

**Aplicación del TPM en la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex para mejorar la Efectividad total del equipo****Application of the TPM in the automatic cutting machine CNC ESAB Suprarex to improve the Overall Equipment Effectiveness****Aplicação do TPM na máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex para melhoria da Eficácia geral do equipamento**

Quesquén Polo Yadira Vanesa<sup>1</sup>, Regalado Luna Frederick Xavier<sup>2</sup>, Diaz Chinchayhuara Percy<sup>3</sup>, Guevara Chinchayan Robert Fabián<sup>4</sup>

**Resumen**

La presente investigación tuvo como objetivo principal, implementar el mantenimiento productivo total para mejorar la eficiencia general de la máquina de corte automática en SIMA Metal Mecánica. El tipo de investigación fue aplicada con un diseño experimental en la clasificación preexperimental, asimismo el estudio tuvo como población las 4 máquinas de oxicorte y 2 de corte del área de habilitado, la muestra fue la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex. Se obtuvo como resultados que las principales causas de la baja eficiencia general de la máquina, fueron las paradas no programadas y el elevado costo de mantenimiento correctivo, además se determinó el OEE inicial, el cual tuvo un valor de 40%. La implementación del TPM, a través de 4 de sus pilares generó un aumento de la disponibilidad de 72 a 80%, el rendimiento de 57 a 69% y calidad de 99 a 100%, y finalmente se obtuvo un valor OEE de 55%. Se concluyó que la implementación del TPM aumenta el OEE de la máquina de corte, puesto que se incrementó un 15%.

**Palabras claves:** Disponibilidad, rendimiento, calidad, efectividad total del equipo

**Abstract**

The main objective of this research was to implement the total productive maintenance to improve the general efficiency of the automatic cutting machine in SIMA Metal Mechanical. The type of research was applied with an experimental design in the pre-experimental classification, it was pointed out that the study had as a population the 4 oxyfuel cutting machines and 2 cutting machines, the sample was the ESAB Suprarex CNC automatic cutting machine. As a result, the main causes of the low general efficiency of the machine were the unscheduled stops and the high cost of corrective maintenance, in addition, the initial OEE was limited, which had a value of 40%. The implementation of the TPM, through 4 of its outstanding pillars, increased availability from 72 to 80%, performance from 57 to 69% and quality from 99 to 100%, and finally an OEE value of 55% was obtained. It was concluded that the implementation of the TPM increases the OEE of the cutting machine, since it increased by 15%.

**Keywords:** Availability, performance, quality, overall equipment effectiveness

**Resumo**

O principal objetivo desta pesquisa foi implementar a manutenção produtiva total para melhorar a eficiência geral da máquina de corte automática na SIMA Metal Mecânica. O tipo de pesquisa foi aplicado com um desenho experimental na classificação pré-experimental, da mesma forma o estudo teve como população 4 máquinas de corte a oxicorte e 2 máquinas de corte, a amostra foi a máquina de corte automático CNC ESAB Suprarex. Obteve se como resultados que as principais causas da baixa eficiência geral da máquina foram as paradas não programadas e o alto custo de manutenção corretiva, além disso, foi determinado o OEE inicial, que teve um valor de 40%. A implantação do TPM, por meio de 4 de seus pilares, gerou um aumento de disponibilidade de 72 a 80%,

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad César Vallejo. Chimbote, Perú. [yquesquemp@ucvvirtual.edu.pe](mailto:yquesquemp@ucvvirtual.edu.pe). <http://orcid.org/0000-0003-4512-4966>.

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad César Vallejo. Chimbote, Perú. [fregaladolu23@ucvvirtual.edu.pe](mailto:fregaladolu23@ucvvirtual.edu.pe). <http://orcid.org/0000-0002-8495-4658>.

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Magister. Universidad César Vallejo. Chimbote, Perú. [pdiazch@ucv.edu.pe](mailto:pdiazch@ucv.edu.pe). <https://orcid.org/0000-0002-2250-1741>.

<sup>4</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Magister. Universidad César Vallejo. Chimbote, Perú. [rfguevarac@ucvvirtual.edu.pe](mailto:rfguevarac@ucvvirtual.edu.pe). <https://orcid.org/0000-0002-8200-7577>.

desempenho de 57 a 69% e qualidade de 99 a 100%, e por fim obteve-se um valor de OEE de 55%. Concluiu-se que a implementação do TPM aumenta o OEE da máquina de corte, pois aumentou em 15%.

**Palavras-chave:** Disponibilidade, desempenho, qualidade, eficácia geral do equipamento

## Introducción

La presente investigación, tiene como propósito mejorar la eficiencia general de la máquina en estudio, puesto que la implementación del TPM brindará soluciones a los problemas que la máquina presenta inicialmente, de manera que se gestione un programa de mantenimiento donde se eliminen puntos que perjudican a la producción, generando un mayor beneficio competitivo a la empresa, además de satisfacer a sus clientes entregando sus pedidos a tiempo. La justificación de la investigación respecto a la contribución metodológica es que se seguirá una serie de pasos relacionados a la implementación del TPM (métodos, técnicas, herramientas) para aumentar la eficiencia general de la máquina de corte automatizada, la cual servirá para investigaciones similares. La contribución social, la implementación del TPM permitirá al trabajador obtener soluciones respecto a las dificultades que éstos presentan con la máquina, los cuales están relacionadas con la baja eficiencia general que presenta, así mismo se obtendrá una mayor satisfacción de los clientes ya que obtendrán su producto en el tiempo y con buena calidad. Por último, la parte económica puesto que la implementación de la gestión del TPM permite minimizar los costos que generan los mantenimientos o reparaciones que se requieren durante la realización de las actividades, reducir las horas hombres perdidas por inoperatividad, además de los costos relacionados por no cumplir con las entregas y los estándares de calidad. El objetivo principal fue implementar el Mantenimiento Productivo Total para mejorar la eficiencia general del equipo (OEE) de corte automática en SIMA Metal Mecánica, los objetivos específicos planteados fueron diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento, determinar la OEE actual de la máquina, aplicar la metodología TPM para mejorar la OEE, evaluar la OEE afectada por la TPM, este caso es aplicado en una industria de metal mecánica, caso SIMA Chimbote.

