



Evaluación del Mantenimiento Productivo Total en equipo DNT-100 en máquina de papel tissue

Evaluation of Total Productive Maintenance on DNT-100 equipment in a tissue paper machine

Roger Andrés López Conza¹ , Ángel Rafael Arteaga Linzán¹ , José Gregorio Zevallos Cobena¹ ,
Pedro Antonio Rodríguez Ramos^{2*} , Jorge Milton Velepucha Sánchez¹ , Armando Díaz Concepción²

1. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado. Manabí, Ecuador.

2. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM. La Habana, Cuba.

* Autor de correspondencia: pedroandro1952@gmail.com

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](#)



Recibido: 16 de enero de 2026

Aceptado: 25 de abril de 2026

Publicado: 30 de abril de 2026

Resumen

En los procesos productivos de la industria papelería, la gestión del mantenimiento constituye un factor crítico para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa de los equipos industriales. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo del Mantenimiento Productivo Total sobre el desempeño operativo del equipo DNT-100 de una máquina de papel tissue. Se empleó un enfoque cuasi-experimental de tipo antes-después, sustentado en el análisis comparativo de indicadores clave de mantenimiento, entre ellos Disponibilidad Operativa, Confiabilidad, Mantenibilidad, Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio de Reparación. La intervención incluyó el desarrollo estructurado de etapas del Mantenimiento Productivo Total, tales como limpieza inicial, eliminación de fuentes de contaminación, estandarización de tareas, inspección

autónoma y autodiagnóstico operacional. Los resultados evidenciaron mejoras favorables en los indicadores evaluados, destacándose la reducción de la frecuencia de fallas y del Tiempo Medio de Reparación, así como el incremento de la disponibilidad operativa y la mantenibilidad del equipo. Estos hallazgos demuestran la efectividad del Mantenimiento Autónomo como herramienta para fortalecer el desempeño operacional y la estabilidad funcional del activo industrial. No obstante, la extrapolación de los resultados requiere validación adicional en otros contextos productivos y condiciones operacionales.

Palabras claves: Mantenimiento Productivo Total, TPM, Mantenimiento Autónomo, máquina de papel tissue, desempeño operacional.

Abstract

In the production processes of the paper industry, maintenance management is a critical factor in ensuring the availability, reliability, and efficiency of industrial equipment. The objective of this study was to evaluate the impact of implementing the Autonomous Maintenance pillar of Total Productive Maintenance on the operational performance of the DNT-100 unit in a tissue paper machine. A quasi-experimental before-and-after approach was applied, based on a comparative analysis of key maintenance indicators, including Operational Availability, Reliability, Maintainability, Mean Time Between Failures and Mean Time to Repair. The intervention consisted of the structured implementation of Autonomous Maintenance stages, such as initial cleaning, elimination of contamination sources, task standardization, autonomous inspection, and operational self-diagnosis. The

results revealed significant improvements in the evaluated indicators, particularly a reduction in failure frequency and Mean Time to Repair, as well as increases in equipment availability and maintainability. These findings demonstrate the effectiveness of Autonomous Maintenance as a strategy for improving equipment performance and enhancing the functional stability of industrial assets. However, the generalization of these results requires further validation under different production environments and operating conditions.

Key words: Total Productive Maintenance, TPM, Autonomous Maintenance, tissue paper machine, operational performance.

Cómo citar este artículo, norma Vancouver:

López Conza RA, Arteaga Linzán AR, Zevallos Cobena JG, Rodríguez Ramos PA, Velepucha Sánchez JM, Díaz Concepción A. Evaluación del Mantenimiento Productivo Total en equipo DNT-100 en máquina de papel tissue. Ingeniería Mecánica. 2026;29:e717.

1. Introducción

La Máquina de Papel 8 de Tissue se encuentra funcionando con un mantenimiento enfocado en los reactivos de condiciones subestándar de la máquina, lo que no le permite contar con una alta confiabilidad y una adecuada eficiencia para cumplir los niveles de producción deseados. El desempeño de la máquina de papel se refleja por la medición de las variables: paros no planeados y paros planeados, donde el primero obtuvo un valor actual del 7 %, que está por encima del valor estándar del 4,5 %, que es el máximo permitido dentro de las empresas papeleras. Este valor debe ser mejorado.

La revisión bibliográfica realizada en la investigación según [1] muestra que la metodología de Mantenimiento Productivo Total (*Total Productive Maintenance*, TPM) posee 8 pilares, que se centran en aspectos clave del rendimiento operacional, a saber: Mejoras Enfocadas, Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Planificado, Mantenimiento de Calidad, Educación y Formación, Gestión Temprana de Equipos (Mantenimiento Temprano), TPM en Áreas de Soporte (Actividades de Departamentos Administrativos y de Apoyo), Seguridad, Salud y Medio Ambiente

Cada pilar está diseñado para abordar una dimensión específica de la operación, asegurando que la producción y el mantenimiento estén alineados con los objetivos estratégicos de la organización.

El TPM es una estrategia integral de mantenimiento que tiene como objetivo mejorar la confiabilidad del equipo, reducir el tiempo de inactividad y aumentar la productividad general en las industrias manufactureras. Se basa en el principio de que cada operador y empleado de mantenimiento es responsable del mantenimiento del equipo. Permite la colaboración, ya que el operador puede ayudar con las actividades de mantenimiento rutinarias y simples, mientras que los empleados de mantenimiento se enfocan en tareas de mantenimiento más complejas. Es reconocido como una herramienta clave de la Fabricación Lean y Lean Six Sigma y con los beneficios de Lean-Green y la sostenibilidad [2].

En el nuevo y desafiante entorno actual, los enfoques tradicionales también deben mejorarse y adaptarse al contexto de la Industria 4.0. En materia de mantenimiento, el TPM ha desempeñado un papel fundamental en la mejora continua del rendimiento de la nueva era industrial. Esto ha dado lugar a un nuevo término, TPM 4.0 o TPM digital, en el que las nuevas tecnologías se integran en el desarrollo de los principios tradicionales, permitiendo la monitorización continua de los equipos, pasando del Mantenimiento Preventivo al Mantenimiento Predictivo, al tiempo que garantiza la gestión en tiempo real y una mejor integración entre producción y mantenimiento [3].

