

# Overall Equipment Efficiency in the Manufacturing Industry: A Systematic Review

Noe Romani, Bach<sup>1</sup>, Jhon E. Chumpe, Bach<sup>2</sup>, Arturo G. Velasquez, Mg<sup>3</sup>, Maria E. Alca, Mg<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, <sup>1</sup>U19204585@utp.edu.pe, <sup>2</sup>U19202220@utp.edu.pe, <sup>3</sup>C25661@utp.edu.pe, <sup>4</sup>C26207@utp.edu.pe

*Abstract– In the context of global competition and constant changes in the manufacturing industry, Overall Equipment Efficiency (OEE) stands out as a key performance indicator (KPI) in manufacturing processes, often poorly understood at the time of its implementation. This is why we pose the following question using the PICO methodology: What are the main problems of low efficiency and results found in the manufacturing industry regarding OEE measurement?, which allows structuring the problem systematically. Subsequently, to improve information management, the PRISMA diagram was used to select suitable articles based on inclusion and exclusion criteria in the Scopus database, resulting in 33 articles directly addressing the OEE topic out of a total of 342. Therefore, this systematic review highlights the importance of addressing this issue and emphasizes the positive influence of approaches such as Total Productive Maintenance (TPM) and Industry 4.0 technology in the correct use of OEE. Additionally, other key performance metrics such as TEEP, OMI, OPE, among others, are identified, while they differ in detail from OEE, they often stem from it as a fundamental basis, indicating that OEE is highly customizable depending on its objective or industry. The conclusions emphasize the importance of addressing challenges associated with deficient implementations and underscore the need to standardize OEE adoption comprehensively. There is a need for research that strengthens the existing literature on OEE and effective implementation strategies to improve efficiency in the manufacturing industry.*

*Keywords-- Overall Equipment Efficiency, Manufacturing, Production, Lines, Industry 4.0, Real-time.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Eficiencia Global del Equipo en la Industria de Manufactura: Una Revisión Sistemática

Noe Romani, Bach<sup>1</sup>, Jhon E. Chumpe, Bach<sup>2</sup>, Arturo G. Velasquez, Mg<sup>3</sup>, Maria E. Alca, Mg<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, <sup>1</sup>U19204585@utp.edu.pe, <sup>2</sup>U19202220@utp.edu.pe, <sup>3</sup>C25661@utp.edu.pe, <sup>4</sup>C26207@utp.edu.pe

**Resumen**– En el contexto de competencia global y cambios constantes en la industria manufacturera, la Eficiencia Global de Equipo (OEE) destaca como un indicador clave de desempeño (KPI) en los procesos de manufactura, siendo poco comprendida al momento de su implementación. Esta es la razón por la que hacemos la siguiente pregunta utilizando la metodología PICO: ¿Cuáles son los principales problemas de baja eficiencia y resultados encontrados en la industria de manufactura en relación con la medición del OEE?, que permite sistematizar la problemática de manera estructurada. Posteriormente, para mejorar la gestión de la información se utilizó el diagrama PRISMA, con el propósito de seleccionar los artículos idóneos a partir de los criterios de inclusión y exclusión en la base de datos Scopus, dando como resultado 33 artículos que abordan directamente la temática del OEE de un total de 342. Por lo tanto, la presente revisión sistemática destaca la importancia de abordar esta problemática y resalta la influencia positiva de enfoques como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y la tecnología 4.0 en la utilización correcta del OEE. Además, se identifican otras métricas clave de rendimiento como TEEP, OMI, OPE, entre otros, estas si bien son distintas en detalle al OEE, parten muchas veces de ella como base fundamental, lo que indica que el OEE es altamente personalizable en función de su objetivo o industria. Las conclusiones destacan la importancia de abordar los desafíos asociados con implementaciones deficientes y toman la necesidad de estandarizar la adopción del OEE de manera integral. Existe la necesidad de realizar investigaciones que fortalezcan la literatura existente sobre el OEE y estrategias efectivas de su implementación mejorando la eficiencia en la industria manufacturera.

**Palabras Clave**-- Eficiencia Global de Equipos, Manufactura, Producción, Líneas, Industria 4.0, Tiempo real

## I. INTRODUCCIÓN

En un contexto actual de constantes cambios y creciente competencia global, las empresas del sector manufactura, continúan con la búsqueda de herramientas que puedan hacer más fácil el seguimiento de los procesos de transformación en el sector de manufactura, como es el caso de la Eficiencia Global de Equipo (OEE). Tal como menciona [1], el OEE, presentada por Nakajima en 1988 bajo el enfoque del sistema Mantenimiento Productivo Total (TPM), se ha convertido en un Key Performance Indicator (KPI) fundamental de desempeño y

es transversalmente utilizado en el rubro de la manufactura. Por otro lado, el TPM está muy entrelazado con el OEE, a pesar de que esta metodología se inició mucho antes. Como menciona [2], dentro de la administración de mantenimiento el TPM es ampliamente utilizado en la industria manufacturera desde principios de la década de 1950. El problema radica en que, a pesar de su importancia y eficacia demostrada, muchas organizaciones todavía no han implementado el OEE de manera efectiva en sus procesos y esta problemática es a menudo por la falta de análisis actuales en el sector manufactura. Según [3], en la industria, es crucial monitorear y mejorar el rendimiento del ensamblaje basado en los patrones revelados por el aprendizaje automático. La falta de implementación del OEE de manera efectiva puede resultar en una pérdida significativa de eficiencia operativa y, en última instancia, en una disminución de la rentabilidad. En línea con [4], las máquinas se crean con una capacidad de producción específica en mente, pero en muchas ocasiones, la producción real no alcanza la capacidad de diseño y no siempre cumple con los estándares de calidad esperados. Asimismo, la implementación no siempre es un éxito, es decir siempre resulta un reto y en retrospectiva eso se debe a que no es tan sencillo la adaptación para un proceso y en particular la complejidad de las operaciones humano maquinas lo hace más difícil aún. Como señala [5], la eficiencia puede abordar múltiples aspectos del proceso de producción, generando una interacción crucial entre una empresa industrial y sus trabajadores responsables de tareas fundamentales. Cuanto más precisos y coherentes sean los empleados en sus funciones, mayor será su efectividad. Entre estas tareas, es esencial destacar la adecuada utilización de la tecnología, la comunicación y la organización. [6], el OEE se utiliza como medidor que dice qué tan bien están funcionando las cosas. Ayuda a saber cuán eficientes son las empresas, departamentos o máquinas en su producción. En tal sentido, la justificación para actualizar el tema de las perspectivas y tendencia actual de la implementación del OEE para la mejora de procesos es evidente además de necesario para no cometer errores y tener claro cómo abordarlo para lograr buenos resultados, resaltando la importancia de medir con precisión y exactitud la eficiencia

de las máquinas o líneas de producción para las empresas. Tal como indica [7], existen varias investigaciones en la literatura para abordar estos. Sin embargo, los métodos propuestos apuntan a abordar uno de los temas de OEE sin prestar mucha atención a los demás. Se encontró muy poca información que aborde el tema en los últimos años y que muestre un panorama

moderno que contraste con la realidad actual. Por tal razón, esta nueva Revisión Sistemática de Literatura (RSL) puede llevar a mejoras sustanciales en la eficiencia operativa, reduciendo los tiempos de inactividad y de esta forma incrementar la producción y la calidad en los procesos.

