

# ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD

EN UN TALLER DE MECANIZADO MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL OEE DE MÁQUINAS-HERRAMIENTAS

## PRODUCTIVITY ANALYSIS IN A MACHINING WORKSHOP THROUGH THE OEE EVALUATION OF MACHINE-TOOLS

Isaac Simbaña <sup>1\*</sup>

E-mail: [aisimbanag@ube.edu.ec](mailto:aisimbanag@ube.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3324-3071>

Roxana Lara <sup>1</sup>

E-mail: [rjlarae@ube.edu.ec](mailto:rjlarae@ube.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4535-5583>

Henry Ricardo Cabrera <sup>2</sup>

E-mail: [henrryricardocabrera@gmail.com](mailto:henrryricardocabrera@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3185-8929>

Guillermo Ricardo Grunauer Robalino <sup>1</sup>

E-mail: [rgrunauer@ube.edu.ec](mailto:rgrunauer@ube.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7662-8270>

<sup>1</sup>Universidad Bolivariana del Ecuador, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cuba.

\*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Simbaña, I., Lara, R., Ricardo Cabrera, H. & Grunauer-Robalino, G. R. (2025). Análisis de Productividad en un Taller de Mecanizado mediante la evaluación del OEE de Máquinas-Herramientas. *Universidad y Sociedad*, 17(4), e5139.

### RESUMEN

En este estudio, se ha analizado la productividad de un taller de mecanizado mediante la evaluación de la eficiencia general del equipo (*OEE*, por sus siglas en inglés) de las máquinas-herramienta, integrando métricas de disponibilidad, rendimiento y calidad. Se destaca la relevancia de optimizar los procesos productivos en un entorno competitivo, donde la eficiencia operativa es fundamental para cumplir altos estándares de calidad y tiempos de entrega. Se inició con la recopilación de datos operativos y económicos, el análisis de tiempos de inactividad y defectos, y la implementación de mejoras estratégicas basadas en principios Kaizen. Los resultados revelaron que, inicialmente, tanto el torno como la fresadora presentaban *OEE* inferiores al rango óptimo, afectando la producción y generando cuellos de botella. Sin embargo, tras la implementación de acciones correctivas, como capacitaciones, incorporación de instrumentos digitales de medición y la adquisición de una segunda máquina para el proceso de torneado, se logró aumentar significativamente el *OEE*, alcanzando valores superiores al 85 % en ambos equipos. Por lo que, la aplicación de estrategias de mejora continua demostró ser eficaz para elevar la productividad, reducir costos de producción y garantizar la calidad en el proceso de mecanizado.

**Palabras clave:** OEE, Productividad, Mecanizado, Métricas.

### ABSTRACT

This study evaluated the productivity of a machining workshop by analyzing the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of machine tools, integrating availability, performance, and quality metrics. Optimizing production processes in a competitive environment is important to maintaining high-quality standards and meeting delivery deadlines. The research began with collecting operational and economic data, analyzing downtime and defects, and implementing strategic improvements based on Kaizen principles. Initial findings showed that the lathe and milling machine had OEE values below the optimal range, leading to production inefficiencies and bottlenecks. However, after implementing corrective



actions, such as employee training, integration of digital measuring instruments, and acquiring a second lathe machine for the turning process, OEE significantly improved, exceeding 85 % for both machines. These results demonstrate that continuous improvement strategies enhance productivity, reduce production costs, and ensure high-quality machining processes.

**Keywords:** OEE, Productivity, Machining, Metrics.

## INTRODUCCIÓN

La productividad en un taller de mecanizado es un factor crítico para garantizar la competitividad en los procesos de manufactura, especialmente en un entorno industrial que demanda altos estándares de calidad y cumplimiento de plazos estrictos. La Eficiencia General del Equipo (**OEE**, por sus siglas en inglés) es un indicador clave de rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés) que permite evaluar el desempeño de las máquinas-herramientas considerando tres métricas fundamentales, disponibilidad, rendimiento y calidad. Estas métricas son la base del análisis de la eficiencia operativa, ya que una baja disponibilidad puede deberse a tiempos muertos y paros no planificados, un rendimiento deficiente puede estar relacionado con velocidades de producción inferiores a las óptimas, y una calidad limitada refleja la proporción de piezas defectuosas producidas.

En un contexto marcado por los avances tecnológicos de la Industria 4.0, los talleres de mecanizado deben adaptarse a las crecientes exigencias de productos personalizados, con tolerancias mínimas y plazos de entrega reducidos. La medición y mejora del OEE permite disponer de una visión integral de los problemas operativos y, por ende, sirven como base para la implementación de estrategias que optimicen la productividad. La integración de herramientas inteligentes para la captura y análisis de datos en tiempo real, así como la implementación de metodologías avanzadas como Lean Manufacturing, permite mejoras en la eficiencia operativa, y por otro lado anticipar problemas para optimizar los recursos disponibles.

En correspondencia con lo antes expresado, se tiene que, Dobra y Jósvei (2022) abordan la predicción del OEE en líneas de ensamblaje semi-automáticas mediante la aplicación de técnicas de Machine Learning supervisado, utilizando como modelo principal los árboles de decisión. Se establece una comparación entre la precisión de las estimaciones tradicionales basadas en experiencia humana, con un promedio del 70 %, frente a los resultados obtenidos mediante el modelo predictivo, que alcanza una precisión del 90 %. Esto genera una mejora significativa en la precisión de las predicciones, complementariamente con un aporte estratégico al permitir una planificación operativa anticipada, optimizando recursos

y minimizando interrupciones. Por lo que, es necesario identificar las métricas fundamentales de OEE, iniciando con la disponibilidad, evaluada como el tiempo efectivo de operación respecto al planificado, el rendimiento, determinado por la velocidad real frente a la teórica máxima, y calidad, medida como la proporción de productos conformes.

Con ideas similares, Singh et al. (2021) consolidan bases en el tema al realizar una revisión sistemática de la literatura, enfocada en identificar los factores de pérdida que afectan el OEE y su incidencia en la productividad industrial. Se plantean estrategias para reconocer y corregir aquellas pérdidas vinculadas al tiempo operativo y a la eficiencia de los procesos, mediante la aplicación de herramientas estratégicas dirigidas a optimizar recursos limitados y maximizar la efectividad de los equipos. Entonces, identificando técnicas, como la recopilación de información a partir de cuestionarios aplicados a los operarios, así como un análisis detallado de los procesos productivos, se evitan distorsiones en los resultados. Así que, incluso en entornos con restricciones económicas, la aplicación de metodologías sistemáticas y de mejora continua puede elevar sustancialmente los niveles de OEE.

Kifta y Putri (2021) por su parte, presentan un estudio enfocado en la baja eficiencia global de una máquina de corte CNC, donde reportan un valor de OEE del 38.1 %, considerablemente inferior al estándar de clase mundial para manufactura (WCM, por sus siglas en inglés) fijado en 85 %. Los factores determinantes de este bajo desempeño incluyen tiempos de inactividad no planificados, reducida velocidad operativa y frecuentes paradas menores, asociados principalmente a un mantenimiento deficiente, parámetros de operación inadecuados y carencias en la capacitación técnica del personal. A partir de un análisis de Pareto y diagramas de Ishikawa, se proponen acciones correctivas basadas en la aplicación de mantenimiento preventivo y predictivo, la optimización de parámetros de corte y la formación especializada para los operarios. Este enfoque, alineado con los principios de Mantenimiento Total Productivo (TPM, por sus siglas en inglés), evidencia mejoras en la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de la máquina. Por lo que se destaca la identificación de causas y la aplicación de estrategias estructuradas de mejora continua para incrementar el OEE.