El Mantenimiento Predictivo es otro aspecto importante según la metodología TPM. En el enfoque de la metodología TPM, el Mantenimiento Predictivo se integra con las otras estrategias para lograr un sistema de mantenimiento más preciso y eficiente [4].

Un pilar clave del TPM es el Mantenimiento Autónomo, cuyas técnicas permiten a los operadores mantener los equipos en óptimas condiciones, con la participación ocasional del sector de mantenimiento y desarrollo de equipos, que únicamente brinda apoyo y asistencia a los operadores en las actividades de mantenimiento de sus máquinas. El Mantenimiento Autónomo ayuda a los operadores a mantener sus máquinas, con el apoyo del departamento central de mantenimiento, lo que contribuye a aumentar la motivación y el compromiso de los equipos operativos con el estado de los equipos [5].

El Mantenimiento Autónomo anima a los operadores de maquinaria a responsabilizarse de tareas rutinarias como la limpieza, la lubricación y la inspección, reduciendo así las paradas menores y mejorando la visibilidad del equipo [6].

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo del TPM en el desempeño operativo del equipo DNT-100, mediante el análisis comparativo de indicadores claves del desempeño antes y después de la intervención.

Como resultado de la implementación del Mantenimiento Autónomo se logró obtener la identificación de las principales causas de las averías en la máquina y las acciones reactivas y preventivas para su correcto funcionamiento.

2. Métodos y Materiales

Se empleó un enfoque cuasi-experimental de tipo antes-después, en el cual se compararon indicadores de desempeño del equipo DNT-100 en condiciones previas y posteriores a la implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo del TPM. El periodo de estudio fue de seis meses, utilizando registros históricos operativos y datos recopilados durante la intervención.

Para perfeccionar los planes de mantenimiento en el contexto TPM, fue fundamental auxiliarse de varias herramientas gerenciales que permitieron adaptar, adecuar y mejorar las estrategias de mantenimiento a las necesidades específicas de la empresa y de sus equipos, a saber: Mapeo de pérdidas [7], Diagrama de Pareto [8], 5 Whys [9] y Kaizen [10].

Un proceso de preparación de pasta celulosa está conformado por los siguientes sistemas: Pulpeado de materia prima, Limpieza gruesa y fina, Destintado, Lavado/Espesado de pasta, Dispersión en caliente, Almacenamiento de pasta, Formación y secado de papel, Enhebrado de papel.

La máquina de papel 8 de Tissue participa en el proceso de preparación de pasta celulosa, a través del equipo lavador/espesador de pasta DNT-100, que fue el seleccionado como objeto de estudio para la implementación de la metodología TPM - pilar Mantenimiento Autónomo, debido a la criticidad del equipo DNT-100 dentro del proceso, el cual debe permanecer, siempre, disponible y confiable.

Para la implantación de la metodología TPM en la investigación se desarrollaron las siguientes etapas:

0. Se inicia con los preparativos denominados etapa Cero, que tiene la relevancia de instruir y promover el convencimiento del capital humano sobre la necesidad de Implementar TPM
1. Análisis de pérdidas del proceso de máquina de papel
2. Conformación del equipo de Mantenimiento Autónomo
3. Limpieza inicial
4. Eliminación de fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso
5. Elaboración de estándares tentativos de Mantenimiento Autónomo
6. Inspección general
7. Autodiagnóstico
8. Estandarización
9. Gestión autónoma

2.1. Análisis de pérdidas del proceso de la máquina de papel

Se desarrolló un Mapeo de pérdidas, que consistió en identificar y clasificar las principales causas de la ineficiencia en la operación de la Máquina de Papel 8 de Tissue, tabla 1. Esto permitió la recopilación y análisis de datos sobre tiempos de inactividad, fallas mecánicas, desperdicio de materia prima, consumo energético y otros factores que afectaban la productividad del equipo DNT-100. Se tuvo en cuenta las siguientes dimensiones: los eventos no deseados, el impacto en los costos productivos y su origen dentro de los equipos del proceso de máquina de papel. A través del mapeo fue posible visualizar las pérdidas más críticas, priorizarlas y establecer estrategias para su reducción y garantizar una producción más estable y rentable.

Utilizando el Layout del proceso de preparación de pasta celulosa se pudo identificar los equipos que la componen y a través del historial de averías, en un año, se pudo clasificar y analizar las causas de pérdidas que ocurren, teniendo así una orientación para enfocar los recursos en los equipos priorizados para aplicar la metodología TPM. El mapeo de pérdidas, está resumido en la segunda columna de la tabla 1 (tipo de defecto - descripción de pérdidas). En esta tabla 1 también se muestran los tipos de averías y los tiempos perdidos correspondientes.

Tabla 1. Mapeo de pérdidas y registro de tipos de averías por sistema. Fuente: elaboración propia

Sistemas del proceso de preparación de pasta celulosa	Tipo de defecto. Descripción de pérdidas	Tipo de averías		Tiempo (min)
1. Pulpeado de materia prima	P6. Daño de transmission, no se alimenta materia prima.	Mecánica	-	350
2. Limpieza gruesa y fina	P2. Daño de la criba, retención de pasta con sólidos.	Mecánica	Eléctrica	1248
3 Destintado	P4. Daño del sistema de control, no se limpia la pasta.	-	Eléctrica	896
4. Lavado/Espesado de pasta DNT-100	P1. Daño de transmission, no se logra el lavado de la pasta.	Mecánica	Eléctrica	3242
5. Dispersión en caliente	P3. Falta de vapor, no se logra dispersar los contaminantes.	Mecánica	Eléctrica	963
6. Almacenamiento de pasta	P5. Daño de agitador, no se logra la consistencia de pasta	Mecánica	-	450
7. Formación y secado de papel	P7. Daño de rodillo, no se logra la formación y secado.	Mecánica	Eléctrica	276
8. Enhebrado de papel	P8. Daño de rodillo, no se logra el enhebrado de la hoja.	Mecánica	Eléctrica	193

El sistema con mayor tiempo de avería registrado fue: Lavado/Espesado de pasta equipo DNT-100, 3242 min. Por tanto, resultó el sistema para priorizar la implementación de la metodología TPM en la investigación.

