



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Modelo de mantenimiento productivo total para mejorar el sistema de gestión
del mantenimiento y reducir la capacidad ociosa en una empresa
metalmecánica

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Industrial

AUTOR(ES)

Rojas Cadillo, Keneth Anderson (0000-0002-9016-4302)

Salas Gomez, Arom Alexis (0000-0002-3845-2737)

ASESOR

Rivera Cumbicus, Luis Miguel (0000-0003-4000-6637)

Lima, 05 de enero de 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias, los compañeros que nos apoyaron durante el proceso universitario y a todas aquellas personas que confiaron en nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a nuestros padres, por su apoyo incondicional; a los asesores, por guiarnos a lo largo de la elaboración de este documento; y a la universidad, por brindarnos las herramientas necesarias para la realización de esta investigación.

RESUMEN

Esta investigación consiste en la evaluación de una empresa del sector metalmecánico, sector que había registrado altas tasas de inactividad, que variaban entre 35% y 46%, y que se producían por problemas de producción. En la línea de producción de tanques de almacenamiento de GLP, la presencia de esta capacidad ociosa se detectó en términos de paradas no planificadas, que estuvo constituida por averías de máquinas, paradas menores y tiempos de reparación. Por ello, este documento presenta la implementación del mantenimiento productivo total, específicamente a través de la aplicación del pilar de capacitación y entrenamiento, mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado. Los resultados de la implementación de los pilares TPM y la herramienta 5S mostraron que la tasa de capacidad inactiva disminuyó de 33,86% a 27,63% y el costo de mantenimiento de 26,10% a 17%, así mismo la disponibilidad de las máquinas aumentó de 84,03% a 90,85% y la tasa OEE del 71,05% al 75,81%.

Palabras clave: TPM; OEE; Capacidad Ociosa; 5S; Mantenimiento; Empresa metalmecánica.

Total productive maintenance model to improve maintenance management system and
reduce idle capacity in a metalworking company

ABSTRACT

This investigation consists of the evaluation of a company in the metalworking sector, a sector that had registered high rates of idleness, which varied between 35% and 46%, and that occurred due to production problems. In the production line of LPG storage tanks, the presence of this idle capacity was detected in terms of unplanned shutdowns, which was constituted by machine breakdowns, minor stoppages and repair times. For this reason, this document presents the implementation of total productive maintenance, specifically through the application of the pillar of training and training, autonomous maintenance and planned maintenance. The results of the implementation of the TPM pillars and the 5S tool showed that the idle capacity rate decreased from 33.86% to 27.63% and the cost of maintenance from 26.10% to 17%, likewise, the machines availability increased from 84.03% to 90.85% and the OEE rate from 71.05% to 75.81%.

Keywords: TPM; OEE; Idle capacity; 5S; Maintenance; Metalworking company.

1 CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	2
3	APORTE	3
3.1	FUNDAMENTO.....	3
3.2	MODELO PROPUESTO	3
3.2.1	Planificar.....	4
3.2.2	Programar	4
3.2.3	Ejecutar.....	4
3.2.4	Controlar.....	4
3.3	PROCESO PROPUESTO.....	5
3.3.1	Mantenimiento autónomo.....	5
3.3.2	Mantenimiento planificado.....	5
3.3.3	Aplicación de las 5S	6
3.4	INDICADORES	6
3.4.1	Eficiencia general de los equipos (OEE).....	6
3.4.2	Tasa de averías.....	7
3.4.3	Capacidad Ociosa	7
4	VALIDACIÓN	7
4.1	ESCENARIO DE PRUEBAS – SIMULACIÓN	7
4.2	DIAGNÓSTICO INICIAL	8
4.3	APLICACIÓN DEL MODELO	8
4.4	VERIFICACIÓN	9
5	CONCLUSIONES	10
6	REFERENCIAS	10
7	ANEXOS	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del escenario inicial.....	8
Tabla 2. Resultados del escenario inicial.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de sistema de gestión de mantenimiento basado en la técnica TPM junto con la aplicación de las 5S.....	4
Figura 2. Diagrama de aplicación del TPM.....	5
Figura 3. Representación del sistema	8
Figura 4. Valores iniciales del MTBF y MTTR.....	9
Figura 5. Valores finales del MTBF y MTTR.....	9