En esta misma línea, se percibe que Varela-Pérez et al. (2023) utilizan el OEE como indicador clave de desempeño (KPI, por sus siglas en inglés) para evaluar y mejorar la productividad en operaciones no cíclicas dentro de una planta automotriz. Para ello, se establece que estas actividades, aunque intermitentes, pueden ocasionar pérdidas productivas relevantes. El estudio identifica un OEE promedio inicial del 62 %, sustentado en una disponibilidad

del 75 %, rendimiento del 70 % y calidad del 95 %, valores por debajo del estándar WCM de 85 %. Las principales limitaciones detectadas son tiempos excesivos en configuraciones, ajustes y pausas entre operaciones. Para contrarrestar estas deficiencias, se implementan estrategias, como la estandarización de procesos y la documentación precisa de actividades y tiempos, lo que permite incrementar el OEE a un 78 %, con mejoras notables en la disponibilidad y el rendimiento, al 82 y 80 %, respectivamente. De esta manera, incluso en entornos con alta variabilidad operativa, fue posible mejorar el desempeño productivo a través de la gestión sistemática del OEE, sobre todo donde las interrupciones y tiempos improductivos representan factores críticos a controlar.

También Gherghea et al. (2021) estudian la mejora de la productividad en máquinas CNC a través de la implementación del TPM, combinando esta estrategia con principios de Lean Manufacturing para eliminar desperdicios y maximizar la eficiencia operativa. Se aplica mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, complementados con herramientas como Metodología 5S y programas de capacitación dirigidos a operadores y programadores CNC. Estas acciones buscan preservar las condiciones de funcionamiento correctas de los equipos, reducir defectos recurrentes y minimizar los tiempos improductivos. La efectividad de la intervención es evaluada mediante el cálculo del OEE antes y después de la implementación, observándose una mejora significativa, al elevarse de un 9 % inicial a valores comprendidos entre 56.5 y 65.6 %. Este incremento es principalmente por la disminución de paradas no planificadas, defectos de calidad y una mayor estabilidad en la producción. En base a lo anterior, se afirma la importancia de implementar nuevas estrategias y metodologías para generar mejoras cuantificables del OEE.

Por su parte, Durán-Tenesaca et al. (2022) investigan la eficiencia operacional de una máquina inyectora de plásticos en la industria de línea blanca, utilizando el OEE para identificar áreas de mejora. Los resultados muestran que la máquina opera con una disponibilidad del 82 %, un rendimiento del 78 % y una calidad del 96 %, que genera un OEE promedio de 61.4 %, muy por debajo del estándar WCM. Las principales causas de esta baja eficiencia resultan los tiempos muertos prolongados, los paros no planificados y un alto porcentaje de piezas defectuosas. Para abordar estas deficiencias, se implementan estrategias basadas en Lean Manufacturing, subrayando que las pérdidas económicas asociadas a ineficiencias representaban hasta un 15 % de los costos operativos totales. Por lo que es importante utilizar indicadores clave, como el OEE, para evaluar y mejorar el desempeño de las máquinas, especialmente en industrias donde la optimización de recursos y la reducción de costos son fundamentales para mantener la competitividad.

Yuan et al. (2021) proponen una metodología innovadora para la mejora del OEE en máquinas CNC, fundamentada en técnicas de análisis de datos y Machine Learning. El uso de sensores conectados directamente a las máquinas, permite la recopilación continua de información sobre el estado de las herramientas y condiciones operativas del equipo. Los resultados experimentales demuestran que esta metodología permite elevar el OEE de un 8 % inicial a un 52 %, reduciendo tiempos improductivos y mejorando la eficiencia operativa. Esta investigación evidencia el potencial de las tecnologías digitales para optimizar procesos productivos de la actual Industria 4.0. Consecuentemente, se adquiere fundamentos técnicos acerca de la importancia de una gestión basada en datos para mejorar el OEE, que incrementen la productividad a través de acciones estratégicas y mediciones objetivas.

Por su parte, Di Luozzo et al. (2021) analizan el impacto del factor humano en el desempeño del OEE, especialmente en contextos donde se integran nuevas tecnologías productivas. Para ello, se implementan dos metodologías de medición que incorporan las configuraciones del proceso y las características técnicas de las máquinas, complementado con el desempeño humano, permitiendo detectar y gestionar ineficiencias durante la transición hacia condiciones operativas estables. La validación de este enfoque se realiza con la incorporación de una máquina de empaque semiautomática en una empresa de logística, apoyada por una plataforma digital para registrar tiempos de configuración, errores humanos y flujo de materiales. Los resultados facilitan la identificación de causas de pérdida de eficiencia, facilitando acciones como la optimización de parámetros de proceso, la mejora en la formación del personal y la reducción de errores operativos. Por ello, se destaca la importancia, tanto de la interacción operario-máquina como las configuraciones correctas de funcionamiento, ya que influyen en la productividad, siendo necesario analizar aspectos humanos y técnicos en la evaluación del OEE.

Sin embargo, Zehra et al. (2024) abordan la mejora del OEE desde otra arista, con una perspectiva holística, integrando la eficiencia operativa para complementarse con la sostenibilidad ambiental en procesos de manufactura automatizados. Durante seis meses, se monitorean de forma simultánea las métricas de disponibilidad, rendimiento y calidad, en conjunto con indicadores medioambientales, permitiendo identificar y reducir pérdidas asociadas a la capacidad instalada, fallas operativas y gestión de recursos. Al implementar estrategias sobre mantenimiento, capacitación, gestión de materiales y optimización de capacidades productivas, se tiene un incremento del OEE de 33 a 48 %, así mismo una disminución del 21 % en emisiones de CO<sub>2</sub> y una mejora del 25 % en eficiencia energética. Por lo tanto, un análisis del OEE vinculado con tecnologías de la Industria 4.0 y prácticas sostenibles permite transformar los procesos industriales. Es por ello

que una mejora productiva conlleva ahorros en costos, pero también puede alinearse con objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética.

Por otro lado, Mouhib et al. (2024) retoman las nuevas tendencias y desarrollan una propuesta innovadora que responde a los retos actuales de la gestión de la eficiencia en un entorno cada vez más digitalizado. Se mejora el seguimiento del OEE mediante la automatización de la recopilación, análisis y reporte de datos, para optimizar la toma de decisiones en tiempo real y también mejorar la asignación de recursos. Con el uso de herramientas digitales y tecnologías emergentes de la Industria 4.0, como la analítica avanzada y la automatización de procesos, se puede reducir significativamente los errores humanos, facilitando una gestión más precisa y ágil de la eficiencia operativa. De esta manera, se evidencia la necesidad a futuro de integrar tecnologías avanzadas y el uso de sistemas automatizados para la mejora continua del OEE.