Se destacan trabajos previos como el de Ahmad, Hossen y Ali (2018), aplicaron el TPM a través del pilar kaizen para mejorar la OEE de una sección de anillo marco en una planta de hilatura, los resultados evidenciaron que el tiempo de parada en la etapa inicial fue de 37,5 min por turno, mientras que luego de implementar el TPM, se redujo a 21,75 min, asimismo, la OEE de los equipos aumentó de 75.09 a 86.02%. Por último, los autores concluyeron que la aplicación del TPM es muy beneficioso, ya que mejora el rendimiento de las máquinas, reduce los tiempos de parada y disminuye el tiempo de producción. Así mismo Meca y Camello (2020) analizaron el impacto de cada pilar del TPM implementado en la métrica de OEE. Los resultados evidenciaron que los pilares, tales como Mantenimiento Planificado y Mejora Focalizada se implementaron en casi el total de las empresas encuestadas pertenecientes a distintos sectores. Tras su implantación se condujo a un aumento del OEE, mejorando entre un rango 12,5 y 33,3%, evidenciando de esa manera el beneficio de aplicar dichos pilares. Por lo cual, los autores concluyeron que los pilares del TPM influyen de manera positiva en el incremento de la OEE.

Así también Pardeep y Sachit (2016) aumentaron el volumen de ventas de tractores a través de la mejora del OEE y la implementación del TPM. En los resultados se evidenció que la OEE de las máquinas aumentó por encima del 85%, la productividad aumentó hasta un 74%, los costos disminuyeron en un 30%. Finalmente, los autores concluyeron que la implementación del TPM es exitosa, ya que la industria logró beneficios tangibles e intangibles. Finalmente, la investigación de Canahua (2021) evidencio como el uso del TPM acrecienta la OEE de los equipos en estudio. Como resultado obtuvo, que al cumplir correctamente los mantenimientos preventivos y autónomos se mejoró la disponibilidad (de 86.70 a 96.88%), la calidad (de 49.44 a 94.64%), el rendimiento (de 76.68 a 93.34%), por lo tanto, se alcanzó mejorar el OEE de 32.86 a 85.58%. Por lo cual, el autor concluye que mediante la aplicación del TPM, se consigue incrementar la Eficiencia General de los Equipos que participan en el proceso productivo de la empresa en estudio.

## Material y métodos

En la investigación se destacaron dos variables de estudio, el mantenimiento productivo total, el cual tuvo cinco dimensiones: la primera dimensión el diagnóstico que tuvo cuatro indicadores, historial de fallas de equipos y maquinarias, el costo de mantenimiento, porcentaje del nivel de cumplimiento de

entrega de proyectos, todos ellos a escala de razón, la segunda dimensión las mejoras enfocadas, en el cual se tiene la frecuencia de eliminación de fallas de equipos, el tiempo promedio de eliminación de fallas, todos ellos a escala de razón; la tercera dimensión mantenimiento autónomo, el cual tiene la evaluación global 5S, la cuarta dimensión se tiene el mantenimiento planificado, el cual tiene el porcentaje de mantenimiento planificado, el índice de cumplimiento de mantenimiento planificado; como quinta dimensión se tiene al pilar capacitación y formación, el cual abarca el número de personal en capacitación, todos a una escala de razón. Asimismo, la variable dependiente se define como la OEE, cuyas dimensiones son la disponibilidad, rendimiento y calidad; todos a una escala de razón.

La investigación pertenece al tipo aplicada porque se utilizaron conocimientos de ciencias, tecnologías para aplicarlos y resolver un problema práctico; y además corresponde a un diseño experimental, en la categoría pre-experimental, puesto que a un determinado grupo se le aplicó una preprueba, luego se le administró el tratamiento y por último se realizó una posprueba después del tratamiento (Farooq et al. 2016, p.156). Se trabajó con un grupo (G) que se define como la máquina de corte automática, donde se analizó las dos variables antes y después de la mejora, teniendo como (O1) a la eficiencia general inicial, siendo el (X) el tratamiento, representado por el Mantenimiento Productivo Total, teniendo una post prueba que es la eficiencia general final (O2). Según (Bernal, 2010, p.160) indica que la **población** es el compuesto del total de unidades de muestreo las cuales cuentan con ciertas características semejantes, en las que el investigador aplicará la inferencia, la población estuvo conformada por las 4 máquinas de oxicorte (semiautomatizadas) y 2 de corte (1 semiautomática y 1 automática) del área de habilitado de la empresa, la muestra según (Muñoz, 2015, p.168), es el segmento de la población el cual representa un universo y permite adquirir información se consideró como muestra a la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex, se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia (Cabezas, Andrade y Torres, 2018, p.100), puesto que la muestra por una determinada característica establecida en la problemática de la investigación

## Resultados

**Diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento,** se procedió a identificar las fallas de las principales maquinarias y/o equipos a través del registro de historial de fallas, con la finalidad de determinar la maquinaria que presenta mayor frecuencia de averías, indicados en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Registro de historial de fallas de maquinarias y/o equipos*

Registro de fallas de las maquinarias y/o equipos de la empresa Sima metal mecánica				
Maquinaria y/o equipo	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex	11	6	5	4
Grúa Pte.30T	3	1	-	-
Montacargas CAT DP 70	2	2	-	-
Cepillo Horizontal KLOPP/64083	-	3	-	-
Compresora Estacionaria Joy/123337	-	1	2	-
Roladora	-	-	2	1
Taladro radial KOLB	-	-	2	-
Máquina soldar con control digital Nelson	1	-	-	-
Roladora Dorstener	1	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>5</b>

Nota. Datos del área de jefatura de división de mantenimiento y servicios.

Como se observa en la tabla 1, se muestran la cantidad de fallas de las principales maquinarias y/o equipos respecto a los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del periodo 2021, siendo en el mes de septiembre donde se obtuvo un total de 18 fallas relacionadas a los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. Por otro lado, el mes de octubre presento 13 fallas, siendo el segundo mes en presentar cierta frecuencia de fallas. Además, se observa que se emplearon 9 activos de la empresa SIMA, los cuales son los más utilizados en el proceso productivo de los puentes y son los que presentan mayor cantidad de fallas respecto a otros activos de la empresa, siendo la máquina de corte automática

CNC ESAB Suprarex, la que ocupa el primer lugar con 26 fallas en los 4 meses de evaluación, por lo cual la investigación se centró en dicha maquinaria.