1 INTRODUCCIÓN

El sector metalmecánico se ha caracterizado por presentar una relación constante con los demás sectores industriales, ya que este es el que les abastece de bienes de uso masivo e intermedio. Es por ello que se puede asegurar que un país que muestra un notable dinamismo en este sector, probablemente registre los mejores índices de desarrollo industrial (Posada, 2019). En 2017, el sector metalmecánico había representado el 1,7% del PIB en Perú, así mismo, sus cifras de valor agregado alcanzaron porcentajes del 13,6% del total del sector manufacturero (Mariategui, 2020). Sin embargo, desde siempre, este sector ha presentado una alta variabilidad en sus tasas de producción debido a la presencia de capacidad ociosa (Battista et al, 2016), el cual, de 2012 a 2018, había registrado tasas que oscilaban entre el 35% y el 46% (Mundaca et al, 2019). Dicha capacidad ociosa se entiende como la capacidad instalada de las empresas que no es utilizada y se proyecta como improductiva (Zhao et al, 2019). La capacidad instalada es lo que define cuánto producto es capaz de producir una empresa, en ella influyen diferentes aspectos como los recursos humanos, el buen estado de las máquinas, la tecnología, entre otros (Vasquez et al, 2014).

Este problema es capaz de generar mayores costos asociados a la subutilización de capacidad. La capacidad ociosa, por tanto, depende del porcentaje de uso de las máquinas y las instalaciones ubicadas en el área de producción, de esta manera, si la línea registra paradas no planificadas por mal funcionamiento de las máquinas, la capacidad ociosa aumentará (Dagdeviren, 2016). Una mala gestión del mantenimiento de las máquinas, puede generar fallos en estas, y consecuentemente, paradas en la línea (Ribeiro et al, 2019). Es por ello que en las empresas se aplica el Mantenimiento Productivo Total (TPM) para solucionar estos problemas. El TPM se aplicó en una empresa productora de bebidas en Kuwait que tenía baja eficiencia productiva en una de sus líneas, la implementación de la técnica ayudó a la línea de producción de vidrio a incrementar la eficiencia en un 44%, así como la disponibilidad de la línea aumentó en un 13% y el porcentaje de piezas defectuosas disminuyó un 27,8% (Bataineh et al, 2019). El TPM también se aplicó en una empresa automotriz que registró paradas de línea recurrentes debido a la baja confiabilidad de las máquinas. La aplicación de la técnica redujo la probabilidad de fallas de las máquinas del 75% al 25%, así como aumentó el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un 34% (Pascal et al, 2019). En otra empresa del sector automotriz, las constantes fallas en las máquinas se tradujeron en altos costos de mantenimiento, como solución, se aplicó un sistema de gestión

de mantenimiento informático (CMMS) para mejorar la confiabilidad de las máquinas de producción. Los resultados de la implementación mostraron que los tiempos de mantenimiento correctivo disminuyeron en un 60% y los tiempos de inactividad se redujeron en un 80% (Labib, 2016).

Esta investigación busca reducir la inactividad en la empresa, incluyendo fallas en las máquinas, paradas menores y tiempos de reparación. Además, la propuesta se enfoca en mejorar la efectividad de la línea y la de las máquinas implementando tres pilares del TPM junto con la filosofía de las 5S, a través de la cual se proyecta que los indicadores de disponibilidad y OEE logren aumentar, al mismo tiempo que los indicadores entendidos como tasa de averías y capacidad ociosa pueden disminuir.