Sobre la base de lo comentado hasta aquí, se propone en esta investigación el objetivo de analizar la productividad en un taller de mecanizado mediante la evaluación del OEE de las máquinas-herramientas, aplicando métricas de disponibilidad, rendimiento y calidad, para la propuesta de estrategias que optimicen el rendimiento operacional, reduzcan tiempos muertos y defectos en los procesos. Este documento se encuentra distribuido de la siguiente manera, en el apartado de Materiales y Métodos describe las métricas utilizadas y el proceso metodológico seguido. En el de Resultados se presenta gráficamente los valores calculados para el OEE y sus métricas, con la explicación respectiva. Seguidamente se pasa a Discusión, donde se realiza el debate los porcentajes obtenidos respecto a investigaciones previas, para finalizar con Conclusiones donde se sintetiza la información más relevante.

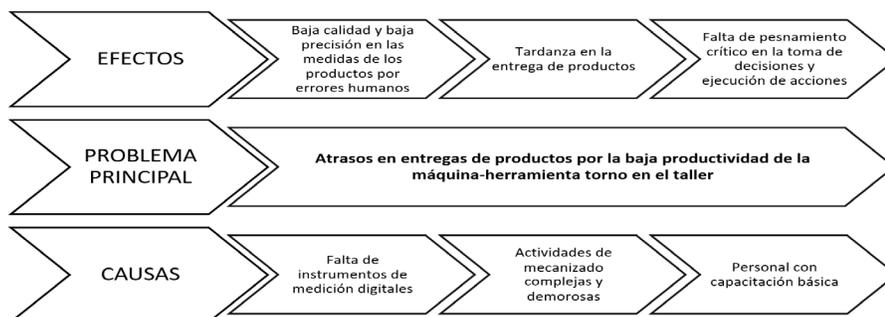
## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolla bajo el paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo que permite abordar de forma objetiva y sistemática el fenómeno de la productividad en un taller de mecanizado mediante el cálculo del OEE. Este enfoque busca medir y analizar datos numéricos relacionados con la disponibilidad, rendimiento y calidad de las máquinas-herramienta, utilizando herramientas estadísticas para identificar patrones y relaciones causales, garantizando un análisis basado en evidencia empírica. El alcance es explicativo, enfocado en establecer relaciones de causa y efecto entre la incorporación de una segunda máquina y el incremento en la productividad, evaluada a través del OEE (Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres, 2020).

Mediante un diseño experimental, se manipula la variable independiente para observar su impacto en los indicadores de productividad. La población incluye las máquinas-herramienta del taller, siendo inicialmente un torno horizontal convencional, con revisión de cada producto debido a las altas tolerancias requeridas. Los métodos teóricos analítico-sintético e hipotético-deductivo complementan el proceso, descomponiendo el problema en sus elementos fundamentales y probando hipótesis sobre cómo la disponibilidad y nuevas estrategias impactan en la productividad. Este enfoque integral asegura decisiones fundamentadas para mejorar el rendimiento operativo (Maldonado-Pinto, 2018).

El OEE permite medir de manera integral la eficiencia operativa de un equipo productivo al combinar tres aspectos clave, disponibilidad, rendimiento y calidad. A diferencia de otros indicadores que se centran únicamente en un aspecto del proceso, el OEE proporciona una visión completa del desempeño, identificando con precisión las áreas de oportunidad que afectan la productividad general. Su aplicación es necesaria debido a la capacidad para comparar el desempeño del equipo frente a estándares internacionales, identificar las pérdidas ocasionadas por tiempos muertos, paros imprevistos y defectos en las piezas, y establecer un punto de partida claro para la implementación de estrategias de mejora. La Figura 1 sintetiza esta aplicación mediante un árbol de problemas.

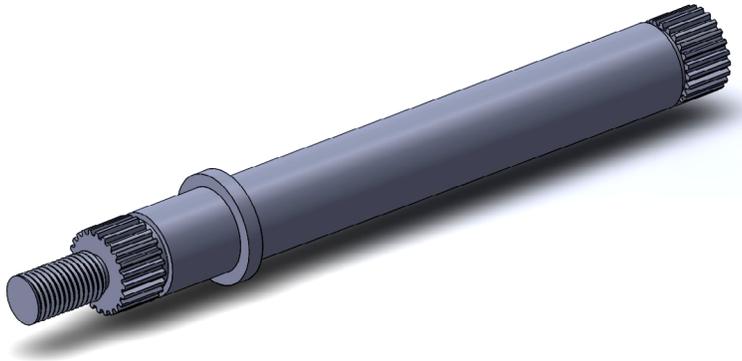
Fig. 1. Árbol de problemas.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 muestra el esquema del elemento a mecanizar: un eje estriado de acero AISI 4340 con una longitud de 580 mm. Este eje incluye 24 estrías en los extremos, con un módulo de 2 y un diámetro de 52 mm. Además, se debe mecanizar una rosca M30 con un paso de 3.5 mm y una longitud de 50 mm, siendo importante mencionar que, antes de cada proceso, se requiere realizar ranuras específicas.

Fig. 2: Elemento mecanizado utilizando torno y fresadora.



Fuente: Elaboración propia.

Para fabricar este componente, se utiliza un torno para las operaciones iniciales, seguido de una fresadora para completar el mecanizado. Posteriormente, los elementos son entregados a un comerciante que realiza un tratamiento térmico de temple y revenido, dejándolos listos para su comercialización. La cantidad mínima mensual requerida es de 150 unidades. Es importante mencionar que el comerciante ha manifestado interés en recibir cantidades superiores, al tener capacidad de distribución respaldada por una amplia cartera de clientes y que actualmente es cubierta por otro taller pequeño.

Como hipótesis, se ha planteado que la productividad del taller de mecanizado va a incrementar significativamente con la implementación de diferentes estrategias de operaciones, al mejorar la disponibilidad, el rendimiento y la calidad del proceso productivo. Para ello, se ha iniciado con el análisis y evaluación del OEE, que mide la eficacia general del equipo considerando la disponibilidad, el rendimiento y la calidad (Masmoudi et al., 2023), calculada con la ecuación (1):

$$OEE = Calidad \cdot Desempeño \cdot Disponibilidad \cdot 100 \% \quad (1)$$

La Tabla 1 clasifica los valores de *OEE* según su impacto en la eficiencia productiva del taller de mecanizado. Un *OEE* inferior al 65 % se considera inaceptable debido a pérdidas económicas significativas, mientras que entre 65 a 75 % indica una eficiencia regular, aceptable solo en procesos de mejora. En el rango de 75 a 85 %, las pérdidas son mínimas y la operación es estable, aunque con margen de optimización. Valores entre 85 y 95 % reflejan un desempeño eficiente, acercándose a estándares de clase mundial, con pérdidas casi nulas. Finalmente, un *OEE* superior al 85 % representa un nivel de mejora continua y excelencia, donde la producción alcance su máxima eficiencia.

Tabla 1: Valores de OEE.

OEE	Métrica de calificación	Característica
OEE < 65 %	Inaceptable	Pérdidas económicas considerables
65 % ≥ OEE < 75 %	Regular	Pérdidas económicas aceptables sólo en etapa de mejora
75 % ≥ OEE < 75 %	Aceptable	Pérdidas económicas bajas
75 % ≥ OEE < 85 %	Buena	Sin pérdidas ingresando a valores World Class
OEE ≥ 85 %	Excelente	World Class Manufacturing

Fuente: Jurewicz et al. (2024).