## II. METODOLOGÍA PICO

### A. Método sistemático de búsqueda

Para el propósito de esta revisión se utilizó la metodología PICO. Esta es una herramienta utilizada para estructurar y definir con mayor claridad los elementos clave de una pregunta de investigación y consta de los siguientes componentes Problema, Intervención, Comparación, Resultados (PICO), para formular la pregunta de investigación. Como afirma [10] la estrategia PICO se puede aplicar en la creación de preguntas de investigación en diversos ámbitos. Por tal razón, con el propósito de definir de forma objetiva el alcance de nuestra RSL, se formula la siguiente pregunta de investigación utilizando el método PICO como marco de referencia, abordando el concepto de OEE en el sector empresarial de manufactura ver Tabla I.

¿Cuáles son los principales problemas de baja eficiencia y resultados encontrados en la industria de manufactura en relación con la medición del OEE, incluyendo el uso de este indicador y otras herramientas de medición?

TABLA I  
PALABRAS CLAVE

Componentes			Palabras clave
<b>P</b>	Problema	Baja eficiencia en la industria	Overall Equipment Effectiveness, OEE, Low productivity, TPM Industry 4.0
<b>I</b>	Intervención	Mantenimiento y Producción	Production, Manufacturing, Process, Maintenance, lot, Industry
<b>C</b>	Comparación	Herramienta de medición	Key Performance Indicators, KPI, Measurement instrument, Reliability, TPM, Tools
<b>O</b>	Resultados	Disponibilidad, Rendimiento y Calidad	Quality, Performance, Availability, Process, Optimization

P: ¿Qué problemas de baja eficiencia en el sector industrial surgen por la falta de la herramienta de medición OEE?

I: ¿Cómo se está midiendo el OEE en el campo de ingeniería de mantenimiento y producción?

C: ¿Qué otras herramientas son consideradas para medir la eficiencia global de equipos?

O: ¿Cuáles son los principales resultados encontrados en la industria de manufactura?

Una vez obtenidas las palabras clave en base a la metodología PICO se planteó el uso de una base de datos. Para esta RSL se usó la base de datos Scopus ya que permite la búsqueda y recuperación de artículos científicos teniendo una amplia variedad de campos [11] afirma, que esta base de datos diversificada recopila información bibliográfica y citas de

revistas científicas. Asimismo, se realizó una exploración en la base de datos Scopus utilizando palabras clave de la Fig. 1, las cuales se obtuvieron a partir de la metodología PICO implementada. Esta búsqueda contribuyó a la recopilación de artículos relevantes para el desarrollo de esta RSL. A continuación, se detalla la ecuación de búsqueda utilizada:

### B. Ecuación de búsqueda.

Esta búsqueda contribuyó a la recopilación de artículos relevantes para el desarrollo de esta RSL. A continuación, se detalla la ecuación de búsqueda utilizada en SCOPUS: (( ALL ( "overall equipment effectiveness" OR oee OR "low productivity" OR "TPM Industry 4.0" ) AND ALL ( production OR manufacturing OR process OR maintenance OR iot OR industry ) AND ALL ( "key performance indicators" OR kpi OR "Measurement instrument" OR reliability OR tpm OR tools ) AND ALL ( quality OR performance OR availability OR "process optimization" ) ) AND PUBYEAR> 2017 AND PUBYEAR< 2024 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( LIMIT-TO ( OA , "all" ) ) )

### C. Metodología Prisma y enfoque de revisión

Después de la obtención de los resultados en Scopus mediante la aplicación de metodología PICO, se procedió a identificar los posibles artículos de interés utilizando un conjunto de criterios detallados en la tabla II y III. De acuerdo con [12], los criterios de inclusión fueron diseñados con la intención de abarcar de manera amplia de literatura relevante. Asimismo, se llevó a cabo una RSL siguiendo el enfoque PRISMA como el modelo de [13], como se ilustra en la Fig. 1. La elaboración del esquema PRISMA se realizó siguiendo los procedimientos recomendados por [14] y [12]. Por lo tanto, la revisión se limitó a documentos registrados del tipo artículo en la base de datos Scopus.

TABLA II  
TABLA DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Filtro	Criterio (CI)	N° Artículos	Criterio (CE)	N° Artículos
Búsqueda	Argumento PICO	4303	Ninguno	0
Año:	2018-2023	2616	1973 al 2017	1687
Área de estudio:	Ingeniería	1372	Ciencias, Computación, Negocios, Administración, Contabilidad, Ciencia de Materiales, Ingeniería Química, Energía, Física y Astronomía, Ciencias Ambientales, Matemáticas, Ciencias de la Decisión, Ciencias Sociales, Química, Bioquímica, Genética, Biología Molecular, Ciencias de la Tierra, Planetarias, Ciencias Agrícolas, Biológicas, Economía, Econometría y Finanzas, Medicina.	1244
Tipo de documento	Artículos	772	Artículo de conferencia, reseña, capítulo de libro, encuesta breve, libro.	600
Idioma	Inglés	731	Ruso, portugués, español	41
Acceso abierto	Acceso abierto	342	Gold, Green, Bronze, Hybrid gold	389

Se encontraron inicialmente un total de 4,303 publicaciones en Scopus. Sin embargo, se procedió a restringir la búsqueda a un período de los últimos 5 años (2018 a 2023), lo que resultó en

la obtención de 2,616 publicaciones dentro de este período. Además, se delimitó la búsqueda al campo de la Ingeniería, excluyendo 1244 documento relacionados a otras áreas, tal como se observa en la tabla I. Asimismo, se limitaron los resultados a publicaciones de tipo artículo, lo que resultó en 772 publicaciones. Posteriormente, se optó por seleccionar únicamente aquellos escritos en el idioma inglés, ya que otros idiomas pueden presentar una mayor complejidad para la lectura a texto completo, lo que llevó a un total de 731 publicaciones. Finalmente, se decidió incluir solo los artículos Open Access, lo que culminó en la selección de la muestra final de 342 publicaciones para su posterior revisión y análisis.