2 ESTADO DEL ARTE

Respecto al problema presentado, muchos autores tenían como principal objetivo la reducción de tiempos muertos y capacidad de producción ociosa mediante la aplicación de técnicas de manufactura esbelta: JIT, Kanban, TPM, 5S, entre otras. Los autores pudieron aplicar algunas de estas técnicas y cumplieron con los resultados esperados (Fıǵlali et al, 2017) (Tóth et al, 2018). La subutilización de la capacidad de producción representa dos resultados significativos, pérdida de producción y menores ingresos. Por ello, un autor propuso una mejora en el proceso de planificación de las empresas de fabricación mediante el uso de un modelo basado en CRP. Otro autor propuso un sistema para reducir los costos de fabricación contabilizando el consumo de recursos utilizando un modelo basado en RCA (Dagdeviren, 2016) (Kbelah et al, 2019). Una empresa productora de minerales tenía un problema de capacidad de gestión para lograr una productividad de clase mundial. Es por eso que el autor propuso un modelo basado en PERT para reducir los tiempos muertos y las instalaciones en desuso (Ozdemir & Kumral, 2019).

Diferentes autores utilizaron variaciones respecto a la aplicación de la técnica TPM en sus casos de estudio, empresas del sector automotriz y empresas embotelladoras registraron tiempos elevados de preparación de las máquinas, por lo que se propuso la técnica TPM junto con la aplicación de las 5S. En un caso de estudio, se puso en práctica un esquema de capacitación y un plan de aplicación de mantenimiento planificado y dirigido, además, se optimizó el proceso 5S y se realizó el análisis de riesgos del área de trabajo (Morales & Rodriguez, 2017) (Nallusamy & Majumdar, 2017). En otro caso de estudio, bajos porcentajes de productividad y bajas tasas de calidad generaban productos defectuosos y

quejas de los clientes. Por ello, se implementó la técnica TPM acompañada del 6S para mejorar el porcentaje de productos defectuosos, organizar el área de trabajo y prevenir riesgos contra la seguridad de los trabajadores (Bataineh et al, 2019) (Hooda & Gupta, 2019). Finalmente, en otro caso de estudio, la gran cantidad de fallas y el excesivo tiempo de búsqueda de elementos generaron un alto porcentaje de paradas de producción, por lo que los autores decidieron implementar el TPM con la técnica 5S para medir y mejorar los registros MTBF e implementar una nueva forma de trabajar a través de etiquetas (Ribeiro et al, 2019).

3 APORTE

3.1 Fundamento

Basado en la revisión de la literatura, el modelo propuesto fue desarrollado con base en el modelo de mejora del OEE (Nallusamy et al, 2018), donde se menciona que el pilar de mantenimiento autónomo ayuda a mantener una limpieza constante de las máquinas con el fin de evitar la ocurrencia de marchas en vacío y pérdidas de velocidad que podrían dañar el uso de los equipos. Asimismo, en el esquema secuencial basado en el TPM (Bataineh et al, 2019), se refiere que el pilar de mantenimiento planificado busca mantener el estado óptimo de la maquinaria de producción a través de actividades de mantenimiento preventivo. Esto se hace para reducir la cantidad de paradas no planificadas que, en última instancia, conducen a un menor uso de la capacidad de la máquina. Mientras tanto, en el modelo de mejora de la productividad y la eficiencia (Nallusamy, 2016), se menciona que el pilar de capacitación y entrenamiento se centra en comprender el rendimiento adecuado del proceso, el funcionamiento de la máquina y estándares rigurosos, lo que permite la reducción de defectos dentro de los procesos de producción. Finalmente, sobre el modelo de TPM y 5S (Ribeiro et al, 2019), se establece que la integración de la filosofía 5S tiene como objetivo mantener una secuencia de buenas prácticas para asegurar resultados a largo plazo.

3.2 Modelo propuesto

El modelo de solución que se propone en este trabajo consta de la aplicación de la técnica TPM y la filosofía 5S, tal y como se muestra en **la figura 1**.