Para calcular el *OEE*, se necesita considerar métricas de producción, por lo que se requiere identificar la disponibilidad de cada máquina en el taller de mecanizado. Esto es representado por el porcentaje de tiempo que las máquinas están operativas frente al tiempo total planificado (Foit et al., 2020), como se indica en la ecuación (2):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de Producción}}{\text{Tiempo Disponible}} \quad (2)$$

A continuación, se debe evaluar el desempeño, que según Van De Ginste et al. (2022), relaciona la capacidad real de producción respecto a la capacidad máxima posible bajo condiciones ideales, aplicando la ecuación (3):

$$\text{Desempeño} = \frac{\text{Producción real tapas acolchadas}}{\text{Producción teórica}} \quad (3)$$

La siguiente variable corresponde a la calidad, representada por la proporción de productos terminados sin defectos en relación al total de productos fabricados (Li et al., 2022), indicando según la ecuación (4):

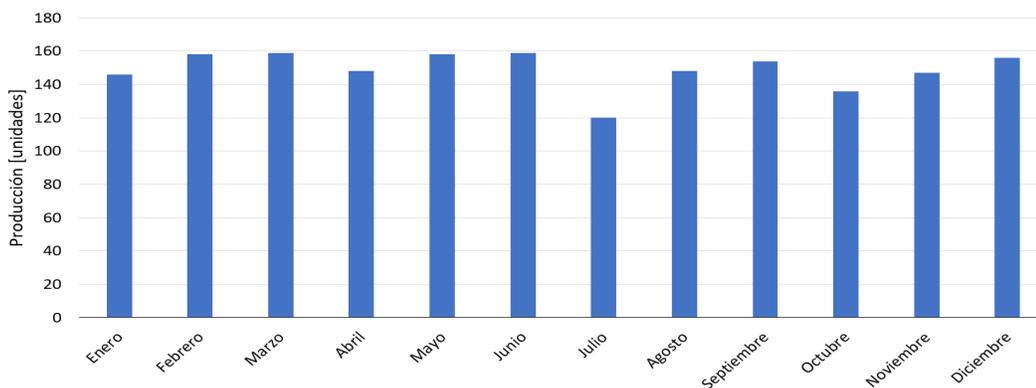
$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción tapas acolchadas} - \text{Tapas con defectos}}{\text{Producción tapas acolchadas}} \quad (4)$$

Además, se ha planteado conocer la productividad, que corresponde a la medida del rendimiento de un sistema, y que según Cheah et al. (2020) es la relación entre los recursos utilizados y los bienes producidos:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción total}}{\text{Recursos utilizados}} \quad (5)$$

La Figura 3 presenta la producción mensual de elementos mecanizados durante el año 2023. Es relevante señalar que, debido a procesos administrativos, existe una rotación trimestral de operarios, lo que exige brindar una inducción a los nuevos integrantes. Esto genera una disminución en la producción durante dichos períodos. El requerimiento mínimo es de 150 elementos mensuales; sin embargo, diversos factores han impedido alcanzar esta meta en ciertos meses. Entre estos factores se incluyen la experiencia y habilidad de los operarios, la falta de instrumentos de medición precisos y una inducción inicial con puntos pendientes de aclarar. Los meses de mayor producción resultan marzo y junio, con 159 elementos cada uno. En contraste, los meses en los que ingresan nuevos operarios presentan los niveles más bajos de producción, destacando julio con solo 120 elementos mecanizados. Es importante mencionar que los elementos fabricados en exceso no se comercializan inmediatamente, sino que se almacenan para cubrir posibles déficits en meses posteriores.

Fig. 3: Producción mensual del taller de mecanizado en 2023.

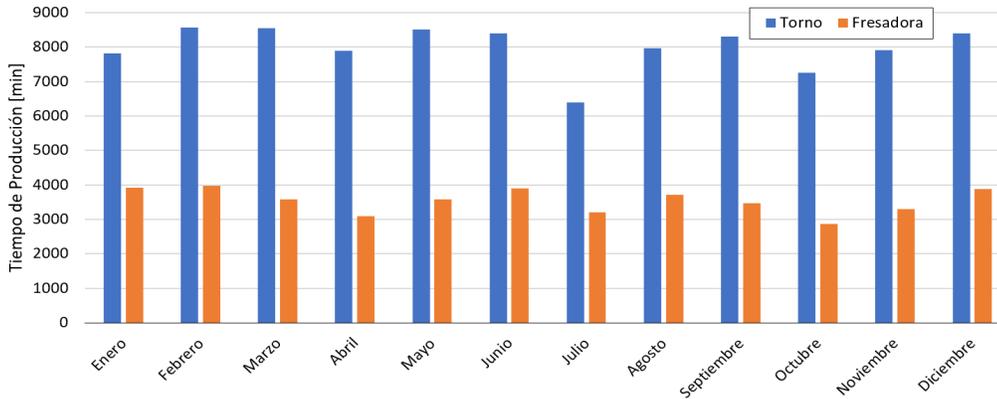


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra el tiempo mensual de producción de las máquinas herramienta disponibles, específicamente un torno y una fresadora. Se considera una jornada laboral de 8 horas diarias, es decir, 480 minutos, lo que representa un tiempo operativo ideal de 9600 minutos al mes. Para el análisis, se mide el tiempo en que cada máquina permanece encendida, obteniendo los totales mensuales de funcionamiento. Sin embargo, debido a que los procesos son realizados manualmente por los operarios, estos tiempos no siempre reflejan el uso real de la máquina, ya que puede estar

encendida sin estar procesando piezas activamente. En el caso del torno, se observa que el primer mes de introducción de un nuevo operario al período trimestral registra el menor tiempo de operación, mientras que el mayor tiempo de uso se dio en febrero, alcanzando 8562 minutos. Por otro lado, la fresadora presenta un uso considerablemente menor. Dado que para completar cada elemento mecanizado es necesario iniciar los procesos en el torno antes de pasar a la fresadora, esta última acumula menos tiempo operativo. Además, a los operarios de la fresadora se le asignan tareas ajenas al taller, lo que acentúa aún más la diferencia.

Fig. 4: Tiempo total de producción por mes en torno y fresadora.

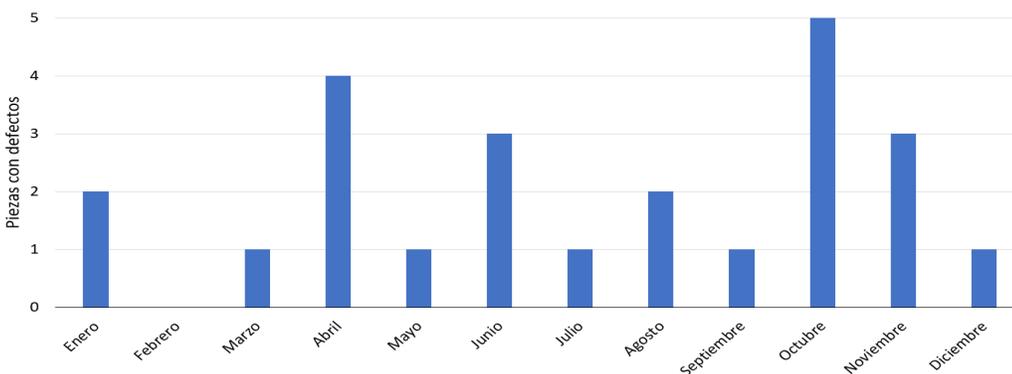


Fuente: Elaboración propia.

