

Evaluation of equipment before and after implementation of Total Productive Maintenance: case study of the Cantol company, Peru

Jhon Enrique Chumpe Ricra¹; Ruth Milagros De la Cruz Auqui¹; Alberto André Reyna Alcántara¹; Flor de María Jiménez Troncos¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Lima, U19202220@utp.edu.pe, U20306063@utp.edu.pe, C27117@utp.edu.pe, C23399@utp.edu.pe

Abstract– The purpose of this article was to evaluate equipment availability before and after the implementation of Total Productive Maintenance (TPM) at Cantol. The identified problem was low equipment availability, caused by mechanical and electronic failures and prolonged setup times, resulting in significant operational downtime losses. Historical availability records from the pre- and post-TPM implementation phases were used for the analysis, considering the company's implemented pillars, such as preventive maintenance, autonomous maintenance, and staff training. During the pre-implementation phase, average equipment availability was 55% for the transfer machine, 55% for the pear set assembly machine, and 53% for the vibratory machine. In the post-implementation phase, these values increased to 70%, 75%, and 68%, respectively. This increase demonstrates the effectiveness of TPM by significantly contributing to the reduction of unplanned downtime and the optimization of operating time, reaffirming its viability and applicability in a peruvian metalworking company.

Keywords-- Total Productive Maintenance, Preventive Maintenance, Autonomous Maintenance, Employee Training, Availability.

Evaluación de los equipos pre y post implementación del Mantenimiento Productivo Total: caso de estudio empresa Cantol, Perú

Jhon Enrique Chumpe Ricra¹; Ruth Milagros De la Cruz Auqui¹; Alberto André Reyna Alcántara¹; Flor de María Jiménez Troncos¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Lima, U19202220@utp.edu.pe, U20306063@utp.edu.pe, C27117@utp.edu.pe, C23399@utp.edu.pe

Resumen— El presente artículo tuvo como propósito evaluar la disponibilidad de los equipos pre y post implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la empresa Cantol. El problema identificado estuvo asociado a la baja disponibilidad de los equipos, originada por fallas mecánicas, electrónicas y tiempos de preparación prolongados, que generaban pérdidas significativas de tiempo operativo. Para el análisis se utilizaron los registros históricos de disponibilidad correspondientes a las etapas previa y posterior a la aplicación del TPM, considerando los pilares implementados por la empresa, como el mantenimiento preventivo, el mantenimiento autónomo y la capacitación del personal. Durante la etapa pre implementación, la disponibilidad promedio de los equipos fue de 55% en la máquina transfer, 55% en la ensambladora de set de pera y 53% en la vibradora, mientras que en la etapa post implementación estos valores se incrementaron a 70%, 75% y 68%, respectivamente. Este incremento evidencia la efectividad del TPM al contribuir significativamente en la reducción de paradas no planificadas y en la optimización del tiempo operativo, reafirmando su viabilidad y aplicabilidad en una empresa metalmeccánica peruana.

Palabras clave—Mantenimiento Productivo Total, mantenimiento preventivo, mantenimiento autónomo, capacitación, disponibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto industrial, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una estrategia clave para optimizar la disponibilidad, eficiencia de equipos, reducir desperdicios, costos, mejorar la productividad y calidad [1]. En el Perú, las industrias enfrentan problemas como baja disponibilidad de equipos, paradas no programadas y poca participación del personal en mantenimiento, lo que limita la competitividad [2].

En Cantol S.A.C., el área de ensamble de tambores sufre retrasos por desabastecimiento de componentes, debido a fallas técnicas y desfases en tres máquinas claves como: Ensambladora de set pera, transfer y vibradora. Esto genera frecuentes paradas, aumentando tiempos de entrega y costos por horas extras. Entre enero y junio del 2025, se acumularon 174 horas de para (15 en enero, 20 en febrero, 38 en marzo, 45 en abril, 41 en mayo y 15 en junio), resultando en 3132 horas-hombre no laboradas para 18 operarios en un turno de 7 horas. Esto reduce la productividad, eleva costos operativos y provoca incumplimiento de metas.

Las causas incluyen paradas de máquinas y bajo rendimiento operativo, confirmando la baja disponibilidad de equipos en la alimentación de piezas. De esta manera se enuncia

el problema general: ¿cuál es la disponibilidad de los equipos pre y post implementación del Mantenimiento Productivo Total en la empresa Cantol, 2025?

El objetivo general del estudio es evaluar la disponibilidad de los equipos pre y post implementación del mantenimiento productivo total en la empresa Cantol, 2025.

El TPM surge como solución, optimizando el OEE (disponibilidad, rendimiento, calidad) mediante mantenimiento preventivo, mantenimiento autónomo y participación del personal. [3] destacan que el TPM mejora la eficiencia al fomentar habilidades, trabajo colaborativo y diagnósticos precisos, minimizando desperdicios. [4] enfatizan que su implementación requiere liderazgo comprometido y un sistema continuo para sostener mejoras y evitar retrocesos. Aplicar TPM en Cantol S.A.C. reducirá paradas no planificadas, mejorará el flujo productivo y fortalecerá la competitividad en el sector metalmeccánico peruano, apoyándose en los pilares del TPM para lograr un impacto duradero.