TABLA III  
INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DEL CRIBADO ELEGIBLE

Criterio de exclusión (CE)	Criterio de inclusión (CI)
Título: Estudios que no se centren en la manufactura industrial que es nuestra población	Título: Estudios que aborden de manera directa pero también de forma indirecta sobre el OEE
Abstract: Artículos que no abordan específicamente el impacto se positivo o negativo del OEE en la manufactura industrial	Abstract: Estudios deben contemplar aspectos positivos en las diferentes utilidades del OEE en la manufactura

Después de aplicar los tamices establecidos en Scopus, se tuvo un resultado de 342 publicaciones de tipo artículo; el cual se aplica en la etapa de cribado considerando las palabras clave: Overall Equipment Effectiveness, OEE, Low productivity, TPM Industry 4.0 Production, Manufacturing, Process, Maintenance, Iot, Industry Key Performance Indicators, KPI, Measurement instrument, Reliability, TPM, Tools Quality, Performance, Availability, Process, Optimization. Se establecieron criterios de exclusión (CE) y criterios de inclusión (CI) como se detalla en la tabla III, para depurar el conjunto de artículos, los cuales se basaron en la presencia de referencias directas o indirectas a las temáticas definidas por las palabras clave en los títulos, así como en los resúmenes de artículos descargados en Excel. Se excluyeron aquellos que no abordaban temas relacionados con la OEE en la manufactura industrial y que no proporcionaban resultados vinculados a la productividad, el rendimiento, la calidad o cualquier referencia a mejoras en la eficiencia de procesos en este sector. [9] comprende la importancia de mejorar los indicadores clave de rendimiento KPI a nivel de gestión y su complejidad de optimizar y mantener actualizados estos son lo que llevan a la mejora de diversas soluciones en la mejora continua.

#### D. Modelo flujo PRISMA

El proceso de cribado inicial llevó a la exclusión de 291 artículos, y tras un análisis exhaustivo de los artículos en su totalidad, se descartaron otros 18 debido a la falta de referencias claras al objeto de estudio. En consecuencia, se han identificado 33 publicaciones en forma de artículos que serán consideradas en esta RSL.

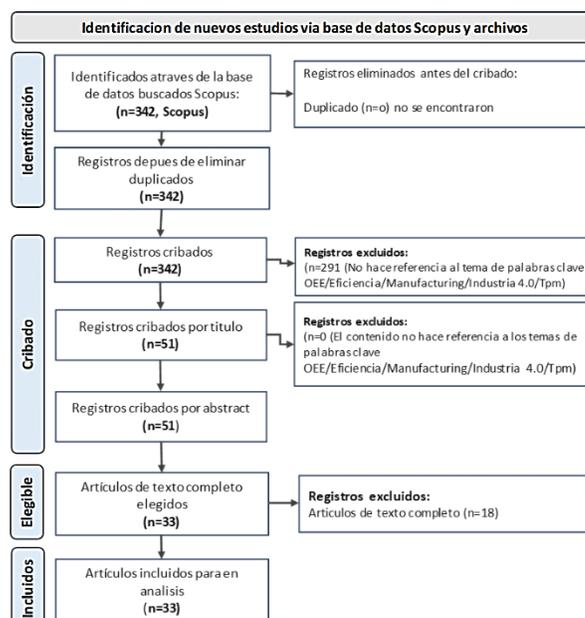


Fig. 1 PRISMA flowchart (based on Moher et al., 2009).

### III. RESULTADOS

En el ámbito de estudios sobre el OEE en empresas industriales hay dos predominantes. En la Fig. 2, se observa que la gran mayoría de investigaciones se han basado en enfoques cuantitativos, representando un 93.94% del total, lo que equivale a 31 estudios. En línea con [15], la investigación cuantitativa se dedica a la medición de fenómenos mediante valores numéricos y la aplicación de técnicas estadísticas en su análisis.

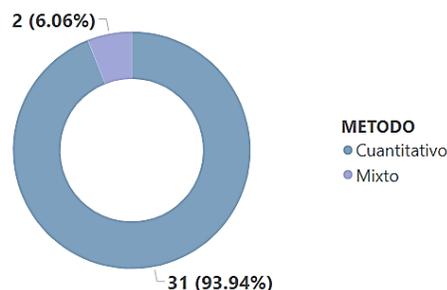


Fig. 2 Número y porcentaje de métodos de estudio

Su enfoque primordial trata la descripción, una forma de explicación y control de las causas de manera objetiva, sustentando las conclusiones en datos cuantitativos. Además, se identifican 2 estudios que representan el 6.06% que han adoptado un enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos en su metodología de estudio. Como afirma [16], la coherencia en la utilización de enfoques de investigación mixtos, a pesar de no perseguir la misma precisión característica de las ciencias exactas, demanda una clara y minuciosa exposición de las decisiones metodológicas

que orientan su implementación. Estos enfoques cuantitativos y mixtos son utilizados para analizar y comprender la eficiencia de los equipos en el entorno manufacturero.

#### A. Volumen por publicación anual y tipo de estudio

El análisis de la Fig. 3, los artículos por año y tipo de estudio revela patrones de investigación en la industria a lo largo de los años. En el año 2018, se realizaron un total de 2 estudios de caso relacionados con la mejora de procesos, representando el 6% de los artículos, donde manifiesta [17], se analiza la pérdida de eficiencia en función de la efectividad general del equipo y se proponen contramedidas utilizando la teoría de restricciones. Tal como afirma, [18], la implementación del programa TPM en estaciones de trabajo de laminación, doblado, corte y troquelado, evaluando el OEE, condujo a mejoras en el rendimiento general de la empresa.

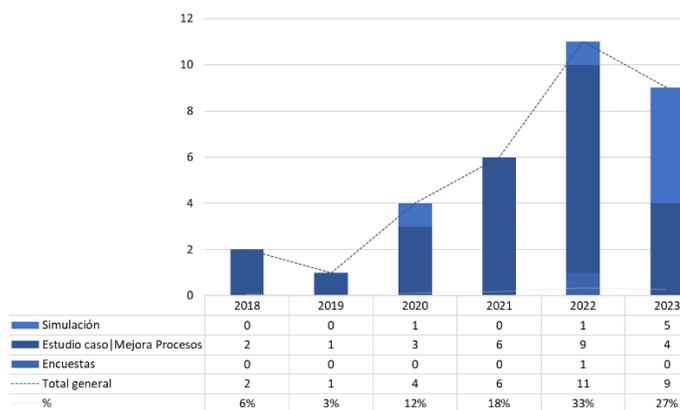


Fig. 3 Año de publicación y tipo de estudio

En 2019, se realizó un 1 estudio de mejora procesos, que constituyó el 3%. Como afirma [19], las máquinas en la fabricación deben cumplir requisitos tecnológicos para minimizar el consumo de recursos y costos, con un enfoque en mejora de procesos, utilizando el indicador OEE para la optimización de procesos. En 2020, hubo un aumento en la cantidad de estudios realizados, con 3 estudios de mejora de procesos. En línea con [20], con los resultados en el sector automotriz en donde se aplicó TPM y el ciclo PDCA para mejorar la eficiencia de producción, aumentando el OEE del 60,7% al 65,3% en un mes con mejorar de procesos. Asimismo, 1 estudio de simulación. Según [21], esta investigación propone un marco de Sistema de Soporte de Decisiones basado en Modelos (MD-DSS), que utiliza tecnologías emergentes con el propósito de optimizar los procesos de fabricación, con un enfoque en la captura y simulación de rendimiento con el indicador OEE. Esto represento el 12%. El año 2021 mostró un enfoque exclusivo en estudios de caso mejora de procesos, con un total de 6, que constituyeron el 18%. Según [22], el TPM es clave para lograr un incremento productivo y el OEE como herramienta de seguimiento para minimizar las paradas de equipos en PYMES. En 2022, se destaca nuevamente un incremento en los estudios de caso de mejora de procesos con 9, junto con 1 encuesta y 1 estudio de simulación, que