Esto genera un cuello de botella en el torno, ya que la capacidad de producción total queda limitada por el tiempo que este equipo puede operar, mientras que la fresadora permanece subutilizada. En febrero, el tiempo máximo de uso de la fresadora fue de apenas 3976 minutos, menos de la mitad del tiempo operativo del torno en ese mismo mes. Este desequilibrio en los tiempos de operación afecta la eficiencia del proceso productivo y resalta la necesidad de optimizar las tareas y los flujos de trabajo.

La Figura 5 muestra la cantidad de elementos mecanizados por mes que presentaron defectos. Es relevante destacar que, al tratarse de componentes de máquina, se exige una alta precisión dimensional con una tolerancia de  $\pm 0.05$  mm. Las piezas que no cumplen con esta tolerancia en las zonas críticas son clasificadas como defectuosas. Se observa que los períodos iniciales de cada trimestre registran un mayor número de defectos, probablemente debido al proceso de adaptación de los nuevos operarios. El mes con el mayor número de elementos defectuosos fue octubre, alcanzando un total de 5 piezas fuera de especificación. Esto resalta la importancia de mejorar las capacitaciones e inducciones iniciales para reducir los defectos y garantizar la calidad constante de los elementos mecanizados.

Fig. 5: Elementos con defectos considerando una tolerancia de 0.05 mm.

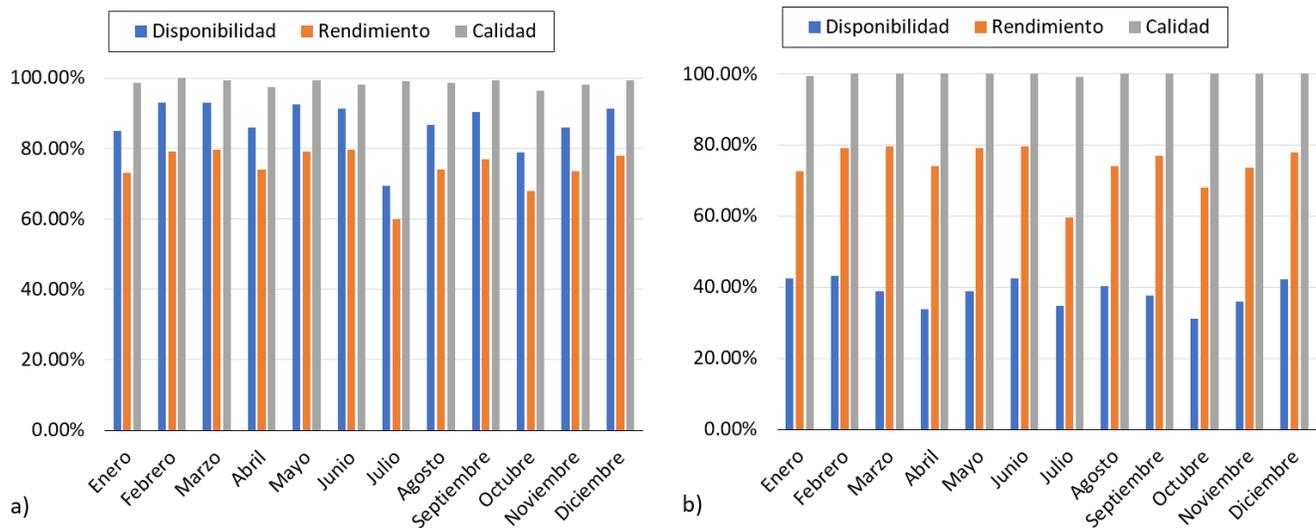


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6a muestra los valores mensuales de disponibilidad, rendimiento y calidad de los elementos mecanizados en el torno. Aunque la calidad es consistentemente alta, cercana al 100 % durante todo el año, la disponibilidad de la máquina es limitada, lo que refleja un bajo tiempo de uso en relación con el tiempo total disponible. Además, el rendimiento es la métrica más baja, con un promedio anual de 74.54 %. Cabe señalar que el tiempo ideal para mecanizar

un elemento en el torno es de 48 minutos, por lo que la producción diaria debe alcanzar 10 elementos. Por otro lado, la Fig. 6b presenta estas mismas métricas para la fresadora. Al igual que en el torno, la calidad se mantiene excelente, y el rendimiento es similar, con un promedio de 73.46 %. Sin embargo, la disponibilidad de la fresadora es significativamente más baja, con apenas 38.47 %. Dado que el tiempo requerido para completar el mecanizado en la fresadora es de 25 minutos, este equipo está claramente subutilizado, ya que puede operar al doble de su capacidad. Esta subutilización está directamente relacionada con el cuello de botella generado en la etapa previa de mecanizado en el torno, lo que limita el flujo de trabajo hacia la fresadora y afecta la eficiencia general del proceso.

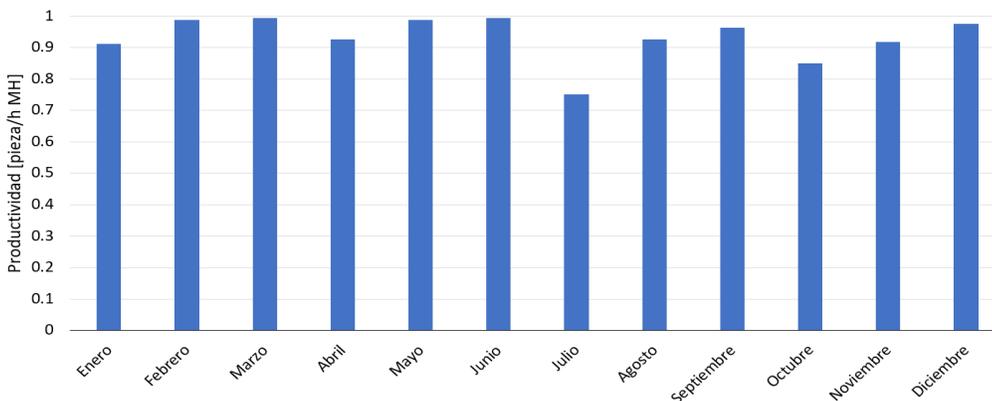
Fig. 6: Métricas de disponibilidad, rendimiento, calidad para a) torno, b) fresadora.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7 presenta los resultados de la productividad en el taller de mecanizado durante el año 2023, evaluando la relación entre el número de piezas fabricadas y las horas máquina utilizadas. Para este análisis, se ha considerado una jornada laboral de 8 horas diarias y un total de 20 días hábiles al mes, lo que equivale a 160 horas efectivas de operación por máquina. Los datos muestran que julio fue el mes con menor productividad, con un promedio de 0.75 piezas por hora.

Fig. 7: Productividad pieza por hora máquina del taller de mecanizado.



