

Modelo para reducir los tiempos de entrega de proyectos aplicando TPM y SMED: Caso de estudio en una empresa metalmecánica

Alex Delgado¹, Juan Sanchez¹, Rosa Salas¹

¹Ingeniería Industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima-Perú. U201512798@upc.edu.pe, U201510360@upc.edu.pe, pcinrsal@upc.edu.pe

Resumen – La existencia de empresas metalmecánicas con características Engineer to Order y Make to Order crecen en el ámbito industrial, en las que, uno de los principales problemas que estas presentan son los retrasos en las entregas de los proyectos debido a las paradas en las maquinarias, reprocesos por error en los diseños, retrasos por la ausencia de materiales, entre otros. Los modelos propuestos para mejorar los tiempos de entrega en las empresas metalmecánicas que trabajan por encargo son escasos, sin embargo, los que se utilizan en la producción lineal se pueden extrapolar, siempre que los procesos sean similares. Expertos e investigadores en el tema, han replicado con éxito estos modelos, que involucran distintas herramientas Lean seleccionadas de acuerdo con las causas que generan este problema. Por esta razón, el presente artículo propone un modelo que combina las herramientas Single Minute Exchange of Die y los pilares autónomo y preventivo del Mantenimiento Productivo Total en un contexto de baja demanda y tiempos de producción en días en una empresa metalmecánica peruana. La simulación del desarrollo del modelo demostró, en un escenario moderado, que el indicador de entregas a tiempo (On Time Delivery) logra mejorar de 66.67% a 75%. **Keywords** – Metalmecánica, SMED, OTD, TPM, Reducción

I. INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera posee atributos importantes para la pluralización productiva y el desarrollo económico de los países, por lo que debe ser un fragmento fundamental en la agenda de los gobiernos que buscan fomentar el desarrollo económico [1]. Según cifras de Euromonitor International, la industria manufacturera, a nivel mundial, generó en el 2017 poco más de USD 46,2 trillones, equivalente a 177,92 trillones de soles. El 43 % de dichos ingresos se encuentran acumulados en los sectores de alimentos y bebidas, productos metálicos y productos de alta tecnología [2].

En el Perú, para enero del año 2020, el sector manufacturero no primario presentó un crecimiento en el aporte al PBI de 0.4%, sin embargo, para el mes de febrero, este indicador fue a -0.2%. Así mismo, en este sector, la actividad económica de fabricación de productos metálicos evidenció un indicador del aporte al crecimiento del PBI de -0.4%, lo que se traduce en una variación porcentual de -4.5% [3]. Estos indicadores se

agravaron con la pandemia, ya que entre el 50 y 55% de las industrias se paralizaron [4] y el sector manufacturero se encuentra estrechamente relacionado a ellas al formar parte de su cadena productiva [5]. Este contexto generó también que existan retrasos en las entregas de los pedidos, una situación que ya había sido estudiada por diversos autores. Estas entregas a destiempo se pueden medir con el indicador On Time Delivery (OTD), que es la relación entre el número de pedidos entregados a tiempo y el número total de pedidos [6]. De esta manera, se puede estatuir la eficiencia de la empresa, en coherencia a las fechas pactadas en los contratos. De acuerdo con las causalidades, se han propuesto distintos modelos para la reducción de este indicador. Por ejemplo, una metalmecánica de la India utiliza como principal componente para mejorar sus tiempos de entregas al TPM y su pilar de mejoras enfocadas para solucionar su problema de mantenimiento a través de la formación de grupos multidisciplinarios, logrando una mejora de 33.33% [7]. Así mismo, una empresa manufacturera de productos eléctricos, que presentaba características de baja demanda y trabajo a pedido, poseía un OTD de 30%, muy por debajo de la media nacional peruana y global, por lo que utiliza como componentes de su modelo para mejorar este indicador a Asaichi y Kanban, que son herramientas Lean [8]. Así como estos trabajos de investigación, se han realizado otros esfuerzos por mejorar el OTD. El presente artículo pretende mejorar el indicador de entregas a tiempo (OTD) en una metalmecánica nacional a través de dos herramientas Lean: TPM y SMED.

El artículo continúa con el estado del arte, donde se revisarán otras investigaciones enfocadas en solucionar las causalidades del presente caso de estudio; aporte, donde se describirá a detalle los componentes del modelo; y la validación, donde se comprobará el funcionamiento del modelo a través de una simulación en el Software Arena y su impacto económico.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Mantenimiento Productivo Total

En [9] se busca aumentar la eficiencia en las maquinarias de una empresa manufacturera en China. En ella mencionan que es importante aplicar un modelo que no agrave la carga financiera y por ello adaptan TPM, priorizando la participación de los trabajadores. El modelo consta de 3 etapas: Planificación, mejora y sostenimiento. Con su aplicación se logra mejorar su eficiencia de 63.2% a 69.44% y su OEE de 54.23% a 66.90%, superando su meta a corto plazo de 65%. Además, [10] aplican

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.727>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

únicamente el TPM y se logran resultados muy similares, con una mejora de 13% respecto a su indicador OEE.

En [11] proponen el uso de TPM (Kobetsu-Kaizen) y VSM para reducir los rechazos de las piezas y entregas fuera de tiempo en una metalmecánica en India logrando reducir la tasa de rechazos de piezas en 2.02%, las actividades sin valor añadido por máquina en 60% y el Lead Time en 33.33%. Asimismo, en [12] buscan incrementar la productividad y la calidad a través de un correcto mantenimiento, generando un vínculo entre el operario y la máquina. El componente utilizado es el mantenimiento autónomo y con ello logran incrementar el OEE de 52.5% a 63.9%.