representaron el 33%. Como afirma [23], la predicción precisa del OEE en líneas de ensamblaje semiautomáticas a través de técnicas de aprendizaje supervisado para la mejora de procesos. Finalmente, en 2023, se llevaron a cabo 4 estudios de simulación y 5 estudios de caso de mejora de procesos, que representaron el 27% del total de artículos. En las empresas el uso creciente del OEE como clave para aumentar la productividad en la Industria 4.0 con modelos de simulación para optimizar el rendimiento de la producción. [5] Este análisis evidencia la diversidad en cuanto a cantidad y el tipo de estudios realizados en la industria a lo largo de los años, lo que refleja las diferentes tendencias en la investigación, con un enfoque en los estudios de caso y la simulación en los años más recientes. Según la tabla IV, se tiene un top de 10 autores más citados y podemos notar una agrupación de 4 artículos con un total de 95 citas siendo el 63% del total de citas de los artículos revisados. Asimismo, se resalta la cantidad de citas por artículo se pudo extraer de la base datos científica Scopus. Por otro lado, el autor más citado indica según [18], en la manufactura actual, la clave es optimizar recursos y rendimiento de equipos existentes en lugar de invertir en expansión e implementar herramientas lean, como Mantenimiento Productivo Total, puede elevar el OEE y mejorar la eficiencia en industrias de mediana escalada.

TABLA IV  
AUTORES MÁS CITADOS

N°	Autores	Año	País de estudio	N° citas
01	Nallusamy et al.	2018	India	44
02	Xiang et al.	2021	Malasia	21
03	Haddad et al.	2021	Hungría	18
04	Abd Rahman et al.	2020	Malasia	12
05	Sukma et al.	2022	Indonesia	6
06	Marinho et al.	2021	Serbia	6
07	Jaqin et al.	2020	Indonesia	6
08	Basak et al.	2022	Reino Unido	4
09	He et al.	2018	China	4
10	Li et al.	2021	China	4
<b>Citas</b>				<b>125</b>

Como se puede apreciar en la Fig. 4, gran parte de los artículos revisados se centran en continentes África, Asia, Europa y Oceanía. Asimismo, en la Fig. 5 el país con mayor número de estudios realizados en su territorio es Hungría con 6 estudios que representan el 18% del total de artículos revisados, que son en su mayoría del sector de manufactura automotriz. Como afirma [7], los patrones relacionados con la eficiencia general del equipo en la fabricación buscan optimizar procesos y aumentar beneficios a través del análisis de data y la incorporación de métodos de aprendizaje automático, con enfoque en el indicador clave de rendimiento OEE. Asimismo, seguido de Indonesia con 4 estudios que representan el 12%. Que sigue la tendencia en el sector manufactura automotriz con el desarrollo una metodología como el TPM - OEE para la mejora de procesos. Tal como indica [20], este enfoque exitoso

demuestra cómo la implementación de TPM - OEE mejoran el rendimiento de los procesos y la eficiencia en la fabricación de componentes automotrices. En India con 3 estudios que representan el 9%, que muestran una tendencia a los modelos más actuales como redes neuronales, Como señala [24], el desarrollo de un modelo para predecir y mejorar la eficiencia de taladros de núcleo mediante redes neuronales. Se optimizan las variables de operación para lograr una efectividad del OEE 74.9%, respaldada por el incremento de resultados en corto tiempo.



Fig. 4 Mapa de principales continentes y países de artículos de estudio

Por otro lado, en la Fig. 5 se denota a otros países como: Alemania, China, Malasia, Polonia, Reino Unido y Serbia con el 6% cada uno y finalmente países como: Botsuana, Eslovaquia, Italia, Pakistán, Republica Checa y Suecia, muestran tendencias similares, pero más aleatorias en el desarrollo de sus estudios sobre las herramientas y su mejora de procesos.

