

Mejora de la productividad en las líneas de producción de fabricación de tubos electrosoldados con la elaboración de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento autónomo

CARLOS ANTONIO PORRAS GUZMÁN¹

RECIBIDO: 16/06/2023 ACEPTADO: 10/04/2024 PUBLICADO: 31/12/2024

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue aumentar la eficiencia de la producción de tubos electrosoldados mediante la creación de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento autónomo. Para tal fin, se pretende incrementar la productividad al permitir que los operadores de máquinas realicen tareas de mantenimiento industrial en lugar de los técnicos de mantenimiento. La productividad de la planta aumentó de un 77% a un 152% con la aplicación de 5S, un estudio de tiempos y un plan de mantenimiento completo. El modelo demostró ser efectivo para aumentar la productividad al aumentar el OEE de 37.43% a 82.74%.

Palabras clave: mantenimiento autónomo, *lean manufacturing*, productividad, OEE (eficacia global de equipos productivos), CTQ (*critical to quality*).

INTRODUCCIÓN

Según la edición del Banco Mundial de las Perspectivas Económicas Mundiales, la economía mundial está experimentando una fuerte desaceleración en medio de nuevos peligros derivados de las variantes del covid-19, además del incremento de la deuda, la inflación y la disparidad de ingresos, los cuales podrían poner en peligro la recuperación de los países en vías de desarrollo y emergentes. A medida que disminuye el nivel de asistencia fiscal y monetaria global, se prevé que el crecimiento mundial se reduzca significativamente, pasando del 5.5% en 2021 al 4.1% en 2022 y al 3.2% en 2023 (Banco Mundial, 2022).

Este año, la demanda de acero aumentaría un 0.4%, hasta 1840 millones de toneladas, por debajo del aumento del 2.7% previsto en 2021, lastrada por la crisis de Ucrania y el aumento de los precios. El conflicto tendrá un impacto en el sector siderúrgico y aumentará los costos de las materias primas y la energía debido a las interrupciones en la cadena de suministro mundial (Forbes, 2022, p. 25).

En términos de actividad económica, el sector construcción ha experimentado un notable incremento del 34.7% en los últimos años, lo que lo ha convertido en la actividad económica de mayor sostenibilidad. Lo siguen de cerca el sector manufactura con un crecimiento del 17.7% y el sector minería e hidrocarburos con 7.4%.

¹ Ingeniero mecánico por la Universidad Nacional del Callao (Callao, Perú) y doctor en Administración por la Universidad Nacional Federico Villareal (Lima, Perú). Actualmente, es jefe de la planta de tubos SiderPeru - Gerdau (Lima, Perú).
E-mail: carlos.porras@siderperu.com.pe
Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8460-0198>

La compañía en cuestión se encuentra en la provincia de Chimbote y se dedica a la producción y venta de acero. Dadas las circunstancias actuales, la empresa en estudio se ha visto obligada a mejorar sus procesos y reducir sus defectos para aumentar la productividad. Por lo tanto, el objetivo del presente artículo es sugerir e implementar un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento autónomo, apoyado en las herramientas del mantenimiento productivo total (TPM). Este plan está diseñado para mejorar la calidad, la estandarización y el tiempo del proceso productivo de la empresa. Se espera que este modelo no solo logre su objetivo en la empresa analizada, sino que también pueda ser utilizado en otras empresas del sector industrial que presenten resultados similares.

Esta investigación busca demostrar que el uso de mantenimiento autónomo en la fabricación de tubos electrosoldados en una planta de acero aumentará la productividad. El paradigma desarrollado es adecuado para su aplicación en otros contextos similares, ya que la productividad ha aumentado significativamente después de la implementación del modelo de mejora continua. Este artículo tiene el objetivo de ser útil tanto en el ámbito de la investigación, al servir como guía para investigaciones posteriores basadas en la mejora continua de procesos, como también en el sector industrial para las empresas que necesitan un modelo *lean manufacturing* para mejorar sus procesos.

La importancia y novedad de esta investigación radica en que se ha creado un modelo basado en herramientas seleccionadas para abordar los principales problemas del sector siderúrgico, como el aprendizaje de los trabajadores, el mantenimiento de las máquinas, la falta de orden y limpieza, y el tiempo de ciclo elevado, lo que aumenta la productividad.

El aporte es de crecimiento, ya que el plan de mantenimiento basado en el mantenimiento autónomo ofrece una nueva opción, en cuanto a la mejora continua, para la industria de la siderurgia y para el sector de investigación.