**Tabla 2.**

*Costos por mantenimiento preventivo.*

Maquinaria y/o equipo	Periodo	Costo material	Horas hombre (h-h)	Costo h-h	Costo total
Cepillo Horizontal KLOPP/64083	Tetramensual	815,29	19	7	2844,87
	Anual	97,43	7	7	146,43
Comprensora estacionaria Joy/123337	Trimestral	1420,28	80	7	7921,12
	Anual	253,4	22	7	407,4
Grúa PTE.30T	Bimestral	6196,46	114	7	41966,76
	Anual	556,1	24	7	724,1
	Tetramensual	1036,5	30	7	3739,5
	Trimestral	495,92	44	7	3215,68
Máquina soldar con control digital Nelson	Trimestral	2342	40	7	10488
	Bimestral	132,56	110	7	5415,36
	Anual	114,78	7	7	163,78
Roladora	Tetramensual	712,45	22	7	2599,35
	Anual	150,34	9	7	213,34
Rola hidráulica tres cilindros Dorstener/S/SE	Trimestral	1010,632	68	7	5946,528
	Semestralmente	727,96	40	7	2015,92
	Tetramensual	639	24	7	2421
	Anual	101,23	7	7	150,23
Taladro radial	Tetramensual	743,94	48	7	3239,82
	Semestralmente	287,96	16	7	799,92
	Anual	299,54	18	7	425,54
Montacargas CAT DP 70	Bimestral	2123,64	120	7	17781,84
	Tetramensual	1619,49	60	7	6118,47
	Semestralmente	269,32	10	7	678,64
	Anual	280,09	15	7	385,09
Máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex	Tetramensual	2349,96	111	7	9380,88
	Semestralmente	1609,36	58	7	4030,72
	Bimestral	1741,38	78	7	13724,28
	Trimestral	3339,04	52	7	14812,16
	Anual	177,65	15	7	282,65
<b>TOTAL</b>					<b>S/162039,38</b>

Nota. Datos del área de jefatura de división de mantenimiento y servicios

En la tabla 2, se muestran el costo total del mantenimiento preventivo del periodo enero-diciembre 2021 de las principales maquinarias y/o equipos de la empresa. Las actividades que realizaron los técnicos de mantenimiento fueron: inspección, chequeo, limpieza, lubricación, cambio de aceite, ajustes de piezas por parte del taller mecánico e inspección, chequeo, limpieza, revisión, ajustes de tarjetas, fuentes de poder, ups, sensores, gabinete electrónico, sistemas de arranques por parte del taller eléctrico y electrónico, se obtuvo que, el costo total de mantenimiento preventivo en el periodo 2021 fue de S/162039,38.

**Tabla 3.**

*Costos por mantenimiento correctivo*

Costos por mantenimiento correctivo						
Nº	Maquinaria y/o equipo	Costo de repuestos (s/)	Horas hombre (h-h)	Costo horas hombre (s/h-h)	Costo de servicio externo (s/)	Costo total (s/)
1	Máquina D/Corte automática CNC ESAB Suprarex	82653,62	169	7	16362,4	100199,02
2	Comprensora Estacionaria Joy/123337	23787,65	21,00	7	-	23934,65
3	Máquina soldar con control digital Nelson	16184,01	8,00	7	-	16240,01

4	Grúa Pte.30T	13031,15	58,00	7	987,99	14425,14
5	Roladora	5964,53	33,00	7	-	6195,53
6	Cepillo Horizontal KLOPP/64083	5138,07	33,00	7	-	5369,07
7	Taladro radial KOLB	3803,93	21,00	7	-	3950,93
8	Montacargas CAT DP 70	1101,13	26,00	7	-	1283,13
9	Roladora Dorstener	230,06	8,00	7	-	286,06
<b>COSTO TOTAL</b>						<b>S/ 171883,54</b>

Nota. Datos del área de jefatura de división de mantenimiento y servicios.

En la tabla 3, se muestra el costo del mantenimiento correctivo total de las maquinarias y/o equipos que presentaron fallas en los meses de evaluación: Septiembre, octubre, noviembre y diciembre del periodo 2021, el costo total que se obtuvo fue de S/ 171.883,54. El total de fallas presentadas fue de 47, las cuales fueron solucionadas por los técnicos de mantenimiento a través del mantenimiento correctivo y solicitando un servicio externo de ser una falla grave en las maquinarias y/o equipos. En el primer lugar, se ubicó la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex con un total de 26 fallas, los costos de repuestos de esta maquinaria fueron de S/ 82.653,62, el total de horas hombres que se emplearon para solucionar las fallas que se presentaron fue de 169 y el costo de las horas hombres fue de S/ 7, de la cual se obtuvo un costo total de mantenimiento correctivo de S/ 100.199,02.

**Tabla 4.**

*Cronograma de proyectos realizados y en operación*

Proyecto	Fecha de inicio	Fecha de término planificada	Fecha de término real
Colunga	05/04/2020	09/09/2021	09/09/2021
Cantuta	08/07/2020	25/04/2022	25/04/2022
Comuneros I	10/09/2020	10/08/2021	15/10/2021
Ancaya	20/10/2020	18/09/2021	21/11/2021
Sihuan	03/12/2020	03/04/2022	03/04/2022
Comuneros II	15/12/2020	20/01/2022	20/01/2022
Noruega	07/05/2020	15/06/2021	27/08/2021
Alto molino	06/12/2020	18/02/2022	28/04/2022
Canchis	13/06/2020	20/07/2021	20/07/2021

Nota. Datos del área de jefatura de división de mantenimiento y servicios.