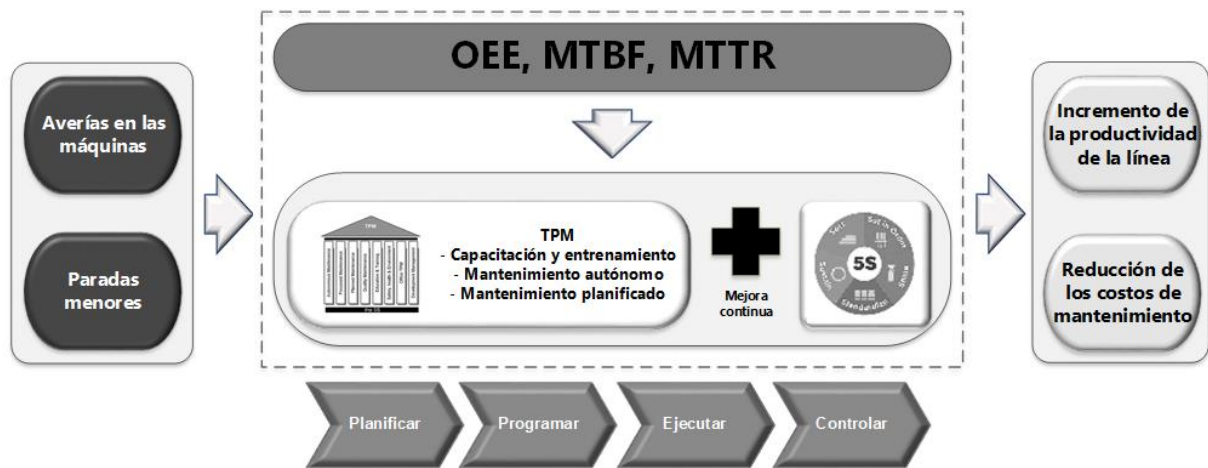


Figura 1. Modelo de sistema de gestión de mantenimiento basado en la técnica TPM junto con la aplicación de las 5S

Este modelo se segmenta en cuatro apartados de aplicación:

3.2.1 Planificar

En la primera fase se crea el equipo TPM, mediante el cual se determina el personal que será parte de la mejora y las responsabilidades que tendrá a cargo. Asimismo, se crea el plan maestro de mantenimiento, en donde se construye la base de la pre-aplicación de la metodología para la mejora. En este se desarrolla un plan de estudio sobre las condiciones de las máquinas a partir de la elaboración de un checklist, y se establecen criterios de aplicación tanto para el mantenimiento autónomo como para el mantenimiento planificado.

3.2.2 Programar

En esta fase se definen los temas que se llevarán a cabo en las capacitaciones, del mismo modo, se detalla la fecha de inicio, los días, la duración y los elementos que serán necesarios para llevarlas a cabo.

3.2.3 Ejecutar

Se da inicio a la aplicación y desarrollo de la metodología en el área de trabajo de acuerdo a lo establecido previamente en el plan maestro de mantenimiento.

3.2.4 Controlar

En esta fase se recogen los resúmenes de las tareas que se llevaron a cabo diariamente y de los registros acerca de las anomalías que fueron percibidas durante la aplicación.

3.3 Proceso propuesto

La propuesta de solución se centra en la aplicación del TPM y 5S, y tiene como objetivo reducir la capacidad ociosa en una empresa del rubro metalmecánico. La **figura 2** muestra el diagrama de aplicación detallado de la propuesta de solución. Dentro de dicho diagrama, en la fase de ejecución, se encuentra el desarrollo de la aplicación de la técnica, el cual está conformado por 3 etapas representadas por los pilares del mantenimiento productivo y la metodología 5S.