Es evidente que el mantenimiento autónomo es crucial para administrar los procesos operativos de las empresas. Según el estudio de Jima (2015), se empleó una matriz de priorización, cuestionarios, tablas FMEA, entrevistas y sistemas de tiempos prefijados para construir un sistema de mantenimiento integral para el Centro de la

Madera. Se incluyeron cuatro participantes en el proyecto de estudio: tres empleados de la planta y un miembro administrativo. Se les realizaron encuestas y entrevistas para conocer el estado actual del mantenimiento de máquinas y los planes de seguridad personal de cada empleado. Por lo tanto, se utilizaron diseños descriptivos de campo, preexperimentales, correlacionales y longitudinales para la técnica de estudio. El resultado fue la implementación de un sistema integral de seguridad y mantenimiento industrial.

De acuerdo con Martínez, diversos enfoques como kanban, kaizen, mantenimiento autónomo, justo a tiempo (JIT), *benchmarking*, control total de calidad y mejora continua son respaldados por su diseño de nivel cuantitativo cuasi-experimental, aplicado, descriptivo, correlacional y transversal. Las empresas dedicadas a la producción de bienes que pretendían conservar su maquinaria, instalaciones y equipos en excelente estado de funcionamiento proponían aplicar los pilares del TPM y promover un cambio de mentalidad del personal para lograr resultados, ya que el personal es el principal factor para cambiar los procesos mediante capacitación e incentivos. Las conclusiones mostraron que solo funcionó el 30% de las veces, cuando los miembros del personal ajustaron sus entornos de trabajo y trabajaron como individuos y equipos. Experimentaron un desarrollo constructivo y cooperativo, y algunos empleados pudieron incluso utilizar estas ideas en casa (Martínez, 2009).

La productividad

La productividad óptima de los equipos debe estar respaldada por enfoques operativos y de mantenimiento, ya que ningún equipo es realmente productivo hasta que las personas están formadas tanto en producción como en mantenimiento. Es común que en toda organización haya un departamento encargado de mantener las condiciones de operación ideales, que busque la colaboración y el respaldo de los demás departamentos de la empresa, especialmente de aquellos que están directamente relacionados con la producción y el mantenimiento. Para mantener el equipo operativo, lo ideal sería que un operador pudiera realizar tareas sencillas y rápidas en lugar de un mantenimiento específico. No es fácil que una empresa sea productiva si no tiene, para empezar, una estrategia clara, definida y compartida, una estructura concreta y un reparto de responsabilidades acorde con dicha estructura (Carro y González, 2024).

Mantenimiento autónomo

La utilización con eficacia de los equipos ha sido determinante para reducir costos y mejorar la competitividad de las empresas. El mantenimiento por parte de los empleados, a veces denominado «mantenimiento autónomo», mejora la eficacia de los equipos con el objetivo de evitar su degradación (Cáceres, 2019).

Es evidente que el desinterés de los operadores por realizar actividades nuevas no se cambia de un día para otro, porque cambiar las actitudes, es difícil y toma tiempo, se les hace difícil dejar su forma habitual de trabajo; los operadores trabajan a tiempo completo en la producción y los mantenedores asumen las responsabilidades de las reparaciones (Castelo, 2017).

El mantenimiento autónomo busca alcanzar los seis objetivos descritos a continuación. Emplear la máquina/equipo como instrumento para el aprendizaje y adquisición de conocimientos. Desarrollar nuevas habilidades para el análisis de problemas y creación de un nuevo pensamiento sobre el trabajo, mediante una operación correcta y permanente que evite el deterioro. Mejorar el funcionamiento de la máquina con el aporte creativo del operador. Construir y mantener la máquina en condiciones óptimas. Mejorar la seguridad en el trabajo. Mejorar la moral en el ambiente de trabajo. (Montilla, 2019, p. 185)

Lean manufacturing

Lean manufacturing es un nuevo modelo de organización y gestión del sistema de fabricación que persigue la mejor calidad, el menor *lead time* y el menor coste mediante la eliminación continua del despilfarro... La implantación de las metodologías y herramientas del lean manufacturing es muy sensible a la actitud y participación de las personas. Es imprescindible que la dirección lidere, impulse y apoye, con rigor y constancia, el lean manufacturing. (Madariaga, 2023, pp. 25-26)

El objetivo de *lean manufacturing* es mejorar la calidad, reducir los costos y reducir el tiempo entre el pedido del cliente y el envío del producto.

5S

Se enfoca en administrar de manera sistemática los componentes de un lugar de trabajo mediante cinco pasos que requieren perseverancia y esfuerzo. La metodología 5S ha sido diseñada para organizar la rutina del trabajo con el fin de reducir el desperdicio y mantener las áreas de trabajo ordenadas y limpias.

Rentabilidad y competitividad

«La rentabilidad es el beneficio renta en términos relativos o porcentuales respecto a otra magnitud económica como el capital total invertido o los fondos propios» (Cáceres, 2019, p. 8).