Según [13], las fallas en los equipos suelen ocurrir en la industria manufacturera, asegurando que la participación de la gerencia es determinante para el éxito del TPM. En su estudio logran reducir en 40% el tiempo de inactividad y aumentar en 12% el OEE.

Finalmente, [14] demuestran la versatilidad del TPM, el éxito de esta herramienta en la industria manufacturera para solucionar problemas como los excedentes de producción, las esperas, el exceso de procesamiento, el stock redundante y el mal uso del potencial de los trabajadores.

En conclusión, es demostrado por distintos autores e investigadores que una de las técnicas eficientes para mitigar problemas ligados a la maquinaria es el TPM. Así mismo, demuestra un gran potencial para la mejora en los indicadores de eficiencia, disponibilidad y calidad. Su efectividad complementada a otras herramientas como el VSM y la priorización de los pilares, como el preventivo y autónomo, han aportado de manera significativa al control de averías y fallas en las maquinarias.

B. SMED

Los principios y herramientas lean se han empleado cada vez más en empresas de varios sectores, con numerosas implementaciones exitosas tanto dentro como fuera de los entornos de producción [15], por lo que coinciden en aumentar la flexibilidad en su producción [16] garantizando procesos de cambio rápidos con el fin de reducir las pérdidas de producción [17], logrando a su vez reducir los costos generales de producción y el tiempo operativo [18]. En su mayoría siguieron una metodología similar, empezando con una revisión de la literatura, seguida por la recolección de datos identificando el tiempo de configuración de la máquina con cuello de botella en el proceso. Sin embargo, para una mejor identificación, éstas se diferenciaron en cuanto a la forma de implementación, ya que se realiza un estudio de tiempos de cambio de matriz aplicando

el SMED y se calculan los indicadores de la empresa como OEE, MTTR y MTBF. Posterior a la identificación, se realiza la implementación del SMED, mientras que, [19] aplicaron dos enfoques generales de mejora de procesos de Lean y Six Sigma y se evaluaron. Para [20] en el análisis, los residuos fueron identificados y posteriormente eliminados mediante medidas de racionalización.

En conclusión, con el análisis de la revisión de la literatura, se logra identificar la aplicación de la metodología SMED en los diferentes casos de estudio para resolver los tiempos excesivos de preparación, sin embargo, esta se vio complementada por otras herramientas que ayudaron en la planificación para la ejecución. Con ello, se logró eliminar actividades sin mucho aporte a la producción obteniendo resultados satisfactorios como en la reducción en tiempos de Setup y costos de producción.

III. APORTE

A. Fundamento del modelo

[9] implementan esta herramienta en una manufacturera, logrando incrementar la eficiencia general de los equipos (OEE) de 54.23% a 66.90%. Por otro lado, según [21], el RCM trata de determinar el enfoque de mantenimiento más eficaz, pero omite la condición esencial del equipo, que debe ser operado por un trabajador y este no siempre tendrá el manejo y cuidado que corresponde. En adición a ello, [22] comentan que el RCM busca reducir la criticidad de la falla, teniendo como prioridad estudiar el patrón de falla en un sistema para de esta manera optar por una decisión que permita alcanzar los niveles de confiabilidad óptimos. Para concluir, se consideró al TPM como la herramienta más adecuada para este caso en particular, ya que la literatura demuestra su enfoque hacia la concientización de los trabajadores con sus equipos y la necesidad de un adecuado plan de mantenimiento.

[16] se utiliza un modelo que tiene como eje central a la herramienta SMED y con ella se reduce en 45% los tiempos de preparación de las maquinarias. Asimismo, en [18], en una revisión a la literatura mencionan que, muy aparte de la aplicación de la herramienta SMED, otros autores utilizan estrategias para la reducción de tiempos de preparación en empresas similares al caso de estudio. Sin embargo, [23] informan que desde 1995 hasta 2018 con la inclusión de al menos 130 artículos relacionados con SMED, demuestran el alto grado de utilización e importancia de esta herramienta, por la cual será utilizada para la causa basada en altos tiempos de preparación.