En la tabla 4, se muestran los proyectos que la empresa realizó en el periodo 2020 e inicios del 2022; se procedió a revisar los files documentarios de los proyectos realizados y en operación. En los files documentarios se constató que 4 proyectos se entregaron fuera de tiempo a los clientes los cuales fueron: El proyecto Comuneros I, el cual tuvo una fecha de término planificada hasta el 10/08/2021 pero se retrasó 2 meses, de manera que terminó el 15/10/2021, Ancaya tuvo una fecha de término planificada hasta el 18/09/2021 pero se retrasó 2 meses así que terminó el 21/11/2021, Noruega tuvo una fecha de término planificada hasta el 15/06/2021 pero se retrasó 2 meses así que terminó el 27/08/2021, por último Alto Molino tuvo una fecha de término planificada hasta el 18/02/2022 pero se retrasó 2 meses terminando el 28/04/2022. Por lo cual se analizó y determinó que del de 9 órdenes de trabajo de las cuales los trabajos que se ordenaron a tiempo fueron 5, por lo cual se obtuvo un nivel de cumplimiento de entrega de proyectos relativamente bajo (56%). Para finalizar el diagnóstico, se determinó la frecuencia de las causas que producen la baja eficiencia general de la máquina de corte automática, la cual se muestra en el siguiente gráfico

**Determinar la eficiencia general (OEE) actual de la máquina de corte automática**, se emplearon 3 factores: disponibilidad, calidad y rendimiento; por lo cual se realizó un control diario de la producción de piezas que fueron cortadas por la maquinaria. La producción obtenida se empleó en el cálculo de uno de los factores del OEE, es por ello que se realizó un seguimiento de la producción de piezas cortadas, en el seguimiento realizado se tuvo en cuenta aquellos factores que afectaron a la producción como el

factor climático (lluvia), falta de energía eléctrica, el retraso de abastecimiento de insumos que se emplean para realizar el corte de piezas. Por otro lado, tenemos las fallas que se presentaron en las maquinarias cuando estaba operando lo cual influyo a realizar paradas en la maquinaria hasta que los técnicos de mantenimiento dieron solución al problema y por último también se consideró las actividades de mantenimiento preventivo que se tenían planificadas realizar.

**Tabla 5.**

*OEE inicial de la máquina de corte automática CNC ESAB SUPRAREX*

DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	OEE INICIAL
72 %	57 %	99 %	40%

El control de este indicador fue realizado semanalmente, mediante el registro de evaluación de los factores OEE; con el fin de analizar el comportamiento del OEE semana a semana y observar las diferencias que presenta respecto a los factores que intervinieron en la producción. Para calcular el OEE se realizó la multiplicación de los factores: Disponibilidad, rendimiento y calidad. En el factor disponibilidad se empleó el tiempo de operación de la máquina de corte sobre el tiempo planificado de producción y el valor obtenido se multiplicó por 100; en el rendimiento se empleó el tiempo de ciclo ideal multiplicado por las unidades producidas todo esto sobre el tiempo de operación y el valor que se obtuvo se multiplicó por 100, en el factor calidad se empleó las unidades conformes sobre el total de unidades producidas y el valor que se obtuvo se multiplicó por 100. Se obtuvieron los siguientes factores promedios; disponibilidad del 72%, rendimiento del 57% y calidad del 99%, obteniendo una eficiencia general (OEE) del 40%, por lo cual teniendo en cuenta los parámetros de clasificación del OEE, la máquina de corte automática presenta un OEE deficiente (menor a 65%), lo cual trae como consecuencia pérdidas económicas a la empresa.

**Aplicar la metodología TPM en la máquina de corte automática**, se empleó solo 4 de los 8 pilares que presenta la metodología, los cuales son: mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo, capacitación y formación, los cuales son los más fundamentales en la aplicación del TPM para implementarlo a un corto plazo. En el pilar de mejoras enfocadas se empleó el registro de eliminación de fallas y desperfectos en el cual se registró las fallas que presentó la máquina de corte automática, así como también el registro de mantenimiento correctivo en el cual se registró las fallas que se reportaron y fueron eliminadas.

**Tabla 6.**

*Eliminación de Fallas y tiempo promedio de eliminación de fallas de la máquina de corte automática*

Mes	Fallas detectadas	Fallas eliminadas	Tiempo de plazo pronosticado	Tiempo real de eliminación de falla	% FEFE	% TPEF
Enero	3	3	13	18	100	72
Febrero	3	3	14	13	100	108
Marzo	4	4	19	17	100	112
Abril	3	3	22	23	100	96
<b>TOTAL</b>					<b>100</b>	<b>97</b>

Nota. Datos del área de jefatura de división de mantenimiento y servicios.

En la tabla 6 se muestra la frecuencia de eliminación de fallas (FEFE) de la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex respecto a los 4 meses en que se realizó la aplicación del TPM, en la cual se observa que en el mes de enero los técnicos del área de mantenimiento lograron eliminar las 3 fallas que se presentaron en la maquinaria, en el mes de febrero se lograron eliminar 3 de las fallas detectadas, de igual manera en el mes de marzo se lograron eliminar 4 fallas detectadas y en el mes de abril se eliminaron también 3 fallas detectadas; por lo cual se obtuvo un promedio de la FEFE de un 100%. Por lo cual indica que se lograron eliminar todas las fallas que se presentaron en la maquinaria respecto a cada mes en que se reportaron las fallas. Por otro lado, en la tabla también se muestra el tiempo promedio

de eliminación de fallas (TPEF) de la máquina de corte automática, en el mes de enero los técnicos del área de mantenimiento solucionaron las fallas en 5 horas más de lo que se había establecido, en el mes de febrero se empleó 1 horas menos de lo que se había planificado en las evaluaciones de las STI, en marzo se emplearon 2 horas menos de lo proyectado y finalmente en el mes de abril se empleó 1 horas más de lo evaluado por los técnicos. El tiempo promedio de eliminación de fallas fue del 97%, un porcentaje aceptable ya que este indicador se debe ubicar entre el 70% y 100% y el resultado obtenido es muy cercano al límite de los parámetros establecidos. Por lo cual se infiere que se logró eliminar la mayor cantidad de fallas en el tiempo establecido.

El segundo pilar que se empleó fue el mantenimiento autónomo, este pilar es muy importante debido a que influye a que los operarios se hagan responsables de las maquinarias y/o equipos que operan, de tal forma que las actividades que estos realizan a las maquinarias contribuyan a la reducción de fallas o averías. Se hizo uso de la ficha técnica de la máquina de corte automática, se elaboró un manual de normas y medidas de seguridad para el uso de la máquina de corte automática y se puso en marcha el programa de mantenimiento autónomo propuesto. Por último, se hizo uso del check list de cumplimiento de las 5S, respecto a la forma de trabajo que se encuentran desarrollando los operadores a la máquina de corte, la cual se detalla a continuación.