El mercado es el juez final: es la forma rápida y futura del sector industrial para diseñar, producir y vender productos cuyas características puedan formar un paquete más atractivo que el de productos similares que ofrecen los competidores.

CTQ

Los parámetros cruciales para los requisitos de calidad establecidos por un cliente se denominan CTQ, que son las siglas de la expresión en inglés *Critical to Quality*. El proceso implica organizar las prioridades con relación al resultado deseado y eliminar las características que no son esenciales para satisfacer las necesidades del cliente.

Las características que satisfacen un requerimiento clave del cliente se conocen como CTQ de cualquier producto, proceso o servicio. Como ya mencionamos, el CTQ nos transmite directamente la voz del cliente, lo que nos da una comprensión completa de sus necesidades.

METODOLOGÍA

SiderPerú es la principal compañía siderúrgica del Perú, dedicada a la fabricación y comercialización de acero. Desde 1956, ha producido y comercializado productos de acero de alta calidad. Su completo siderúrgico, ubicado en Chimbote, ocupa un área de 600 hectáreas y tiene la capacidad de producir más de 600 mil toneladas de productos terminados de acero al año. El complejo siderúrgico tiene múltiples áreas, incluidas las de reducción, aceración, laminación de productos planos y no planos, laminación de productos planos revestidos, productos tubulares, viales y numerosas instalaciones auxiliares. Además, tiene un muelle preparado para recibir barcos con una capacidad de hasta 50 000 toneladas.

Para obtener el tamaño de la muestra, se utilizó la fórmula de la muestra aleatoria simple de población finita, aplicada a toda la empresa. Esto sirvió para identificar qué célula se iba a analizar, pues se tomaría como muestra aquella cuyo número de colaboradores estuviera más cerca al número de muestra. En este caso se consideró a la célula de tubos, la cual, a su vez, es la célula con mayor número de colaboradores.

La célula de tubos se divide en máquinas frías (M2, TMC, M2.5) y máquinas calientes (YODER FERRUM, SHULTER FERRUM, W35). Se tienen 62 trabajadores de operación, 6 trabajadores de preparación, 3 supervisores y 3 inspectores de calidad, lo que significa que hay 74 trabajadores en la planta que trabajan en tres turnos.

RESULTADOS

Hipótesis estadísticas

La implementación del mantenimiento autónomo en la fabricación de tubos electrosoldados de la planta de fabricación de acero mejora la productividad. Según la siguiente hipótesis estadística, se demostrará su viabilidad para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

- H_0 = La implementación del mantenimiento autónomo en la fabricación de tubos electrosoldados de la planta de tubos electrosoldados de la planta de fabricación de acero no mejora la productividad.
- H_1 = La implementación del mantenimiento autónomo en la fabricación de tubos electrosoldados de la planta de tubos electrosoldados de la planta de fabricación de acero mejora la productividad.

Se realizó una matriz CTQ para medir la calidad del producto tubular de la empresa fabricante de acero. En ella se observa que ninguna de las brechas supera el 5%, por lo tanto, el problema no es la calidad del producto. Sin embargo, se observa que el valor más alto es en la fabricación, con un valor de 4.50. Entonces se comienza el análisis por la fabricación. A continuación, en la Tabla 1 se muestra la Matriz CTQ.

Se llevó a cabo una lluvia de ideas para analizar las posibles causas (X) que podrían afectar el proceso, que sirvió como base para determinar las principales variables que están causando una cantidad significativa de merma (Y) en el proceso. Para este análisis, se utilizó el diagrama causa-efecto de Ishikawa enfocado en la productividad de tubos electrosoldados, el cual se muestra en la Figura 1.

Para determinar cuáles de estas variables eran las que afectaban significativamente en la generación de merma del proceso, se utilizó el método Delphi o juicio de expertos, de donde se obtuvieron las posibles causas raíces (Tabla 2).

Se recopiló la información relacionada a estas 12 variables durante 18 meses, desde julio del 2018 hasta diciembre del 2019 (Tabla 3). Asimismo, se recopiló la información de la productividad del mismo periodo.

A través de una prueba de correlación realizada con Minitab 17 y con una confiabilidad del 95% entre las 12 variables, se determinó que solo las variables X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 y X_6 tienen una alta correlación con la generación de merma (Y), ya que el coeficiente de Pearson de estas variables con respecto a Y es mayor a 0.5 o menor que -0.5 y el valor de p es menor que 0.05, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 1. Matriz CTQ.

