

# Design of a Preventive Maintenance Plan, ABC, Coding, Kanban System, FMEA and Forecasts to reduce costs in the metalworking company Ingenieros en Acción S.R.L.

Gálvez Ulloa, César Anthony<sup>1</sup>, Tisnado Jáuregui, Alexandra Bella Isabel<sup>1</sup>, Rantes Valverde, María Lucero<sup>1</sup> and Solórzano Iparraguirre, Kelly Jennyfer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, cesargalvezulloa@outlook.com, N00150894@upn.pe, N00130950@upn.pe, N00147443@upn.pe

**Abstract.** *This work was prepared with the purpose of solving the most relevant problems in the company Ingenieros en Acción S.R.L.: unplanned machine stops, disorder in the warehouse, delays in the delivery of finished orders, reprocessing and shortage of finished products, which in its turn Together they generate a monthly economic loss of S/.16,441.31. Therefore, for each problem, two alternative solutions were proposed and the most appropriate ones were selected based on 10 realistic restrictions. Then, for each alternative solution, engineering tools were designed: preventive maintenance plan; ABC and coding; Kanban system; FMEA and OFM; and forecasts. Next, the current values of the design's own indicators were determined and compared with international standards of the field under study. Subsequently, the design results were simulated to evaluate the effect of the proposed tools, through mathematical and statistical methods in Microsoft Excel. Finally, an economic analysis of the design of the solution alternatives was carried out in a horizon of one year, which resulted in a net present value (NPV) of S/.115,866.30, an internal rate of return (IRR) of 69.29% and a costs reduction of S/.12,813.00 per month, obtaining a benefit-cost ratio (B/C) of 5.91. As the results confirm the positive impact of the design on costs in the metalworking company, it is concluded that the project is viable, so its implementation is recommended. In this sense, the research provided solutions to real problems, thus contributing to the scientific community to carry out future engineering work.*

**Keywords:** Preventive maintenance, ABC, Kanban, FMEA, forecasts.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.154>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

# Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo, ABC, Codificación, Sistema Kanban, AMFE y Pronósticos para reducir costos en la empresa metalmecánica Ingenieros en Acción S.R.L.

## Design of a Preventive Maintenance Plan, ABC, Coding, Kanban System, FMEA and Forecasts to reduce costs in the metalworking company Ingenieros en Acción S.R.L.

Gálvez Ulloa, César Anthony<sup>1</sup>, Tisnado Jáuregui, Alexandra Bella Isabel<sup>1</sup>, Rantes Valverde, María Lucero<sup>1</sup> and Solórzano Iparaguire, Kelly Jennyfer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, cesargalvezulloa@outlook.com, N00150894@upn.pe, N00130950@upn.pe, N00147443@upn.pe

**Resumen.** El presente trabajo fue elaborado con la finalidad de solucionar los problemas más relevantes en la empresa Ingenieros en Acción S.R.L.: paradas de máquinas no planificadas, desorden en almacén, retrasos en la entrega de pedidos terminados, reprocesos y desabastecimiento de productos terminados, que en su conjunto generan una pérdida económica mensual de S/.16,441.31. Por consiguiente, para cada problema se propuso dos alternativas de solución y se seleccionaron las más adecuadas con base en 10 restricciones realistas. Luego, para cada alternativa de solución se diseñaron herramientas de ingeniería: plan de mantenimiento preventivo; ABC y codificación; sistema Kanban; AMFE y MOF; y pronósticos. Seguidamente, se determinaron los valores actuales de los indicadores propios del diseño y se compararon frente a estándares internacionales del campo en estudio. Posteriormente, se simuló los resultados del diseño para evaluar el efecto de las herramientas propuestas, a través de métodos matemáticos y estadísticos en Microsoft Excel. Finalmente, se realizó un análisis económico del diseño de las alternativas de solución en un horizonte de un año, que dio como resultado un valor actual neto (VAN) de S/.115,866.30, una tasa interna de retorno (TIR) del 69.29% y una reducción de los costos de S/.12,813.00 por mes, obteniendo una relación beneficio-costos (B/C) de 5.91. Como los resultados confirman el impacto positivo del diseño sobre los costos en la empresa metalmecánica, se concluye que el proyecto es viable, por lo que se recomienda su implementación. En ese sentido, la investigación aportó soluciones a problemáticas reales, contribuyendo así a la comunidad científica para la realización de futuros trabajos en ingeniería.

**Palabras clave:** mantenimiento preventivo, ABC, Kanban, AMFE, pronósticos.

**Abstract.** This work was prepared with the purpose of solving the most relevant problems in the company Ingenieros en Acción S.R.L.: unplanned machine stops, disorder in the warehouse, delays in the delivery of finished orders, reprocessing and shortage of finished products, which in its turn Together they generate a monthly economic loss of S/.16,441.31. Therefore, for each problem, two alternative solutions were proposed and the most appropriate ones were selected based on 10 realistic restrictions. Then, for each alternative solution, engineering tools were designed: preventive maintenance plan; ABC and coding; Kanban system; FMEA and OFM; and forecasts. Next, the current values of the design's own

indicators were determined and compared with international standards of the field under study. Subsequently, the design results were simulated to evaluate the effect of the proposed tools, through mathematical and statistical methods in Microsoft Excel. Finally, an economic analysis of the design of the solution alternatives was carried out in a horizon of one year, which resulted in a net present value (NPV) of S/.115,866.30, an internal rate of return (IRR) of 69.29% and a costs reduction of S/.12,813.00 per month, obtaining a benefit-cost ratio (B/C) of 5.91. As the results confirm the positive impact of the design on costs in the metalworking company, it is concluded that the project is viable, so its implementation is recommended. In this sense, the research provided solutions to real problems, thus contributing to the scientific community to carry out future engineering work.

**Keywords:** Preventive maintenance, ABC, Kanban, FMEA, forecasts.

### INTRODUCCIÓN

Ingenieros en Acción S.R.L. (INGENACC, en forma abreviada) es una empresa metalmecánica dedicada a proveer maquinarias de alta calidad para los sectores de construcción civil y agroindustria en La Libertad, un departamento del norte de Perú. De manera específica, su actividad está enfocada en la fabricación de estructuras metálicas y en dar mantenimiento a plantas industriales, fomentando así el desarrollo de las empresas constructoras.

No obstante, en ella se detectó los siguientes problemas: el primero, paradas de máquinas no planificadas, con una frecuencia de 2 paradas al mes, lo cual trajo como consecuencia el desaprovechamiento de 29.1 horas laborables en el mismo período. La predominancia del mantenimiento correctivo evidencia la inexistencia de un estudio de costos sobre la gestión del tipo de mantenimiento apropiado para la empresa. El segundo problema es el desorden en el almacén, el cual genera un aumento del tiempo de búsqueda de herramientas. En promedio, diariamente se realizan 15 búsquedas por unidad y cada una demanda un tiempo de 5 minutos. El tercer problema es el retraso en la entrega de pedidos terminados, causado por el desconocimiento de la ubicación exacta de los pedidos con relación a la etapa en la

que se encuentran dentro del proceso productivo. En total, se tomaron 24 pedidos al mes, de los cuales 8 se entregaron fuera de la fecha establecida y comunicada al cliente. El cuarto problema es el reproceso, identificado sobre todo en operaciones de gran valor agregado. En promedio, se reportó 7 unidades reprocesadas al mes. El último problema es el desabastecimiento de productos terminados. En el local de venta, se rechazaron 4 pedidos, de los cuales el 70% abarcan productos pesados y el 30% de productos semipesados.