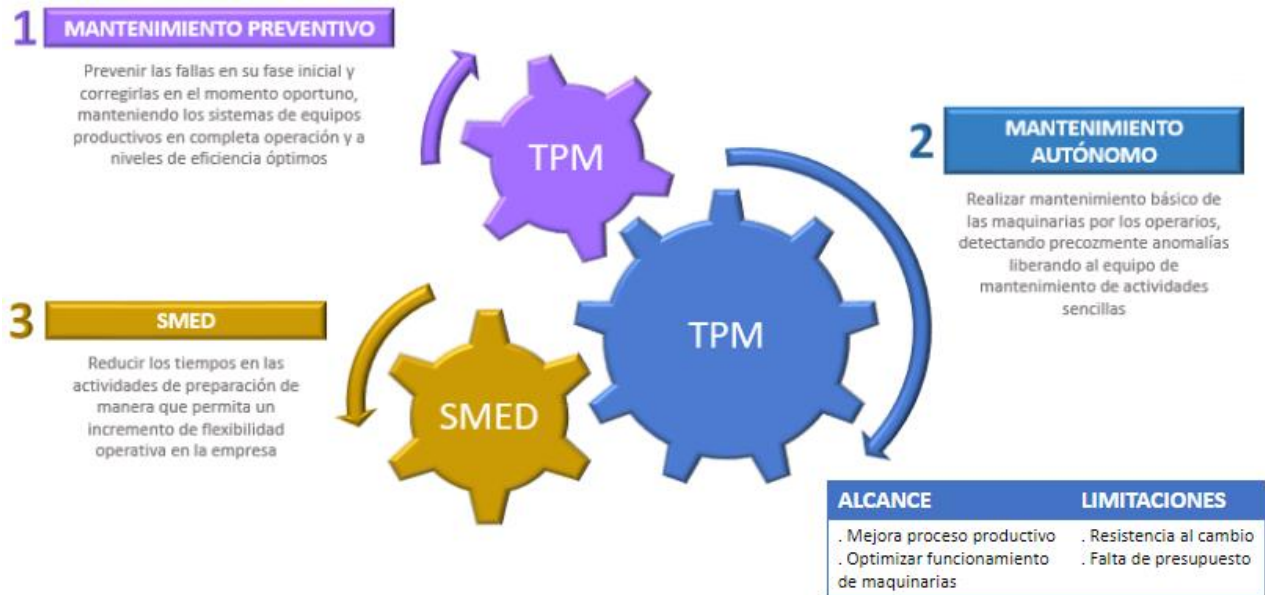


Fig. 1 Modelo propuesto

B. Modelo propuesto

El modelo en el presente artículo pretende afianzar las herramientas identificadas en el estado del arte con el objetivo de reducir el indicador de tiempos de entrega (On Time Delivery – OTD). El modelo (Figura 1) está compuesto por 2 componentes: (1) Mantenimiento Preventivo; (2) Mantenimiento Autónomo; y finalmente, (3) SMED.

C. Componentes del modelo

a. Etapa previa al desarrollo del modelo

En [24] se menciona la importancia de una serie de actividades previo a la aplicación de las herramientas Lean, es por ello que se busca la creación de un equipo de trabajo, seguido de capacitaciones, recolección de datos y determinación de indicadores especificados en la Figura 2.

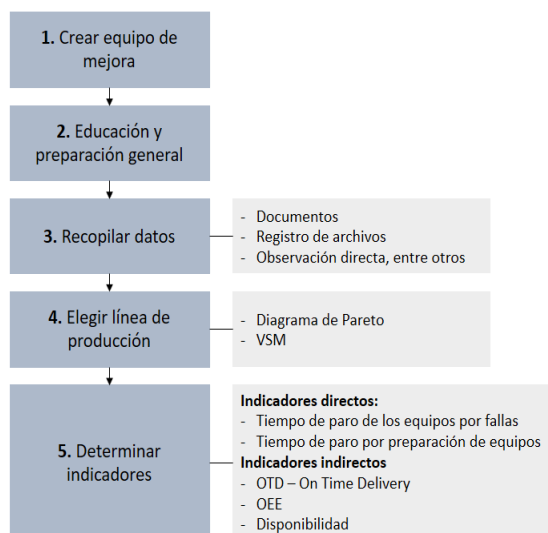


Fig. 2 Diagrama de flujo de etapa previa al modelo

- (1) El equipo estará conformado por un líder y encargados.
- (2) Programa introductorio orientado a todos los trabajadores de la empresa para informar y educar al personal.
- (3) Se sugiere que las evidencias provengan de fuentes principales: documentos, registros de archivo, entre otros.
- (4) Utilización de Diagrama de Pareto y el VSM.
- (5) Se contemplan los siguientes indicadores:

- Entregas a tiempo u On Time Delivery (OTD):

$$OTD = \frac{N^{\circ} \text{ de proyectos entregados a destiempo}}{N^{\circ} \text{ Total de proyectos realizados}}$$

- Disponibilidad de los equipos:

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo planificado para producir} - \text{Paradas no planificadas}}{\text{Tiempo planificado para producir}}$$

b. Desarrollo del modelo

(A) TPM

El TPM presenta varios pilares que pueden ser utilizados, sin embargo, para el problema de caso en estudio, se opta por el desarrollo de los pilares de mantenimiento preventivo y autónomo.

Mantenimiento Preventivo

Para evitar fallas que afecten a las maquinarias y ocasionen retrasos por paradas a largo plazo, la aplicación del pilar Mantenimiento Preventivo de la herramienta TPM busca eliminarlas desarrollando una serie de pasos (Figura 3).

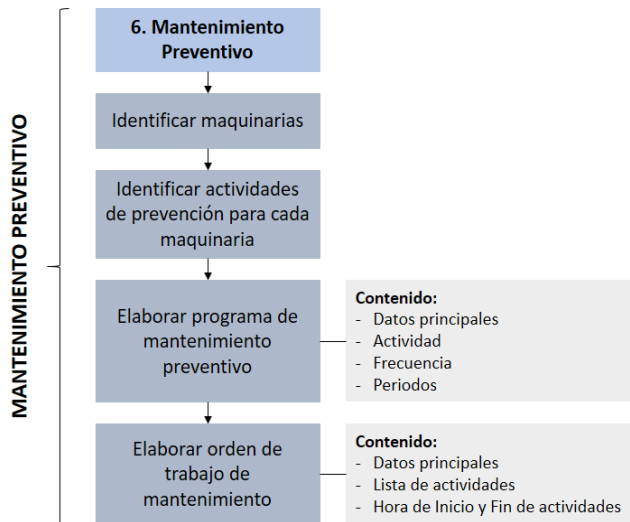


Fig. 3 Diagrama de flujo del desarrollo del mantenimiento preventivo

Para un mantenimiento preventivo, se debe tener en cuenta el uso de los manuales de las máquinas complementándose con la experiencia de los operarios.

El formato del programa propuesto (Figura 4) consta de 3 apartados, en la que se especifica: (1) Información principal abarcada para cada maquinaria, (2) Lista de actividades a realizarse en las maquinarias y, (3) Frecuencia con que se lleva a cabo las actividades (diarias, semanales, mensuales, trimestrales, etc.).