CTQ	Importancia		Plan	Enable	Source	Make	Delivery	Return	Satisfacción	Insatisfacción	Brecha
	Nro.	%	Planificación	Indicadores	Recursos	Fabricación	Distribución	Devoluciones			
Ofertas actualizadas	8	20%	3	0	0	9	3	0	80%	20%	4.00
Facilidad de crédito	7	18%	9	0	0	0	3	0	76%	24%	4.20
Reposición de stock para venta	10	25%	3	1	0	9	0	0	90%	10%	2.50
Variedad de productos tubulares	9	23%	0	0	0	9	3	0	83%	17%	3.83
Personal de ventas amable	6	15%	0	0	9	0	3	0	72%	28%	4.20
	40		2.18	0.00	1.35	3.83	2.25	0.00			

Fuente: Elaboración propia.

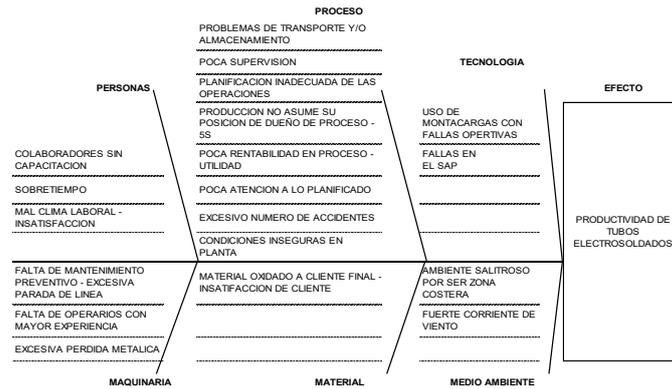


Figura 1. Diagrama causa-efecto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Determinación de posibles causas raíces.

Detalle	Modo de falla	Posible causa raíz	Frecuencia	Severidad	Controles	Ratio	
Colaboradores sin capacitación	Continuas paradas en línea de producción por falta de soluciones rápidas	Colaboradores sin capacitación	3	3	4	36	X ₁
Incremento de sobretiempos en colaboradores de planta	Cansancio de operadores y mantenedores de la línea	Sobretiempos	3	2	3	18	
Colaboradores sin compromiso de planta	Mala comunicación de operadores y mantenedores	Mal clima laboral - insatisfacción	4	3	3	36	X ₂
Paradas continuas de la línea de producción	Equipos que no cuentan con confiabilidad superior a la media	Falta de mantenimiento preventivo - excesiva parada de línea	4	4	3	48	X ₃
Rotación excesiva de colaboradores de línea	Falta de conocimiento de equipos de línea	Falta de operarios con mayor experiencia	3	2	3	18	
Continuas paradas de línea de producción	Excesiva chatarra en patio de tránsito	Excesiva perdida metálica	4	4	4	64	X ₄
Mala calidad en el producto final	Reclamo de clientes internos	Problemas de transporte y/o almacenamiento	2	2	2	8	X ₅
Desorden en los procedimientos a seguir	Falta de supervisión	Poca supervisión	2	2	2	8	
Falta de planificación de rutina	Productos no siguen criterios operacionales	Planificación inadecuada de las operaciones	4	4	3	48	
Planta sucia	Herramientas y materiales dispersados en toda la planta	Producción no asume su posición de dueño de proceso-5S	3	4	4	48	X ₆
Continuas paradas de línea de producción	Productos no siguen criterios operacionales	Poca rentabilidad en proceso-utilidad	4	4	3	48	X ₇
Desorden en el sistema de fabricación	Se produce de acuerdo a necesidad	Poca atención a lo planificado	4	3	3	36	X ₈
Planta inestable	Accidentes en planta	Excesivo número de accidentes	3	3	4	36	X ₉
Desorden en planta	Productos no siguen criterios operacionales	Condiciones inseguras en planta	4	4	3	48	X ₁₀
Oxidación de productos en almacenamiento	Oxidación de productos tubulares	Material oxidado a cliente final - insatisfacción de cliente	4	4	4	64	X ₁₁
Equipos parados por falta de materia prima	Falla de montacarga	Uso de montacargas con fallas operativas	2	2	3	12	
Caída del sistema SAP	Líneas paradas	Fallas en el SAP	3	3	3	27	
Oxidación de producto en almacenamiento	Oxidación de productos tubulares	Ambiente salitroso por ser zona costera	4	4	4	64	X ₁₂
Oxidación de producto en almacenamiento	Oxidación de productos tubulares	Fuerte corriente de viento	3	3	3	27	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Toma de datos de 12 variables durante 18 meses desde julio del 2018 hasta diciembre del 2019.