Las condiciones de daños mecánicos y eléctricos de grado mayor no permitieron el trabajo continuo del proceso ocasionando que las fallas detengan la producción de la máquina de papel. El registro de tiempos de paros por cada avería que han sucedido en el sistema Lavado/Espesado con equipo DNT-100 dentro del periodo analizado, se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Registro de tiempos de paros del Lavador/Espesador equipo DNT-100. Fuente: elaboración propia

Paros	Tipo paro	Comentarios de averías	Tiempo (min)
2	Tensión de Tela	Calibración de tensión de tela	305
1	Daño de Bandas	Cambio, tensión y alineación de bandas	80
1	Daño sensores de lucha de limpieza	Cambio de sensores	280
1	Mantenimiento Motor	Cambio de motor por bajo aislamiento en bobinas	200
4	Daño de Rodamiento	Cambio de rodamiento lado libre en rodillo ranurado Cambio de rodamiento lado libre en tornillo sin fin Cambio de rodamiento lado libre en rodillo liso	1 687
1	Mantenimiento Reductor de tornillo sin fin	Cambio de retenedor por fuga de aceite	450
1	Mantenimiento Motorreductor	Cambio de Motorreductor por fuga de aceite	240

El tiempo medio de duración del paro fue 294,73 min/paro. La identificación de las principales averías donde se debe garantizar la disponibilidad de la Máquina de Papel y la prioridad de la implementación de la metodología TPM correspondió a: daño de rodamiento 52,03 % del tiempo, mantenimiento del reductor de tornillo sin fin 13,88 % y tensión de tela 9,40 %.

A continuación, se aplicó la herramienta de los 5Whys para definir la causa raíz subyacente de la avería de mayor impacto detectada, que resultó el daño de rodamiento: causa origen - la falta de limpieza periódica del equipo y sus partes.

2.2. Conformación de equipo Mantenimiento Autónomo

Resultó conformado por 10 operadores y ayudantes que tienen alto compromiso con la empresa, y realizan la corrección y mejora de los activos que tienen a su cargo. Tiene demostradas las siguientes habilidades y capacidades: experiencia para la identificación de las anomalías, capaz de tomar acciones contra las anomalías, definir cuantitativamente el criterio técnico de lo condiciones normal y anormales y respetar las condiciones de operación del equipo.

2.3. Planeación y ejecución de la limpieza inicial

Dentro de la programación de producción, la gerencia y jefatura de producción realizó un paro planeado de la línea donde se presentaron las actividades que se llevaron a cabo durante el paro, por parte de un equipo multidisciplinario (operadores-mantenedores), asimismo, explicaron las mejoras que se conseguirán a corto plazo.

Los integrantes del equipo realizaron revisiones y observaciones, durante 120 minutos, del funcionamiento de la máquina, identificando las condiciones de limpieza del equipo y periféricos y los ruidos que se asocian a un determinado defecto. Teniendo en cuenta los problemas a eliminar se procedió a ejecutar la limpieza inicial, tabla 3.

Tabla 3. Mantenimiento Autónomo: registro de anomalías en la preparación de pasta en equipo DNT-100. Fuente: elaboración propia

N°	Descripción de anomalía	Causas	Problema ocasionado	Solución/Responsable	Color tarjeta de inspección TPM
01	Suciedad de pasta en ejes de rodillos	Acumulación por lavado de pasta	Fugas de pasta hacia las chumaceras	Limpieza de pasta en eje de rodillos / Operador	Azul
02	Ducha de Limpieza con taponamiento	Taponamiento en las boquillas	Daño por rotura en Tela de lavado	Limpieza de las boquillas / Operador	
03	Protector de eje fuera de posición	Abrazaderas dañadas	Contaminación de lubricante de eje	Colocar abrazaderas / Mecánico	
04	Tela de lavado con franjas de suciedad	Taponamiento en las boquillas	Daño por rotura en tela de lavado	Limpieza de las boquillas / Operador	Azul
05	Tela de lavado destensada y desalineada	Falta calibración de posicionamiento de rodillos	Daño por rotura en tela de lavado	Calibrar posicionamiento de rodillos / Mecánico	
06	Exceso de lubricación en chumacera rodillo ranurado	Falta limpieza grasa remanente	Contaminación/Aumento temperatura	Retiro de grasa excedente / Mecánico	
07	Exceso de lubricación en chumacera rodillo liso	Falta limpieza grasa remanente	Contaminación/Aumento temperatura	Retiro de grasa excedente / Mecánico	Roja
08	Líquido de aceite en reductor de tornillo sin fin	Daño de empaque	Reductor de tornillo sin fin se quedará sin aceite	Cambio de empaque/ Mecánico	
09	Ducha de limpieza sin lubricación en chumacera	Punto de lubricación no identificado	Ducha no oscila y no limpia la tela	Lubricación de chumacera / Eléctrico	
010	Sensor de ducha de limpieza no funciona	Calibración de sensor	Ducha no oscila y no limpia la tela	Calibrar sensor / Eléctrico	

Color tarjeta de inspección TPM:

- Amarilla: registra anomalías que representan condiciones inseguras que ponen en riesgo el bienestar del operador del equipo.
- Azul: registra todas las anomalías menores que no requieren conocimientos especializados para ser resueltos por el operador del equipo.
- Roja: registra todas las anomalías que requieren un conocimiento técnico especializado para ser resuelto por el especialista de mantenimiento.