Máquina	Fecha	Responsable	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO												
			PERIODOS												
			Frec.	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
ACTIVIDAD				1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4

Fig. 4 Formato de programa de mantenimiento preventivo

Para evaluar los tiempos de duración, se diseñó un formato (Figura 5), que consta de 3 apartados: (1) Datos e información general, (2) Lista de actividades y, (3) Hora de inicio y final de las actividades asignadas.

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO				
Máquina:			N° de orden:	
Área:			Turno:	
Trabajo:	Responsable:			Fecha:
Pieza:				
N°	Lista de actividades		Inicio	Fin
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Fig. 5 Orden de trabajo de mantenimiento

Mantenimiento Autónomo

Con el pilar autónomo, se busca la incorporación de los propios trabajadores de la empresa en sus actividades diarias al mantenimiento de los equipos y lo promuevan como parte de su cultura organizativa. Para esta implementación, se seguirán los pasos reflejados en la Figura 6.



Fig. 6 Diagrama de flujo de aplicación de mantenimiento autónomo

- Limpieza inicial de maquinarias

Se realiza una limpieza inicial antes de cada jornada de trabajo y deberá seguir los lineamientos establecidos en la ficha de actividades de limpieza (Figura 7). El formato está compuesto por:

ACTIVIDADES DE LIMPIEZA INICIAL			
N°	Máquina	Tipo de limpieza	Tiempo
1			
2			
3			
4			
5			

Fig. 7 Reporte de limpieza inicial en maquinarias

Si bien es cierto que, el pilar autónomo busca que los operarios apoyen con el mantenimiento y promuevan una cultura de esta, como parte de sus actividades también está reaccionar ante una emergencia. Frente a una falla es indispensable llamar al técnico de mantenimiento y este tendrá que realizar el mantenimiento correctivo.

- Eliminación de fuentes de contaminación

Se busca eliminar las fuentes de suciedad y situaciones que ocasionen un difícil acceso a las máquinas para facilitar un óptimo flujo productivo y de mantenimiento.

- Estándares de limpieza, lubricación, etc.

Se diseñan fichas (Figura 8) con el fin de estandarizar procedimientos.

Ficha de Estandarización Tema:		Fecha:	Nro:
Aplicable a:		Elaborado por:	
Objetivo: Materiales: Descriptivo: Nota:		(Ejemplo visual)	

Fig. 8 Ficha de estandarización para limpieza lubricación, ajuste e inspección

Como parte de la estandarización de las actividades de mantenimiento, el encargado del equipo de mejora debe verificar que hayan sido realizadas con éxito. En la Figura 9, se puede observar un checklist compuesto por dos apartados: (1) Se anotan los equipos que han sido asignados para realizarles las actividades de mantenimiento correspondiente y (2) Se anota la hora de la verificación y se marca con un aspa si se realizó con éxito, de lo contrario, el encargado del equipo tomará las medidas que considere correspondiente.

[illegible]

Fig. 9 Checklist de actividades asignadas por el encargado del equipo de mejora

(B) SMED

La herramienta busca convertir la mayor cantidad posible de actividades internas a externas y optimizar el flujo de las actividades internas [17]. Para su aplicación, se sigue una serie de pasos mostrados en la Figura 10.

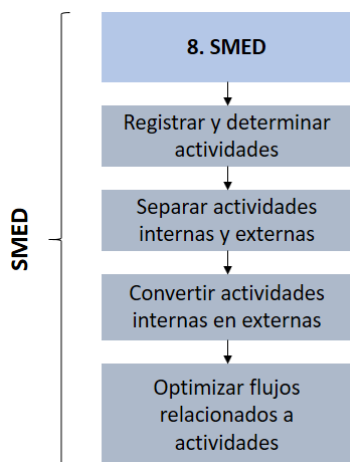


Fig. 10 Diagrama de flujo para aplicación de herramientas SMED

- Registro y determinación de actividades

Se inicia con la identificación de las actividades de preparación que existen anticipadamente a los procesos de fabricación.

- **Separación de actividades internas y externas**

En esta etapa, se mide el panorama inicial del Set Up de los procesos y se analiza cada actividad con el fin de identificar las actividades internas y externas.

- **Convertir actividades internas a externas**

Identificar las actividades de preparación interna que se deben realizar obligatoriamente para de esta manera procurar convertir todas aquellas actividades internas en actividades externas.

IV. CASO ESTUDIO

A. Etapa previa al modelo

- Creación de equipo de mejora

Seleccionar un equipo de mejora con diferentes asignaciones que aporten a todas las áreas a estudiar, como se observa en la Tabla 1.

TABLA 1
EQUIPO DE MEJORA EN CASO DE ESTUDIO

EQUIPO DE MEJORA EN CASO DE ESTUDIO	
Encargado	Responsabilidades
Líder de equipo	- Cumplimiento de programa de mantenimiento y modelo propuesto
Supervisor de operaciones	- Certificación de las operaciones, coordinación, información de los recursos y equipos para el desarrollo efectivo del modelo.
Técnico de mantenimiento	- Ejecutar plan de mantenimiento.

- **Educación y preparación**

Capacitar al personal operativo y administrativo.

- Elección de línea de producción

Identificar la línea de producción a través de un Diagrama de Pareto (Figura 11) y evaluar los procesos utilizando la herramienta VSM (Figura 12).