La presente investigación se realiza en la empresa Cantol S.A.C., evaluando la disponibilidad de los equipos pre y post implementación del TPM, el estudio se centra en tres pilares fundamentales: Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Preventivo y Capacitación, seleccionados por su pertinencia frente a las principales causas de pérdida de tiempo operativo (fallas mecánicas, electrónicas y tiempos de setup). El alcance temporal comprende el año 2025, periodo en el cual se evaluaron las acciones de mejora. Asimismo, el estudio se orienta a evaluar el efecto del TPM sobre la disponibilidad de los equipos. Sin embargo, enfrenta limitaciones como registros históricos incompletos, recursos técnicos y humanos escasos, posible resistencia del personal al cambio, tiempo limitado para medir mejoras a largo plazo y factores externos que podrían afectar el funcionamiento de los equipos.

II. ESTADO DEL ARTE

En la industria siderúrgica una planta productora de acero tuvo como objetivo principal reducir los tiempos de inactividad del laminador y mejorar la disponibilidad de los equipos mediante la aplicación de metodologías de mejora continua. Para ello, se implementaron herramientas como el cambio

rápido de matriz (SMED) y el TPM, alcanzándose una mejora del 11,37 % en la disponibilidad del laminador, un incremento del 5 % en la productividad y una optimización del OEE en 30,30 %, al pasar de 56,42 % a 73,52 %. Estos logros se atribuyen a la disminución de tiempos de cambio de sección y a la reducción de averías, lo que confirma el efecto positivo del TPM en escenarios de alta exigencia operativa según la investigación realizada en la OP Jindal Global University ubicada en India [5].

Del mismo modo, en una pequeña y mediana empresa (SME) se evidenció que una gestión deficiente del mantenimiento ocasionó baja motivación laboral, productos defectuosos y paradas no planificadas, alcanzando un OEE promedio de 49,44 %, muy por debajo de los estándares internacionales. Para revertir esta situación se implementó el enfoque TPM, identificando como principales pérdidas las paradas no planificadas (19,61 %) y las micro paradas (16,21 %). La aplicación del modelo permitió reducir estas deficiencias y mejorar de manera significativa la efectividad global del equipo [6].

Asimismo, un estudio aplicado en una empresa textil peruana con más de 30 años en el mercado evidenció una baja efectividad global de los equipos, lo que motivó la implementación de un modelo de gestión basado en TPM y Six Sigma. En una muestra de 28 máquinas de tejeduría, se aplicaron herramientas como FMEA, Pareto, 5S y planes de control, logrando una mejora del 9,09 % en el OEE, con incrementos de 5,18 % en disponibilidad, 4,23 % en rendimiento y 1,6 % en calidad. Estos resultados confirman la eficacia del enfoque combinado TPM–Six Sigma en el sector textil [7].

Por último, en el sector calzado del Perú, caracterizado por su relevancia en el PIB, pero con bajos niveles de eficiencia (46%), una investigación aplicó Lean Manufacturing integrado con 5S, estandarización del trabajo, Kanban y TPM en una microempresa de Lima. Validado con Arena Simulation, el modelo logró aumentar la eficiencia del 55 % al 87 %, reducir los tiempos de ciclo en 68 % y elevar el cumplimiento de entregas del 65 % al 98 %, demostrando el impacto positivo de estas metodologías en la productividad del sector [8].

Otra investigación enfocada en la producción de tubos electrosoldados demostró que la aplicación del mantenimiento autónomo, apoyado en la metodología 5S y un plan integral de mantenimiento, permitió que los operarios asumieran tareas básicas de cuidado de equipos, reduciendo la dependencia del personal técnico. Gracias a esta estrategia, la productividad de la planta aumentó de 77 % a 152 % y el OEE de 37,43 % a 82,74 %, confirmando la eficacia del mantenimiento autónomo para optimizar procesos y fomentar la participación operativa [9].

Por otro lado, diversos estudios evidencian que la implementación conjunta de TPM y Lean Manufacturing es altamente beneficiosa para pymes del sector metalmecánico, ya que mejora la planificación de la producción y reduce defectos, elevando así la calidad y eficiencia con una inversión moderada. Un caso destacado es Frecep S.A.C., donde la aplicación de TPM permitió incrementar el OEE de 32,86 % a 85,58 %, al vincular el cumplimiento de los mantenimientos preventivos con una mejor planificación de la producción futura confirmando la efectividad de estas metodologías en entornos industriales de pequeña y mediana escala [10].

El TPM integra el mantenimiento en todo el ciclo de vida de las maquinarias, buscando no solo conservar los equipos, sino optimizar su gestión. Además, se articula con metodologías como Justo a Tiempo, 5S y Análisis de Criticidad [11]. Asimismo, El TPM integra diversos pilares orientados a optimizar la eficiencia y confiabilidad de los equipos. Entre ellos, el mantenimiento autónomo promueve que los operarios asuman tareas básicas de conservación; el mantenimiento preventivo previene fallas mediante acciones preventivas y predictivas; y las áreas administrativas aportan soporte estratégico para la eficiencia de procesos. Asimismo, la capacitación fortalece las competencias del personal, mientras que las mejoras focalizadas y la gestión temprana de equipos impulsan la eliminación de pérdidas y la reducción de costos desde el diseño. El mantenimiento de calidad asegura el cumplimiento de estándares del producto, y la gestión de seguridad, higiene y medio ambiente previene riesgos laborales y ambientales, consolidando al TPM como una estrategia integral de mejora continua [11].