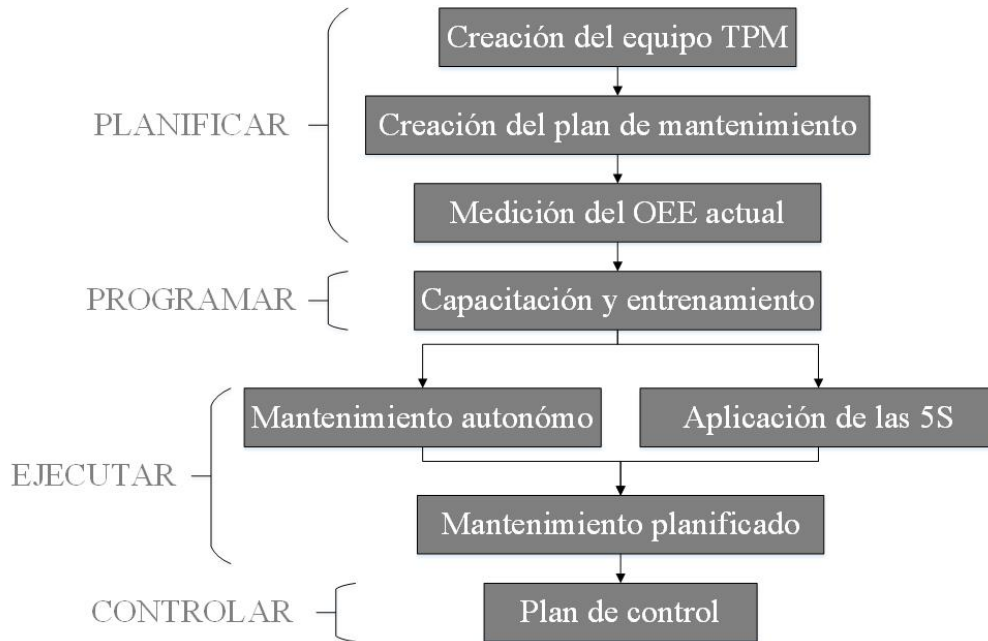


Figura 2. Diagrama de aplicación del TPM

3.3.1 Mantenimiento autónomo

Para la aplicación de este pilar, se elaboró un checklist basado en el estado inicial de las máquinas con respecto a la condición de limpieza y lubricación de sus componentes. Luego, se definieron estándares de limpieza, lubricación e inspección de las mismas.

3.3.2 Mantenimiento planificado

Como primer paso, basado en el cálculo del MTBF y del MTTR, se realizó una clasificación de las máquinas con el objetivo de conocer sus tasas de disponibilidad. Aquellas que presentaron una menor tasa fueron definidas como cuello de botella y fueron priorizadas por el plan de mantenimiento.

Seguidamente, se llevó a cabo un análisis de criticidad de las máquinas para conocer sus niveles de riesgo: crítico, semi crítico o no crítico.

Luego, con base en los resultados obtenidos de los niveles de criticidad, se elaboró un diagrama AMEF para cada máquina, mediante el cual se detallaron las actividades a llevarse a cabo para erradicar las fallas.

Finalmente, se estableció un formato de aplicación del mantenimiento planificado basado en los indicadores de criticidad, en este se definieron las acciones a realizar y se establecieron frecuencias de su aplicación para cada máquina.

3.3.3 Aplicación de las 5S

Para la S de clasificación, se clasificaron los elementos de trabajo según su condición de uso, a aquellos que no resultaron necesarios para el proceso de producción se les colocó una etiqueta roja para ser diferenciados, separados y transferidos a un área especial dentro de la empresa.

Para la S de orden, los elementos a utilizar se agruparon según su naturaleza y se colocaron en lugares estratégicos de acceso rápido para los operadores.

Para la S de limpieza, se estableció realizar limpieza del área de trabajo por lo menos 1 vez a la semana al finalizar la jornada laboral utilizando un nuevo kit de instrumentos.

Para la S de estandarización, se propone estandarizar las actividades llevadas a cabo por las primeras 3S en el largo plazo, en la cual se respeten los procedimientos previamente definidos y sus horarios de aplicación.