2.4. Fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso

En esta etapa de la investigación se identificaron las fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso [11]. Se eliminaron las fuentes de contaminación, evitando regueros de líquidos o sólidos que contaminen los sistemas, mecanismos y productos. Los operadores y sus recursos se enfocaron en: determinar las fuentes de contaminación y las áreas de limpieza difíciles que posea el equipo, establecer contramedidas basadas en estándares de limpieza que garanticen a largo plazo la sostenibilidad del equipo, aprender sobre la seguridad, calidad y principios básicos de operación del equipo, tomando medidas correctivas contra las fuentes de contaminación y mejorar las áreas identificadas como fuentes de contaminación o áreas de difícil acceso para poder mantener la limpieza a largo plazo, figura 1.

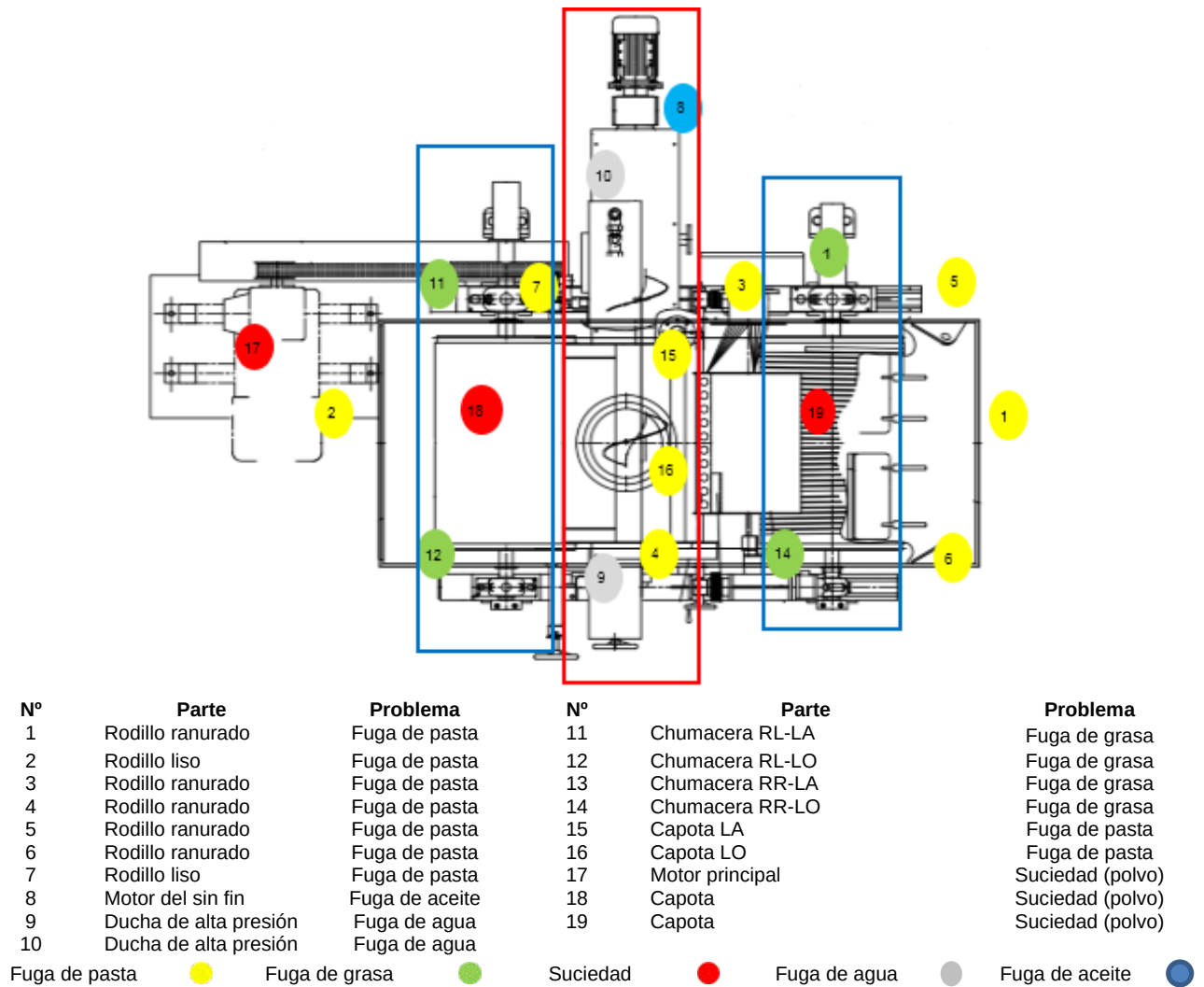


Fig. 1. Mapa de fuentes de contaminación. Fuente: elaboración propia

2.5. Elaboración de estándares tentativos de Mantenimiento Autónomo

En esta etapa se elaboraron los estándares de acción en la limpieza inicial: limpieza, inspección, lubricación y apriete en corto tiempo. Se confeccionó la matriz - CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication & Tightening*) [12] enfocada a las zonas donde se deben ejecutar las acciones por parte de los operadores de acuerdo con el cronograma de realización. Se lograron condiciones normales del equipo con el soporte de las propias habilidades, conocimiento y experiencia de los operadores teniendo claridad del estándar en: esclarecer puntos y métodos por respetar, habilidades y conocimientos para ejecutar las tareas, otorgar condiciones para cumplir con el estándar, [tabla 4](#), ver [Anexo 1](#)

2.6. Inspección general

Fue elaborada la Lista de Verificación para cumplir los estándares de CILT en los puntos requeridos por el equipo. Se desarrollaron a nivel técnico las habilidades de la operación en cuanto a la identificación de defectos menores y restauración mediante una inspección general que se realiza al equipo mediante la clasificación en secciones del equipo, fue detectado el deterioro y las anomalías en las secciones del equipo de manera temprana evitando que las anomalías menores se conviertan en averías significativas, tabla 5.