En términos monetarios, se cuantificó que las paradas de máquina no planificadas del torno y la compresora originan un costo mensual de S/3,033.77; el desorden en almacén de herramientas una pérdida mensual de S/156.80; el retraso en la entrega de pedidos terminados un costo de lucro cesante mensual de S/4,710.00; los reprocesos un costo mensual de S/1,370.75, y el desabastecimiento de productos terminados una pérdida mensual de S/6,610.00.

Mejía (2018), en su tesis “Diseñar un programa de mantenimiento preventivo en el área de producción de una empresa metalmecánica”, tuvo como propósito incrementar la productividad de una empresa metalmecánica, para lo cual propuso un plan de mantenimiento preventivo con una inversión de \$67,799.59, teniendo como indicadores financieros, un VAN de \$64.528,36, una TIR de 56%, un PRI de 1 año y 42 días, y un beneficio-costo (B/C) de 1.34 soles, resultados que evidenciaron la rentabilidad del proyecto para su ejecución. Además, Cayetano (2017), en su tesis “Implementación del modelo de costos ABC y su influencia en la rentabilidad de una empresa metalmecánica en su proceso de internacionalización, del distrito de San Martín de Porres”, utilizó el método de costeo ABC para obtener una rentabilidad real de +2,2% en la línea de ruedas. Asimismo, Patazca (2018), en su tesis “Mejora del sistema productivo de la empresa Comercial Damián E.I.R.L. para reducir retrasos en la entrega de pedidos”, disminuyó el retraso en la entrega de pedidos en un 8.61%, obteniendo un B/C de 1.23. Por último, Soto (2018), en su tesis “Mejora de la gestión de calidad del proceso productivo para disminuir los costos de no conformidad de la metalmecánica A&N Company S.A.C.-2017”, empleó el diagrama de Pareto, el diagrama FAST, el análisis de modos y efectos de falla AMEF para obtener un B/C de 53.29 soles.

En contraste, para el presente estudio fue importante conocer cuál es el impacto del diseño de un plan de mantenimiento preventivo, ABC, codificación, sistema Kanban, AMFE, MOF y pronósticos sobre los costos de INGENACC. Como respuesta a ello, se tiene como objetivo determinar el impacto del diseño las herramientas de ingeniería en mención sobre los costos de la empresa metalmecánica. Luego de haber realizado un diagnóstico en las áreas de mantenimiento, logística, producción, calidad y ventas, la elección de las alternativas de solución más adecuadas se realizará a través de un análisis de restricciones realistas (tiempo de implementación, económica, accesibilidad, seguridad, sostenibilidad, control, mano de obra, usabilidad, funcionalidad y eficiencia). Seguidamente, se diseñarán las cinco alternativas de solución seleccionadas, se comparará el diseño propuesto con estándares de ingeniería y

se determinarán indicadores. Posteriormente, se simularán los resultados para cada alternativa de solución. Por último, se determinará el impacto económico del diseño sobre los problemas identificados.

El proyecto se lleva a cabo para demostrar que: económicamente, el diseño de las alternativas de solución es viable para la empresa, debido a que le posibilita reducir costos; académicamente, la aplicación de métodos y herramientas de ingeniería en problemáticas reales fomenta el conocimiento de la comunidad científica; metodológicamente, la comparación de dos modelos que arrojan resultados distintos permite discernir por el que arroja un mayor beneficio, lo cual será de gran aporte para futuras investigaciones; y socialmente, el presente estudio aporta soluciones a los problemas actuales de la organización en estudio, mediante la toma de decisiones efectivas en relación al manejo de sus recursos y a la gestión de sus procesos.

## MATERIALES

En función a las restricciones realistas, se procedió a evaluar las dos alternativas de solución de los problemas previamente diagnosticados. Para seleccionar la opción más conveniente de acuerdo con la realidad de la empresa y/o la que podría tener un mayor impacto positivo, se decidió entrevistar al gerente general de INGENACC para que sea él quien asigne las ponderaciones (o pesos numéricos, en una escala entre 0 y 1) a cada restricción, según su relevancia frente a cada problema. Este método de calificación de factores (que en este caso son las restricciones) nos permitirá tomar decisiones acertadas, puesto que mide la influencia de cada restricción. Con la información obtenida, los valores de las ponderaciones de las restricciones se multiplican con los valores porcentuales de las alternativas de solución para obtener un valor final que representa el beneficio de implementar una alternativa en relación con la otra; es decir, según este método, la alternativa con mayor valor es la que deberá diseñarse.

Respecto al diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo, se elaboró un análisis de criticidad de las máquinas para detectar a cuáles se le dará prioridad, método que requirió el apoyo del responsable del mantenimiento de la empresa. Para ello, se utilizó la ecuación de criticidad (1), que considera cuatro efectos: en producción (PROD), en costos operativos (CO), en medio ambiente y seguridad (MAS) y en equipo de repuestos (ER), y la cuantificación de la frecuencia de fallas (FF). Este método clasificó a las máquinas en tres niveles de criticidad (alta, media y baja), de las cuales, las que tienen un nivel alto (o de mayor riesgo) se visualizan en la tabla 1.

*Ecuación de criticidad:*

$$EC = \{ [ ( PROD + CO ) * ER ] + MAS \} * FF \quad (1)$$

El siguiente paso consistió en elaborar un cronograma de capacitaciones (con un total de 15 horas) sobre las generalidades del mantenimiento preventivo, la importancia de utilizar una orden de trabajo de mantenimiento (ver tabla 2) y los beneficios de aplicar los pilares del mantenimiento autónomo: inspección, lubricación, ajuste y limpieza.