Detalles		Productividad (Y)	% Personal capacitado (X ₁)	% Aprobación en clima laboral (X ₂)	% Desviación de paradas programadas para mantenimiento preventivo (X ₃)	% Pérdida metálica (X ₄)	% Reclamo de clientes (X ₅)	% Observaciones levantadas (X ₆)	% Variación de costos de producción planificada vs real(X ₇)	% Toneladas programadas realizadas en fecha(X ₈)	% Accidentes con pérdida de tiempo (X ₉)	% Condiciones inseguras levantadas (X ₁₀)	% Material con oxidación (X ₁₁)	% Toneladas puestas en observación (X ₁₂)
Mes														
Antes de la implementación	jul-18	0.77	27.4%	16.4%	23.3%	1.1%	1.1%	31.3%	121.3%	96.4%	13.7%	15.4%	1.1%	2.6%
	ago-18	0.77	33.3%	22.2%	20.0%	1.0%	0.9%	40.0%	109.3%	85.2%	4.1%	57.1%	1.3%	5.4%
	sep-18	0.70	31.5%	21.9%	22.4%	0.8%	0.8%	41.9%	107.1%	108.0%	9.6%	23.1%	0.5%	3.1%
	oct-18	0.76	30.6%	20.8%	23.5%	0.9%	1.0%	28.6%	111.3%	81.5%	5.5%	57.1%	0.4%	2.4%
	nov-18	0.78	26.0%	15.1%	16.7%	1.0%	1.0%	27.3%	103.5%	71.4%	1.4%	41.7%	1.4%	7.9%
	dic-18	0.79	26.4%	16.7%	12.5%	1.2%	1.0%	26.7%	101.2%	86.2%	6.8%	30.8%	1.6%	2.3%
	ene-19	0.82	27.4%	17.8%	14.7%	1.0%	0.8%	32.3%	110.0%	86.7%	8.2%	57.1%	1.0%	0.8%
	feb-19	1.02	20.8%	11.1%	16.4%	1.0%	0.8%	26.7%	112.5%	87.5%	2.8%	18.2%	0.3%	2.1%
	mar-19	1.08	30.1%	21.9%	8.6%	0.5%	0.6%	37.0%	102.6%	97.0%	11.0%	30.0%	2.1%	3.5%
	abr-19	1.01	29.4%	20.6%	9.0%	0.5%	0.6%	35.7%	105.1%	90.6%	4.4%	77.8%	0.6%	2.4%
	may-19	1.06	35.7%	27.1%	8.3%	0.5%	0.5%	52.2%	109.0%	96.9%	5.7%	20.0%	2.5%	2.1%
	jun-19	1.09	30.6%	22.2%	9.2%	0.6%	0.5%	40.0%	110.4%	88.2%	12.5%	75.0%	0.2%	5.7%
	jul-19	0.99	37.8%	31.1%	6.0%	0.5%	0.4%	51.9%	110.4%	92.9%	4.1%	55.6%	1.1%	2.1%
	ago-19	1.09	33.8%	27.0%	8.0%	0.6%	0.5%	50.0%	116.9%	71.0%	2.7%	18.2%	0.3%	0.5%
	sep-19	1.24	35.3%	30.9%	4.4%	0.5%	0.4%	40.0%	103.9%	96.8%	10.3%	62.5%	0.6%	2.2%
	oct-19	1.19	31.4%	28.6%	7.0%	0.6%	0.5%	38.5%	110.4%	88.9%	12.9%	66.7%	0.3%	2.9%
	nov-19	1.24	26.8%	25.4%	5.9%	0.6%	0.5%	37.0%	103.9%	98.5%	4.3%	20.0%	0.8%	2.3%
	dic-19	1.25	32.9%	24.3%	4.0%	0.5%	0.4%	33.3%	106.8%	90.9%	7.1%	42.9%	0.2%	1.4%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Correlación de variables.

Variable	Pearson	p-valor
X ₁	0.8590	0.0000
X ₂	0.9640	0.0000
X ₃	-0.5830	0.0110
X ₄	-0.7100	0.0010
X ₅	-0.7330	0.0010
X ₆	0.7200	0.0010
X ₇	-0.2030	0.4200
X ₈	0.1450	0.5660
X ₉	0.0630	0.8050
X ₁₀	0.2870	0.2480
X ₁₁	-0.0660	0.7950
X ₁₂	-0.1500	0.5540

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, las seis variables con alta correlación con respecto a la generación de mermas (Y) en el diagnóstico inicial de productividad fueron X₁, X₂, X₃, X₄, X₅ y X₆.

Se calculó la regresión sobre estas variables, eliminando aquellas que no agregan valor, ya que el p-valor es alto, y se tomó nota de los valores bajos. Esto resultó en un R cuadrado (R²) y un R cuadrado ajustado (R²_{adj}) inferior al 10%, y el p-valor de la ecuación cercano al 0.05. La Figura 2 muestra el análisis de regresión de variables.