Tabla 5. Inspección general. Lista de Verificación. Fuente: elaboración propia

Mantenimiento autónomo. Lista de verificación		Responsable:
		Fecha:
		Validado por:
Nº	Lavador-Espesador DNT-100 Verificar el estado de los componentes	Sección
1	Rodillo liso	Rodillos ducha
2	Rodillo ranurado	
3	Estado del tornillo sinfín	
4	Ducha osciladora de alta	
5	Barra de escobillas de limpieza	
6	Universales, codos, te, pernos	
7	Lubricación de chumacera de rodillo liso	Rodamientos chumacera y rector
8	Lubricación de chumacera de rodillo ranurado	
9	Lubricación de chumacera de rodillo sinfín	
10	Chumacera de rodillo liso	
11	Chumacera de rodillo ranurado	
12	Chumacera de rodillo sinfín	
13	Graseros de chumacera	Bridas tuberías
14	Nivel de aceite reducto de tronillo sinfín	
15	Puertas de registro	
16	Sello de puerta de registro	
17	Sello de puerta grande de registro	
18	Sello de cámaras (actuadores neumáticos)	
19	Bridas de tuberías de fibra aceptada	Bridas tuberías
20	Bridas de tuberías de rechazo	
21	Bridas de tuberías de agua sucia	
22	Guardas de equipo	
Observaciones generales:		
O: estado bien		
X: se detectaron los graseros de las chumaceras (13) dañados por taponamiento, deben ser cambiados.		
XX: se detectó que las guardas del motor (22) se encontraban fuera de su posición.		

2.7. Autodiagnóstico

En esta etapa se combinaron las etapas 2.5 y la 2.6, con lo que se consiguió establecer (mediante la administración del trabajo y las tareas diarias utilizando el módulo de seguimiento del software corporativo *Essity Planner*) las rutinas necesarias del CILT- Preparación de pasta, que deben realizar los operadores en el equipo, y además se capitalizaron las habilidades y conocimientos sobre autodiagnóstico, tabla 6.

Tabla 6. Rutinas CILT- Preparación de pasta. Fuente: Essity Planner y elaboración propia

CILT-Preparación de pasta		
CILT_DNT		
Completada el 09/05/2025 por: José Cruz		
Amarilla X		
Depósito	Progreso	Prioridad
Pendiente	Completado	Importante
Fecha de inicio	Fecha de vencimiento	Repetir
09/05/2025	09/05/2025	No se repite
Notas		Mostrar en la tarjeta
Se realiza la limpieza del DNT, se revisa oscilación de ducha y se destapa boquillas. Hay 1 boquilla en ambas duchas que no se pudieron destapar, hay que hacer seguimiento si se cambian, los proveedores colocaron el tope del carril de la base donde se encuentra el polipasto. Se revisa la malla no presenta anomalías.		
Lista de comprobación 5/5		
- Realizar limpieza del equipo - Revisión de la oscilación de la ducha - Revisar lubricación de chumaceras - Estado de la malla - Estado de boquillas		

2.8. Estandarización

En esta etapa se definieron los estándares para la gerencia del mantenimiento del proceso, a saber: estándar de registro de datos, imágenes de los puntos críticos del equipo, actividad a realizar, método de aplicación, herramientas requeridas y frecuencias para que la ejecución de las actividades no tenga variaciones ni alteraciones, tabla 7. Se definieron 5 puntos de lubricación para Lavador-Espesador DNT-100 y 3 puntos para el Lavador-Espesador (DNT-100) y las indicaciones exigibles correspondientes.

Tabla 7. Ejemplo de algunos puntos de lubricación y sus indicaciones. Fuente: elaboración propia

Lavador-Espesador DNT-100			
Punto de lubricación 1		Punto de lubricación 2	
Área	Washing	Área	Washing
Subáreas	-	Subáreas	-
Frecuencia	Mensual	Frecuencia	Mensual
Stop/ run	Run	Stop/ run	Run
Tiempo requerido (min)	5	Tiempo requerido (min)	5
Lubricante	SKF LGMT2	Lubricante	SKF LGMT2
Cantidad (lts o gr)	56 gr	Cantidad (lts o gr)	20 gr
Herramienta	Lubricadora manual	Herramienta	Lubricadora manual
			

Lavador-Espesador (DNT-100) - PP8 LAV001			
Punto de lubricación 1		Punto de lubricación 2	
Área	Washing	Área	Washing
Subáreas	-	Subáreas	-
Frecuencia	Quincenal	Frecuencia	Quincenal
Stop/ run	Run	Stop/ run	Run
Tiempo requerido (min)	5	Tiempo requerido (min)	5
Lubricante	SKF LGMT2	Lubricante	SKF LGMT2
Cantidad (lts o gr)	5 gr	Cantidad (lts o gr)	5 gr
Herramienta	Lubricadora manual	Herramienta	Lubricadora manual
			

2.9. Gestión autónoma

Esta etapa decidió el espíritu de mejora continua aterrizando los frutos adquiridos por la colaboración, la creatividad, el compromiso, la proactividad y el trabajo en equipo. Asimismo, en esta etapa fue muy importante mantener el ciclo de los pasos anteriores: [2.4](#), [2.5](#), [2.6](#), [2.7](#) y [2.8](#).



Fig. 2. Ejemplo de solución de fuentes de contaminación. Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Gestión de tarjetas de anomalías. Registro de actividades de mantenimiento. Área: PP8 (Preparación de pasta en Máquina Papel 8). Equipo: Lavador-Espesador DNT-100. Fuente: elaboración propia

Nº	Anomalía	Tipo de tarjeta	Reportado por	Ejecuta la solución	Estado
1	Suciedad de pasta en ejes de rodillo	Azul-operación	Operador / Mecánico / Eléctrico / otros	Capital humano designado	Cumplido / en curso / pendiente
2	Ducha de limpieza con taponamiento	Azul-operación			
3	Protector de eje fuera de posición	Rojo-mantenimiento			
4	Tela de lavado con franjas de suciedad	Azul-operación			
5	Tela de lavado destensada y desalineada	Rojo-mantenimiento			
6	Exceso de lubricación en chumacera rodillo ranurado	Rojo-mantenimiento			
7	Exceso de lubricación en chumacera rodillo liso	Rojo-mantenimiento			
8	Fuga de aceite en reductor de tornillo sin fin	Rojo-mantenimiento			
9	Ducha de limpieza sin lubricación en chumacera	Rojo-mantenimiento			
10	Sensor de ducha de limpieza no funciona	Rojo-mantenimiento			
11	Cubierta se tambalea porque cuenta con un solo polipasto	Amarilla-seguridad			
12	Motor sin guarda de protección	Amarilla-seguridad			