Por otro lado, la disponibilidad se obtiene a partir de la relación entre el tiempo de operación real y el tiempo de carga. El tiempo de carga, también denominado tiempo disponible, corresponde al total destinado a la producción menos las paradas planificadas, como el mantenimiento preventivo o reuniones programadas según el plan de producción. Por su parte, el tiempo de operación real resulta de descontar al tiempo de carga todas las paradas no planificadas ocasionadas por fallas de equipos, cambios de herramientas o ajustes técnicos imprevistos [12].

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo planificado}} \times 100$$

III. METODOLOGÍA

La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, dado que busca medir y analizar la disponibilidad de los equipos mediante indicadores estadísticos pre y post implementación del TPM. El diseño adoptado es no experimental longitudinal, pues se recolectan datos en distintos periodos para observar la evolución de las variables y determinar el impacto de las

mejoras. Asimismo, se clasifica como aplicada, ya que se orienta a resolver un problema concreto en la empresa Cantol S.A.C., generando beneficios operativos directos [13]. Finalmente, cabe resaltar que en el presente estudio no se interviene ni manipula variable alguna, limitándose los autores a la recolección y análisis de datos mediante el uso de promedios y porcentajes para comparar la disponibilidad de los equipos antes y después de la implementación del TPM.

La población considerada corresponde a diez máquinas de una empresa metalmecánica ubicada en el distrito de Ate, Lima. De este conjunto, se seleccionó una muestra no probabilística por conveniencia, integrada por tres máquinas críticas (transfer, ensambladora de set de pera y vibradora). La evaluación de las máquinas se realizó mediante un análisis de matriz de criticidad, la cual permitió identificar aquellas que presentan mayor impacto en la productividad y el cumplimiento de la línea de tambores. La cual se muestra en la tabla I.

TABLA I
ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

Equipos	Criticidad total	Nivel de criticidad
Ensambladora de set de pera	33	Alta
Transfer	32	Alta
Vibradora	30	Alta
Cifradora	26	Media
Brochadora	24	Media
Troquel	18	Baja
Forja	18	Baja
Ranuradora	17	Baja
Prensa 02	16	Baja
Prensa 01	16	Baja

La recolección de datos se efectuó mediante el sistema digital App OEE, el cual centraliza en la nube la información ingresada por los operarios sobre tiempos planificados, tiempos operativos y paradas no programadas, asegurando precisión y disponibilidad inmediata. Dichos registros cuentan con respaldo institucional y forman parte de la gestión operativa de la empresa, garantizando su confiabilidad.

IV. RESULTADOS

A. Situación inicial

Antes de la implementación del TPM, las tres máquinas críticas (transfer, ensambladora de set de pera y vibradora) presentaban una disponibilidad inferior al 85% establecido por el área de Planificación y Control de Producción, debido a interrupciones recurrentes y ausencia de estandarización en los procesos.

Con la finalidad de evaluar la situación inicial de los equipos, se realizó un análisis del tiempo planificado, tiempo operativo, horas de paradas no planificadas y la disponibilidad previa a la implementación del TPM. Para obtener una visión representativa del comportamiento, se evaluó la data disponible de los equipos entre los meses de abril a junio del 2025, lo que permite establecer una línea base que evidencia las principales limitaciones del sistema productivo en esta etapa.

TABLA II
DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PRE-IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

Equipos	Meses	Tiempo planificado (h)	Tiempo operativo (h)	Tiempo de paradas no planificadas (h)	Disponibilidad
Transfer	Abril	252,1	139,3	112,8	55%
	Mayo	286,6	167,4	119,2	58%
	Junio	344,8	183,5	161,3	53%
Ensambladora de set de pera	Abril	324,4	172,1	152,3	53%
	Mayo	442,5	250,1	192,4	57%
	Junio	341,8	192,6	149,2	56%
Vibradora	Abril	161,8	80,6	81,2	50%
	Mayo	149,6	78,8	70,8	53%
	Junio	168,3	95,9	72,4	57%

Como se observa, en la etapa pre-implementación se aprecia que los equipos presentan altas horas de paradas no planificadas, lo cual impacta directamente en la eficiencia y disponibilidad general. En el caso del equipo transfer, las paradas alcanzan 112,8 h en abril, 119,2 h en mayo y 161,3 h en junio, con una disponibilidad promedio del 55%. Por su parte, la ensambladora de set de pera registra los mayores tiempos de inactividad, llegando a 152,3 h en abril, 192,4 h en mayo y 149,3 h en junio, evidenciando una disponibilidad promedio del 55%. Finalmente, la vibradora también refleja un comportamiento crítico, con 81,2 h en abril, 70,8 h en mayo y 72,4 h en junio, manteniendo una disponibilidad entre 50% y 57%.

Para profundizar en el análisis de los problemas que afectan la disponibilidad de los equipos, se empleó el diagrama de Ishikawa. Esta herramienta permitió clasificar y analizar los factores que contribuyen a la baja disponibilidad, agrupándolos en categorías como mano de obra, métodos, máquinas, materiales, medio ambiente y medición. De esta manera, fue posible comprender de forma estructurada los orígenes de las paradas no planificadas y establecer una base para priorizar las acciones correctivas dentro del marco del TPM.