Si bien los valores son óptimos, pueden mejorar si se retira el X₅ por tener el p-valor más alto. La Figura 3 muestra el análisis de regresión de variables sin X₅.

Se tiene la siguiente ecuación:

$$Y = 0.6137 + 0.113 X_1 + 0.566 X_2 - 0.2278 X_3 - 2.33 X_4 - 0.0746 X_6$$

Como se puede observar, las variables a trabajar para mejorar la productividad en la planta están asociadas a la gestión de personas en conocimiento

Información muestral

Varianza 1 - 0.035949

Varianza 2 - 0.0115399

N₁ - 18

N₂ - 18

Nivel de sig. (α) - 0.05

F₁ crítico - 0.3740

F₂ crítico - 2.6733

Estadístico de prueba

$$F_{cal} = s_1^2/s_2^2$$

de equipos. Es decir, es necesario involucrar a los colaboradores en las tareas diarias para mejorar la disponibilidad de los activos, los costos y la eficiencia productiva de los equipos. Si bien existen diferentes metodologías para mejorar la gestión en mantenimiento, se decide aplicar el mantenimiento autónomo en busca de la mejora continua.

Contrastación de hipótesis

Después de obtener los resultados y definir la metodología, se decide implementar el sistema de gestión y observar los resultados en los próximos 18 meses. La Tabla 5 muestra los datos recopilados de las variables desde enero de 2020 hasta junio de 2021, después de implementado el mantenimiento autónomo.

Luego de evaluar la igualdad de varianzas (Tablas 6 y 7), tenemos que las tasas de productividad promedio antes y después de la implementación difieren.

1.- Planteamiento de hipótesis

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

2.- Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

3.- Estadístico de prueba 3.115

5- Decisión - Se rechaza H₀

6.- Conclusión

A un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que la variabilidad antes de la implementación del mantenimiento autónomo y después de la implementación del mantenimiento autónomo es diferente.

Regression Analysis: y versus x1, x2, x3, x4, x5, x6

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	0.036828	0.006138	43.64	0.000
x1	1	0.000039	0.000039	0.27	0.611
x2	1	0.001827	0.001827	12.99	0.004
x3	1	0.000554	0.000554	3.94	0.073
x4	1	0.000102	0.000102	0.73	0.412
x5	1	0.000006	0.000006	0.05	0.835
x6	1	0.000104	0.000104	0.74	0.408
Error	11	0.001547	0.000141		
Total	17	0.038375			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0118596	95.97%	93.77%	86.50%

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.6094	0.0423	14.39	0.000	
x1	0.099	0.188	0.52	0.611	7.41
x2	0.579	0.161	3.60	0.004	9.51
x3	-0.250	0.126	-1.99	0.073	8.53
x4	-2.85	3.33	-0.85	0.412	7.45
x5	1.33	6.22	0.21	0.835	27.29
x6	-0.0661	0.0768	-0.86	0.408	4.71

Figura 2. Análisis de regresión de variables.
Fuente: Elaboración propia.

Regression Analysis: y versus x1, x2, x3, x4, x6

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.036821	0.007364	56.88	0.000
x1	1	0.000058	0.000058	0.44	0.518
x2	1	0.002031	0.002031	15.69	0.002
x3	1	0.001340	0.001340	10.35	0.007
x4	1	0.000143	0.000143	1.11	0.314
x6	1	0.000182	0.000182	1.40	0.259
Error	12	0.001554	0.000129		
Total	17	0.038375			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0113783	95.95%	94.26%	90.11%

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.6137	0.0356	17.23	0.000	
x1	0.113	0.169	0.67	0.518	6.50
x2	0.566	0.143	3.96	0.002	8.18
x3	-0.2278	0.0708	-3.22	0.007	2.94
x4	-2.33	2.22	-1.05	0.314	3.58
x6	-0.0746	0.0630	-1.18	0.259	3.44

Figura 3. Análisis de regresión de variables sin X₅.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Recopilación de datos de variables por un periodo de 18 meses a partir de enero del 2020 hasta junio 2021 luego de implementado el mantenimiento autónomo.