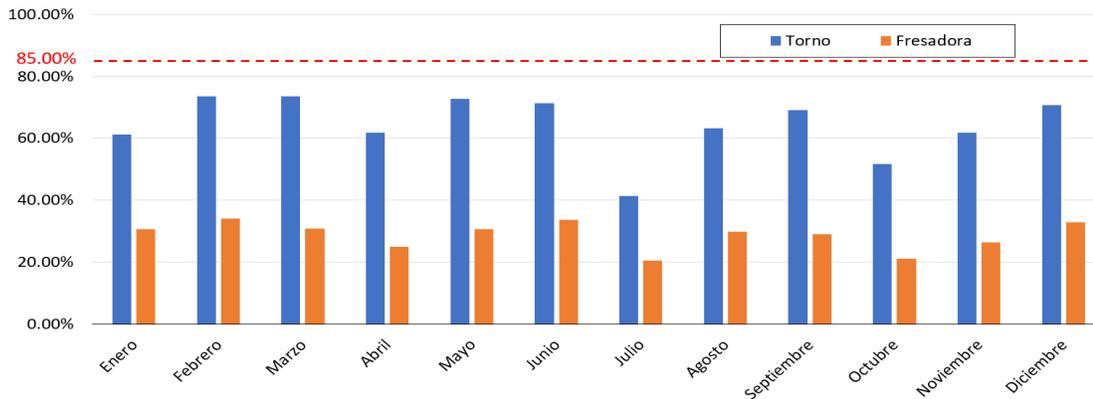
Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS-DISCUSIÓN

La Figura 8 presenta los valores mensuales del indicador OEE, tanto para el torno como para la fresadora durante el año 2023. Este indicador, que evalúa la eficiencia general de las máquinas, es el producto de las tres métricas, disponibilidad, rendimiento y calidad. Para que el OEE sea considerado como muy bueno, es necesario que alcance un

valor superior al 85 %, lo cual indica que la máquina opera de manera correcta y eficiente en todas sus métricas. En el análisis, se observa que el máximo valor de OEE registrado fue en febrero para el torno y la fresadora, con 73.52 % y 34.15 %, respectivamente. Estos valores están por debajo del umbral recomendado, lo que evidencia un rendimiento lejos de lo óptimo, especialmente en la fresadora. Este bajo OEE en ambas máquinas puede atribuirse a varios factores, en el torno, la disponibilidad y el rendimiento tienen un impacto significativo, mientras que, en la fresadora, la baja disponibilidad, derivada de su subutilización debido al cuello de botella en el torno, es el principal problema. De acuerdo a la investigación de Lim et al. (2023) y considerando los hallazgos iniciales muestran valores de OEE por debajo del óptimo para el taller de mecanizado, se indica que la implementación de sistemas inteligentes podría ser una estrategia efectiva para monitorear y mejorar continuamente la eficiencia operativa.

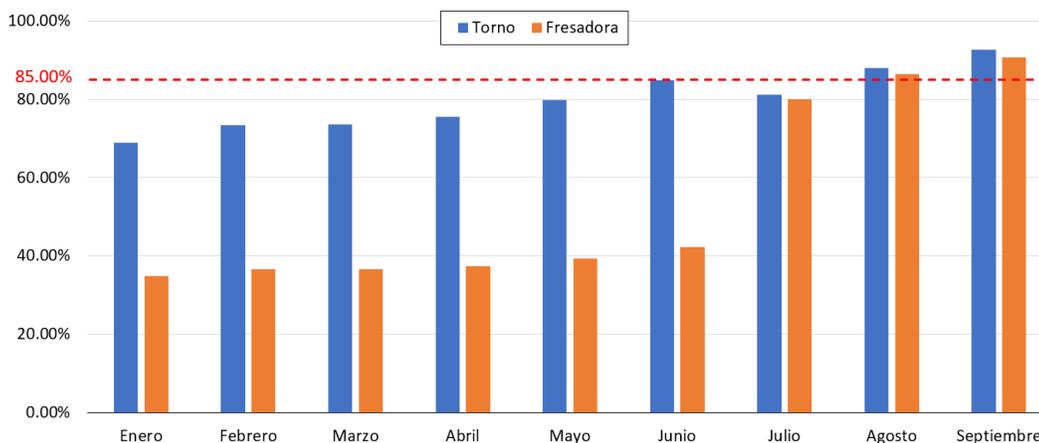
Fig. 8: OEE del torno y fresadora.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 analiza los datos de los tres primeros trimestres del 2024 tras implementar mejoras orientadas a aumentar la eficiencia del taller, tomando como referencia la rotación trimestral de personal por trámites administrativos. Al considerar los principios de Kaizen y su enfoque en la mejora continua, se fortalece la capacitación inductiva y el acompañamiento personalizado en el primer trimestre, lo que permite corregir brechas de conocimiento y garantizar que los operarios adquirieran las competencias necesarias, alineándose con el pilar de desarrollo del talento humano y superando la insuficiencia en la producción durante las rotaciones. En el segundo trimestre, se optimizan las mediciones mediante la adquisición de calibradores digitales, lo que incrementa la precisión, redujo defectos y minimiza tiempos muertos, conforme al pilar de mejora en los procesos. Estas acciones impactaron positivamente la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, reforzando la sostenibilidad de los procesos bajo los fundamentos de Kaizen.

Fig. 9: OEE del torno y fresadora luego de implementación de mejoras.



Fuente: Elaboración propia.

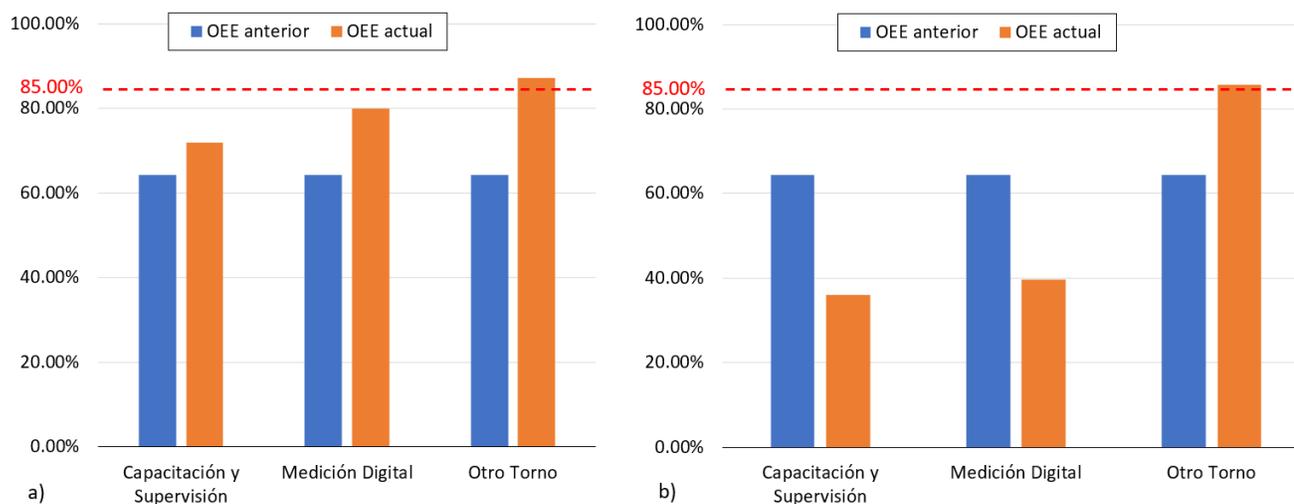
Al aplicar la metodología de mejora continua, se logra cambiar la mentalidad respecto a los tiempos de mecanizado, superando la producción máxima prevista de una pieza por hora. Con la implementación de instrumentos de medición digital en abril del 2024 y la capacitación mejorada de los operarios, la producción comienza a incrementarse,

alcanzando 9 elementos mecanizados al día. Para junio, debido a la optimización de habilidades e instrumentos de medición, se lograron días con una producción de 10 elementos, alcanzando la situación ideal estimada para el torno, considerando el tiempo mínimo de mecanizado. Sin embargo, la fresadora continuaba subutilizada, con un OEE que se redujo aún más debido a la baja disponibilidad por la reducción de tiempos de uso.