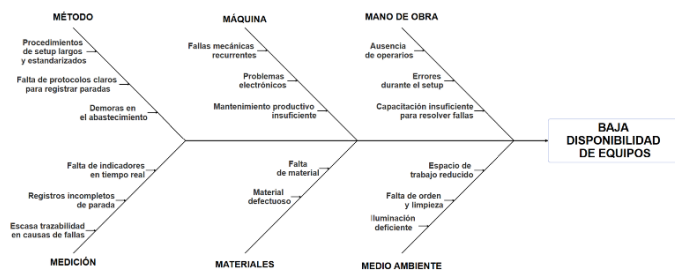


Fig.1 Ishikawa principales problemas de los equipos

El registro de fallas detectadas en los equipos permitió construir una tabla en la que se resumen los principales problemas junto con su peso porcentual. Esta información es fundamental, ya que refleja de manera cuantitativa la frecuencia de las incidencias y servirá como insumo para el análisis de priorización mediante el diagrama de Pareto.

TABLA III
PRINCIPALES PROBLEMAS DE LOS EQUIPOS

Descripción de problemas	Horas relativas	Horas absolutas	Porcentaje relativo	Porcentaje absoluto
Falla mecánica	406,2	406,2	36,53%	36,53%
Setup	268,5	674,7	24,16%	60,70%
Falla electrónica	176,9	851,6	15,91%	76,61%
Ausencia de personal	162,6	1014,2	14,62%	91,23%
Falta de material	65,9	1080,1	5,93%	97,16%
Material defectuoso	17,8	1097,9	1,62%	98,78%
Sin registro	13,7	1111,6	1,23%	100,00%

A partir de la información presentada en la tabla de los principales problemas, se procedió a aplicar el diagrama de Pareto con el propósito de identificar y priorizar aquellas incidencias que generan mayor impacto en la disponibilidad de los equipos. Este enfoque permite evidenciar de manera gráfica cuáles son las principales causas que concentran el mayor porcentaje de pérdidas, facilitando la focalización de esfuerzos en las áreas críticas y asegurando una estrategia de mejora más efectiva.

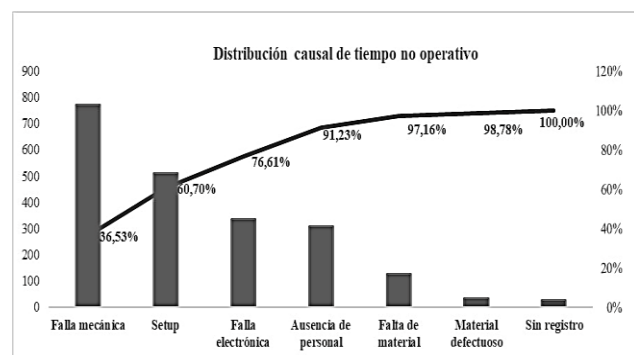


Fig. 2 Diagrama de Pareto de los principales problemas de los equipos

El análisis del diagrama de Pareto de las causas de tiempo no operativo revela que tres factores principales concentran la mayor parte de las pérdidas. La falla mecánica representa el 36,53% del total, seguida por los tiempos de setup con 24,16% y las fallas electrónicas con 15,91%. En conjunto, estas tres causas acumulan aproximadamente el 77% del tiempo improductivo, lo que confirma el principio de Pareto, en el cual un número reducido de problemas genera la mayor proporción de los efectos. Por otro lado, causas como la ausencia de personal (14,63%) y la falta de material (5,93%) tienen un impacto menor, mientras que material defectuoso y fallas no registradas representan incidencias marginales con apenas un 1–2% del total. Este resultado evidencia que los esfuerzos de mejora deben concentrarse principalmente en la reducción de fallas mecánicas, la optimización de los tiempos de setup y la atención a fallas electrónicas, dado que estas son las áreas críticas que determinan la mayor parte de la indisponibilidad de los equipos.

Los resultados del Pareto permiten enfocar las acciones de mejora en las causas críticas que generan la mayor pérdida de disponibilidad. De esta manera, la implementación del TPM se orienta a reducir fallas mecánicas, optimizar los tiempos de setup y minimizar problemas electrónicos, garantizando un impacto significativo en la eficiencia del sistema productivo.

B. Pilares del Mantenimiento Productivo Total

En esta investigación se priorizó el análisis de los tres pilares del TPM, mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y capacitación, implementados en Cantol S.A.C., por su pertinencia para enfrentar las principales causas de la baja disponibilidad: fallas mecánicas (36,53%), setup (24,16%) y fallas electrónicas (15,91%). La elección responde a su efectividad práctica frente a recursos limitados y resistencia al cambio en una pyme metalmecánica, dejando otros pilares para etapas futuras, sin comprometer el impacto en la mejora de la disponibilidad de los equipos.

Con base en lo expuesto, se evaluarán los resultados de la implementación de los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y capacitación del personal en las máquinas críticas que abastecen al área de ensamblaje de tambores.

A continuación, se describen los planes desarrollados dentro de cada uno de estos pilares, los cuales fueron aplicados con el propósito de mitigar las fallas más recurrentes identificadas en el diagnóstico previo y priorizadas mediante el diagrama de Pareto.