**Tabla 7.**

*Eliminación de Fallas y tiempo promedio de eliminación de fallas de la máquina de corte automática*

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO DE LAS 5'S		
5'S	Calificación	Puntaje máximo
Seleccionar	30	35
Ordenar	30	35
Limpiar	31	35
Estandarizar	30	35
Disciplina	31	35
TOTAL	152	175
% Cumplimiento	86.86 %	

En la tabla 7, se observa que luego de cumplir y realizar debidamente los pasos y el programa del mantenimiento autónomo, además de tener en cuenta la estrecha relación de las 5S y el tipo de mantenimiento mencionado (según la tabla 14); se registró un porcentaje de nivel de cumplimiento aceptable de las 5S, siendo éste un 86.86%. La tercera S (limpiar) y quinta S (disciplina) obtuvieron el mayor puntaje de calificación, con un valor de 31; mientras que la primera S (seleccionar), segunda S (ordenar) y cuarta S (disciplina) obtuvieron una calificación de 30. Los puntajes máximos obtenidos de cada una de las 5S fueron de 35, por lo cual se infiere que dichos valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros aceptables de la metodología 5S para poder seguir con el desarrollo de las actividades y realizar mejoras al respecto.

El tercer pilar fue el mantenimiento planificado, se elaboró un programa de mantenimiento preventivo, teniendo como base el manual de la maquinaria, la frecuencia de fallas según subsistema, así mismo también se empleó el programa preventivo del periodo 2021 con las observaciones que realizaron los técnicos respecto al periodo y tiempo. Los 4 subsistemas fundamentales de la maquinaria son: eléctrico y electrónico, neumático, mecánico y refrigeración de la máquina de corte automática ESAB Suprarex, realizando cada uno de estos una función diferente en la maquinaria y a la misma vez relacionando cada subsistema (componentes) para que la maquinaria realice el corte de planchas. Los componentes principales de la máquina son: elevador vertical, motor de accionamiento y caja de engranajes del eje transversal, motor de accionamiento, caja plasma, antorcha de corte por plasma, antorcha de oxicorte, compresora, tablero de gases, consola visión CNC, refrigerante, caja de arco remoto, secador de aire comprimido. Se procedió a clasificar las fallas por subsistemas (eléctrico y electrónico, neumático, mecánico, refrigeración) del periodo 2021 respecto a los 4 meses en que se realizó el diagnóstico, se obtuvo que: el primer lugar es ocupado por el subsistema mecánico ,ya que presenta 10 fallas, en segundo lugar se ubica el subsistema eléctrico y electrónico con 8 fallas, en tercer lugar el sistema

neumático con 4 fallas y en cuarto lugar el sistema de refrigeración también con 4 fallas, el conjunto de estas fallas en los subsistemas afectan la operación de la maquinaria, por lo cual luego de haber calculado la frecuencia de fallas se desarrollaron las tareas de mantenimiento preventivo enfocándose primordialmente en los subsistemas que presentaron más fallas para reducir la frecuencia de las averías en la máquina de corte automática.

Luego de elaborar el programa de mantenimiento planificado o preventivo según el subsistema de la maquinaria, se realizó el control de las actividades que se programaron, ejecutaron, reprogramaron y no se ejecutaron, de manera que el área de mantenimiento llevo un registro detallado y explícito de este programa, de manera que se logró identificar el índice del nivel de cumplimiento del mantenimiento planificado y el porcentaje de horas utilizadas en este programa de mantenimiento con respecto al total de horas de mantenimiento (considerando las horas de mantenimiento correctivo) de la máquina de corte automática.

**Tabla 8.**

*Indicador de mantenimiento planificado y de cumplimiento del mantenimiento planificado*

Mes	Horas de mantenimiento planificado	Horas de mantenimiento correctivo	Total de horas de mantenimiento	Nº tareas planificadas	Nº tareas ejecutadas	% MP	% PMC
Enero	43,5	18	61,5	15	15	71	100
Febrero	75,5	13	88,5	29	29	85	100
Marzo	92,5	17	109,5	20	20	84	100
Abril	75,5	43	118,5	29	29	64	100
<b>TOTAL</b>						<b>76</b>	<b>100</b>

Nota. Datos área de jefatura de división de mantenimiento y servicios.

En la tabla 8, se observa el porcentaje obtenido del mantenimiento planificado en los 4 meses de aplicación de la metodología TPM, en el cual se observa que el porcentaje del mantenimiento planificado y del índice de cumplimiento de mantenimiento preventivo fue del 76% y 100% respectivamente, del cual se infiere que se ejecutaron todas las tareas planificadas, sin embargo, se debe seguir mejorando el indicador de mantenimiento planificado.

Por último, se empleó el pilar de formación y capacitación en un corto plazo, para el desarrollo de este pilar, se hizo uso de un plan de registro de capacitaciones, en el cual se consideró los distintos temas a tratar en las capacitaciones que se brindaron, siendo los principales: Mantenimiento Productivo Total, las 5S, mantenimiento autónomo y planificado de la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex. También se consideraron temas como los tipos de averías y/o fallas, eficiencia general de los equipos y acerca de las funciones de corte por plasma y oxicorte de la máquina de corte automática. Asimismo, se tuvo en cuenta la asistencia del personal de mantenimiento y de los operarios de la máquina de corte automática, mediante un registro de asistencia de capacitaciones con el fin de evaluar el nivel de compromiso y responsabilidad por parte de dicho personal, tal y como se muestra a continuación:

**Tabla 9.**

*Cantidad de trabajadores presentes en las capacitaciones*

Fecha de capacitación	Total de trabajadores a capacitar	Nº de trabajadores que asistieron
ENERO	9/01/2022	11
	14/01/2022	11
	16/01/2022	9
	21/01/2022	11
FEBRERO	25/02/2022	11
MARZO	25/03/2022	8
<b>TOTAL</b>		<b>59</b>
<b>% DE ASISTENCIA</b>		<b>89.39 %</b>

Nota. Datos recopilados del área de jefatura de división de mantenimiento y servicios de SIMA



Como se observa, el nivel de asistencias a las capacitaciones de los trabajadores se dio en un 89.39 %, lo cual es un resultado aceptable. En el mes de enero se realizó 4 capacitaciones, en la primera capacitación realizada el 9/01/2022 asistieron todos los trabajadores, en la segunda capacitación realizada el 14/01/2022 asistieron 10 trabajadores, en la tercera capacitación realizada el 16/01/2022 asistieron 9 trabajadores y en la cuarta capacitación realizada el 21/01/2022 asistieron todos los trabajadores. En el mes de febrero se realizó solamente 1 realizada el 25/02/2022 capacitación en la cual asistieron 10 trabajadores y en el mes de marzo también se realizó solamente 1 capacitación realizada el 25/03/2022 en la cual asistieron 8 trabajadores.