Para la S de disciplina, se concientiza a los operarios para que esta forma de trabajo forme parte de su rutina laboral, y al mismo tiempo, se llevan a cabo auditorías internas para conocer las posibles fallas que se pudieron cometer en la aplicación de las 4S.

3.4 Indicadores

Basado en el modelo propuesto, se establecieron los indicadores para medir los parámetros requeridos.

3.4.1 Eficiencia general de los equipos (OEE)

La métrica permite medir la eficiencia de los equipos industriales.

$$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad$$

Nivel de referencia:

Bueno: > 85%

Medio: 65% - 85%

Malo: < 65%

3.4.2 Tasa de averías

Esta métrica permite determinar el comportamiento que siguen las fallas dentro del proceso productivo.

$$Tasa\ de\ averías = \left(\frac{Tiempo\ de\ reparación\ de\ averías}{Tiempo\ disponible} \right) * 100$$

Nivel de referencia:

Bueno: < 10%

Medio: 11% - 19%

Malo: > 20%

3.4.3 Capacidad Ociosa

Esta métrica permite calcular el porcentaje de capacidad no utilizada en el proceso productivo.

$$Capacidad\ ociosa = \left[1 - \left(\frac{Cantidad\ real\ de\ producción}{Cantidad\ ideal\ de\ producción} \right) \right] * 100$$

Nivel de referencia:

Bueno: 10% - 19%

Medio: 20% - 30%

Malo: > 30%

4 VALIDACIÓN

4.1 Escenario de pruebas – Simulación

La técnica de validación elegida para este trabajo fue la simulación, ya que proporciona resultados instantáneos. Por esa razón, para establecer la representación de la simulación, se recopilaron datos de una empresa metalmecánica que tenía problemas de capacidad de producción ociosa en su línea de producción de tanques de GLP. El ciclo de tiempo de cada proceso de esta línea se recopiló e ingresó en el Input Analyzer, una extensión del Arena Simulator. Esto se hizo con la finalidad de reconocer la distribución de cada proceso y saber si las distribuciones cumplen con la prueba de bondad de ajuste. Una vez verificado que todas las distribuciones cumplen con estas pruebas, se procede a ensamblar la representación dentro del Arena Simulator, que se muestra en la **figura 3**.

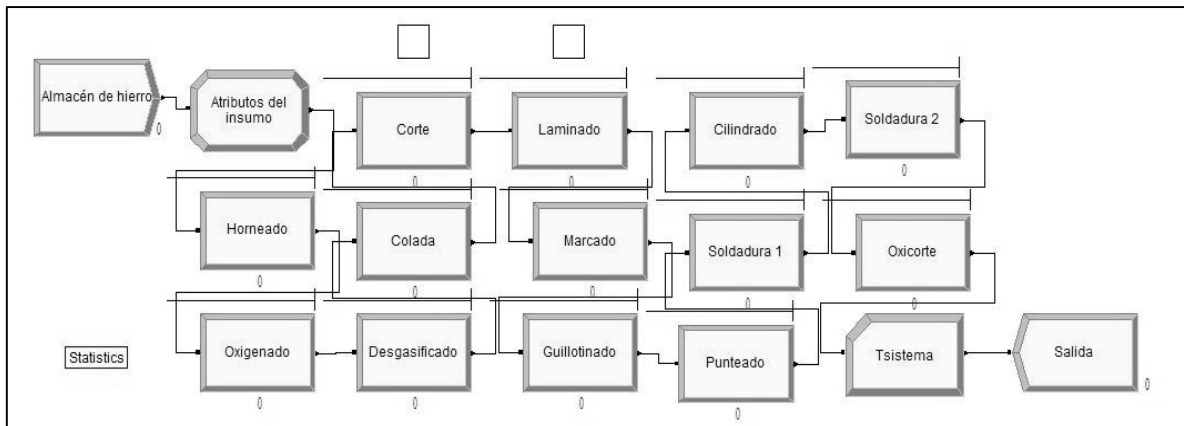


Figura 3. Representación del sistema

4.2 Diagnóstico inicial

Luego de ensamblar la representación, se ejecutó para que el simulador pudiera entregar los datos iniciales recolectados de la organización, antes de la aplicación del modelo propuesto. Estos resultados se indican en la **tabla 1**.