El mantenimiento preventivo, como parte de la estrategia implementada, se aplicó en las máquinas críticas con el objetivo de anticipar fallas recurrentes que generaban paradas significativas. Se establecieron rutinas semanales y quincenales

de inspección y ajuste, como la alineación periódica de husillos en la máquina transfer, la verificación de engranajes de transmisión y avance, y la revisión de sensores de cifrado en la ensambladora de set de pera. Asimismo, en la vibradora se priorizó la inspección de drenajes y conductos de salida para evitar acumulación de residuos. Estas actividades, acompañadas del reemplazo de piezas desgastadas y la limpieza de componentes, redujeron la ocurrencia de fallas mecánicas y electrónicas, asegurando un mejor desempeño operativo de los equipos.

El mantenimiento autónomo se enfocó en la participación activa de los operarios en las tareas de conservación básica de los equipos, garantizando así su cuidado diario y la detección temprana de anomalías. En la máquina transfer se estableció la limpieza rutinaria de guías lineales y mesas de trabajo para retirar virutas metálicas, junto con la lubricación diaria de rodamientos y engranajes visibles según las recomendaciones del fabricante. En la ensambladora de set de pera los operarios efectuaban la limpieza de sensores y zona de cifrado con aire comprimido, además de revisar visualmente la tolva y las mangueras para prevenir atascos o piezas mal posicionadas.

Finalmente, en la vibradora se implementó el retiro diario de residuos abrasivos del recipiente y bordes, así como la inspección del motor vibrador para identificar ruidos, temperatura o vibraciones anómalas que pudieran anticipar desgastes. Estas acciones fortalecieron el sentido de corresponsabilidad del personal con el estado de las máquinas y contribuyeron a la reducción de fallas recurrentes.

Por último, el pilar de capacitación tuvo como objetivo fortalecer las competencias del personal operativo a través de sesiones teórico-prácticas que combinaron fundamentos técnicos, seguridad y procedimientos básicos de mantenimiento. Estas capacitaciones, con una duración de dos horas y refuerzo mensual, permitieron a los operarios desarrollar habilidades en limpieza, inspección, lubricación y detección temprana de fallas, fomentando una mayor autonomía y responsabilidad en el cuidado de los equipos. Al mismo tiempo, contribuyeron a consolidar una cultura preventiva orientada a la mejora continua y a la sostenibilidad de los resultados obtenidos con la implementación del TPM.

C. Resultados post implementación del TPM

Se evaluó la etapa de post implementación correspondiente a los meses de julio, agosto y septiembre del 2025, en la cual se analizaron los resultados obtenidos tras la ejecución de las acciones del TPM en las máquinas críticas del proceso. Esta fase permitió comparar el desempeño operativo respecto a la etapa previa, evidenciando el impacto alcanzado por la consolidación de rutinas de mantenimiento preventivo, autónomo y programas de capacitación, orientados a la

reducción de paradas no planificadas y a la mejora de la disponibilidad operativa.

TABLA IV
DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN LA ETAPA POST
IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

Equipos	Meses	Tiempo planificado (h)	Tiempo operativo (h)	Tiempo de paradas no planificadas (h)	Disponibilidad
Transfer	Jul	309,6	191,3	118,3	62%
	Ago	309,6	198,4	111,2	64%
	Sep	309,6	255,6	54,0	83%
Ensambladora de set de pera	Jul	464,4	319,1	145,3	69%
	Ago	464,4	323,2	141,2	70%
	Sep	464,4	428,0	62,0	87%
Vibradora	Jul	154,8	94,6	60,2	61%
	Ago	154,8	96,6	58,2	62%
	Sep	154,8	124,8	30,0	81%

Se observa una reducción significativa en las horas de parada no planificada, pasando de un total de 1 111,6 horas en la etapa inicial a 780,4 horas en la etapa posterior, lo que representa una disminución del 29,8 %. Este resultado refleja una mejora sostenida en la disponibilidad operativa, especialmente notoria en el equipo Transfer, que incrementó su disponibilidad del 53–58 % (pre) a valores entre 62 % y 83 % (post).

Asimismo, los equipos Ensambladora de set de pera y Vibradora también muestran un comportamiento favorable, alcanzando disponibilidades de hasta 87 % y 81 % respectivamente, evidenciando una optimización de los tiempos productivos y una mayor estabilidad operativa tras la implementación de las acciones correctivas.

D. Análisis comparativo

Con el fin de visualizar de manera integral la evolución de los indicadores de la disponibilidad, se elaboró un cuadro comparativo que resume los resultados obtenidos en las etapas de pre-implementación y post implementación, permitiendo contrastar los avances en la disponibilidad de los equipos críticos y cuantificar el impacto de las acciones aplicadas.

TABLA V
RESUMEN DE LA DISPONIBILIDAD EN LAS ETAPAS PRE Y POST IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

Equipos	Meses	Disponibilidad Pre-implementación	Media	Meses	Disponibilidad Post implementación	Media
Transfer	Abr	55%		Jul	62%	
	May	58%	55%	Ago	64%	70%
	Jun	53%		Sep	83%	
Ensambladora de set de pera	Abr	53%		Jul	69%	
	May	57%	55%	Ago	70%	75%
	Jun	56%		Sep	87%	
Vibradora	Abr	50%		Jul	61%	
	May	53%	53%	Ago	62%	68%
	Jun	57%		Sep	81%	

A continuación, se muestra los gráficos de la disponibilidad mensual de los equipos (transfer, ensambladora de set de pera y vibradora) en las etapas evaluadas:

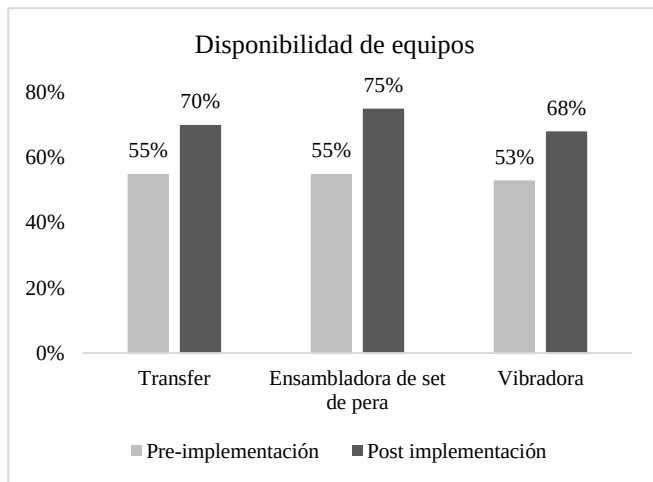


Fig. 3 Comparativo de disponibilidad pre y post implementación por máquina

Se aplicó la prueba de Wilcoxon para comparar la disponibilidad pre y post implementación del TPM, debido al pequeño tamaño muestral y la no normalidad de los datos. Los nueve casos mostraron mejoras consistentes en la disponibilidad tras la implementación, sin rangos negativos ni empates. El resultado fue estadísticamente significativo ($Z = -2.666$; $p = 0.008$), lo que permite concluir que el TPM tuvo un efecto positivo y significativo en la disponibilidad de los equipos.

TABLA VI
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON PARA LA COMPARACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD PRE Y POST IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

	N	Rango promedio	Suma de rangos	Pruebas estadísticas
Disponibilidad (Pre y Post)	Rangos negativos	0	.00	
	Rangos Positivos	9	5.00	$P = .008$
	Empates	0		$Z = -2.666$
	Total	9		

Con el objetivo de complementar la prueba no paramétrica de Wilcoxon y evaluar la magnitud práctica de la mejora obtenida, se calculó el tamaño del efecto mediante el estadístico Cohen's d, considerando las diferencias entre los valores de disponibilidad antes y después de la implementación.

El conjunto de datos estuvo compuesto por nueve observaciones pareadas correspondientes a las máquinas transfer, ensambladora y vibradora, en las cuales se comparó la disponibilidad de los meses pre y post implementación. Para cada par de observaciones se obtuvo la diferencia (Post – Pre), resultando los siguientes valores: [7, 6, 30, 16, 13, 31, 11, 9, 24]. A partir de estas diferencias, se calculó la media y la desviación estándar muestral, obteniéndose:

$$\bar{d} = \frac{\sum di}{n} = \frac{147}{9} = 16.33$$

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} = 9.67$$

Aplicando la fórmula del tamaño del efecto para muestras relacionadas:

$$d = \frac{\bar{d}}{s_d} = \frac{16.33}{9.67} = 1.69$$

El resultado obtenido fue un Cohen's d = 1.69, lo que representa un tamaño del efecto muy grande según los criterios de Cohen's. Este valor indica que la mejora en la disponibilidad después de la implementación no solo es estadísticamente significativa ($p = 0.008$ según la prueba de Wilcoxon), sino que además presenta una magnitud de cambio altamente relevante en términos prácticos y operativos.

Se realizó la gráfica de control Xbarra-R elaborada con los datos de disponibilidad de las máquinas en las etapas de pre y post implementación del TPM.

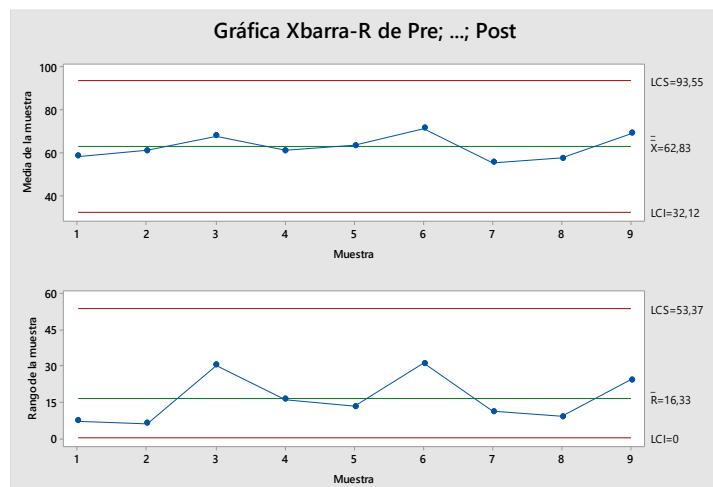


Fig. 4 Gráfico de control Xbarra-R de disponibilidad de los equipos pre y post implementación del TPM

Se observó que todos los subgrupos se encontraron dentro de los límites de control establecidos ($LCS = 93.55$ y $LCI = 32.12$), lo que indicó que el proceso no presentó causas especiales de variación. Por tanto, el análisis de la gráfica de control $\bar{X}$ -R evidencia que el proceso evaluado se mantiene bajo control estadístico, tanto en términos de tendencia central como variabilidad.