Evaluar la OEE de la máquina de corte automática después de aplicar la metodología TPM, se emplearon 3 factores: disponibilidad, calidad y rendimiento, los cuales se hallaron en base al registro de evaluación de factores OEE y un control diario de la producción de piezas cortadas por la maquinaria en los 4 meses: Enero, febrero, marzo y abril, la cual se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.**

*OEE final de la máquina de corte automática*

DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	OEE
80%	69 %	100 %	55%

En la tabla 10, se muestra la eficiencia general obtenido respecto a sus 4 meses de la aplicación de la metodología TPM: Enero, Febrero, marzo y abril del periodo 2022. El control de este indicador fue realizado semanalmente, mediante el registro de evaluación de los factores OEE; con el fin de analizar el comportamiento del OEE semana a semana y observar sus diferencias respecto a los factores que intervinieron en el indicador de la eficiencia general de la maquinaria. Se obtuvo una disponibilidad del 80%, un rendimiento del 69% y una calidad del 100%, se procedieron a multiplicar estos resultados para obtener la nueva eficiencia general de la maquinaria, la eficiencia obtenida fue del 55%, según los parámetros de clasificación del OEE, la máquina de corte automática CNC ESAB presenta un OEE en proceso de mejoras a la empresa.

## Discusión

Se diagnosticó la situación actual del área de mantenimiento, se identificaron las fallas de las principales maquinarias y/o equipos, para ello se consideraron a las maquinarias que presentan frecuentemente averías de las cuales son 9: Máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex, grúa Pte.30T, montacargas CAT DP 70, cepillo horizontal, compresora estacionaria, roladora, taladro radial, máquina soldar con control digital nelson, roladora DORSTENER, ocupando el primer lugar la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex con 26 fallas, se determinaron los costos del mantenimiento preventivo y correctivo, los cuales fueron S/41417,152 y S/171.883,54 respectivamente, así mismo se determinó el nivel de cumplimiento de entrega de 9 proyectos (puentes). Se obtuvo un 56 % de nivel de cumplimiento y por último se evaluaron las causas que influyen en la baja eficiencia general de la máquina de corte automática, las cuales fueron 17 fallas según criterio, se priorizaron en el diagrama de Pareto y se identificó la causa de mayor frecuencia para mejorar la eficiencia general de la máquina de corte automática. En comparación a la investigación de Candra et al. (2017), para diagnosticar su situación actual emplearon el diagrama de Ishikawa para poder identificar las causas que influyeron en la pérdida de velocidad de la maquina laminadora PT RAPP, los factores que consideraron fueron: hombre, máquina, método, ambiente y material. Por otra parte, en el diagrama de Pareto de la máquina laminadora, se determinó que el 20% de las causas que representaron el 80% de los resultados fueron las pérdidas de velocidad y tiempo. Así mismo en el estudio de Ahmad, Hossen y Ali ( 2018), para diagnosticar el estado del equipo del marco de anillo de una industria textil, utilizaron diagrama de Pareto, hoja de trabajo WWBLA e Ishikawa. En el diagrama de Pareto se priorizo la causa según el resultado de la frecuencia que se obtuvo, la cual fue el bajo rendimiento del equipo por la presencia de averías en su operatividad. En la hoja de trabajo WWBLA, se empleó para preguntar por qué se presenta frecuentemente los problemas principales (bajo rendimiento del equipo y las averías), hasta que se encuentre la causa raíz de los problemas.

Se determinó la OEE actual de la máquina de corte automática en el cual se llevó a cabo el control de las piezas que fueron cortadas por la máquina de corte automatizada en los 4 meses de preprueba, los cuales fueron: Septiembre, octubre, noviembre y diciembre del periodo 2021, en el control de esta producción se tuvo en cuenta aquellos factores que afectan a la producción : Lluvias, falta de energía eléctrica, el retraso de abastecimiento de insumos, las fallas que se presentaron en la maquinaria cuando estaba operando, las actividades de mantenimiento preventivo que se tenían planificadas realizar. Los datos recolectados en la producción de las piezas metálicas, se emplearon en el cálculo del OEE y se obtuvo una disponibilidad del 77%, rendimiento del 48%, calidad del 99% y un OEE inicial del 36%, por lo cual teniendo en cuenta los parámetros de clasificación del OEE este es menor a 65%, lo cual trae como consecuencia pérdidas económicas a la empresa. De igual forma en la investigación de Nallusamy et al.(2018) se realizó el control de la producción de tuberías PVC durante 3 meses, el total de las tuberías PVC fabricadas fueron de 4546,32 unidades, donde de los datos obtenidos del control de la producción se calcularon los siguientes factores: Disponibilidad del 84,03%,rendimiento del 72,16% y calidad del 91,56%,los cuales fueron utilizados en el cálculo del OEE, se obtuvo una eficiencia general del 55,45%. Los resultados que se obtuvieron se encuentran por debajo de los parámetros establecidos del OEE, influyendo en pérdidas de equipo. Así mismo en la investigación de Herry, Farida y Lutfia (2018), para calcular el OEE de la máquina de estampado Press 2A ,se emplearon los datos que se recolectaron de enero hasta diciembre del 2015 ,en donde se obtuvo un promedio de disponibilidad del 83%,rendimiento del 90%,calidad del 85% y el OEE promedio del 69,6%,se evidencia que los resultados están debajo de los parámetros establecidos y no se está aprovechando la maquinaria en la empresa automotriz, por lo cual se están desperdiciando los recursos con los que cuenta la empresa. Por lo se requiere implementar una metodología de mantenimiento en estas empresas, que relacione desde la maquinaria y/o equipo hasta la parte administrativa de la empresa, ya que es la única forma de aplicar una metodología que tenga como objetivo mejorar los factores por los cuales se obtiene la eficiencia general o el OEE, los cuales son: Disponibilidad, calidad y rendimiento.