Tabla 1. Resultados del escenario inicial

Escenario Inicial	
Tsistema	41.74 minutos
Tanque.WIP	2.87 tanques
Tiempo de reparación	3.15 horas
Costos de mantenimiento	4093.19 PEN
Tanque.NumberOut	21 tanques
Tiempo planificado	402.50 minutos
Disponibilidad	0.84
Tasa de averías	0.16
Capacidad ociosa	0.34

4.3 Aplicación del modelo

La aplicación del modelo se basa en tres pilares de la técnica TPM junto con la filosofía 5S. Por ello, los cambios en la representación tras la aplicación del modelo serán el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR) del mismo. Por ello, antes de la aplicación, los valores son los siguientes, los cuales se indican en la **figura 4**.

	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units
1	AveríaTron	Time	338.21	Minutes	64.29	Minutes
2	AveríaLam	Time	112.75	Minutes	21.42	Minutes
3	AveríaHor	Time	397.5	Minutes	5	Minutes
4	AveríaOxi	Time	396.33	Minutes	6.17	Minutes
5	AveríaDes	Time	195.27	Minutes	5.98	Minutes
6	AveríaCol	Time	194.9	Minutes	6.35	Minutes
7	AveríaGuill	Time	196.21	Minutes	5.04	Minutes
8 ▶	AveríaCil	Time	194.02	Minutes	7.23	Minutes

Figura 4. Valores iniciales del MTBF y MTTR

Entonces, después de que se aplicó el modelo, los valores de MTBF y MTTR en la representación serán los siguientes indicados en la **figura 5**.

	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units
1	AveríaTron	Time	361.20	Minutes	36.31	Minutes
2	AveríaLam	Time	361.11	Minutes	36.4	Minutes
3	AveríaHor	Time	398.5	Minutes	4	Minutes
4	AveríaOxi	Time	397.57	Minutes	4.93	Minutes
5	AveríaDes	Time	391.17	Minutes	8.83	Minutes
6	AveríaCol	Time	390.49	Minutes	9.51	Minutes
7	AveríaGuill	Time	392.48	Minutes	7.52	Minutes
8 ▶	AveríaCil	Time	389.24	Minutes	10.76	Minutes

Figura 5. Valores finales del MTBF y MTTR

4.4 Verificación

Una vez que se aplicó el modelo, se volvió a ejecutar la representación para que el simulador pueda entregar los resultados de los cambios generados por la aplicación del modelo. Estos resultados se indican en la **tabla 2**.

Tabla 2. Resultados del escenario inicial

Escenario Final	
Tsistema	39.37 minutos
Tanque.WIP	2.56 tanques
Tiempo de reparación	1.97 horas
Costos de mantenimiento	2561.87 PEN
Tanque.NumberOut	23 tanques
Tiempo planificado	397.50 minutos
Disponibilidad	0.91
Tasa de averías	0.09
Capacidad ociosa	0.28

5 CONCLUSIONES

El modelo logró reducir la capacidad ociosa de la línea en un 6.22%. Adicionalmente, la OEE se incrementó en un 4,75%, ya que la disponibilidad aumentó en un 6,82%. Asimismo, la tasa de averías disminuyó en un 7.23%, lo que llevó a una reducción del 36.53% en los costos de mantenimiento. Además, el equipo de TPM se creó para poder asignar a cada miembro una determinada tarea. Finalmente, la aplicación del pilar de mantenimiento planificado se construyó en base a los resultados del análisis crítico y el diagrama AMEF.

