. Vita, R. da P. Francisco, J. P. Basto, and S. G. S. Alcalá, “A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 137, Art. no. 106024, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.106024.
- [33] M. Pech, J. Vrchota, and J. Bednář, “Predictive maintenance and intelligent sensors in smart factory: Review,” *Sensors*, vol. 21, no. 4, Art. no. 1470, 2021, doi: 10.3390/s21041470
- [34] G. M. Sang, L. Xu, and P. de Vrieze, “A predictive maintenance model for flexible manufacturing in the context of Industry 4.0,” *Frontiers in Big Data*, vol. 4, Art. no. 663466, 2021, doi: 10.3389/fdata.2021.663466.
- [35] C. Franciosi, A. Voisin, S. Miranda, S. Riemma, and B. Iung, “Measuring maintenance impacts on sustainability of manufacturing industries: From a systematic literature review to a framework proposal,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, Art. no. 121065, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121065.



Derechos de Autor (c) 2026 Yesenia Kiabeth Chairez Saucedo, Pedro Cruz Alcantar



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar 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 tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)