La aplicación de la metodología TPM a la máquina de corte automática la cual se llevó a cabo a través de 4 pilares tales como: Mejoras enfocadas, Mantenimiento autónomo, Mantenimiento planificado y Capacitación y formación. Respecto al pilar mejoras enfocadas, se obtuvo resultados positivos puesto que sus indicadores; frecuencia de eliminación de fallas y tiempo promedio de eliminación de fallas, alcanzaron valores de 100% y 97% respectivamente, asimismo el pilar Mantenimiento Autónomo a través de una evaluación global de las 5'S, mostró un cumplimiento del 86.86%, de igual manera el pilar Mantenimiento Planificado obtuvo resultados positivos ya que sus indicadores; índice de mantenimiento planificado y cumplimiento de mantenimiento preventivo, lograron valores de 76% y 100% respectivamente; finalmente el pilar Capacitación y formación mediante el control de asistencias, se obtuvo que el 89.39% del total de trabajadores asistieron a las capacitaciones. Dichos resultados, lograron el incremento de la OEE, puesto que de tener inicialmente un valor de 36%, se logró alcanzar un valor de 54%. Por lo que se concluyó que la aplicación del TPM influye de manera positiva en la eficiencia general de la maquinaria en estudio, además de mejorar el área de trabajo y brindar un conocimiento amplio a los trabajadores. Por consiguiente, se comparte lo determinado por Meca y Camello (2020), donde mencionan que el TPM, a través de sus pilares de aplicación, mejora la Eficiencia General de los Equipos (OEE), puesto que desarrollaron una encuesta a empresas industriales de distintos sectores elegidas por conveniencia que utilizan el método TPM, en la cual se observaron incrementos de la OEE; determinando que los pilares que fueron usados en la mayoría de las empresas encuestadas fueron: Mejoras enfocadas y Mantenimiento planificado; además del Mantenimiento autónomo y Capacitación y formación pero en menor proporción. Asimismo, Canahua (2021) destaca la importancia del Mantenimientos Planificado (o preventivo) y del Mantenimiento autónomo, como pilares fundamentales de aplicación del TPM, puesto que al cumplir correctamente dichos mantenimientos durante 10 meses de prueba se mejoró los 3 componentes del OEE; disponibilidad, rendimiento y calidad; alcanzando un incremento de hasta un 50%, aunque aún se encontraba debajo del OEE de clase mundial (85%), sin embargo se logró reducir grandes pérdidas, tales como averías y pérdidas de velocidad, teniendo en consideración que aún el estudio aplicado deba estar en constante mejora puesto que aún se observaron resultados inesperados por analizar. Asimismo, Lozada, Lara y Buele (2021) aplicaron distintas técnicas como el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Fallas (FMEA), Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado para

establecer las actividades de mantenimiento adecuadas con el objetivo de permitir al personal de mantenimiento centrarse en la conservación de ciertos elementos de la máquina. La metodología a seguir que usaron en dichas actividades de mantenimiento fue la siguiente: Se estructuraron en rangos de mantenimiento separados por su tipo y frecuencia de aplicación; esto permitió administrar el tiempo programado para el mantenimiento o para la producción en el equipo, además mediante el uso de un software especializado en mantenimiento, el plan de mantenimiento a desarrollar por los operadores se gestionó de una mejor manera. También, aplicaron la metodología 5'S como parte del mantenimiento autónomo y sobre todo mejorar las condiciones de trabajo de los operarios, obteniendo como resultado el incremento de OEE de 29.97%. Por otro lado, Singh et al. (2014), a diferencia de los demás autores recomienda la implementación del TPM A través de sus 7 pilares teniendo como base el uso de las 5'S, desde mejoras enfocadas hasta Seguridad Salud y Medio Ambiente, dándole importancia a todos los pilares, puesto que se relacionan, de manera que en su investigación estableció que mediante sus resultados luego de aplicar los pilares del TPM de manera escalonada, se mejoró la eficiencia general de las máquinas en estudio del 63 al 79%, además también se mejoró la productividad y calidad de los componentes, para finalmente enfatizar que para implementar de manera exitosa el TPM, no solamente depende los pilares a aplicar, sino también del apoyo de la alta dirección y participación de los trabajadores.

Se determinó la nueva OEE de la máquina de corte automática del área de habilitado de SIMA METAL MECÁNICA, Chimbote 2021; luego de implementar el TPM con respecto a los 4 meses de evaluación, a través de la evaluación de sus 3 componentes; disponibilidad, rendimiento y calidad. Se obtuvo un 82% de disponibilidad, 66% de rendimiento, 100% de calidad y una OEE de 54%. Se comparte lo expuesto por Bataineh et al. (2019), el cual a través de un esquema secuencial TPM incrementó la efectividad de los equipos que intervienen en el proceso de producción en la empresa de estudio, obteniendo resultados positivos; mejora de la disponibilidad de 68.6 a 77.5% y la calidad de producción de 99.82 a 99.87%, de manera que la OEE mejoró de 35.27 a 57.42%. Finalmente Pardeep y Sachit (2016) obtuvo una mejora considerable del OEE a partir de la implementación del TPM. En los resultados se evidenció que la OEE de las máquinas aumentó por encima del 85%, sin embargo, también la productividad aumentó hasta un 74% y los costos disminuyeron en un 30%. De manera que concluyeron que el TPM no solo trae resultados beneficiosos y exclusivamente para el buen funcionamiento y preservación de la máquina, sino en términos de productividad y costos también.

## Conclusiones

En el diagnóstico realizado a la empresa se evidenció que las causas con mayor frecuencia fueron las paradas no programadas, elevados costos de mantenimiento correctivo, carencia de formatos, falta de capacitación, entre otros que causaban una baja eficiencia general de la máquina de corte automática del área de habilitado. Asimismo, se determinó la cantidad y tipos de fallas que presentó la máquina durante su funcionamiento en la preprueba, siendo un total de 26 fallas y por último se determinó el nivel de entrega de proyectos, el cual tuvo un valor de 56% siendo relativamente bajo.