TABLA 1  
RESULTADO DE MÁQUINAS CON UN NIVEL ALTO DE CRITICIDAD

Código	Máquina	Cuantificación de efecto				EF	Criticidad	
		PRO	CO	MAS	ER			
MAND-P-01	Mandriladora N°1	40	10	45	0.8	0.5	42.5	Alta
MAND-P-02	Mandriladora N°2	40	10	45	0.8	0.5	42.5	Alta
FRES-P-01	Fresadora	45	9	44	0.8	0.5	43.6	Alta
TORN-P-02	Torno Paralelo N°2	45	10	40	0.8	0.5	42	Alta
PHID-P-01	Prensa hidráulica	45	7	45	0.5	0.5	35.5	Alta

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2  
FORMATO DE ORDEN DE TRABAJO

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO							
Número de Orden de Trabajo				Fecha de emisión			
<b>I. DATOS DEL EQUIPO Y DE LA ACTIVIDAD</b>							
Código	Nombre	Tipo de Ejecución		Interna		Externa	
Ubicación	Marca	Modelo		Serie			
<b>II. FECHAS Y TIEMPOS:</b>							
Fecha de inicio:		Hora:		Fecha de término:		Hora:	
<b>III. RESPONSABLES:</b>							
Emitado por:		Solicitado por:		Autorizado por:			
		Jefe de producción		Gerente General			
<b>IV. DATOS DEL DIAGNÓSTICO DE FALLAS</b>							
<b>V. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO</b>							
N°	Descripción de la actividad			Tipo de falla			
1				Mecánica			
2				Eléctrica			
3				Electrónica			
4				Neumático			
5				Hidráulico			
6				Operación			
<b>VI. DATOS DE REPUESTOS Y/O SUMINISTROS</b>							
N°	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo			
				Unitario	Total		
<b>VII. DATOS DE LA MANO DE OBRA</b>							
N°	Personal técnico	Código	Horas hombre	Costo (s/)			
				Horas	Total		
<b>VIII. DATOS DE COSTOS TOTALES</b>							
Costo de mano de obra		Costo de repuesto		Costos varios (Insumos)		Costo total	
<b>IX. OBSERVACIONES</b>							

Fuente: Elaboración propia

Por último, se diseñaron la programación del plan de mantenimiento preventivo para cada máquina con criticidad alta. Este detalle se muestra en las tablas 3, 4, 5 y 6.

TABLA 3  
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MANDRILADORA

Puntos de control	Descripción	Insumos y repuestos	Cantidad	Tiempo (min)
Eléctrica	Verificar que las puertas del tablero eléctrico se encuentren cerradas.			1
	Verificar estado de la conexión eléctrica de la máquina.			1
	Inspección eléctrica.			10
Mecánica	Inspección mecánica.			10
	Revisión general de la parte mecánica.			8
Mandriladora general	Al finalizar la jornada de trabajo limpiar las partes vitales de la máquina con los implementos adecuados.			3
	Limpiar cuidadosamente cada una de las partes que constituyen la mandriladora.	Wetex	1	3
	Verificar que no se presenten piezas que obstruyan el movimiento de los carros.			1
Sistema hidráulico	Verificar que la presión de aceite del sistema hidráulico de fijación del cabezal de husillo sea de 30 kg/cm2.			5

	Verificar que la presión de aceite del sistema hidráulico de fijación de los carros y mesa porta pieza sea de 75 kg/cm2.	Multímetro		5
	Verificar sistema de fijación del cabezal de husillo.			8
	Verificar sistema de fijación de los carros y mesa porta-pieza.			8
	Cambio de micro filtro del sistema hidráulico de fijación del cabezal.	Microfiltro		8
	Cambio de micro filtro del sistema hidráulico de fijación de los carros y mesa porta-pieza.	Microfiltro		8
Lubricación	Verificar el nivel de aceite en los depósitos del cabezal de husillo y los carros. Reponer en caso necesario.	Omala 220 Shell	2	5
	Verificar el correcto funcionamiento de las bombas de aceite del cabezal de husillo y los carros de la mesa porta pieza, mediante el goteo en el indicador de flujo de aceite.	Omala 220 Shell		5
	Verificar el nivel de aceite del depósito del sistema hidráulico de fijación del cabezal de husillo.	Omala 220 Shell		5
	Verificar el nivel de aceite del depósito del sistema hidráulico de fijación de los carros y mesa porta pieza.	Omala 220 Shell		5
	Lubricar el husillo con una película fina de aceite.	Omala 220 Shell		6
	Lubricar copa porta herramienta con grasera.	Shell Albania EP		6
	Lubricar guías de las cubiertas de las mesas.	Shell Albania EP		4
	Limpieza del filtro magnético del sistema de lubricación de las guías del cabezal y tuerca de desplazamiento vertical.	Shell Albania EP	3	4
	Cambio de aceite del cabezal del husillo, carros y mesa porta pieza.	Shell Albania EP		8
	Limpieza de los filtros del sistema de lubricación.	Shell Albania EP		8
Chasis	Inspección de anclaje y pintura.			2
Motor	Medir corriente de consumo del motor principal.	Multímetro		5
Ajuste	Ajustar las tuercas de desplazamiento del cabezal, el brazo del husillo y la mesa transversal.	Tuercas	10	9
Juego de cabezal	Revisión de juego del cabezal del husillo en la guía del soporte.			8
Juego del carro	Revisión de juego del carro longitudinal en las guías de la bancada.			8
	Revisión de juego del carro transversal en las guías del carro longitudinal.			8
Juego axial	Revisión del perno central de la mesa.			8
	Revisión de husillo principal.			9
	Revisión de husillo de trabajo.			9

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4  
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE FRESADORA

Puntos de control	Descripción	Insumos y repuestos	Cantidad	Tiempo (min)
Fresadora en general	Reapretar tornillería en general.	Tornillos	16	20
Chasis	Verificar posible agrietamiento y/o fisuras o corrosión en el chasis.	-		5
Almohadillas antivibración	Verificar su sujeción al chasis y estado en general, de ser necesario reemplazar.	Almohadillas antivibración	4	20
Cambiador automático de herramienta	Verificar correcto funcionamiento del mecanismo.	-		10
Guías lineales de deslizamiento	Lubricar y verificar correcto funcionamiento de su desplazamiento. Nunca utilizar disolventes para remover suciedad.	Lubricante WD 40, cepillo industrial		8
Husillos de bolas	Lubricar (WD-40) y verificar correcto funcionamiento de su desplazamiento. Además, verificar que no exista limaya que indique su desgaste, en este caso se debe reemplazar.	Lubricante WD 40	2	10
Mordazas paralelas	Lubricar tornillo de apriete (WD40) y limpiar residuos de viruta.	Lubricante WD 40		12
Mesa	Limpiar y lubricar su superficie con WD40.	Lubricante WD 40		15
Motor del husillo	Cambiar grasa de los rodamientos (Castrol 10-40W) y verificar el estado de estos.	Aceite Castrol 10W-40	1	34
	Verificar consumo de corriente del motor en vacío (19,6 A máximo).	Multímetro	1	5
	Verificar y ajustar alineación del eje del motor respecto al husillo.	-		10
Correa transmisora motor husillo	Verificar tensión y desgaste.	-		15
Polea	Verificar desgaste y desalineación.	-		11
Servomotores	Verificar consumo de corriente del servomotor Eje X y Z 14,1 A máximo. Eje Y 17,6 A máximo.	Multímetro	1	9
Fresa	Verificar desgaste, cambiar fresa o instrumento de corte.	Fresa, broca o taladro	1	26
Software	Actualizar si es posible.	-		30
	Verificar la interfaz entre el software y los controladores por medio Ethernet.	-		25
Tarjeta de interfaz	Verificar correcto funcionamiento para el cambio de sentido de giro de la	-		14