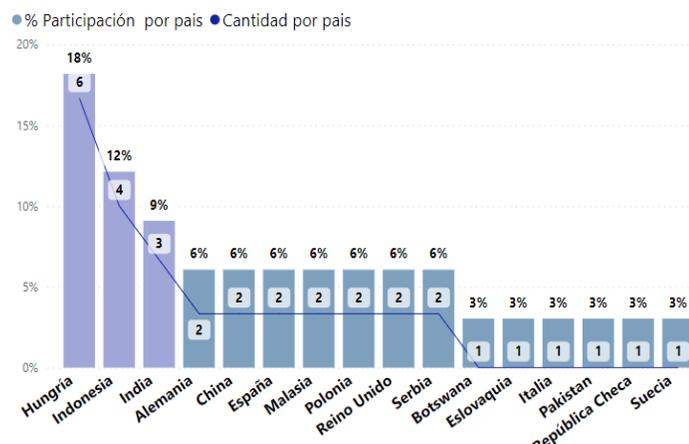


Fig. 5 Porcentaje de participación por países

### B. Resultados del planteamiento de preguntas de investigación

La carencia de herramientas de medición como el OEE en la industria puede resultar en una gestión ineficiente de recursos. Tal y como menciona [25], la falta de visibilidad sobre el rendimiento y una medición incorrecta de los procesos dificulta la identificación de oportunidades de mejora. Asimismo [26], menciona como la ausencia de métricas precisas limita la capacidad de evaluar eficazmente los procesos y tomar decisiones informadas para optimizar la productividad. En línea con lo anterior [23] sostienen que la implementación del OEE se vuelve esencial para cuantificar y mejorar el rendimiento de cualquier línea productiva o maquinaria, permitiendo a las empresas identificar y abordar eficazmente áreas de oportunidad, mejorando así la eficiencia general de las operaciones industriales. La medición del OEE en el campo de la ingeniería de mantenimiento y producción ha experimentado una notable transformación gracias a la tecnología 4.0. [5], refiere como la automatización y el real time de los datos recopilados a través de sensores e IoT, optimizan la precisión en la medición del OEE. De acuerdo con [24], la tecnología 4.0 brinda la capacidad de prever fallos, programar mantenimiento de forma proactiva y optimizar la gestión de procesos, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad en las operaciones industriales. En el contexto del OEE, existen otras métricas clave para evaluar la eficiencia global de los equipos en entornos industriales. Entre ellas, se encuentran el TEEP (Tasa de Eficiencia Total del Equipo), el OMI (Eficiencia general de Mantenimiento) el OPE (Eficiencia de Proceso Operativo) y muchas otras, aunque en menor medida. En ese sentido y tal como resalta [27], diversas herramientas proporcionan distintas perspectivas, de acuerdo con el campo de aplicación. La elección de la herramienta más precisa está sujeta a los objetivos específicos de cada organización. En la industria de manufactura, se han identificado resultados relacionados con la mejora de procesos. Según [28] a pesar de la complejidad en la medición a través del OEE este sirve para evaluar el rendimiento de la empresa, considerando que un alto porcentaje significa una mayor rentabilidad. Asimismo [8] el empleo de tecnologías de la Industria 4.0 así como también las técnicas de predicción han impulsado la automatización y la eficiencia, lo que resulta en una mejora en los procesos de producción y una lenta pero sólida reducción de costos operativos. En resumen, la manufactura está experimentando una transformación positiva al enfocarse en mejorar sus procesos, reducir costos y aumentar la productividad, impulsando así su competitividad en el mercado.

### C. ¿Qué problemas de baja eficiencia en el sector industrial surgen por la falta de la herramienta de medición OEE?

De los 33 artículos, 28 demostraron una clara alineación con la pregunta planteada, ofreciendo información detallada sobre las problemáticas generadas por no usar una herramienta como el OEE dentro de sus operaciones. Como sostiene [29], la

inexactitud al medir varios equipos o procesos en el momento de la ejecución producciones, resultada en atrasos y desperdicios en las operaciones. Asimismo, como afirma [30], la falta de un método cuantitativo para medir la eficacia de los procedimientos productivos, teniendo en cuenta la categorización de las pérdidas en producción solo hace retrasar la toma de decisiones. No obstante, tenemos 5 artículos no respondieron de manera precisa la pregunta planteada si no que fueron más ambiguas, ya que carecían de datos esenciales o resultados apropiados para la pregunta de investigación. Como considera [31], el problema se centra en optimizar el valor del nivel de desempeño de mantenimiento MPL a través de la colaboración OEE-ME (Efectividad de la Máquina) y la confiabilidad de la máquina MR, no en la herramienta de medición al ser el MPL lo más importante para el proceso.

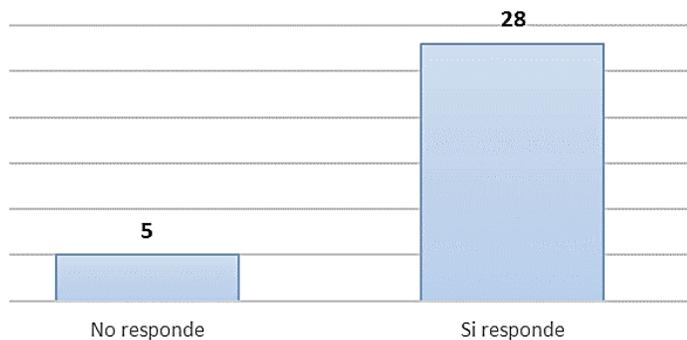


Fig. 6 Cantidad de artículos P.

Como se aprecia en la Fig. 6, a través del análisis de estos artículos, se destacó que la alineación con la pregunta y la selección cuidadosa de datos y resultados pertinentes son esenciales para una investigación sólida. Esto subraya cómo la falta de una herramienta de medición como el OEE puede llevar a decisiones no fundamentadas en datos sólidos, lo que a su vez puede resultar en problemas de baja eficiencia en la industria.

*D. ¿Cómo se está midiendo el OEE en el campo de ingeniería de mantenimiento y producción?*

La medición del OEE en el ámbito de la ingeniería de mantenimiento y producción es un tema ampliamente respaldado en la literatura analizada, tal como se refleja en los 33 artículos revisados. Asimismo, como afirma [32], los enfoques novedosos para la selección y gestión de KPIs con el fin de alcanzar metas estratégicas. Pero sobre todo deben tener cero complejidades de comprender las interrelaciones entre los indicadores y la optimización de valores para mejora de procesos. Además, estos artículos convergen en la idea de que el OEE es una métrica fundamental para evaluar el desempeño de los equipos industriales y las operaciones de producción. En línea con [33], los hallazgos sugieren que, en general, los gerentes no tienen muchas creencias preconcebidas sobre el OEE y su medición actual, pero a menudo sobrestiman la falta de material en las plantas de producción o manufactura.

*E. Software utilizado*

En la revisión de los 33 artículos relacionados con el cálculo del OEE, se identificó ver Fig. 7, una variada gama de enfoques en cuanto a las herramientas tecnológicas utilizadas. De manera destacada, 18 de estos artículos señalan que emplean software propio y específicamente diseñado para calcular el OEE, lo que sugiere un enfoque personalizado y adaptado a las necesidades de las operaciones industriales. Como afirma [7], el uso de la manufactura esbelta, a través de la técnica SMED, se utilizó para mejorar el OEE, lo que dio a lugar al desarrollo de un software propio debido al grado de personalización del proceso con el aumento del 3.26% y una mayor disponibilidad de la máquina del 4.86%. Por otro lado, 6 de los artículos destacan el uso de Excel como herramienta preferida para realizar estas evaluaciones, lo que refleja una práctica más común y accesible. Como explica [32], la adaptación del marco del OEE para su implementación en empresas de servicios y manufactura, destaca cómo el uso de OEE permite aplicarse en cualquier área de la empresa, brindando una evaluación significativa del desempeño de los empleados y la empresa en su conjunto y como la herramienta tecnológica Microsoft Excel es elegida debido a su flexibilidad y bajo costo para llevar a cabo esta adaptación.

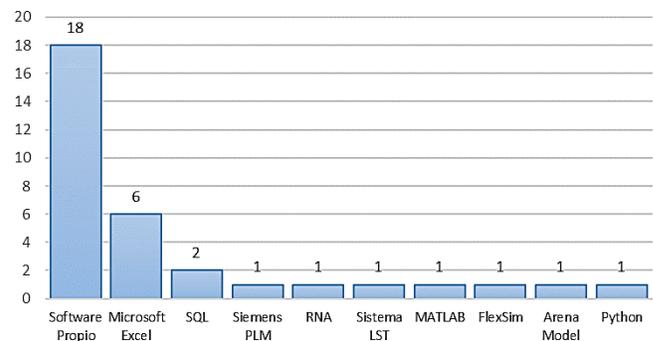


Fig. 7 Softwares más utilizados para medición del OEE.