Con la información de la [figura 1](#) y las tablas [4](#), [5](#), [6](#), [7](#) y [8](#) se puede conformar el denominado Tablero de Gestión de Mantenimiento Autónomo que resume el ciclo de las etapas anteriores, constituyendo una herramienta visual clave para el control diario, que permite a los operarios gestionar la limpieza, centraliza información clave para maximizar la eficiencia del equipo, y además, facilita el seguimiento de indicadores de Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Planificado, tarjetas de anomalías y el cumplimiento de metas de disponibilidad.

Durante la investigación, la práctica de las 5S de Kaizen [10] fue provechosa y de gran importancia para realizar una mejor gerencia de los procesos del equipo DNT-100 de la Máquina de Papel 8 de Tissue, gracias a la clasificación, orden y disciplina, aspectos tenidos en consideración en el CILT.

Asimismo, el Excel permitió tabular los valores porcentuales de los datos obtenidos, se obtuvieron tablas y gráficos que fueron analizados con el fin de obtener información real y de esta manera plantear una solución. El Método Cuantitativo se usó para la recopilación y análisis de la información.

El análisis y procesamiento de los datos abarcó distintos procedimientos utilizados para examinar la información recolectada, a través de los instrumentos de recopilación aplicados, a saber: bitácora de registro de actividades de turno del equipo de Mantenimiento, registro de tiempos paros del periodo, manuales de operación de la máquina de papel, árbol de pérdidas de manufactura de papel del periodo, CILT, diagrama de decisión de actividades de mantenimiento, y el registro de actividades Mantenimiento Autónomo.

3. Resultados y Discusión

La trazabilidad metodológica de la investigación se estructuró mediante una secuencia lógica compuesta por tres etapas fundamentales:

- Diagnóstico inicial: identificación de fallas recurrentes asociadas principalmente a rodamientos y deficiencias de limpieza.
- Intervención: implementación de herramientas TPM bajo el enfoque del pilar de Mantenimiento Autónomo.
- Evaluación de resultados: análisis comparativo de indicadores clave de desempeño operacional.

Herramientas TPM implementadas (Outputs)

Como parte de la implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo en el equipo DNT-100 de la Máquina de Papel 8, se desarrollaron cinco herramientas operativas fundamentales, concebidas como productos técnicos de apoyo a la gestión del mantenimiento y como base para la futura elaboración de un Tablero Gerencial de Mantenimiento Autónomo.

El mapa de fuentes de contaminación, [figura 1](#), permitió identificar zonas críticas y agentes contaminantes que debían ser eliminados o controlados. Esta herramienta facilitó la aplicación de acciones correctivas focalizadas, contribuyendo a mejorar las condiciones de operación y preservar la integridad funcional del activo.

Los estándares de acción, [tabla 4](#), establecieron procedimientos sistemáticos de limpieza, lubricación, inspección y apriete, orientados a prevenir la evolución de defectos menores hacia fallas funcionales de mayor impacto.

La lista de verificación, [tabla 5](#), definió los puntos críticos de inspección requeridos para el monitoreo de la condición operacional del equipo. Su aplicación contribuyó a reducir omisiones en tareas críticas, fortalecer la seguridad operacional y aumentar la confiabilidad del proceso.

El autodiagnóstico de tareas rutinarias, [tabla 6](#), permitió estructurar las actividades de limpieza, lubricación, inspección y apriete ejecutadas por los operadores. Esta herramienta favoreció la detección temprana de anomalías, redujo errores operacionales y mejoró la eficiencia en la ejecución de tareas repetitivas.

Finalmente, la identificación de los puntos de lubricación, [tabla 7](#), permitió definir con precisión el tipo de lubricante, frecuencia y cantidad requerida en componentes críticos, favoreciendo la reducción de fricción, desgaste y sobrecalentamiento, así como la mejora de la eficiencia energética del sistema.

Impacto en el desempeño operacional (*Outcomes*)

Se analizaron 11 fallas correspondientes a la condición previa (antes) a la intervención y 6 fallas posteriores (después) a la implementación del TPM, durante un período de observación de un año bajo condiciones operacionales similares, tabla 9. Este análisis permitió obtener evidencia cuantitativa del impacto de la metodología aplicada.

Tabla 9. Impacto después de la implementación. Base: 1 año. Fuente: elaboración propia

Indicador	Antes	Después	Variación	
			Absoluto (u)	Relativo (%)
Cantidad fallos, u	11	6	-5	-45,45
Tiempo total de paro, h	54,03	25,74	-28,29	-52,36
Disponibilidad Operativa, %	96,78	98,93	2,15	2,22
Mantenibilidad (antes 3 h), %	54,40	66,85	12,45	22,89
Confiabilidad (a 100 h), %	52,00	53,52	1,52	2,92
MTBF, h	152,91	158,47	5,56	3,64
MTTR, h	5,09	2,72	-2,37	-46,56

Los resultados obtenidos muestran una tendencia favorable en los indicadores de desempeño operacional del equipo DNT-100. La reducción del número de fallas y del tiempo total de paro evidencia una mejora en la estabilidad funcional del sistema intervenido.

Asimismo, la disminución del MTTR refleja una mayor capacidad de respuesta ante fallas, atribuible tanto a la estandarización de tareas de mantenimiento como a la detección temprana de anomalías por parte de los operadores.