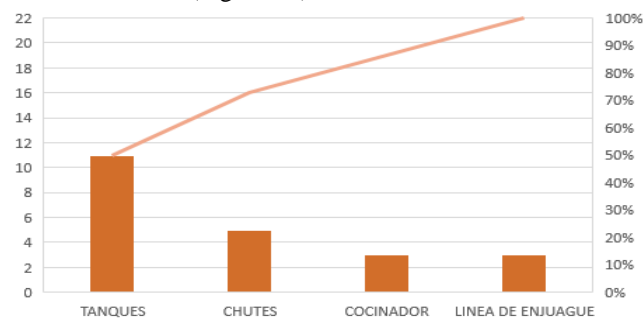


Fig. 11 Diagrama de Pareto de líneas de producción en caso de estudio

- **Determinación de indicadores**

Como indicador principal para el caso de estudio se tiene el OTD (Entregas a tiempo) y se obtiene 66.67% (Tabla 2).

TABLA 2
CÁLCULO DE OTD EN CASO DE ESTUDIO

Proyectos entregados a tiempo	16
Total de proyectos	24
OTD	66.67%
OTD Meta	80.00%

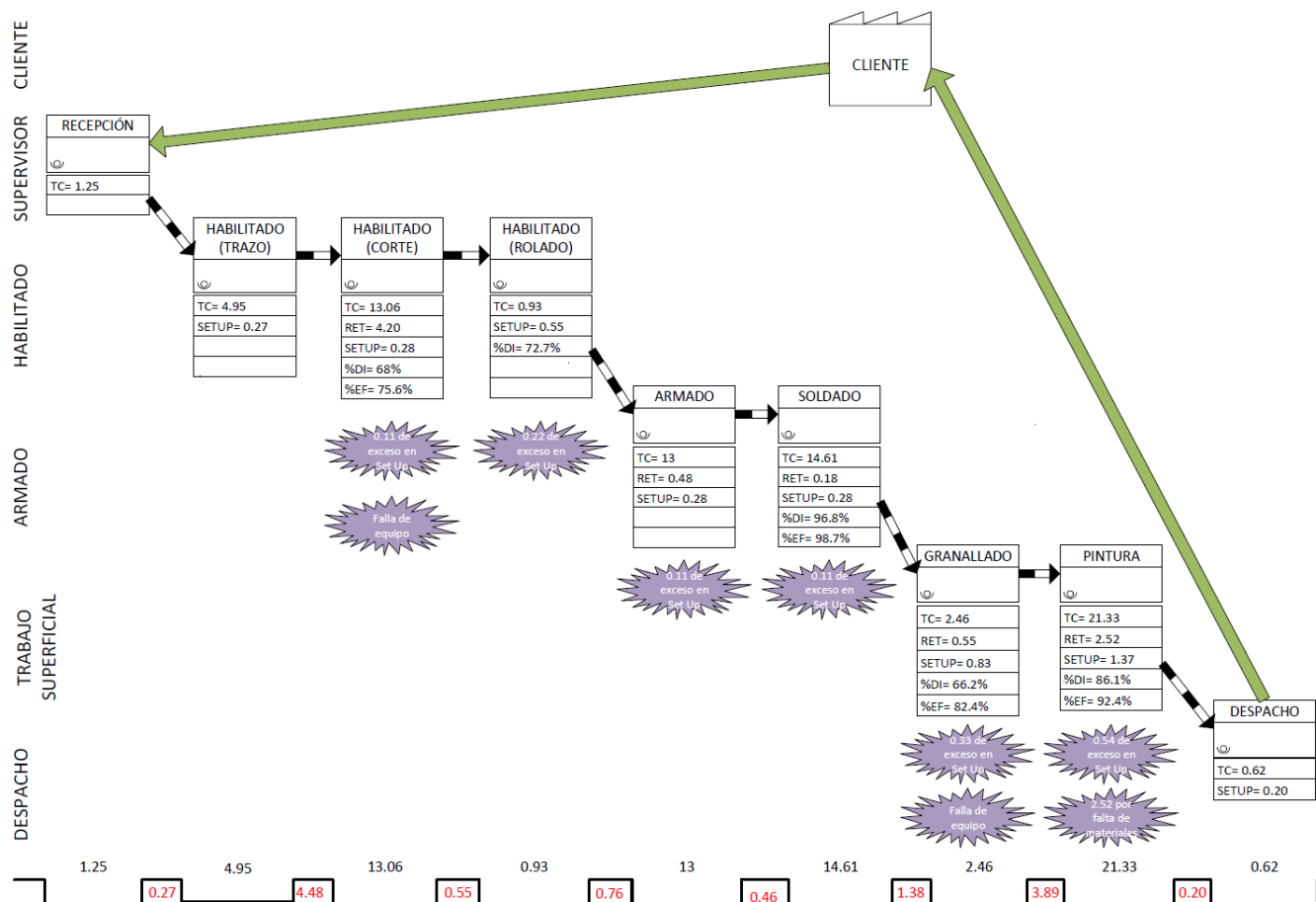


Fig. 12 Value Stream Mapping de Tanque

Asimismo, luego del análisis a ambas herramientas utilizadas se determina los tiempos de paro de los equipos por fallas y el tiempo de paro por preparación de equipos (Tabla 3).

TABLA 3
TIEMPOS POR PARADAS EN CASO DE ESTUDIO

Tiempos	Procesos	Tanques	Chutes
Tiempo de paro de los equipos por fallas	Corte y granallado	20.27 horas	22.09 horas
Tiempo de paro por preparación de equipos	Corte, rolado, armado, soldado, granallado, pintado	3.59 horas	3.73 horas

Con la información se analizan los indicadores de disponibilidad (Tabla 4).