*F. ¿Qué otras herramientas son consideradas para medir la eficiencia global de equipos?*

El 58% de los artículos ver Fig. 8, indica que utiliza el OEE como su herramienta principal para medir la eficiencia global del equipo, destacando su importancia en la evaluación de desempeño. Como opina [5], el incremento de la eficiencia operativa además de una mayor productividad de las máquinas basados en el OEE se ha logrado a través del Mantenimiento Autónomo (MA) y el TPM para potenciar la eficacia del equipo, involucrar a los operadores y mejorar la calidad. Pero el OEE siempre se mantiene como la herramienta principal de medición en la industria gracias a su flexibilidad. Mientras que el 42% restante prefiere utilizar derivados del OEE para alcanzar resultados similares o precisos en la medición de la eficiencia operativa del equipo. Como afirma [18], el énfasis en el uso del indicador OEE, considerado uno de los más importantes para evaluar la eficiencia en líneas de ensamblaje necesita de modificaciones con el respaldo del diagrama causa

y efecto, se examinan los factores que influyen en el OEE. Se identifican seis aspectos principales: personal, entorno, método, material, máquina y medición para lograr un indicador de más precisión para el proceso. Por lo tanto, esto refleja la prevalencia del OEE como una métrica esencial y pilar en la evaluación de la eficiencia en la industria de manufactura.

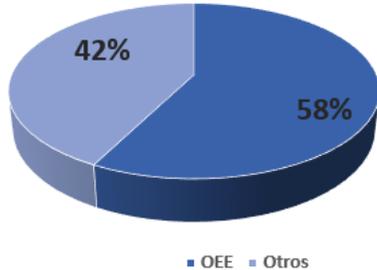


Fig. 8 Preferencias de utilización de herramientas de medición.

**G. ¿Cuáles son los principales resultados encontrados en la industria de manufactura con el OEE?**

En la industria de manufactura, los principales resultados obtenidos se centran en mejoras significativas en los procesos ver tabla V, ya que un total de 25 artículos informaron haber logrado esto. En la industria manufacturera, se han identificado resultados relacionados con la mejora de procesos como el factor principal [29]. A pesar de la complejidad en la medición a través del OEE, esta métrica permite evaluar el rendimiento de la empresa, ya que un alto porcentaje implica una mayor rentabilidad [28].

TABLA V  
COMPARATIVA DE RESULTADOS

O: ¿Cuáles son los principales resultados encontrados en la industria de manufactura?	O.1. Mejora de procesos	O.2. Reducción de costos	O.3. Incremento de productividad
Si	25	12	16
No	8	21	17
Total artículos	33	33	33

Además, se observó un incremento en la productividad en 16 de los artículos. Sin embargo, es relevante señalar que un número considerable de artículos no experimentaron estos beneficios en cada una de las categorías mencionadas. Estas innovaciones han fomentado la automatización y la eficiencia, lo que a su vez ha resultado en mejoras de los procesos de producción. Estos estudios determinan que la mejora es lenta pero sólida en el tiempo, lo que da pie a dudas. Finalmente, algunos artículos destacaron la reducción de costos como un logro importante, con 12 artículos que indicaron haber alcanzado este objetivo, aunque siendo el menor logro de todos los resultados lo afirma que si hay una reducción de costos, pero no siempre es lineal. Como afirma [8] la manufactura está experimentando una transformación positiva, donde la mejora de procesos es el punto de partida, acompañado por una optimización de la productividad y, finalmente, una reducción gradual pero constante de los costos, lo que impulsa su competitividad en el mercado.

**IV. DISCUSIÓN**

**A. OEE y Tecnologías 4.0**

La relación de carácter prioritario del OEE y las tecnologías como: La Industria 4.0, automatización, IoT, inteligencia artificial son muy utilizados, pero sobre todo aplicados en el contexto del continente europeo. En línea con [34] el uso del Internet de las cosas IoT en la eficiencia del sector de manufactura va creciendo y se observa un impulso más significativo en la Unión Europea, donde se ha promovido activamente la adopción de la IoT en los últimos años. Por otro lado, la automatización de la adquisición de datos en entornos industriales ha surgido como una tendencia disruptiva en la era digital. Según, [35] la utilización de técnicas de explotación o minería de datos relacionados al proceso aprendizaje automático se presenta como un enfoque eficiente para procesar y analizar grandes conjuntos de datos en la industria de manufactura de productos o servicios. Adicionalmente, se destaca que la implementación exitosa no solo se limita a la convergencia de OEE y la Industria 4.0, sino que también involucra el uso creciente de algoritmos de aprendizaje e inteligencia artificial. [36], la incorporación de tecnologías vinculadas en la Industria 4.0 puede conducir en una disminución en los costos directos, este enfoque no solo implica eficiencias económicas, sino que también permite una gestión más efectiva de los recursos. Esta integración de tecnologías avanzadas apunta a optimizar aún más los procesos de producción, ofreciendo una visión más inteligente el rendimiento del equipo.

**B. Soporte Cultural para el OEE**

El soporte que la herramienta OEE debe tener es el respaldo cultural, representado por metodologías como TPM, TPS, SMED, Lean Manufacturing, entre otras, que actúan como la base fundamental que lo sostiene; es así que [20], destaca la importancia de la utilización del TPM como cimiento del uso efectivo del OEE como herramienta de medición en el contexto de manufactura. Esta base es crucial para contar con el OEE, permitiendo así la identificación de áreas que necesitan mejoras tanto en productividad como en calidad. Además, el éxito de la implementación del OEE está estrechamente ligado a la mentalidad, actitudes y prácticas de las personas, así como a la cultura organizacional. De acuerdo con [37] estas metodologías no solo proporcionan un marco estructurado para mejorar la eficiencia operativa, sino que también cultivan una mentalidad proactiva y orientada a la mejora continua entre los colaboradores. Otro método ligado muy a menudo con el soporte del OEE es la Single Minute Exchange of Die (SMED). Tal como indica [38] el SMED ha demostrado ser un método eficaz para minimizar el tiempo de inactividad durante el cambio de matrices de extrusión. En esta reducción del tiempo improductivo se reflejó en una mejora significativa del 3,26% en el OEE de la máquina de extrusión de la empresa. La alineación sólida entre las prácticas culturales y las herramientas de medición OEE emerge como un factor

determinante para optimizar el rendimiento y alcanzar el éxito en el ámbito industrial.