Detalles		Productividad (Y)	% Personal capacitado (X ₁)	% Aprobación en clima laboral (X ₂)	% Desviación de paradas programadas para mantenimiento preventivo (X ₃)	% Pérdida metálica (X ₄)	% Reclamo de clientes (X ₅)	% Observaciones levantadas (X ₆)	% Variación de costos de producción planificada vs real(X ₇)	% Toneladas programadas realizadas en fecha(X ₈)	% Accidentes con pérdida de tiempo (X ₉)	% Condiciones inseguras levantadas (X ₁₀)	% Material con oxidación (X ₁₁)	% Toneladas puestas en observación (X ₁₂)
Mes														
Antes de la implementación	ene-20	1.31	29.2%	22.2%	3.3%	0.5%	0.3%	45.5%	105.4%	98.6%	1.4%	80.0%	0.1%	1.3%
	feb-20	1.21	25.7%	18.9%	2.9%	0.5%	0.4%	47.6%	101.4%	98.4%	1.4%	40.0%	0.1%	1.9%
	mar-20	1.23	29.4%	25.0%	2.0%	0.5%	0.2%	60.0%	101.4%	98.5%	0.0%	50.0%	0.1%	1.6%
	abr-20	1.33	33.8%	27.9%	2.2%	0.5%	0.2%	66.7%	102.8%	98.6%	1.5%	60.0%	0.1%	1.1%
	may-20	1.39	35.3%	30.9%	2.1%	0.4%	0.1%	92.3%	102.8%	98.6%	0.0%	100.0%	0.1%	1.3%
	jun-20	1.40	35.7%	35.7%	0.8%	0.5%	0.1%	91.7%	102.9%	98.6%	0.0%	66.7%	0.1%	0.9%
	jul-20	1.44	31.4%	31.4%	0.3%	0.4%	0.2%	90.0%	102.9%	98.7%	1.4%	100.0%	0.1%	0.6%
	ago-20	1.48	31.9%	31.9%	0.0%	0.4%	0.1%	87.5%	102.9%	98.7%	0.0%	66.7%	0.1%	1.0%
	sep-20	1.52	31.1%	29.7%	0.0%	0.4%	0.2%	100.0%	102.9%	98.8%	0.0%	100.0%	0.1%	0.4%
	oct-20	1.52	38.6%	40.0%	0.5%	0.4%	0.1%	100.0%	102.9%	98.8%	0.0%	100.0%	0.1%	0.2%
	nov-20	1.52	41.4%	45.7%	0.0%	0.4%	0.1%	100.0%	102.9%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.2%
	dic-20	1.52	38.6%	42.9%	0.0%	0.4%	0.0%	100.0%	101.5%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.2%
	ene-21	1.52	44.3%	50.0%	0.0%	0.4%	0.0%	100.0%	102.9%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.2%
	feb-21	1.52	45.7%	54.3%	0.4%	0.3%	0.0%	100.0%	102.9%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.2%
	mar-21	1.52	47.1%	57.1%	0.0%	0.4%	0.0%	100.0%	102.9%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.2%
	abr-21	1.52	50.0%	58.6%	0.0%	0.3%	0.0%	100.0%	101.5%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	may-21	1.52	54.3%	61.4%	0.0%	0.3%	0.0%	100.0%	100.0%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.2%
	jun-21	1.52	57.1%	64.3%	0.0%	0.3%	0.0%	100.0%	100.0%	98.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Igualdad de varianzas (%).

Antes de la implementación	Después de la implementación
0.77	1.31
0.77	1.21
0.70	1.23
0.76	1.33
0.78	1.39
0.79	1.40
0.82	1.44
1.02	1.48
1.08	1.52
1.01	1.52
1.06	1.52
1.09	1.52
0.99	1.52
1.09	1.52
1.24	1.52
1.19	1.52
1.24	1.52
1.25	1.52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Igualdad de varianzas (número decimal).

Detalle	Antes de la implementación	Después de la implementación
Media	0.981452599	1.445961934
Varianza	0.03594997	0.011539979
Observaciones	18	18
Varianza agrupada	0.023744974	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	34	
Estadístico <i>t</i>	-9.043360584	
P(T <= <i>t</i>) una cola	7.17E-11	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.690924255	
P(T <= <i>t</i>) dos colas	1.43E-10	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	2.032244509	

Fuente: Elaboración propia.

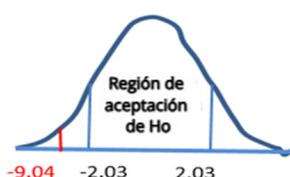


Figura 4. Región de aceptación de H_0 .

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 4, el *t* estadístico (-9.04) está en la región de rechazo, por ende, se rechaza la hipótesis nula.

Si el *p*-valor es inferior al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis nula ($1.43E-10 < 0.05$).

Por lo tanto, se aprueba la hipótesis alternativa (H_1), la implementación del mantenimiento autónomo en la fabricación de tubos electrosoldados de la planta de tubos electrosoldados de la planta de fabricación de acero mejora la productividad.

$$H_0 = U1^2 = U2^2$$

$$H_1 = U1^2 \neq U2^2$$

El programa de mantenimiento autónomo se inicia con los datos del historial de las máquinas tuberas.