TABLA 4
INDICADORES DISPONIBILIDAD EN CASO DE ESTUDIO

Indicador	Actual	Meta
Disponibilidad - Torno	72.80 %	75.00%
Disponibilidad - Granalladora	67.40 %	75.00%

B. Desarrollo de herramientas del modelo (A) Pilar Preventivo – TPM

En el caso de estudio, según el análisis inicial, se determina que existen 2 maquinarias que ocasionan retrasos en la producción (Torno y Granallado). Para ambas maquinarias se identifican las actividades que deben realizarse como mantenimiento preventivo y la frecuencia que deben seguir cada una de ellas. Estas actividades deben cumplirse para lograr el objetivo de reducir tiempos por fallas en los equipos (Tabla 5) y aumentar la disponibilidad (Tabla 6).

TABLA 5
TIEMPO DE PARADA POR FALLAS APLICANDO MODELO

Tiempo de parada por fallas	Actual	Mejorado
Torno	5.16 h	3.71 h
Granalladora	1.11 h	0.80 h

TABLA 6
INDICADORES DE DISPONIBILIDAD APLICANDO MODELO

Indicador	Actual	Mejorado
Disponibilidad - Torno	72.80 %	80.60%
Disponibilidad - Granalladora	67.40 %	77.50%

(B) Pilar Autónomo – TPM

- Limpieza inicial de máquinas

El caso de estudio no posee un programa o plan de limpieza básico, sino que, se realiza de manera empírica. Por lo mismo, se desarrolla un cronograma con las máquinas que presentaron paradas por fallas siendo estas, el torno y la granalladora (Figura 13).

ACTIVIDADES DE LIMPIEZA INICIAL				Responsable
N°	Máquina	Tipo de limpieza	Tiempo (min)	
1	Torno	Aire comprimido	10	Operario
2	Granalladora	Manual (cabina)	15	Operario

Fig. 13 Lista de actividades

- Eliminación de fuentes de contaminación

Para cada una de las áreas donde se encuentran el torno y la granalladora, se identifican los puntos de suciedad, y en general situaciones que se consideran normales que podrían ocasionar fallas en las máquinas.

Para ambos casos existen recursos que brindan solución a estos problemas previniendo que se ocasionen daños a futuro como, por ejemplo, colocar protectores viales en los caminos donde se encuentran cables de las máquinas, de manera que sufran algún imperfecto (Tabla 7).

TABLA 7
PROBLEMA Y SOLUCIÓN EN ÁREA DE TRABAJO

Problema	Solución
	

- Estándares de limpieza y lubricación

La tarea que abarca se realiza por el mismo operario de cada maquinaria, el cual para una buena ejecución se basará en fichas estandarizadas para la limpieza y lubricación (Figura 14).



Lubricación en Torno		Fecha:	Nro:	1
Aplicable a: Torno		Elaborado por:		
Realizado por:				
Objetivo: *Permiten que la fabricación de piezas y el funcionamiento de maquinarias sea lo más óptimo posible. *Reducir la fricción entre las partes metálicas de una pieza, motor y/o maquinaria. *Evitar que las piezas se pulen entre ellas, evitando así el desgaste.		Lubricación en cabezal 		
Materiales: *Gaseosos (aire). *Líquidos (Aceites). *Semi-sólidos (grasas). *Sólidos, Por ejemplo: (Bisulfuro de molibdeno, grafito).		Lubricación en engranajes 		
Nota: *Realizar el proceso de lubricación cuando la máquina se encuentre apagada.				

Fig. 14 Ficha estandarizada para lubricación en torno

(C) SMED

- Registro de actividades

Se identifica todas las actividades de preparación que existen en cada estación o área de trabajo.

- Separación de actividades internas y externas

En casi todos los casos, las actividades son internas, a excepción del proceso de pintura (Figura 15). Esto significa

que la mayoría de las actividades se realizan cuando las máquinas están apagadas lo que genera que existan retrasos en la producción.

PINTURA (COMPRESORA)					
N°	Actividad	T. Inicio	T. Final	Duración	Actividad
1	Búsqueda de elementos de limpieza	00:00:00	00:16:25	00:16:25	I
2	Despejar / limpiar zona de trabajo	00:16:25	00:34:43	00:18:18	I
3	Adecuar zona de trabajo	00:34:43	00:48:52	00:14:09	E
4	Traer estructura al área de pintura	00:48:52	01:52:23	01:03:31	I
5	Limpiar estructura	01:52:23	02:13:27	00:21:04	I
6	Colocar pintura en la compresora	02:13:27	02:47:53	00:34:26	I
7	Encender compresora	02:47:53	02:48:00	00:00:07	I
TOTAL				02:48:00	

Fig. 15 Clasificación de actividades del área de pintura

- Convertir actividades internas a externas

Todas las áreas presentan actividades internas para lo que se identifican las actividades que pasan a convertirse en externas (Figura 16).

CORTE				CORTE	
N°	Actividad	Duración	Actividad	Actividad	Observaciones
1	Búsqueda de elementos de limpieza	00:03:21	I	E	Realizar antes del cambio
2	Despejar / limpiar zona de trabajo	00:06:30	I	E	Realizar antes del cambio
3	Traer materia prima de área de corte	00:07:07	I	E	Realizar antes del cambio
4	Observar trazos en la materia prima	00:06:54	I	I	
5	Verificar estado del torno	00:01:59	I	I	
6	Lubricar	00:01:51	I	I	
7	Calibrar	00:04:07	I	I	Mejorar método
8	Ubicar materia prima en el torno	00:02:16	I	I	
9	Encender máquina	00:00:07	I	I	
TOTAL		00:34:12			

Fig. 16 Conversión de actividades internas a externas para proceso de corte

Con la herramienta SMED, los tiempos de preparación se reducen como se muestra en la Tabla 8.