Alta personalización de OEE a diferentes procesos y diversas herramientas. La RSL muestra otro punto relevante y en línea con la tendencia general de los artículos revisados apunta hacia la Alta Personalización del OEE. Como afirma, ([27] La construcción de una nueva métrica llamada MTOVE, diseñada para evaluar la eficiencia global del proceso de transporte de carbón, en base a los elementos de disponibilidad, rendimiento y calidad, tomando como referencia métrica OEE original. En tal sentido este fenómeno indica que muchas empresas adoptan una estrategia de adaptación minuciosa del OEE, ajustándolo de manera precisa a las necesidades específicas de los procesos medidos o a las particularidades de los sectores y rubros en los que operan. La flexibilidad inherente al OEE permite su configuración de acuerdo con las particularidades de cada entorno industrial, brindando una medida más exacta y pertinente del rendimiento operativo [17], las ineficiencias a nivel de fábrica se evidencian a través de la métrica de Efectividad del Rendimiento General (OTE), que se deriva de la OEE. La OTE refleja la relación relativa entre los equipos en un sistema de producción y, a diferencia de la OEE, evalúa el rendimiento a nivel de fábrica. Este enfoque personalizado no solo refleja la diversidad y complejidad de los contextos industriales, sino que también subraya la importancia de ajustar las métricas de eficiencia a las particularidades únicas de cada empresa, sector o proceso.

### C. Pronósticos de OEE con Simulación

La simulación de los resultados de seguimiento de OEE en los procesos es un método que poco a poco se está utilizando cada vez más. El OEE en combinación con tecnologías y herramientas de software de inteligencia artificial, está ganando importancia para predicciones. Como menciona, [5] El avance de los cálculos de OEE hacia una dimensión más allá del monitoreo en tiempo real, al incorporar la aplicación de modelado predictivo para diversos escenarios sin interrumpir las líneas de producción. También la evolución hacia la Industria 4.0 en empresas manufactureras tradicionales respalda la transformación hacia fábricas inteligentes y predictivas de máquinas como sistemas de comunicación hombre-máquina demanda una nueva orientación del OEE. Como desarrolla, [24], éxito en mejorar el OEE en la plataforma de perforación central, se debe al logro de la aplicación de un enfoque combinado que incorpora el modelo Box Jenkins y un modelo no lineal de red neuronal artificial, que logro alcanzar un OEE del 74,9%.

## V. CONCLUSIONES

En esta revisión sistemática de literatura RSL centrada en la eficiencia del OEE, se planteó la propuesta no solo de examinar los métodos de medición, estrategias de mejora y factores influyentes, sino también de actualizar la comprensión

al entorno actual al incluir investigaciones recientes. La importancia de este objetivo de actualización se evidencia por el cambio constante en las tecnologías y prácticas industriales. Los hallazgos obtenidos indican que la ejecución efectiva de enfoques como el TPM y la integración de tecnologías de la Industria 4.0 generan un impacto favorable en el OEE. Esto resalta la relevancia de enfoques integrales para potenciar la eficiencia operativa en un entorno de industria en constante evolución. Así pues, se identifican limitaciones relacionadas con la carencia de estandarización en la adopción del OEE y la falta de investigaciones centradas en entornos de producción mucho más específicos. La diversidad en los enfoques de medición dificulta la comparación entre distintos estudios, resaltando la importancia de establecer un estándar común para la evaluación de eficiencia. Además, a pesar de los valiosos datos proporcionados por los artículos, resulta esencial considerar las particularidades de cada contexto industrial al implementar estrategias de mejora basadas en el OEE. Las recomendaciones derivadas de este análisis enfatizan la importancia de abordar las limitaciones identificadas y la realización de investigaciones más especializadas en distintos sectores. Asimismo, se resalta la importancia de ahondar en la exploración de artículos que aborden el tema de las aplicaciones de tecnologías emergentes en otras bases de datos, así como el aprendizaje automático, con la finalidad de perfeccionar la precisión y eficacia en la medición del OEE. Estas recomendaciones buscan fortalecer el conocimiento existente y proporcionar directrices para la aplicación de estrategias efectivas de mejora de la eficiencia en diversos entornos industriales.

## REFERENCIAS

- [1] S. D. Luozzo, G. R. Pop, and M. M. Schiraldi, "The human performance impact on oee in the adoption of new production technologies," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 18, 2021, doi: 10.3390/app11188620.
- [2] S. Irawan, C. A. Kurniawati, and S. D. Febiola, "Improving the overall equipment effectiveness (OEE) on the chicken bowl printing machine by using the theory of change perspective," *E3S Web of Conferences*, vol. 348, pp. 1–7, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202234800040.
- [3] R. Al Janahi, H. Da Wan, Y. Lee, and A. Zarreh, "Effectiveness and fitness of production line to meet customers' demand," *Procedia Manuf*, vol. 51, no. 2019, pp. 1348–1354, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.188.
- [4] C. A. Diaz Contreras, D. A. Catari Vargas, C. De Jesus Murga-Villanueva, G. A. Diaz Vidal, and V. F. Quezada Lara, "Q3 -- Efectividad General De Equipos (Oee) Ajustado Por Costos," *Interciencia*, vol. 45, no. 3, pp. 158–168, 2020, [Online]. Available: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000524240900006>
- [5] M. Pekarčíková, P. Trebuna, M. Kliment, J. Kopec, M. Dic, and J. Kronová, "Case Study: Testing the Overall Efficiency of Equipment in the Production Process in TX Plant Simulation Software," *Management and Production Engineering Review*, vol. 14, no. 1, pp. 34–42, 2023, doi: 10.24425/mper.2023.145364.
- [6] A. Moreira, F. J. G. Silva, A. I. Correia, T. Pereira, L. P. Ferreira, and F. De Almeida, "Cost reduction and quality improvements in the printing