	herramienta.			
	Verificar contactos y/o posibles cortos, además voltaje de operación (12 V).	Multímetro	1	10
Tarjeta de control G-REX 100	Verificar contactos y/o posibles cortos.	-	-	7
Drivers	Verificar conexiones.	-	-	15
Start/Stop	Verificar corrector funcionamiento de la parada de emergencia	-	-	5
Sensor home	Verificar correcto accionamiento.	-	-	4
Sensor final de carrera	Verificar correcto funcionamiento microswitch (Que posea una adecuada superficie de contacto). Cambiar de ser necesario	Microswitch	1	21
Protector guardamotor	Verificar el apriete de sus tornillos.	Atomillador, tornillos	1	16
Sensor de puerta	Verificar su correcta activación al abrir la puerta.	-	-	5
Puerta	Verificar y corregir hermeticidad y posibles fugas de refrigerante.	Refrigerante, trapo	1	15
Bomba de refrigeración	Verificar consumo de corriente (5,5 A a 110 V).	Multímetro	1	15
	Verificar presión 38 a 40 m.c.a.	Barómetro	1	10
	Verificar caudal 0,12 a 0,125 LPM	Sensor de flujo	1	16
	Inspeccionar correcta succión.	-	-	11
Mangueras	Verificar y corregir hermeticidad, posibles fugas y puntos de obstrucción del fluido refrigerante.	-	-	70
Malla filtro	Limpiar y verificar su estado.	Wetex	1	12
Tanque de almacenamiento refrigerante	Verificar nivel mínimo de refrigerante y adicionar el mismo en caso que sea necesario.	Refrigerante	1	6
	Verificar estado y corregir posibles fugas del fluido refrigerante.	-	-	41
	Cambiar el líquido refrigerante.	Refrigerante	1	18
Contacto principal	Verificar voltaje en la entrada del contacto principal (210 V a 230 V).	Multímetro	1	5
Conexión principal	Verificar correcto contacto de las 3 líneas y el neutro.	-	-	20
Fusibles	Verificar continuidad de los fusibles.	-	-	15
Entrada de los drivers	Verificar voltaje de entrada a los drivers de los servomotores.	-	-	14

Fuente: Elaboración propia

TABLE 5  
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TORNO

Puntos de control	Descripción	Insumos y repuestos	Cantidad	Tiempo (min)
Portezuelas	Verificar que las portezuelas se encuentren cerradas.			5
Eléctrica	Verificar elemento constructivo.			10
	Verificar estado de la conexión eléctrica de la máquina.			8
Mordazas	Verificar sujeción de la pieza mediante el ajuste de las mordazas.			5
Torno general	Regulación y ajuste del juego de acuerdo al desgaste: embrague, guías del carro longitudinal y transversal, carro superior, cojinetes del husillo.			5
	Verificar tornillos de fijación de la torre portaherramientas.			5
	Verificar la posición de los apoyos de las barras de roscar, cilindrar y de mandos.			5
Mecánica	Verificar bancada, cabezal fijo, cabezal móvil, carros y accionamientos.			10
Bomba de aceite	Verificar el funcionamiento de la bomba de aceite mediante el goteo en el indicador de flujo de aceite.	Aceite Shell Tellus 32	1	5
Lubricación	Limpiar las partes vitales de la máquina con los implementos adecuados.	Wetex	1	3
	Verificar el nivel de aceite en todos los depósitos.	-	-	3
	Cambio de aceite de la caja de mando del carro.	Aceite Shell Tellus 32	2	5
	Cambio de aceite de la caja de avances.	Aceite Shell Tellus 32		5
	Limpieza de los filtros del sistema de lubricación.	Aceite Shell Tellus 32		10
	Lubricar las guías de la bancada y de los carros longitudinal y transversal.	Shell Albania EP2	4	3
	Lubricar el carro longitudinal y transversal.	Shell Albania EP2		3
	Lubricar cojinetes, tornillo y ejes de la contrapunta.	Shell Albania EP2		3
	Lubricar barra de roscar y barra de cilindrar.	Shell Albania EP2		3
	Motor	Lubricar ruedas de cambio y cojinete intermedio de la lira.	Shell Albania EP2	1
Aplicar grasa a los rodamientos de los motores eléctricos.		Shell Albania EP2	3	
Aplicar grasa a la cadena y piñón del motor de avance rápido.		Shell Albania EP2	3	
Sistema de refrigeración	Medir corriente de consumo del motor principal.	Multímetro		3
	Limpiar filtro del sistema de refrigeración.	Aceite Shell Tellus 32	1	

Cabezal de husillos	Cambio de aceite del cabezal de husillo.	Aceite Shell Tellus 32	1	5
Chasis	Inspección de anclaje y pintura.			
Seguridad	Utilice siempre la dotación de seguridad personal suministrada por la Empresa.			1
	Desconectar el interruptor principal si se terminó el trabajo de la máquina.			1

Fuente: Elaboración propia

TABLE 6  
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PRENSA HIDRÁULICA

Puntos de control	Descripción	Insumos y repuestos	Cantidad	Tiempo (min)
Eléctrica	Verificar que las conexiones eléctricas se encuentren en buen estado (sin fisuras, ni cortes) antes de conectar.			3
	Revisar el buen funcionamiento y estado del manómetro.			3
	Revisión del sistema eléctrico.			13
Eje central	Verificar el estado del eje central, de modo que no existan ranuras profundas.			4
Prensa hidráulica general	Verificar que no presenten fugas en los acoples del cilindro.			5
	Verificar mesa de prensado.			1
	Limpieza general del equipo.	Wetex	1	8
Sistema hidráulico	Revisión del sistema hidráulico.			10
Válvula de control	Revisar el estado de la válvula.			8
Motor	Verificar el estado de las partes del motor.			10
	Lubricación del motor y rodamientos.	Hidromovil	1	3
	Revisión del estado de los rodamientos del motor y cambio si es necesario.			10
Lubricación	Revisión del estado del aceite y cambio si es necesario.	Hidromovil	1	5

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al diseño del ABC y la codificación, el primer paso fue rediseñar el layout del almacén, partiendo de la realización de un inventario total del almacén de herramientas de la empresa, desde las más utilizadas hasta las que no se usaron hasta la fecha. Después, como se conoce el número de veces de entradas y salidas de las herramientas, se realizó un conteo de estas estableciendo tres tipos de productos: "A" (con un 20%) engloba las que más se utilizan, "B" (con un 30%) abarca las de mediano uso, y "C" (con el 50%) incluye las de muy poco uso. Los resultados de esta clasificación ABC se observan en la tabla 7.

TABLE 7  
CLASIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS CON ABC

Clasificación	Número de herramientas	%
A	24	24.84%
B	100	35.09%
C	258	39.91%
<b>Total</b>	<b>382</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se procedió a elaborar un método de codificación que sirve de base para todas las herramientas. De esta forma, los productos estarán clasificados y ordenados, lo cual impactará positivamente en el tiempo de búsqueda de los mismos. Para esto, la codificación se registrará bajo las siguientes tres siglas: el número de estante (NE), el número de fila (NF) y el número de columna (NC), que indican la posición horizontal y vertical, respectivamente, de la herramienta a buscar (ver figura 1). Sumado a ello, el almacén debe contar con el layout impreso y colocado en el área para tener una mejor visibilidad, el cual se muestra en la figura 2.