La disponibilidad operativa presentó un incremento moderado de 2,22 %. Aunque el aumento porcentual puede considerarse limitado, debe señalarse que el valor inicial ya era elevado (96,78 %), lo que reducía el margen potencial de mejora. En procesos continuos como la producción de papel tissue, pequeñas variaciones en disponibilidad pueden traducirse en incrementos significativos de capacidad productiva y reducción de pérdidas operacionales.

La confiabilidad del equipo mostró igualmente una tendencia positiva, con un incremento de 2,92 %. De forma consistente, el MTBF aumentó en 5,56 h (3,64 %), indicando una menor frecuencia de ocurrencia de fallas durante el período evaluado.

Por otra parte, el MTTR experimentó una reducción de 46,56 %, evidenciando mejoras sustanciales en la capacidad de recuperación del sistema. El análisis causal de las fallas sugiere que la mejora en las prácticas de limpieza y lubricación, junto con la transferencia de conocimiento operacional y la estandarización de procedimientos, constituyeron factores determinantes en la reducción de los tiempos improductivos.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo tiene un impacto positivo sobre el desempeño operacional del equipo, particularmente en la reducción de fallas asociadas a deficiencias de limpieza, lubricación e inspección, identificadas como causas raíz durante el diagnóstico inicial.

Los hallazgos son consistentes con investigaciones previas relacionadas con la aplicación del TPM en entornos industriales [1-3], especialmente en lo referido a la reducción de averías, mejora de la eficiencia operativa y fortalecimiento de la participación del operador en actividades de mantenimiento básico.

No obstante, el estudio presenta limitaciones asociadas a la evaluación de un único equipo y a un período de observación relativamente corto, lo cual restringe la generalización de los resultados. Adicionalmente, la ausencia de un grupo de control limita la atribución absoluta de causalidad. En consecuencia, futuras investigaciones deberían ampliar la aplicación del modelo a diferentes equipos y contextos operacionales con el propósito de validar la reproducibilidad de los resultados.

A pesar de estas limitaciones, el estudio aporta una referencia metodológica aplicable a equipos industriales con características operacionales similares, especialmente en industrias de procesos continuos.

Asimismo, se evidencia que la participación activa de los operadores en actividades de mantenimiento contribuye significativamente a la detección temprana de anomalías, reduciendo la probabilidad de fallas críticas y fortaleciendo la eficiencia global del proceso productivo.

Aunque las mejoras propuestas se fundamentan principalmente en herramientas de gestión visual y estandarización operativa, la utilización de tarjetas digitales dentro de la plataforma empleada constituye un primer paso hacia los principios de TPM 4.0. La digitalización de las actividades de inspección, reporte y seguimiento facilita la disponibilidad inmediata de la información, mejora la trazabilidad de las intervenciones y favorece una gestión más ágil de las acciones correctivas. Asimismo, los puntos críticos identificados durante el diagnóstico, como las chumaceras con fugas de grasa o los componentes sometidos a mayores exigencias operacionales, podrían ser objeto de una futura estrategia de monitorización basada en sensores de temperatura, vibración o condición de lubricación. La integración de estos datos en la plataforma digital permitiría evolucionar desde un enfoque predominantemente preventivo hacia esquemas de mantenimiento predictivo, fortaleciendo la toma de decisiones en tiempo real y la integración entre las funciones de mantenimiento y producción.

Esta evolución tecnológica representa una línea de trabajo futura que permitiría ampliar el alcance de las mejoras propuestas y avanzar progresivamente hacia un modelo de gestión alineado con los principios de la Industria 4.0.

4. Conclusiones

La implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo del TPM contribuyó favorablemente al mejoramiento del desempeño operacional del equipo DNT-100, evidenciado mediante incrementos en los indicadores de disponibilidad operativa, confiabilidad, mantenibilidad y MTBF, así como una reducción significativa del MTTR y de la frecuencia de fallas. Los resultados obtenidos indican que la metodología TPM constituye una herramienta efectiva para fortalecer la eficiencia operativa y la estabilidad funcional de equipos industriales con características similares a las del caso estudiado.

Sin embargo, debido a que el estudio se desarrolló en un contexto operacional específico y sobre un único equipo, la generalización de los resultados requiere validación adicional mediante aplicaciones en otros entornos industriales y períodos de evaluación más extensos.

Referencias

1. Obeso A, Alexandra P, Sarmiento Y, Jaime J, Huallpachoque C, Roberto C. Implementación del Mantenimiento Productivo Total en la mejora de la productividad y mantenibilidad del proceso de harina de pescado. *INGnosis Revista de Investigación Científica*. 2020;5(2):126-138.
2. Shannon N, Trubetskaya A, Iqbal J, McDermott O. A total productive maintenance & reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for Lean Six Sigma. *Heliyon*. 2023;9(10):e20516. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>
3. Mouhib Z, Gallab M, Merzouk S, Soulhi A, Di Nardo M. Total Productive Maintenance and Industry 4.0: A Literature-Based Path Toward a Proposed Standardized Framework. *Applied System Innovation*. 2025;8(4),98. <https://doi.org/10.3390/asi8040098>
4. Solís Meza M, Torres R. Contribuciones del TPM en la mejora de la gestión del mantenimiento. *Revista Científica INGENIAR Ingeniería Tecnología e Investigación*. Edición especial diciembre. 2021;4(8):58-78. Doi: 10.46296/ig.v4i8edespdic.0051
5. Maciel Filho AD, da Silva JG, Lima MSO. Impact of Autonomous Maintenance on a PIM Production Line. *International Journal for Innovation Education and Research*. 2019;7(12)25. 385-398. <https://doi.org/10.31686/ijer.Vol7.Iss12.2084>
6. Karim MR. Optimizing maintenance strategies in smart manufacturing: A systematic review of lean practices, total productive maintenance (TPM), and digital reliability. *Review of Applied Science and Technology*. 2025;4(2),176-206. <https://doi.org/10.63125/np7nnf78>
7. Canahua N. Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial Data*. 2021;24(1):49-76. <https://doi.org/10.15381/ldata.v24i1.18402>
8. Chávez LF, De La Rosa, SE, Manjarres JC, Valbuena SG, Becerra Torres M. Diagrama de Pareto. Perspectiva de la Asignatura de Control de la Calidad. *Boletín De Innovación, Logística y Operaciones*. 2024;6(1),51-56. <https://doi.org/10.17981/bilo.6.1.2024.07>
9. Mohammad Hani Al Rifai. Unlocking insights: evaluating 5Whys methodology for root cause analysis and employee problem-solving skills in 91 case studies. *International Journal of Lean Six Sigma*. 2025;16(5):1276-1304. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2024-0077>
10. Chara Pin NE, Moncayo Vives GA, Chara Pin YV. Aplicación de la filosofía Kaizen a la administración de microemprendimientos. *Ciencias Económicas y Empresariales*. 2022;8(2),420-434. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2653>
11. Gotoh F, Tajiri M. *Autonomous Maintenance in Seven Steps*. New York, USA: Taylor & Francis eBook; 2020. <https://doi.org/10.4324/9781315137971>
12. Sheryar K, Shakeel A, Miskeen A, Rano K. Impact of Cleaning Inspecting Lubrication & Tightening (CILT) on Overall Equipment Effectiveness for Sustainable Production. *Journal of Sustainable Environment*. 2023;2(1):29-37. <https://doi.org/10.58921/jse.02.01.045>