IV. DISCUSIÓN

En la empresa Cantol, los equipos mostraron un incremento notable en su disponibilidad tras la implementación del TPM. Durante la etapa de pre-implementación, la disponibilidad de los equipos era del 55% en la máquina transfer, 55% en la ensambladora de set de pera y 53% en la vibradora, mientras que en la etapa post implementación la disponibilidad se incrementó a 70%, 75% y 68%, respectivamente, lo que representa una mejora. Este aumento refleja una optimización significativa en la capacidad operativa de los equipos. Resultados similares se han reportado en la industria siderúrgica, donde la aplicación conjunta de TPM y SMED permitió elevar la disponibilidad del laminador en un 11,37 %. En ambos casos, se evidencia que el TPM contribuye directamente a la reducción de paradas no planificadas y al incremento de la eficiencia operativa, confirmando su eficacia en contextos industriales de alta exigencia [5].

Durante la etapa pre-implementación del TPM, los tiempos planificados de los equipos mostraron valores de 294.5 horas en la máquina transfer, 369.5 horas en la ensambladora de set de pera y 159.9 horas en la transfer con una baja efectividad operativa de 163.4 horas, 204.9 horas y 85.1 horas respectivamente. Pese a la planificación, el bajo control de fallas y la falta de mantenimiento estructurado generaron paradas recurrentes que limitaron el aprovechamiento de dichas horas, lo cual afecta directamente a la disponibilidad de

equipos. Esto se relaciona con lo observado en una pyme manufacturera, donde, a pesar de contar con planes básicos, la deficiencia en la gestión del mantenimiento derivó en paradas frecuentes y una OEE promedio de apenas 49,44 %. De esta manera, se evidencia que la sola existencia de un tiempo planificado no garantiza eficiencia si no se acompaña de un enfoque de mantenimiento productivo estructurado [14].

El tiempo operativo en la etapa pre-implementación mostró un desempeño limitado frente a lo planificado. Se evidencia que durante esta etapa se planificaron de 294.5 horas en la máquina transfer, 369.5 horas en la ensambladora de set de pera y 159.9 horas en la transfer, pero solo se alcanzaron horas operativas de 163.4, 204.9 y 85.1 respectivamente. Este patrón refleja la fuerte incidencia de las fallas y paradas no planificadas en la etapa inicial, lo cual impacta en la disponibilidad de equipos. En contraste, la incorporación del mantenimiento autónomo y 5S en la producción de tubos electrosoldados permitió aumentar la productividad de 77% a 152%, justamente al reducir la brecha entre lo planificado y lo ejecutado. De este modo, la situación inicial de Cantol S.A.C. evidencia el mismo problema estructural que otras industrias peruanas antes de aplicar TPM [7].

Los pilares estratégicos del TPM que fueron parte de esta evaluación son: Mantenimiento preventivo, mantenimiento autónomo y capacitación. Estos fueron seleccionados con el objetivo de reducir los principales problemas detectados en la empresa como las fallas mecánicas, electrónicas y tiempos de setup. El mantenimiento preventivo permitió anticipar averías críticas mediante inspecciones y reemplazos predictivos; el mantenimiento autónomo involucró directamente a los operarios en actividades rutinarias de limpieza, lubricación y verificación, fomentando una cultura de responsabilidad compartida; y la capacitación fortaleció las competencias técnicas, garantizando la sostenibilidad de las mejoras. Este proceso coincide con lo planteado en la empresa metalmecánica Frecep S.A.C donde el éxito de la implementación del TPM dependió en gran medida de la integración del mantenimiento preventivo con la planificación futura de la producción [8].

Posterior a la implementación, los tiempos planificados se mantuvieron constantes, pero se logró una mayor correspondencia con el tiempo operativo real. En relación con los equipos, se planificaron 309.6 horas en la máquina transfer, 464.4 horas en la ensambladora de set de pera y 154.8 horas en la vibradora. Esta relación evidencia una mejor sincronización entre lo planificado y lo ejecutado. Situación similar se reporta en la industria textil, donde la aplicación de TPM junto con Six Sigma permitió mejorar la disponibilidad en 5.18% y optimizar el desempeño operativo de las máquinas textiles [9].

Finalmente, en el periodo post-implementación se observa un incremento sustancial con respecto al tiempo operativo. En los equipos, se lograron 215.1 horas en la máquina transfer,

356.7 horas en la ensambladora de set de pera y 105.3 horas en la transfer y una disponibilidad de los equipos de 70%, 75% y 68% respectivamente. La implementación conlleva a una mejora en la empresa, lo que se traduce en un incremento de capacidad de planta. Este resultado guarda relación con lo obtenido en el sector calzado, donde la implementación de herramientas Lean y TPM permitió incrementar la eficiencia productiva del 55% al 87% y reducir los tiempos de ciclo en un 68%. De este modo, la mejora en Cantol S.A.C. confirma que el TPM es una herramienta eficaz para aumentar la productividad al minimizar la brecha entre el tiempo planificado y el tiempo operativo, quedando aún por mejorar para alcanzar indicadores de clase mundial en la empresa [10].

V. CONCLUSIÓN

Se concluye que la implementación del modelo de Mantenimiento Productivo Total influye de manera determinante en la disponibilidad operativa de los equipos críticos en la empresa Cantol S.A.C., logrando una transición desde niveles iniciales deficientes (53%–55%) hacia estándares competitivos de entre 68% y 75%. Este incremento sustancial ratifica que la gestión estructurada bajo la metodología TPM permite no solo recuperar la capacidad perdida por obsolescencia funcional, sino también establecer una base sólida para la mejora continua del rendimiento industrial, superando las brechas de ineficiencia reportadas previamente.