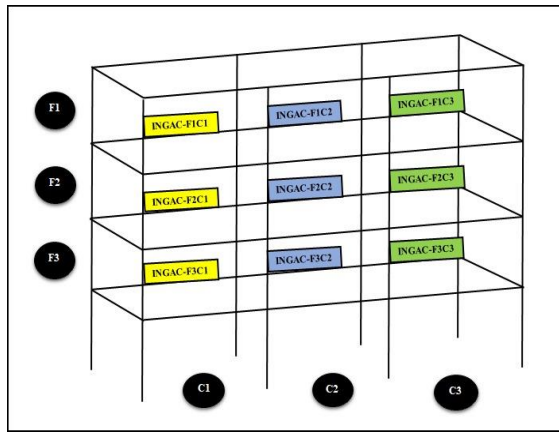


Fig. 1. Codificación de estantes

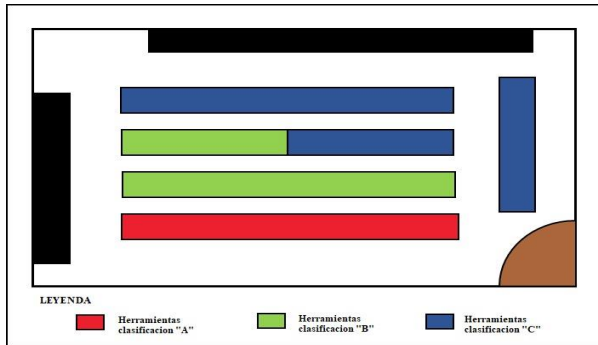


Fig. 2. Layout del almacén bajo sistema ABC

Respecto al diseño de Sistema Kanban, el primer paso es mapear el flujo de trabajo en el área de Producción, que consiste en diagnosticar el estado del sistema de producción actual. El segundo paso es recolectar y seleccionar los parámetros pertinentes e indicadores clave de la producción y el cliente, con la finalidad de identificar cuál es la línea crítica, y a partir de esta realizar un proyecto piloto que permita corregir errores y ajustar el sistema Kanban. El tercer paso es llevar a cabo una capacitación instructiva sobre los principios básicos y beneficios del Kanban. El cuarto paso es estudiar el sistema Kanban en el área de Producción y diseñar las tarjetas y el tablero Kanban, basándose en que la transición de un producto al siguiente proceso no debe tener interrupciones ni largos paros. El diseño del material, que incluye el formato de la tarjeta Kanban, su instructivo de llenado y el formato del tablero Kanban, se visualiza en las tablas 7 y 8 y en la figura 1. El quinto paso es realizar una capacitación sobre el uso e interpretación de las tarjetas y el tablero Kanban en la empresa, que culminará con el diseño del flujo Kanban de los dos tipos de productos que fábrica la empresa metalmeccánica. El sexto paso es simular el sistema Kanban en la línea de producción crítica de la empresa. El séptimo paso es la implementación de este sistema en la línea de producción crítica, cuyos resultados se reunirán al final de esta etapa para su validación. El octavo paso es la implementación del sistema Kanban en las demás líneas de producción. El noveno paso es el monitoreo y control diario del flujo del sistema Kanban durante el período que comprenden los pasos séptimo y octavo. Finalmente, el décimo paso es evaluar y documentar

los resultados obtenidos de la implementación del sistema Kanban, además se comunicarán las funciones específicas de los responsables de su sostenibilidad en el tiempo para una gestión óptima de los recursos.

TABLA 7  
FORMATO DE LA TARJETA KANBAN

Proceso actual	
Proceso de destino	
Responsable(s)	
Cliente	
Fecha de toma de pedido	
Fecha de entrega de pedido	

Fuente: Elaboración propia

TABLA 8  
FORMATO DE LLENADO DE LA TARJETA KANBAN

Colocar nombre de producto (impreso)		
Proceso actual	Colocar nombre de proceso actual (manual)	Colocar imagen del producto (impreso)
Proceso de destino	Colocar nombre de proceso de destino (manual)	
Responsable(s)	Colocar nombre de primer responsable (manual)	
	Colocar nombre de segundo responsable (manual)	
	Colocar nombre de tercer responsable (manual)	
Cliente	Colocar razón social o nombre y apellidos de cliente (impreso)	Colocar código de barras de producto (impreso)
Fecha de toma de pedido	Colocar "día/mes/año" (impreso)	
Fecha de entrega de pedido	Colocar "día/mes/año" (impreso)	

Fuente: Elaboración propia

TABLERO DE SEGUIMIENTO								
Pendiente	En proceso							Terminado
Pedido 1	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4	Proceso 5	Proceso 6	Proceso 7	Pedido 1
Pedido 2	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4	Proceso 5	Proceso 6	Proceso 7	Pedido 2
Pedido 3	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4	Proceso 5	Proceso 6	Proceso 7	Pedido 3

Fig. 3. Formato del tablero Kanban

En cuanto al diseño del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), se buscó asegurar la eficiencia y la calidad en el proceso de fabricación. De esta forma, se siguió un procedimiento sistemático: primero, definir el proceso que se va a estudiar y definir el alcance que tendrá la aplicación; segundo, determinar los pasos críticos del proceso, realizando un análisis inicial para identificar las fallas potenciales que afecten de manera crítica el proceso; tercero, definir los efectos de fallo, que son los resultados no deseados que los modos de fallo producen en el proceso para los usuarios; cuarto, describir las causas de fallo, que abarca todas las razones asignables para que se produzcan los modos de fallo; quinto, identificar los diferentes controles existentes, los cuales son empleados para impedir o detectar los modos de

fallos que podrían presentarse; sexto, calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), que se obtiene del producto de tres parámetros: la probabilidad de ocurrencia de fallo (que consiste en relacionar las causas asociadas a cada falla previamente identificada), el índice de severidad (que evalúa la gravedad del efecto de fallo para el cliente) y el índice de detección (que describe el tipo de control actual para detectar cada falla), todo estos medidos en una escala del 1 al 10. De esta forma, la matriz AMFE nos concede una visualización total del procedimiento diseñado, permitiendo un dinámico y fácil seguimiento a la implementación de las acciones correctivas (ver tabla 9).

Posteriormente, se deben ejecutar las acciones preventivas, correctivas o de mejora. Una vez establecida la prioridad de los modos de falla, se procede a ejecutar las

acciones recomendadas por falla, asignando los responsables por acción, relacionándolos con la fecha de ejecución, estableciendo una fecha de revisión y registrando los resultados de la ejecución.

Finalmente, con esta información se calculan nuevamente los NPR, cuyos valores deben estar alineados a los valores objetivos establecidos en la organización; de lo contrario, no se puede dar por terminado el AMFE.

Paralelamente, para que la aplicación del AMFE resulte exitosa se elaboró un Manual de Organización y Funciones (MOF), el cual describe y documenta las responsabilidades de los miembros de la organización de manera específica; con el fin de que sirva de guía para cada trabajador y este desempeñe sus funciones de manera efectiva.