Para aprovechar los tiempos en que la fresadora no se utilizaba, se adquiere una segunda unidad de torno en julio de 2024, ya que la fresadora presentaba una disponibilidad equivalente a un tercio del torno, que había comenzado a alcanzar su capacidad ideal de producción. Esta inversión resulta en un incremento significativo del OEE, especialmente para la fresadora, que pasa de 42.27 % a 79.95 % en su primer mes con la nueva línea productiva. Este proceso de mejora continua permite que, para septiembre de 2024, el OEE alcanzara 92.69 % en el torno y 90.68 % en la fresadora, maximizando la eficiencia y la disponibilidad de ambos equipos. Los datos posteriores a la implementación de mejoras, como capacitaciones y adquisición de instrumentos de medición digital, muestran un incremento significativo en el OEE, obteniendo similitud con los resultados de Van De Ginste et al. (2022), que destacan la eficacia de estas estrategias en la optimización de procesos productivos.

La Figura 10a muestra la comparación del OEE trimestral del torno entre el 2023 y el 2024, evidenciando una mejora significativa tras las actividades de mejora implementadas. Mientras que en el último trimestre del 2023 se registra un OEE promedio de 64.32 %, en el mismo período del 2024 se alcanza un 87.28 %. Por su parte, la Fig. 10b presenta la evolución del OEE para la fresadora. En el 2023, el OEE promedio fue de 64.32 %.

Fig. 10: Comparativa del OEE anterior y luego de la implementación de mejoras a) torno, b) fresadora



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, aunque las capacitaciones y la incorporación de instrumentos de medición digital mejoran los tiempos de trabajo, la subutilización de la fresadora provoca una reducción del OEE hasta 36.09 %. La implementación de un segundo torno para optimizar la producción previa al proceso en la fresadora permite elevar el OEE promedio de esta última a 85.67 %, superando el umbral recomendado de 85 %. Según la metodología para ajustar el OEE basado en costos aplicada por Yandriyani et al. (2024), se resalta la importancia de un monitoreo constante y la implementación de mejoras. Los resultados para el taller de mecanizado muestran que, tras las mejoras implementadas en 2024, el OEE de ambos equipos supera el umbral del 85 %, alineándose con las recomendaciones de la literatura sobre prácticas efectivas para incrementar la eficiencia operativa.

La Tabla 2 presenta un resumen del análisis económico realizado para determinar el costo de producción por pieza mecanizada en el taller, considerando el proceso productivo con dos máquinas: torno y fresadora. En este análisis, se incluye el costo del metro de eje en acero AISI 4340 con un diámetro de 60 mm, así como el costo del operario de cada máquina. Además, se ha tomado en cuenta la tarifa de USD 0.10 por kW·h para el sector industrial en Ecuador, la cual se ha empleado para calcular el consumo energético por hora de cada equipo, cuyos motores eléctricos tienen una potencia de 2 HP. Como resultado, se ha determinado que el costo de fabricación de una pieza asciende a USD 31.55, lo que implica que, por cada dólar invertido, se produce aproximadamente 0.03169 piezas.

Tabla 2: Análisis económico productivo por pieza.

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Eje de acero AISI 4340 (Ø 60 x 1 m)	44.16
Eje de materia prima (Ø 60 x 580 mm)	25.61
Dos operarios (Salario Básico)	920.00
Costo mano de obra (dos operarios por hora)	5.76
Costo kW·h	0.10
Costo consumo energético de una máquina 2 HP (kW·h)	0.15
Costo consumo energético de torno (kW·h)	0.12
Costo consumo energético de fresadora (kW·h)	0.06
Costo por pieza	31.55

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra el incremento en la productividad del taller en comparación con el rendimiento anterior, cuyo promedio era de 0.9317 piezas por hora. Debido a las primeras acciones de mejora, enfocadas en capacitación y supervisión, se logra alcanzar la productividad estimada de 1 pieza por hora. A medida que se implementaron más estrategias de optimización, la productividad continúa aumentando, alcanzando un máximo de 10 piezas producidas, en contraste con las 8 inicialmente consideradas como producción ideal. Además, tras identificar la baja disponibilidad de la fresadora como un factor limitante, se decide incorporar un segundo torno, lo que permite incluso duplicar la producción. Al considerar el proceso de análisis presentado por Wiyatno y Kurnia (2022), se establece que identificar y abordar cuellos de botella puede liberar capacidad oculta en el taller. Por lo que, analizando los datos de OEE obtenidos para el taller de mecanizado, la adquisición de una segunda máquina para el proceso de torneado permitió duplicar la producción, lo que confirma que inversiones estratégicas, basadas en un análisis de la capacidad y demanda, pueden resultar en mejoras significativas en la productividad.

Fig. 11: Análisis de la mejora de productividad en piezas por hora.

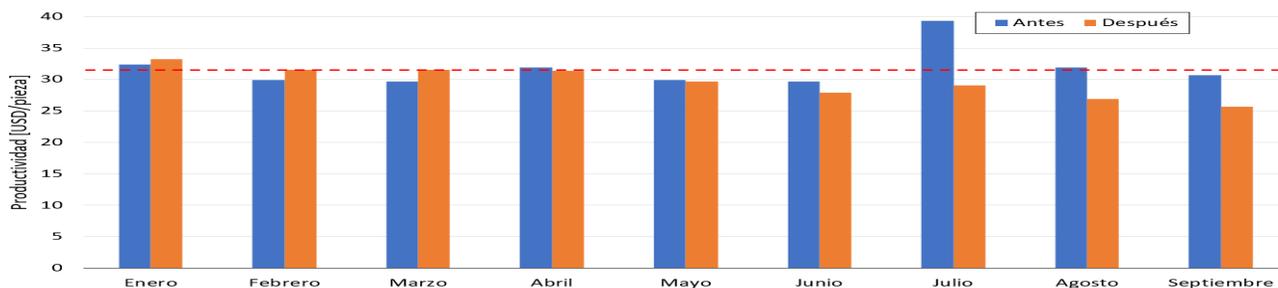


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 presenta el análisis de costos de producción antes y después de la implementación de las mejoras. A partir del segundo mes, se observa un aumento en la productividad en comparación con el valor inicial, manteniendo una tendencia de crecimiento con cada estrategia aplicada. Tras la implementación de mejoras en capacitación y

supervisión, se logra alcanzar el costo óptimo de USD 31.55 por pieza. Posteriormente, con la incorporación de instrumentos digitales para la medición, se continua optimizando la productividad y reduciendo costos, alcanzando un valor de USD 27.89 por pieza mecanizada. Finalmente, con la adquisición de una segunda máquina para el proceso de torneado, la productividad sigue mejorando, logrando reducir el costo de producción a USD 25.69 por pieza.