TABLA 8
TIEMPOS REDUCIDOS POR PROCESO

Proceso	Actual	Mejorado
Corte	0.29 h	0.17 h
Rolado	0.47 h	0.28 h
Soldado	0.17 h	0.08 h
Granallado	0.71 h	0.55 h
Pintado	2.29 h	1.02 h

V. VALIDACIÓN

A. Método de validación

Para el análisis de la validación del modelo en el caso de estudio, se realiza una simulación en el software Arena, con el objetivo de determinar los tiempos estimados de fabricación antes y después del desarrollo del modelo.

Para la simulación se realizó una serie de pasos previos mencionados a continuación:

- Toma de tiempos
- Distribuciones de tiempos en Input Analyzer de Tanques. El P-Value aplicado en todos los procesos es mayor al 5%, ya que evidencia que las distribuciones obtenidas son representativas para el caso de estudio.
- Desarrollo en el Software Arena (Figura 17).
- Cálculo de N Óptimo = 1405 repeticiones, con los reportes del Output Analyzer (Cantidad de repeticiones considerables para el simulador).

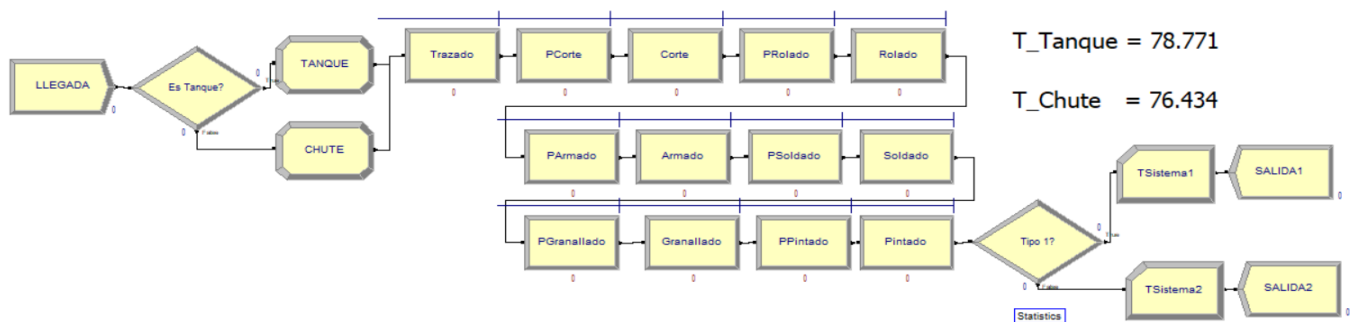


Fig. 17 Representación del sistema en Arena después del desarrollo del modelo

(e) Resultados

Luego de la simulación con 1405 corridas, los tiempos promedio de fabricación para tanques y chutes son de 78.77 y 76.43 horas (Tabla 9).

TABLA 9
TIEMPOS TOTALES DE FABRICACIÓN CON MODELO Y ESPERADO

Producto	Tiempo total MODELO	Tiempo total ESPERADO
Tanques	78.77 h	80 horas o menos
Chutes	76.43 h	72 horas o menos

Asimismo, se logra identificar los tiempos de paradas por fallas y preparación en el caso de estudio (Tabla 10).

TABLA 10
TIEMPOS DE PARADAS POR FALLAS Y PREPARACIÓN

	Torno		Granalladora	
	Antes	Después	Antes	Después
Tiempo por falla de equipos	5.160	3.710	1.110	0.800
Exceso de tiempos de preparación	0.285	0.170	0.847	0.550

Finalmente, se calculan los indicadores y se obtiene lo siguiente (Tabla 11).

TABLA 11
INDICADORES DESPUÉS DEL DESARROLLO DEL MODELO

Indicador	Actual	Mejorado	Esperado
Disponibilidad Torno	72.80 %	80.60 %	75.00 %
Disponibilidad Granalladora	67.40 %	77.50 %	75.00 %
OTD	66.67%	75.00 %	80.00 %

B. Validación Económica

El total de inversión del proyecto/modelo se financia por un periodo de 5 años.

Inversión: S/ 38,990.00

Amortización anual: 1° año: S/ 6,323.00, 2° año: S/ 6,987.00, 3° año: S/ 7,721.00, 4° año: S/ 8,531.00, 5° año: S/ 9,427.00

Depreciación anual: S/ 1,520.00

Costos por procesos: S/ 18,541.00

Tasa de Interés Efectiva Anual (TEA): 10.50%

Beneficio por reducción de penalidades y costos en el 1° año: S/ 81,690.00

Efectuado el flujo de caja económico se logra identificar el Valor Actual Neto y la Tasa de Interés de Retorno (Tabla 12).

TABLA 12
COK, VAN, TIR DE CASO DE ESTUDIO

COK	10,50%
VAN	S/ 113,179
TIR	98.23%

Con un Costo de Oportunidad (COK) de 15,50%, el VAN que se obtiene, demuestra que por la inversión establecida de S/ 38,990 se logra un Valor Actual Neto positivo de S/ 115,357, lo que demuestra que la aplicación del modelo es viable.

Así mismo, el valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor al Costo de Oportunidad (COK) o tasa de descuento, lo que significa que es un proyecto viable. Representa que por la inversión de S/ 38,990 se obtiene un beneficio económico de S/ 38,506.52 anuales.

Es importante conocer otros escenarios en los que resultaría el desarrollo del modelo. De esta manera, se entiende mejor las variaciones a las que se somete la organización.

VI. DISCUSIÓN

1) Nuevos escenarios vs Resultados

- Escenario pesimista

En un escenario pesimista, el beneficio por reducción de penalidades y costos es el 50.62% del impacto económico, porcentaje que resulta del desarrollo de al menos uno de los componentes del modelo. El monto equivalente a este porcentaje es de S/ 66,482. Asimismo, la Tasa de Interés Efectiva Anual, se considera de 16%, ya que es la mayor presentada por los bancos analizados. En la Tabla 13, se puede observar los resultados del COK, VAN y TIR del escenario pesimista.