TABLA 9  
ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)					Código de identificación del componente				Hoja							
AMFE de diseño	AMFE de proceso	X	Nombre del proceso/ componente	Soldado												
NOMBRE Y DEPARTAMENTO DE LOS PARTICIPANTES					Coordinador				Modelo/Sistema/Fabricación							
									Fecha de inicio							
									Fecha de revisión							
# Fallo	Fallos potenciales			Estado actual					Acción correctiva	Responsable	Plazo	Situación de mejora				
	Modo de fallo	Efectos	Causas del modo de fallo	Medidas de ensayo y control previstas	Ocurrencia	Severidad	Detección	NPR				Acciones implantadas	Ocurrencia	Severidad	Detección	NPR
2.1.	Dificultad de controlar puntos de soldadura ocultos.	Rechazo, reparaciones, retrabajos.	Imposibilidad de control al no poder sacar de la línea piezas que incluyen otras que después quedan tapadas.	Ninguna	10	7	8	560	Modificar programas para sacar muestreo sin perder producción.							
2.2.	Piezas posicionadas mal invertidas.	Rechazo, retrabajos.	Permite varias posiciones incorrectas.	Ninguna	10	10	5	500	Implementar un sistema Poka-Yoke, colocando en la soldadora unos topes ajustables a la medida deseada de la lámina.							
1.5.	Proyecciones con suciedad en los poros.	Oxido, suciedad en bajos en pinturas.	Falta de gas Malos parámetros.	Ninguna	6	8	7	336	Incorporar medios en la estación de trabajo para eliminar la suciedad (Metodología 5S).							
1.6.	Deslumbramiento.	Problema de visión de los operarios.	Ausencia de vallas oscuras.	Ninguna	10	8	2	160	Colocar sistemas de iluminación deben ir acompañados de pantallas o luminarias que los oculten a la visión directa de las personas con el fin de evitar deslumbramientos.							
1.7.			Ausencia de puertas oscuras.	Ninguna	10	8	2	160	Colocar pantallas o luminarias con el fin de evitar deslumbramientos.							
1.4.	Mala calidad de soldadura.	Retrabajos, ruidos, grietas.	Parámetros de soldadura incorrectos.	Ninguna	2	9	8	144	Acceso restringido a los parámetros de máquina. Control periódico de los mismos.							
1.1.	Falta soldadura.	Retrabajos, ruidos, falta de rigidez.	Defectos de acoplamiento.	Ninguna	8	8	2	128	Compense la soldadura en ambos lados, use martillo o golpeo precalentamiento.							
1.2.			Pestañas fuera de geometría.	Ninguna	8	8	2	128	Pestañas bien diseñadas para garantizar geometría.							
1.3.	Soldadura del suelo de manera incorrecta en la estructura.	Reproceso, se tiene que retirar el suelo soldado a la estructura y volverlo a soldar de manera correcta.	El doblez del suelo es único para cada estructura, por lo que cada uno es colocado a presión en la misma, y no es retirado mientras se están soldado el doble fondo superior de la división.	Ninguna	8	8	2	128	Usar golpeo; cambie la sucesión de la soldadura por retroceso o aumente la sección transversal del cordón.							
3.1.	El marcador no marca.	Identificación dificultosa, rechazos.	Mal funcionamiento del marcador, rotura, falta de energía.	Inspección visual luego de la operación por parte del trabajador	10	6	1	60	Debe integrarse el marcador como un elemento automático más de la instalación.							
3.2.	Marcaje deficiente.	Identificación dificultosa, rechazos.	Incorrecta orientación respecto a la pieza.	Inspección visual luego de la operación por parte del trabajador	6	6	1	36	Implementar un sistema Poka-Yoke.							

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, respecto al diseño de pronósticos para el año 2020, estos se basaron en el histórico de ventas de los años 2018 y 2019 y sus respectivos precios, mediante el modelo de mínimo cuadrados. El detalle de estos datos se muestra en las tablas 10 y 11, en las que se puede identificar las ventas de cuatro productos distintos.

De acuerdo con el método de mínimos cuadrados, primero se establecieron la variable independiente “x”, que corresponde a los meses del año, y la variable dependiente “y”, que corresponde a las ventas por mes; luego, las variables “x” e “y” se elevaron al cuadrado; por último, se multiplicaron

“x” e “y”. Para obtener los pronósticos mensuales durante el año 2020, se aplicó la fórmula (2).

Ecuación de mínimos cuadrados:

$$Y = a + bx \tag{2}$$

Donde los valores de “a” y “b” representan:

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{N} \tag{3}$$

$$b = \frac{N \sum XY - \sum X * \sum Y}{N * \sum X^2 - (\sum X)^2} \tag{4}$$

TABLA 10

HISTÓRICO DE VENTAS (2018 – 2019)

AÑO	PRODUCTO	NÚMERO DE PRODUCTOS VENDIDOS POR MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2018	Trompo Semipesado 11P3 con motor Honda 13HP	5	4	4	5	6	4	5	6	4	4	7	6
	Trompo Semipesados 9P3 con motor Honda 9HP	6	4	4	6	5	5	7	5	5	4	4	5
	Trompo Forte 11P3 sin motor	7	5	5	7	5	5	7	4	7	5	6	5
	Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP	6	6	5	4	5	4	6	7	6	7	4	7
2019	Trompo Semipesado 11P3 con motor 13HP	4	6	5	6	5	7	6	5	7	4	7	4
	Trompo Semipesados 9P3 con motor 9HP	6	4	4	5	7	5	7	5	7	6	6	7
	Trompo Forte 11P3 sin motor	6	4	4	5	7	5	7	5	7	6	6	7
	Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP	7	5	6	6	5	4	5	6	6	6	5	6

Fuente: Elaboración propia

TABLA 11  
PRECIO DE LOS PRODUCTOS VENDIDOS EN 2018 Y 2019

PRODUCTOS	Trompo Semipesado 11P3 con motor Honda 13HP	Trompo Semipesados 9P3 con motor Honda 9HP	Trompo Forte 11P3 sin motor	Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP
Precio de venta	S/ 5,450.00	S/ 5,100.00	S/ 3,950.00	S/ 5,990.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se visualiza el resumen de los pronósticos de ventas para el 2020 por producto.

TABLA 12  
RESUMEN DE LOS PRONÓSTICOS PARA EL AÑO 2020

Período	Trompo Semipesado 11P3 con motor Honda 13HP		Trompo Semipesados 9P3 con motor Honda 9HP		Trompo Forte 11P3 sin motor		Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP	
	Cant.	Valor monetario	Cant.	Valor monetario	Cant.	Valor monetario	Cant.	Valor monetario
1	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
2	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
3	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
4	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
5	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
6	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
7	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	7	S/41,930.00
8	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	8	S/41,930.00
9	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	8	S/41,930.00
10	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	8	S/41,930.00
11	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	8	S/41,930.00
12	6	S/32,700.00	7	S/35,700.00	7	S/27,650.00	8	S/41,930.00

Fuente: Elaboración propia

**RESULTADOS**

Los resultados de este trabajo de investigación se sustentan con base en la simulación de las alternativas de solución, debido a que la coyuntura generada por la pandemia COVID-19 no permite a los autores su implementación. A continuación, se detalla el procedimiento que se llevó a cabo para dar solución a cada uno de los problemas.