Anexo 1

Tabla 4. Estándar CILT. Fuente: elaboración propia

	CILT #: 1	Equipo Lavador-Espesador	Versión 1.0	Estándar tentativo CILT
Mantenimiento autónomo	Equipo Máquina de papel	Sistema Lavado	Componente Rodillera, bandejas, sistema duchas, malla	
	Descripción	Frecuencia	Herramienta	Estado máquina
	limpiar la rodillera, bandeja, <i>doctors</i> , capota	Cada 4 días	Manguera con agua, lubricadora	Apagada
¿Cómo se hace? 1. Ejecutar la reunión de apertura del CILT con el equipo completo, parte 1. Verificar el correcto operativo, parte técnica y jefe del equipo. 2. Definir las actividades a ejecutar durante el CILT 3. Realizar el proceso de bloqueo y etiquetado. 3. Realizar el proceso de etiquetado, figura 4. Levantar la capota del DNT, proceder a manguerear todo el interior del DNT, <i>headbox</i> , rodillos, duchas, y bandeja, continuar con la parte exterior. Revisar las condiciones de la malla, que no presente rasgaduras, revisar el traslape de la ducha de alta presión, verificar el flujo de agua de la ducha para observar que no haya taponamiento en las boquillas.			Precauciones 1. Verificar el correcto proceso de bloqueo del equipo, que todos los involucrados coloquen sus respectivos candados de seguridad. 2. Que todos los candados cuenten con nombre del responsable.	
Componente 1. Rodillo liso, rodillo ranurado. 2. Duchas de agua, ducha de baja presión, ducha osciladora de alta presión. 3. Sistema de transmisión. 4. Chumaceras. 5. Capota del DNT. 6. <i>Headbox</i> . 7. Malla.			Puntos de inspección particulares 1. Diafragmas del doctor, que no presenten fugas. 2. Verificar que no hallan fugas de pasta. 3. Verificar ángulo de las duchas, ducha de alta debe estar en un ángulo de 90°. 4. Traslape de la ducha osciladora. 5. Sensores de ducha osciladora condiciones básicas. 6. Última fecha de lubricación. 7. Condiciones de la malla. 8. Fecha de último tensionamiento de la malla.	
Nota: 1. Se debe realizar la reunión de cierre del CILT para comentar todas las anomalías que se pudieron encontrar durante la ejecución de esta actividad. 2. Luego se debe llenar el archivo de reporte de CILT y adjuntar las evidencias en el <i>Planner</i> , para dar por validado el cumplimiento del CILT establecido.			Duración estimada: 120 min	Responsable: • Operador • Ayudante, • Técnico eléctrico, • Técnico mecánico, • Jefe del equipo
			Fecha: 15-10-2024	

Información adicional

Editores. Alberto Julio Rodríguez Piñeiro, Vladimir Tomás González Fernández. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

Conflicto de intereses. Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Información sobre la revisión por pares. Este artículo ha sido evaluado mediante revisión por pares abierta.

Ingeniería Mecánica agradece a los árbitros: Roberto Pérez Rodríguez, Universidad de Holguín, Cuba; Alexander Alfonso Álvarez, Universidad de La Serena, Chile; Ángel Rodríguez Soto, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile y Evelio Palomino Marín, Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba; por su contribución a la evaluación de este trabajo.

Disponibilidad de datos. Todos los datos relevantes están incluidos en el artículo.

Contribución de los autores

Roger Andrés López Conza.

Participó en el diseño de la investigación y en la revisión bibliográfica, diseño teórico y de investigación, en la recolección y el procesamiento de los datos usados para el estudio. Realizó contribuciones en los cálculos, el análisis e interpretación de los datos y en el análisis de los resultados, participó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del informe final.

Ángel Rafael Arteaga Linzán.

Participó en la organización y ordenamiento, contribuyó con criterios, análisis y valoraciones para su mejora, trabajó en la recopilación de datos e informaciones, en el diseño teórico y de investigación, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

José Gregorio Zevallos Cobena.

Trabajó en la búsqueda y recopilación de información, para contribuir en la conformación y actualización de las referencias bibliográficas usadas en la investigación, en la organización y ordenamiento, contribuyó con criterios, análisis y valoraciones, en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Pedro Antonio Rodríguez Ramos.

Realizó contribuciones en los cálculos, contribuyó con criterios, análisis y valoraciones, participó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Jorge Milton Velepucha Sánchez.

Trabajó en la búsqueda y recopilación de información, contribuyó con criterios, análisis y valoraciones, participó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Armando Díaz Concepción.

Trabajó en la búsqueda y recopilación de información, contribuyó con criterios, análisis y valoraciones, participó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.