6 REFERENCIAS

- Bataineh, O., Al-Hawari, T., Alshraideh, H., & Dalalah, D. (2019). A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(1), 144–161.
<https://doi.org/10.1108/JQME-07-2017-0045>
- Battista, O., Alzate, J., Velásquez, O. y Sornoza, P. (2016). Planeamiento Estratégico en el sector Metalmecánico de Perú (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7779>
- Dagdeviren, H. (2016). Structural constraints and excess capacity: an international comparison of manufacturing firms. *Development Policy Review*, 34(5), 623–641.
<https://doi.org/10.1111/dpr.12168>
- Fıđlalı, N., Esen, H., Hatipođlu, T., & Aydınođlu, N. (2017). Application of lean production techniques in the manufacturing industry. *International Journal of Services and Operations Management*, 27(3), 324.
<https://doi.org/10.1504/ijsum.2017.10005224>
- Hooda, A., & Gupta, P. (2019). Manufacturing excellence through total productive maintenance implementation in an Indian industry: A case study. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(3), 1593–1604. <https://doi.org/10.24247/ijmperdjun2019168>
- Kbelah, S. I., Amusawi, E. G., & Almagtome, A. H. (2019). Using resource consumption accounting for improving the competitive advantage in textile industry. *Journal of*

Engineering and Applied Sciences, Vol. 14, pp. 575–582.

<https://doi.org/10.3923/jeasci.2019.575.582>

- Labib, A. W. (2016). World-class maintenance using a computerised maintenance management system. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 4(1), 66–75.
- Mariátegui, L. (2020). Industria metalmeccánica, motor del desarrollo. RPP. Recuperado de: <https://rpp.pe/columnistas/leandromariategui/industria-metalmeccanica-motor-del-desarrollo-noticia-1245757>
- Morales Méndez, J. D., & Rodríguez, R. S. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1–4), 1013–1026. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>
- Mundaca, F, Saldarriaga, M., Vireira, C. (2019). Utilización de la capacidad instalada. BCRP. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda179/moneda-179-04.pdf>
- Nallusamy, S. (2016). Enhancement of productivity and efficiency of CNC machines in a small scale industry using total productive maintenance. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 25, 119–126. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.25.119>
- Nallusamy, S., & Majumdar, G. (2017). Enhancement of overall equipment effectiveness using total productive maintenance in a manufacturing industry. *International Journal of Performability Engineering*, 13(2), 173–188. <https://doi.org/10.23940/ijpe.17.02.p7.173188>
- Nallusamy, S., Kumar, V., Yadav, V., Prasad, U. K., & 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*, 8(1), 1027–1038. <https://doi.org/10.24247/ijmperdfeb2018123>

- Ozdemir, B., & Kumral, M. (2019). Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 95(January), 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.04.006>
- Pascal, V., Toufik, A., Manuel, A., Florent, D., & Frédéric, K. (2019). Improvement indicators for Total Productive Maintenance policy. *Control Engineering Practice*, 82(June 2018), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.019>
- Posada, C. (2019). Metalmecánica es clave para el desarrollo. Cámara de Comercio de Lima. Recuperado de https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r874_3/comercio%20exterior.pdf
- Ribeiro, I. M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. J. G., & Matias, J. C. O. (2019). Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 1574–1581. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.128>
- Tóth, N., Ladányi, R., & Garamvölgyi, E. (2018). Elaborating Industry 4.0 compatible DSS for enhancing production system effectiveness. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 448(1), 0–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012040>
- Vásquez, N., Sánchez, M., & Henao, E. (2014). Estudio de capacidad instalada. Universidad de Antioquía seccionales y sedes municipales. 1–26. Recuperado de <http://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/bfbf9f15-f06f-4295-a0b6-69387be97c3a/capacidad-instalada-regiones2014.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kY3VcCf>
- Zhao, D., Hao, J., Cao, C., & Han, H. (2019). Evolutionary game analysis of three-player for low-carbon production capacity sharing. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11112996>