- industry,” *Procedia Manuf*, vol. 17, pp. 623–630, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.107.
- [7] P. Dobra and J. Józsvai, “Overall Equipment Effectiveness-Related Assembly Pattern Catalogue based on Machine Learning,” *Manufacturing Technology*, vol. 23, no. 3, pp. 276–283, 2023, doi: 10.21062/mft.2023.036.
- [8] S. Al-Toubi, B. Alkali, D. Harrison, and C. V. Sudhir, “Evaluating and Predicting Overall Equipment Effectiveness for Deep Water Disposal Pump using ANN-GA Analysis Approach,” *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 20, no. 2, pp. 199–225, 2023, doi: 10.24191/jmeche.v20i2.22063.
- [9] Y. Yurtay, N. Yurtay, H. Demirci, E. A. Zaimoglu, and A. Goksu, “Improvement and Implementation of Sustainable Key Performance Indicators in Supply Chain Management: The Case of a Furniture Firm,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 41913–41927, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3271138.
- [10] C. Mamédio, M. Roberto, and C. Nobre, “THE PICO STRATEGY FOR THE RESEARCH QUESTION,” vol. 15, no. 3, pp. 1–4, 2007.
- [11] R. Comas, J. Sureda, M. Pastor, and M. Morey, “La búsqueda de información con fines académicos entre el alumnado universitario,” *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 34, no. 1, pp. 44–64, 2011, doi: 10.3989/redc.2011.1.769.
- [12] R. J. Torracó, “Writing Integrative Reviews of the Literature,” *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 62–70, 2016, doi: 10.4018/ijavet.2016070106.
- [13] D. Moher et al., “Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement,” *PLoS Med*, vol. 6, no. 7, 2009, doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [14] C. T. Nolan and T. N. Garavan, “Human Resource Development in SMEs: A Systematic Review of the Literature,” *International Journal of Management Reviews*, vol. 18, no. 1, pp. 85–107, 2016, doi: 10.1111/ijmr.12062.
- [15] F. A. Sánchez Flores, “Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos,” *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, vol. 13, pp. 101–122, 2019, doi: 10.19083/ridu.2019.644.
- [16] J. N. Moscoso, “Les méthodes mixtes en recherche en éducation: Vers une utilisation réflexive,” *Cadernos de Pesquisa*, vol. 47, no. 164, pp. 632–649, 2017, doi: 10.1590/198053143763.
- [17] F. He, K. Shen, L. Lu, and Y. Tong, “Model for improvement of overall equipment effectiveness of beerfilling lines,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 8, pp. 1–20, 2018, doi: 10.1177/1687814018789247.
- [18] S. Nallusamy, V. Kumar, V. Yadav, U. K. Prasad, and S. K. Suman, “Implementation of total productive maintenance to enhance the overall equipment effectiveness in medium scale industries,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 8, no. 1, pp. 1027–1038, 2018, doi: 10.24247/ijmperdfeb2018123.
- [19] R. Consumption, C. Of, and M. Tools, “HSM2019-111,” vol. 1269, pp. 3301–3309, 2020, doi: 10.17973/MMSJ.2019.
- [20] C. Jaqin, A. Rozak, and H. H. Purba, “Case Study in Increasing Overall Equipment Effectiveness on Progressive Press Machine Using Plan-do-check-act Cycle,” *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, vol. 33, no. 11, pp. 2245–2251, 2020, doi: 10.5829/ije.2020.33.11b.16.
- [21] M. S. Abd Rahman, E. Mohamad, and A. A. Abdul Rahman, “Enhancement of overall equipment effectiveness (OEE) data by using simulation as decision making tools for line balancing,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 2, pp. 1040–1047, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v18.i2.pp1040-1047.
- [22] P. Marinho, D. Pimentel, R. Casais, F. J. G. Silva, J. C. Sá, and L. P. Ferreira, “Selecting the best tools and framework to evaluate equipment malfunctions and improve the OEE in the cork industry,” *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 12, no. 4, pp. 286–298, 2021, doi: 10.24867/IJIEEM-2021-4-295.
- [23] P. Dobra and J. Józsvai, “Assembly Line Overall Equipment Effectiveness (OEE) Prediction from Human Estimation to Supervised Machine Learning,” *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 6, no. 3, 2022, doi: 10.3390/jmmp6030059.
- [24] K. Balakrishnan, I. Mani, and D. Sankaran, “Predicting the overall equipment efficiency of core drill rigs in mining using ANN and improving it using MCDM,” *Eksploratacja i Niezawodność*, vol. 25, no. 3, pp. 0–2, 2023, doi: 10.17531/ein/169581.
- [25] S. Basak, M. Baumers, M. Holweg, R. Hague, and C. Tuck, “Reducing production losses in additive manufacturing using overall equipment effectiveness,” *Addit Manuf*, vol. 56, no. May, p. 102904, 2022, doi: 10.1016/j.addma.2022.102904.
- [26] S. W. Hia, M. L. Singgih, and R. O. S. Gurning, “Performance Metric Development to Measure Overall Vehicle Effectiveness in Mining Transportation,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 23, 2022, doi: 10.3390/app122312341.
- [27] S. W. Hia, M. L. Singgih, and R. O. S. Gurning, “Performance Metric Development to Measure Overall Vehicle Effectiveness in Mining Transportation,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 23, 2022, doi: 10.3390/app122312341.
- [28] P. Dobra and J. Józsvai, “Overall Equipment Effectiveness (OEE) Complexity for Semi-Automatic Automotive Assembly Lines,” *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 20, no. 2, pp. 63–82, 2023, doi: 10.12700/APH.20.2.2023.2.4.
- [29] L. C. Ng Corrales, M. P. Lambán, P. Morella, J. Royo, J. C. Sánchez Catalán, and M. E. Hernandez Korner, “Developing and Implementing a Lean Performance Indicator: Overall Process Effectiveness to Measure the Effectiveness in an Operation Process,” *Machines*, vol. 10, no. 2, 2022, doi: 10.3390/machines10020133.
- [30] J. Kochańska and A. Burduk, “A Method of Assessing the Effectiveness of the Use of Available Resources When Implementing Production Processes,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 13, 2023, doi: 10.3390/app13137764.
- [31] F. Rahman, S. Sugiono, A. A. Sonief, and O. Novareza, “OPTIMIZATION MAINTENANCE PERFORMANCE LEVEL THROUGH COLLABORATION OF OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS AND MACHINE RELIABILITY,” *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 20, no. 3, pp. 917–936, 2022, doi: 10.5937/jaes0-35189.
- [32] M. C. May, Z. Fang, M. B. M. Eitel, N. Stricker, D. Ghoshdastidar, and G. Lanza, “Graph-based prediction of missing KPIs through optimization and random forests for KPI systems,” *Production Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 211–222, 2023, doi: 10.1007/s11740-022-01179-y.
- [33] M. Bengtsson, L. G. Andersson, and P. Ekström, “Measuring preconceived beliefs on the results of overall equipment effectiveness – A case

study in the automotive manufacturing industry,” *J Qual Maint Eng*, vol. 28, no. 2, pp. 391–410, 2022, doi: 10.1108/JQME-03-2020-0016.

[34] H. Espinoza, G. Kling, F. McGroarty, M. O’Mahony, and X. Ziouvelou, “Estimating the impact of the Internet of Things on productivity in Europe,” *Heliyon*, vol. 6, no. 5, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03935.

[35] P. Dobra and J. Jósvali, “Predicting the Impact of Product Type Changes on Overall Equipment Effectiveness through Machine Learning,” *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, vol. 67, no. 1, pp. 81–86, 2023, doi: 10.3311/PPme.21320.

[36] P. Morella, M. P. Lambán, J. Royo, J. C. Sánchez, and J. Latapia, “Development of a new kpi for the economic quantification of six big losses and its implementation in a cyber physical system,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 24, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/app10249154.

[37] 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.

[38] T. Haddad, B. W. Shaheen, and I. Németh, “Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach,” *Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 56–64, 2021, doi: 10.21062/mft.2021.006.