Se realizó el control de la producción de piezas cortadas por la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex en los 4 meses de preprueba (septiembre, octubre, noviembre y diciembre) del periodo 2021, siendo octubre el mes más productivo con 1573 piezas, se calcularon los factores de la eficiencia general de la maquinaria en donde se obtuvo: Una disponibilidad del 72%, rendimiento del 57% y calidad del 99%. La eficiencia general obtenida fue del 40%, un valor bajo según los parámetros establecidos del OEE.

La aplicación de la metodología del mantenimiento productivo total (TPM) fue satisfactoria, la cual se estableció mediante la aplicación de 4 pilares, considerados fundamentales para el enfoque de nuestro trabajo y el tiempo de evaluación desde enero hasta abril del periodo 2022, siendo dichos pilares: mejoras enfocadas, mantenimiento planificado, mantenimiento autónomo y capacitación y formación, los cuales fueron implementados de manera escalonada.

Finalmente, se determinó la eficiencia final de la maquinaria, luego de la aplicación del TPM en los 4 meses de posprueba, en donde se obtuvo una disponibilidad del 80%, rendimiento del 69% y calidad del 100%. La eficiencia obtenida fue del 55%, siendo valores superiores a los que se determinaron inicialmente, por lo cual se obtuvo un incremento del OEE en un 15%.

## Referencias

- AHMAD, N., HOSEN, J. y ALI, S.M., 2018. Improvement of overall equipment efficiency of ring frame through total productive maintenance: a textile case. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [en línea], vol. 94, no. 1-4, pp. 239-256. ISSN 14333015. DOI 10.1007/s00170-017-0783-2. Disponible en: <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=ade26af8-60e5-4342-be55-9dc17924ec0a%40redis>.
- BATAINEH, O., AL-HAWARI, T., ALSHRAIDEH, H. y DALALAH, D., 2019. A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* [en línea], vol. 25, no. 1, pp. 144-161. ISSN 13552511. DOI 10.1108/JQME-07-2017-0045. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2187589414/fulltextPDF/1F99B64F2A8F42A4PQ/1?accountid=37408>.
- BERNAL, C., 2010. *Metodología de la investigación* [en línea]. 3<sup>a</sup> edición. Bogotá: Pearson Educación. ISBN 978-958-699-128-5. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigación-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>.
- CABEZAS, E., ANDRADE, D. y TORRES, J., 2018. *Introducción a la metodología de la investigación científica* [en línea]. 1<sup>a</sup> edición. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. ISBN 978-9942-765-44-4. Disponible en: [http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion a la Metodología de la investigación científica.pdf](http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf).
- CANAHUA, N., 2021. Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial Data* [en línea], vol. 24, no. 1, pp. 49-76. [Consulta: 14 septiembre 2021]. ISSN 1560-9146. DOI 10.15381/idata.v24i1.18402. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/idata/v24n1/1810-9993-idata-24-01-49.pdf>.
- CANDRA, N., SUSILAWATI, A., HERISISWANTO y SETIADY, W., 2017. Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Sheeter Machine Performance. *MATEC Web of Conferences* [en línea], vol. 135, pp. 11. ISSN 2261236X. DOI 10.1051/mateconf/201713500028. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2057011361/ACE077B9246C4745PQ/1?accountid=37408>.
- FAROOQ, M.A., NÓVOA, H., ARAÚJO, A. y TAVARES, S.M.O., 2016. An innovative approach for planning and execution of pre-experimental runs for Design of Experiments. *European Research on Management and Business Economics* [en línea], vol. 22, no. 3, pp. 155-161. ISSN 24448834. DOI 10.1016/j.iedee.2014.12.003. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1135252315000064>.
- HERRY, A.P., FARIDA, F. y LUTFIA, N.I., 2018. Performance analysis of TPM implementation through Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea]. vol. 453, no. 1, pp. 1-9. DOI 10.1088/1757-899X/453/1/012061. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2557199925/8A308033EB0A420EPQ/1?accountid=37408>.
- LOZADA CEPEDA, J., LARA CALLE, R. y BUELE, J., 2021. Maintenance Plan Based on TPM for Turbine Recovery Machinery. *Journal of Physics: Conference Series* [en línea], vol. 1878, no. 1, pp. 1-13. ISSN 17426596. DOI 10.1088/1742-6596/1878/1/012034. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2540771739/6597CBB00A9E442APQ/1?accountid=37408>.
- MECA VITAL, J. y CAMELLO LIMA, C., 2020. Total Productive Maintenance and the Impact of Each Implemented Pillar in the Overall Equipment Effectiveness. *International Journal of Engineering and Management Research* [en línea], vol. 10, no. 2, pp. 142-150. ISSN 23946962. DOI 10.31033/ijemr.10.2.17. Disponible en: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3590948](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3590948).

MUÑOZ, C., 2015. *Metodología de la Investigación* [en línea]. 1ª edición. Juárez: Oxford University Press México. ISBN 9780415475976. Disponible en: <https://issuu.com/malurojas19/docs/56-metodologia-de-la-investigacion-carlos-i.-munoz>.

NALLUSAMY, S., KUMAR, V., YADAV, V., PRASAD, U.K. y SUMAN, S.K., 2018. 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* [en línea], vol. 8, no. 1, pp. 1027-1038. ISSN 22498001. DOI 10.24247/ijmperdfeb2018123.

PARDEEP, G. y SACHIT, V., 2016. Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. *International Journal of Production Research* [en línea], vol. 54, no. 10, pp. 2976–2988. [Consulta: 17 octubre 2021]. DOI 10.1080/00207543.2016.1145817. Disponible en:

<https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=16&sid=d13b5acd-62ed-46c3-85a7-ffe04d7fb6b9%40redis>.

SINGH, R., GOHIL, A.M., SHAH, D.B. y DESAI, S., 2014. Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. *Procedia Engineering* [en línea], vol. 51, pp. 592-599. [Consulta: 17 octubre 2021]. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2013.01.084. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813000854>.