Para efectuar la simulación de la primera alternativa de solución, en relación a las paradas de máquinas no planificadas, se realizaron cálculos matemáticos del indicador Efectividad Global de los Equipos (OEE), el cual está constituido por tres factores: disponibilidad, que es el parámetro que más compromete a las paradas de máquinas, eficiencia y calidad. Entonces, como la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo se ve reflejado en la disminución

de paradas de máquinas, se interpreta que ambos conceptos tienen una relación inversamente proporcional. Después de realizar los cálculos del indicador del OEE, se obtiene un valor simulado de 69.02%, que, a comparación del valor actual, se observa una mejora de 10.60% (ver tabla 13).

TABLA 13  
COMPARATIVA ENTRE EL OEE ACTUAL Y EL SIMULADO

Parámetro del OEE	Valor actual del OEE	Valor simulado del OEE
		<b>58,42%</b>
Disponibilidad	86,86%	97,21%
Eficiencia	77,30%	82,06%
Calidad	87,01%	86,52%

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo la simulación de la segunda alternativa de solución, en relación al desorden en almacén, se realizó la distribución de las herramientas bajo el sistema ABC, tal como se muestra en la tabla 14. Con estos datos, se procedió a diseñar un croquis del almacén, en el cual se observa el área que ocupan los estantes por tipo de herramienta. Además, se simuló el tiempo de búsqueda por herramienta para conocer el beneficio monetario obtenido con el nuevo diseño del almacén (ver figura 4). Actualmente, al no tener el almacén ordenado, se incurre en un costo de S/ 156.80, con un tiempo de búsqueda es de 5 min. Sin embargo, gracias a la clasificación ABC y a la codificación del almacén, la simulación arrojó que el valor de este indicador disminuye a 1.9 min, con lo cual solo se incurriría en un costo de S/ 59.44. Por lo tanto, el beneficio es de S/97.36 por mes.

TABLA 14  
SIMULACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS CON ABC

Clasificación	Número de herramientas	%
A	24	24.84%
B	100	35.09%
C	258	40.06%
<b>Total</b>	<b>382</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

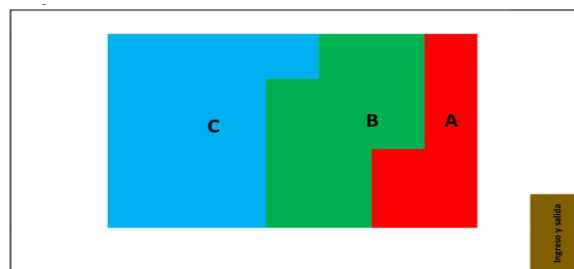


Fig. 4 Clasificación ABC del almacén

Para efectuar la simulación de la tercera alternativa de solución, en relación al retraso en la entrega de pedidos terminados, se utilizó el método de regresión lineal, donde “y” representa el número de pedidos retrasados por mes (de enero a octubre de 2020) y “x” corresponde al número de pedidos en proceso por mes. De este modo, se efectuó la regresión con ayuda de la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel; por consiguiente, se obtuvo como resultados un coeficiente R<sup>2</sup> de 0.8391, lo cual significa que existe un alto grado de correlación entre las variables planteadas, y los



valores de “a” (-1.4667) y “b” (0.9167). Estos dos últimos se reemplazaron en la fórmula de regresión lineal ( $y = a + b*x$ ) junto con el valor de “x”: 6 en noviembre y 4 en diciembre (cifras proyectadas por los autores del presente estudio).

Finalmente, como los promedios del total de pedidos entregados y el total de pedidos entregados a tiempo son 24 y 16 respectivamente, el valor actual del indicador porcentaje de pedidos entregados a tiempo es 66.67%. En contraste, considerando que el promedio de pedidos entregados se mantiene (24) y que se entregan a tiempo 22 pedidos, porque la simulación arrojó que solo 2 pedidos se retrasarían en diciembre (ver tabla 15), se deduce que el valor simulado es de 91.67%.

TABLA 15  
RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL TERCER PROBLEMA

Mes	y	x
Enero	7	12
Febrero	10	11
Marzo	3	5
Abril	4	7
Mayo	11	13
Junio	8	9
Julio	5	7
Agosto	10	12
Setiembre	9	11
Octubre	10	13
Noviembre	4	6
Diciembre	2	4

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo la simulación de la cuarta alternativa de solución, en relación al reproceso, también se utilizó el método de regresión lineal, donde “y” representa el número de productos no conformes por mes (de enero a octubre de 2020), y “x” corresponde al número de documentos incompletos. Al realizar el análisis de regresión se obtuvo un  $R^2 = 0.854531$ , lo que nos indica que existe una relación fuerte entre las variables planteadas; asimismo, se obtuvieron los valores de “a” (1.0690) y “b” (0.6013), necesarios para reemplazar en la fórmula ( $y = a + b*x$ ) y así se pudo simular las no conformidades que se obtendrían en noviembre y diciembre, siguiendo el mismo procedimiento que en la simulación de la anterior alternativa. Con esta simulación se determinó que se pueden disminuir las no conformidades a 2 por mes (ver tabla 16), lo que equivale al 7% de la producción total.

TABLA 16  
RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL CUARTO PROBLEMA

Meses	y	x
Enero	10	15
Febrero	6	8
Marzo	7	10
Abril	8	12
Mayo	0	0
Junio	9	13
Julio	7	5
Agosto	5	8
Setiembre	4	6
Octubre	4	5
Noviembre	3	4
Diciembre	2	2

Fuente: Elaboración propia

El método de regresión lineal nuevamente fue clave para efectuar la simulación de la última alternativa de solución, en relación al desabastecimiento de productos terminados, donde “y” representa la cantidad de productos no vendidos por falta de stock y “x” corresponde al número de productos producidos. Así, se obtuvo el valor de  $R^2$ : 0.8429 para el trompo semipesado 11P3 con motor Honda 13HP; 0.8769 para el trompo semipesado 9P3 con motor 9HP; 0.77594123 para el trompo fuerte 11P3 sin motor y 0.8 para el Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP, valores que reflejan un alto grado de correlación entre las variables; es decir, a mayor cantidad de producción para cada producto, la cantidad de productos desabastecidos es menor. De la misma manera, con el análisis se obtuvieron los valores de “a” y “b”: para el trompo semipesado 11P3 con motor Honda 13HP, 4.5 y -0.6379; para el trompo semipesado 9P3 con motor 9HP, 2.6174 y -0.3758; para el trompo fuerte 11P3 sin motor, 3.561983471 y -0.5372, y para el trompo fuerte 11P3 con motor Honda 13HP, 4.1 y -0.6, respectivamente. Luego, estos se reemplazaron en la fórmula ( $y = a + b*x$ ) y se procedió a simular la cantidad de productos sin stock para los meses de noviembre y diciembre, dando como resultados los valores que se muestran en la tabla 17.