Fig. 12: Análisis de los costos de productividad antes y después de las actividades de mejora.



Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

El análisis inicial evidencia oportunidades de mejora en la eficiencia operativa del taller, identificando tiempos de inactividad elevados, defectos de calidad relacionados con la precisión dimensional y una eficiencia general de los equipos por debajo del umbral recomendado. La revisión de literatura sobre mejores prácticas en la medición del **OEE** permite establecer un marco de referencia para evaluar el desempeño del torno y la fresadora, destacando la importancia de la capacitación del personal, la optimización de los tiempos de mecanizado y el uso de herramientas de medición digital para mejorar la calidad y reducir el desperdicio.

El cálculo del **OEE** revela que, si bien la calidad del mecanizado se mantenía en niveles óptimos, la disponibilidad y el rendimiento eran factores limitantes en la eficiencia general del taller. En el torno, el **OEE** máximo alcanzado antes de las mejoras fue de 73.52 %, mientras que en la fresadora fue de apenas 34.15 %, reflejando una subutilización significativa. Tras la implementación de estrategias como capacitaciones, adquisición de calibradores digitales y la incorporación de una segunda máquina de torneado, se logra aumentar el **OEE** del torno a 92.69 % y el de la fresadora a 90.68 %, evidenciando una mejora sustancial en la productividad global del taller.

Las estrategias implementadas permitieron optimizar la productividad del taller mediante la reducción de tiempos muertos, la mejora en la precisión del mecanizado y el incremento del rendimiento operativo. La productividad, inicialmente de 0.9317 piezas por hora, alcanza una producción máxima de 10 piezas por día, mientras que el costo de producción por pieza se redujo de USD 31.55 a USD 25.69. Estos resultados demuestran la efectividad de las mejoras aplicadas y resaltan la importancia de una gestión basada en la mejora continua para garantizar un crecimiento sostenido en la eficiencia operativa del taller.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cheah, C., Prakash, J., y Ong, K. (2020). An integrated OEE framework for structured productivity improvement in a semiconductor manufacturing facility. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(5), 1081–1105. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2019-0176/FULL/XML>
- Di Luozzo, S., Pop, G., y Schiraldi, M. (2021). The Human Performance Impact on OEE in the Adoption of New Production Technologies. *Applied Sciences*, 11(18), 8620. <https://doi.org/10.3390/APP11188620>
- Dobra, P., y Jósvali, J. (2022). Assembly Line Overall Equipment Effectiveness (OEE) Prediction from Human Estimation to Supervised Machine Learning. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(3), 59. <https://doi.org/10.3390/JMMP6030059>
- Durán-Tenesaca, J., Moreno-Narváez, V., y Humberto-Medina, E. (2022). Medición OEE en manufactura de línea blanca, máquina inyectora de plásticos con tecnología 4.0. *CienciaMatria*, 8(3), 738–763. <https://doi.org/10.35381/CM.V8I3.801>
- Foit, K., Gołda, G., y Kampa, A. (2020). Integration and Evaluation of Intra-Logistics Processes in Flexible Production Systems Based on OEE Metrics, with the Use of Computer Modelling and Simulation of AGVs. *Processes*, 8(12), 1648. <https://doi.org/10.3390/PR8121648>
- Gherghea, I., Bungau, C., Indre, C., y Negrau, D. (2021). Enhancing Productivity of CNC Machines by Total Productive Maintenance (TPM) implementation. A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1169(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1169/1/012035>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza-Torres, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Educación: México, D.F.

- Jurewicz, D., Dąbrowska, M., Burduk, A., Medyński, D., Machado, J., Motyka, P., y Kolbusz, K. (2024). Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Overall Equipment Effectiveness (OEE) - Case Study. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 543–561. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44282-7\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44282-7_42)
- Kifta, D., y Putri, N. (2021). Analysis and Measurement of Overall Equipment Effectiveness (OEE) Values of the CNC Cutting Machine at PT. XYZ. *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2021*, 953–958. <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672603>
- Li, Y., Inoue, L., y Sinha, R. (2022). Real-time OEE visualisation for downtime detection. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 22, 729–734. <https://doi.org/10.1109/INDIN51773.2022.9976067>
- Lim, J., Pfeiffer, L., Ocker, F., Vogel-Heuser, B., y Kovalenko, I. (2023). *Ontology-Based Feedback to Improve Runtime Control for Multi-Agent Manufacturing Systems*. <https://arxiv.org/abs/2309.10132v1>
- Maldonado-Pinto, J. (2018). *Metodología de la investigación social: Paradigmas: cuantitativo, sociocrítico, cualitativo, complementario* (1ra ed.). Ediciones de la U: Bogotá.
- Masmoudi, E., Piétrac, L., y Durieux, S. (2023). A Literature Review on the Contribution of Industry 4.0 Technologies in OEE Improvement. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 474, 69–79. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32534-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32534-2_6)
- Mouhib, Z., Gallab, M., Merzouk, S., Soulhi, A., y Elbhiri, B. (2024). Towards a generic framework of OEE monitoring for driving effectiveness in digitalization era. *Procedia Computer Science*, 232, 2508–2520. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2024.02.069>
- Singh, S., Khamba, J., y Singh, D. (2021). Analyzing the Role of Six Big Losses in OEE to Enhance the Performance: Literature Review and Directions. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 411–421. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7\\_37](https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7_37)
- Van De Ginste, L., Aghezzaf, E. H., y Cottyn, J. (2022). The role of equipment flexibility in Overall Equipment Effectiveness (OEE)-driven process improvement. *Procedia CIRP*, 107, 289–294. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.04.047>
- Varela-Pérez, J., López-Ortega, A., y Romero-García, R. (2023). Medición de la productividad mediante el Overall Equipment Effectiveness (OEE) para operaciones no cíclicas. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(6), 1273–1285. <https://doi.org/10.56712/LATAM.V4I6.1522>
- Wiyatno, T. N., y Kurnia, H. (2022). Increasing Overall Equipment Effectiveness in the Computer Numerical Control Lathe Machines using the Total Productive Maintenance Approach. *OPSI*, 15(2), 284–292. <https://doi.org/10.31315/OPSI.V15I1.7284>
- Yandriyani, D., Sitanggang, M. L., y Masri, I. (2024). The effect of low overall equipment effectiveness (OEE) on working hours and production costs of supplement products. *Journal Info Sains: Informatika Dan Sains*, 14(01), 529–538. <https://doi.org/10.54209/infosains.v14i01>
- Yuan, M., Alghassi, A., Zhao, S., Wu, S., Muhammad, A., Cui, J., y Myo, K. (2021). Online Overall Equipment Effectiveness (OEE) Improvement Using Data Analytics Techniques for CNC Machines. *Intelligent Systems Reference Library*, 202, 201–228. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67270-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67270-6_8)
- Zehra, K., Mirjat, N., Shakih, S., Harijan, K., Kumar, L., y El Haj-Assad, M. (2024). Optimizing Auto Manufacturing: A Holistic Approach Integrating Overall Equipment Effectiveness for Enhanced Efficiency and Sustainability. *Sustainability*, 16(7), 2973. <https://doi.org/10.3390/SU16072973>