TABLA 13
COK, VAN, TIR DEL ESCENARIO PESIMISTA

COK	16,00%
VAN	S/ 56.189
TIR	67.97%

- Realizar el seguimiento al modelo propuesto es indispensable para su prevalencia en el tiempo y la disponibilidad de los equipos no sean un impedimento en la fabricación de tanques y chutes.
- Se recomienda reducir los tiempos por retraso por error de diseño, ya que es el segundo motivo con mayor implicancia en el OTD.

IX. REFERENCIAS

- [1] Palomino, M. (2017). Importancia del sector industrial en el desarrollo económico: Una revisión al estado del arte. *Revista Estudios de Políticas Públicas*, 5(0), 139–156. <https://doi.org/10.5354/0719-6296.2017.46356>
- [2] Avila, F. (2019). Las potencias manufactureras. Finanzas personales. Diario Semana. <https://www.semana.com/las-potencias-manufactureras-por-raul-avila-forero/272475/>
- [3] BCRP. (2020). *ACTIVIDAD ECONÓMICA: FEBRERO 2020*
- [4] Instituto Peruano de Economía (IPE). (2020). INFORME IPE V: IMPACTO DEL COVID-19 EN LA ECONOMÍA PERUANA. <https://www.ipe.org.pe/portal/informe-ipe-v-impacto-del-covid-19-en-la-economia-peruana/>
- [5] ANDINA. (2021). Minería puede incrementar en 20% ingresos de empresas vinculadas a cadena productiva. <https://andina.pe/agencia/noticia-mineria-puede-incrementar-20-ingresos-empresas-vinculadas-a-cadena-productiva-829192.aspx>
- [6] Kishimoto, K., Medina, G., Sotelo, F., & Raymundo, C. (2020). Application of lean manufacturing techniques to increase on-time deliveries: Case study of a metalworking company with a make-to-order environment in Peru. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1018). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_148
- [7] Dhiravidamani, P., Ramkumar, A. S., Ponnambalam, S. G., & Subramanian, N. (2018). Implementation of lean manufacturing and lean audit system in an auto parts manufacturing industry—an industrial case study. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(6), 579–594. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1356473>
- [8] Cannas, V. G., Pero, M., Pozzi, R., & Rossi, T. (2018). An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.247>
- [9] Xiang, Z. T., & Feng, C. J. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 152–175. <https://doi.org/10.3926/jiem.3286>
- [10] 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>
- [11] Dhiravidamani, P., Ramkumar, A. S., Ponnambalam, S. G., & Subramanian, N. (2018). Implementation of lean manufacturing and lean audit system in an auto parts manufacturing industry—an industrial case study. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(6), 579–594. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1356473>
- [12] Acharya, A., Garg, D., Singh, N., & Gahlaut, U. (2019). *Plant-effectiveness-improvement-of-overall-equipment-effectiveness-using-autonomous-maintenance-training--A-case-study* *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*.pdf. 9(1), 103–112
- [13] Schindlerová, V., Šajdlerová, I., Michalčík, V., Nevima, J., & Krejčí, L. (2020). Potential of using TPM to increase the efficiency of production processes. *Tehnicki Vjesnik*, 27(3), 737–743. <https://doi.org/10.17559/TV-20190328130749>
- [14] Leksic, I., Stefanic, N., & Veza, I. (2020). The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering And Management*, 15(1), 81–92. <https://doi.org/10.14743/APEM2020.1.351>
- [15] Vieira, S. M. O., & Lopes, R. B. (2019). Improving production systems with lean: A case study in a medium-sized manufacturer. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 33(2), 162–180. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2019.102469>
- [16] Bidarra, T., Godina, R., Matias, J. C. O., & Azevedo, S. G. (2018). SMED methodology implementation in an automotive industry using a case study method. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(1), 1–16.
- [17] Saravanan, V., Nallusamy, S., & Balaji, K. (2018). Lead Time Reduction through Execution of Lean Tool for Productivity Enhancement in Small Scale Industries. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 34, 116–127. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.34.116>
- [18] Haddad, T., Shaheen, B. W., & Németh, I. (2021). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach. *Manufacturing Technology*, 21(1), 56–64. <https://doi.org/10.21062/mft.2021.006>
- [19] Ahmad, R., & Soberi, M. S. F. (2018). Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: an improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 433–450. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0827-7>
- [20] Jurík, L., Hornáková, N., & Domčeková, V. (2020). The application of smed method in the industrial enterprise. *Acta Logistica*, 7(4), 269–281. <https://doi.org/10.22306/al.v7i4.189>
- [21] Ramos, P. L., Nascimento, Di. C., Cocolo, C., Nicola, M. J., Alonso, C., Ribeiro, L. G., Ennes, A., & Louzada, F. (2018). Reliability-Centered Maintenance: Analyzing Failure in Harvest Sugarcane Machine Using Some Generalizations of the Weibull Distribution. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1241856>
- [22] Okwuobi, S., Ishola, F., Ajayi, O., Salawu, E., Aworinde, A., Olatunji, O., & Akinlabi, S. A. (2018). A reliability-centered maintenance study for an individual section-forming machine. *Machines*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/machines6040050>
- [23] Silva, IB, Godinho Filho, M. (2019). Intercambio de troquel de un minuto (SMED): una revisión de la literatura de vanguardia. *Int J Adv Manuf Technol*, 102, 4289–4307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00170-019-03484-w>
- [24] 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>