Asimismo, la investigación demuestra que la optimización del aprovechamiento temporal no dependió de una extensión en la carga horaria planificada, sino de la maximización de la eficiencia del tiempo operativo real, el cual experimentó un aumento drástico, como se evidenció en la máquina ensambladora al pasar de 204.9 a 356.7 horas. Este hallazgo valida la capacidad del TPM para reducir la brecha de improductividad sin incurrir en costos adicionales de jornada laboral, demostrando que la eliminación de paradas no programadas y la reducción del 29.8% en tiempos de inactividad técnica son factores clave para maximizar el retorno sobre los activos de la organización.

Finalmente, la efectividad de la tríada estratégica compuesta por el mantenimiento preventivo, el mantenimiento autónomo y la capacitación del personal queda plenamente validada mediante el análisis estadístico de Wilcoxon ($p = 0.008$) y un tamaño del efecto de Cohen's d de 1.69, lo que otorga una alta significancia y relevancia práctica a la intervención realizada. La estabilidad observada a través de los gráficos de control Xbarra-R garantiza que la mejora no es coyuntural, sino estructural, consolidando la autonomía operativa y la cultura de

prevención como los mecanismos técnicos fundamentales para mitigar fallas mecánicas y electrónicas, asegurando la sostenibilidad y competitividad de la planta en el largo plazo.

VI REFERENCIAS

- [1] S. Singh, A. Agrawal, D. Sharma, V. Saini, A. Kumar, and S. Praveenkumar, "Implementation of Total Productive Maintenance Approach: Improving Overall Equipment Efficiency of a Metal Industry," *Inventions*, vol. 7, no. 4, pp. 1–14, 2022, doi: 10.3390/inventions7040119.
- [2] M. Farah-Alva, S. Montaña-Vaez, and J. C. Quiroz-Flores, "Enhancing Productivity in Agricultural Packing Operations through TPM and Lean Manufacturing: A Case Study of Asparagus Processing in Peru," *Ssrq Int. J. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 11, pp. 1–14, 2024, doi: 10.14445/23488360/IJME-V11I11P101.
- [3] D. I. Sukma, H. A. Prabowo, I. Setiawan, H. Kurnia, and I. M. Fahturizal, "Implementation of Total Productive Maintenance to Improve Overall Equipment Effectiveness of Linear Accelerator Synergy Platform Cancer Therapy," *Int. J. Eng. Trans. A Basics*, vol. 35, no. 7, pp. 1246–1256, 2022, doi: 10.5829/ije.2022.35.07a.04.
- [4] Z. T. Xiang and C. J. Feng, "Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 14, no. 2, pp. 152–175, 2021, doi: 10.3926/jiem.3286.
- [5] S. S. Rathi, M. K. Sahu, and S. Kumar, "Implementation of lean manufacturing methods to improve rolling mill productivity," *Int. J. Adv. Technol. Eng. Explor.*, vol. 11, no. 111, pp. 243–256, 2024, doi: 10.19101/IJATEE.2023.10102004.
- [6] N. Gwangwava, G. A. Baile, P. Dikgale, and K. Kefhilwe, "Framework for Total Productive Maintenance for an Sme," *J. Eng. Technol. Ind. Appl.*, vol. 7, no. 29, pp. 52–61, 2021, doi: 10.5935/jetia.v7i29.740.
- [7] J. E. Ortiz Porras *et al.*, "Modelo de gestión basado en el mantenimiento productivo total (TPM) y Six Sigma para aumentar la efectividad global de los equipos (OEE) en una empresa de confecciones de Lima, Perú," *Ind. Data*, vol. 27, no. 2, pp. 123–152, Feb. 2024, doi: 10.15381/IDATA.V27I2.26975.
- [8] A. Lira-Aquino, E. Miranda-Poccori, E. Altamirano-Flores, and L. Cardenas-Rengifo, "Improving Production Process Efficiencies at a Peruvian Company through a Lean Manufacturing Implementation Model," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 117–122, Sep. 2021, doi: 10.1145/3494583.3494631.
- [9] C. Antonio, P. Guzmán, and G. Camborda Palacios, "Mejora de la productividad en las líneas de producción de fabricación de tubos electrosoldados con la elaboración de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento autónomo," *Ind. Data*, vol. 27, no. 2, pp. 173–192, Feb. 2024, doi: 10.15381/IDATA.V27I2.25561.
- [10] N. M. Canahua Apaza, "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," *Ind. Data*, vol. 24, no. 1, pp. 49–76, Aug. 2021, doi: 10.15381/idata.v24i1.18402.
- [11] A. Mora, *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*, vol. 1, no. 69, 2009.
- [12] "Tuxdoc.Com_Seichi-Nakajima-Introduction-To-Tpm-Total-Productive-Maintenance-1988-Productivity-Press-Libgenlcpdf.Pdf."
- [13] P. Hernandez Sampieri, Roberto-Fernandez Collado, Carlos-Baptisa Lucio, *Metodología de la Investigación*. 2006.
- [14] N. Gwangwava, G. A. Baile, P. Dikgale, and K. Kefhilwe, "FRAMEWORK FOR TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE FOR AN SME," *J. Eng. Technol. Ind. Appl.*, vol. 7, no. 29, pp. 52–61, 2021, doi: 10.5935/jetia.v7i29.740.