DISCUSIÓN

Se encontró un valor concordante entre todos los expertos en la validación del modelo de mantenimiento autónomo. Se encontró un valor aceptable de *t* estadístico (-9.04) y un *p*-valor inferior al nivel de significancia ($1.43E-10 < 0.05$), lo que confirma la hipótesis nula y respalda la hipótesis

presentada. Por lo tanto, se puede concluir que este modelo contribuye a la productividad de las empresas del sector industrial. Esta afirmación se basa en el uso de *lean manufacturing* y CTQ.

Estos hallazgos corroboran los de Anticona y Quiroz (2017), que afirmaron que el uso de un enfoque de mantenimiento progresivo en la planta de producción de pañales de Procter & Gamble mejoró la eficacia y logró reducir la media de arranque vertical de 7.1 a 4.0 y el mantenimiento del 45% al 29%. Además, Valencia (2016) demostró que el uso de herramientas de gestión de mantenimiento en Hilados Cheviot aumentó la eficiencia, los tiempos de producción y la productividad, lo que permitió aumentar la producción en un 30%. Por último, los hallazgos coinciden con los de Estrada (2017), quien demostró que el uso de herramientas de gestión de mantenimiento reduce las averías de vehículos y aumenta la productividad.

CONCLUSIONES

Se mejoró el nivel de productividad pasando de 2800 TM (1.24 TM/hora) a 4000 TM (1.79 TM/hora) mensuales; es decir, la productividad de planta se elevó de 77% a un 152%.

Se logró que los colaboradores de producción tengan mayor conocimiento de equipos de producción y gestión de procesos.

Se eliminó gran parte de los despilfarros existentes en la planta industrial, lo que ahorra tiempo en los cambios de proceso, consumo de aceite y evita pérdidas metálicas.

Se crearon capacidades competitivas desde los procesos industriales con el objetivo de que los colaboradores sean dueños del proceso (producción y mantenimiento).

Se optimizó y mejoró el clima laboral en la planta de tubos.

Se redujeron los costos, de modo que la empresa es más competitiva y rentable en el mercado.

Se logró un mejor ambiente laboral con instalaciones limpias, ordenadas y estandarizadas.

Se redujeron las paradas no programadas por diversos motivos, entre ellos, comunicativos u operativos.

Se logró cumplir el objetivo general de mejorar la productividad usando la prueba t de dos muestras o la prueba *U* de Mann-Whitney.

REFERENCIAS

- [1] Anticona Chicama, R. F., y Quiroz Cabañas, E. (2017). *Implementación de la metodología de mantenimiento progresivo para mejorar la productividad en la planta de producción de pañales Procter & Gamble, 2013-2015*. (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Lima.
- [2] Castelo Vega, H. S. (2017). *Modelo de gestión de mantenimiento de producción total y su incidencia en el rendimiento operacional en el área de extrusión de balanceados para animales*. (Tesis de maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- [3] Banco Mundial. (11 de enero de 2022). *El crecimiento mundial se desacelerará hasta el 2023, lo que contribuirá al riesgo de un “aterri-zaje brusco” en las economías en desarrollo*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2022/01/11/global-recovery-economics-debt-commodity-inequality>
- [4] Cáceres, M. B. (2019). *Cómo incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar el mantenimiento*. Soluciones Integrales Corporativas.
- [5] Carro Paz, R., y González Gómez, D. A. (2024) *Productividad y Competitividad*. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Nacional del Mar de Plata.
- [6] Estrada Huamán, M.Y. (2017) *Aplicación del mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en la empresa Corporación Logística & Transporte S.A.C., Lima, 2016*. (Tesis de licenciatura). Universidad César Vallejo, Lima.
- [7] Forbes. (14 de abril de 2022). *Demanda mundial de acero crecerá apenas 0.4% en 2022 según WorldSteel*. <https://www.forbes.com.mx/demanda-mundial-de-acero-crecera- apenas-0-4-en-2022-segun-worldsteel/>
- [8] Jima Solano, C. A. (2015). *Diseño de un sistema integral de mantenimiento y seguridad industrial de las instalaciones y equipos para prácticas del Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Loja, Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11751>
- [9] Madariaga Neto, F. (2023). *Lean Manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Creative Commons.
- [10] Martínez, S. I. (2009) *Diseño de un modelo para aplicar el mantenimiento productivo total a los sectores de bienes y servicios*. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México D. F.
- [11] Montilla Montaña, C. A. (2019). *Mantenimiento industrial y su administración*. Pereira, Colombia: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira.
- [12] Valencia Chaupis, S.L. (2016) *Aplicación del mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad en la línea de fabricación de hilos acrílicos de la empresa Hilados Cheviot E.I.R.L., San Juan de Lurigancho, 2016*. (Tesis de licenciatura). Universidad César Vallejo, Lima.