TABLA 17  
RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL QUINTO PROBLEMA

Mes	Trompo Semipesado 11P3 con motor Honda13HP		Trompo Semipesado 9P3 con motor Honda 9HP		Trompo Forte 11P3 sin motor		Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Enero	2	4	1	5	0	6	0	6
Febrero	0	7	0	7	0	7	0	7
Marzo	1	6	1	5	1	5	0	7
Abril	0	7	0	7	0	7	1	5
Mayo	1	6	1	4	1	4	0	7
Junio	0	7	0	7	0	6	1	6
Julio	1	5	0	7	2	4	0	7
Agosto	0	6	0	6	0	6	2	4
Septiembre	1	6	1	4	1	5	0	6
Octubre	2	4	0	7	0	7	1	5
Noviembre	1	6	-1	7	-1	7	-1	7
Diciembre	1	6	-1	7	-1	7	-1	7

Fuente: Elaboración propia

Además, con esta simulación también se determinó el modelo (producto) y la cantidad del mismo que quedaría sin stock dependiendo de la producción asignada mensualmente, y como resultado final se obtuvo solo una unidad del trompo semipesado 11P3 con motor Honda 13HP, lo que equivale el 11.11% de referencias de productos sin stock (ver tabla 18).

TABLA 18  
RESULTADOS DE REFERENCIAS DE PRODUCTO SIN STOCK

Producto	Cantidad de referencias de producto sin stock
Trompo Semipesado 11P3 con motor Honda13HP	1
Trompo Semipesados 9P3 con motor Honda 9HP	0
Trompo Forte 11P3 sin motor	0
Trompo Forte 11P3 con motor Honda 13HP	0

Fuente: Elaboración propia

Por último, se procedió a calcular el beneficio generado por el diseño de las alternativas de solución descritas en el presente trabajo de investigación en un horizonte de un año. Como se puede visualizar en la tabla 19, en ella se detalla la

inversión inicial del proyecto y las que se necesitan durante los 12 meses. Asimismo, en la tabla 20 se señalan los valores de los indicadores económicos de la evaluación, que, en su conjunto, confirman la viabilidad del estudio.

TABLA 19  
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

MES	Dic-2020	Ene-2021	Feb-2021	Mar-2021	Abr-2021	May-2021	Jun-2021	Jul-2021	Ago-2021	Sep-2021	Oct-2021	Nov-2021	Dic-2021
<b>EGRESOS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Plan de mantenimiento preventivo</b>	<b>S/10,892.12</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/1,373</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/1,373</b>
Capacitación	S/1,323.40	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/1,323	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/1,323
Mano de obra externa	S/2,144.00	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
Maquinaria y equipos	S/7,374.72	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
Materiales	S/50.00	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/50	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/50
<b>ABC-Codificación</b>	<b>S/1,07988</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>
Capacitación	S/552.92	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
Mano de obra interna	S/246.96	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
Materiales	S/280.00	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
<b>Sistema Kanban</b>	<b>S/1,849.51</b>	<b>S/0.00</b>	<b>S/5.00</b>	<b>S/95.60</b>	<b>S/14.00</b>	<b>S/0.00</b>	<b>S/500.60</b>	<b>S/0.00</b>	<b>S/14.00</b>	<b>S/95.60</b>	<b>S/5.00</b>	<b>S/0.00</b>	<b>S/629.60</b>
Capacitación	S/1,329.51	S/0	S/5	S/95.60	S/14	S/0	S/100.60	S/0	S/14	S/95.60	S/5	S/0	S/109.60
Materiales de implementación	S/520.00	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/400	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/520
<b>AMFE/MOF</b>	<b>S/2,407.06</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/425</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/425</b>
Capacitación	S/1,847.06	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
Materiales	S/560	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/425	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/425
<b>Pronósticos</b>	<b>S/2,059.36</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/560</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>	<b>S/560</b>	<b>S/0</b>	<b>S/0</b>
Mano de obra externa	S/1,635	S/0	S/0	S/0	S/0	S/560	S/0	S/0	S/0	S/0	S/560	S/0	S/0
Capacitación	S/385	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
Materiales	S/40	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0	S/0
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	<b>S/18,288</b>	<b>S/0</b>	<b>S/5</b>	<b>S/96</b>	<b>S/14</b>	<b>S/560</b>	<b>S/2,299</b>	<b>S/0</b>	<b>S/14</b>	<b>S/96</b>	<b>S/565</b>	<b>S/0</b>	<b>S/2,428</b>
<b>BENEFICIOS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Plan de mantenimiento preventivo</b>		<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>	<b>S/3,034</b>
<b>ABC-Codificación</b>		<b>S/97.36</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>	<b>S/97</b>
<b>Sistema Kanban</b>		<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>	<b>S/3,533</b>
<b>AMFE/MOF</b>		<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>	<b>S/979.10</b>
<b>Pronósticos</b>		<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>	<b>S/. 4,610</b>
<b>TOTAL DE BENEFICIOS</b>	<b>S/0</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,253</b>
<b>FLUJO MENSUAL DE CAJA</b>	<b>-S/18,288</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,248</b>	<b>S/12,157</b>	<b>S/12,239</b>	<b>S/11,693</b>	<b>S/9,954</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/12,239</b>	<b>S/12,157</b>	<b>S/11,688</b>	<b>S/12,253</b>	<b>S/9,825</b>

Fuente: Elaboración propia

TABLA 20  
INDICADORES DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DISEÑO

Indicador	Valor
TMAR	1.53%
VAN	S/. 109,769.92
TIR	66.17%
B/C	5.65
VAN Beneficios	S/. 133,389
VAN Egresos	S/. 23,619

Fuente: Elaboración propia

## DISCUSIÓN

En primera instancia, INGENACC tiene un OEE de 58.42%, valor actual que se encuentra por debajo del estándar (75%), que según Novau, A., & Suárez, A (2020), en su libro Estrategia y operaciones esbeltas. Camino directo a las sobrevivencias y desarrollo de nuestra empresa, considera lo siguiente: “75% - 85% Aceptable, ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja. Continuar la mejora para avanzar hacia el Word Class”. De este modo, se pudo conocer que el bajo valor del actual OEE de la organización se debe a que están aplicando mantenimiento correctivo a su maquinaria, lo cual provoca paradas de máquinas; es decir, trae como consecuencia una baja disponibilidad de los equipos. Por ello, el presente proyecto

planteó, como alternativa de solución, implementar un plan de mantenimiento preventivo. Entonces, para evaluar el impacto de esta herramienta se realizó una simulación, de la cual se obtuvo un valor de 69.02% como OEE. Aún no es posible alcanzar el valor estándar, pero el aumento del indicador en un 10.02% representa una notable mejora.

En segunda instancia, el almacén de herramientas de la empresa cuenta con valor actual de 0% como porcentaje en cuanto a su clasificación, porque no sigue ningún patrón de ordenamiento; sin embargo, con la herramienta ABC, los resultados de la simulación pueden compararse con los valores estándares. Basándonos en esto, se tomó como referencia a González y Carro, quienes en su libro Gestión de stocks detallan los valores adecuados para la clasificación ABC: “A es del 20%, la cual representa el 80% del valor monetario... clasificación B su valor estándar es del 30% del total, el cual solo representa el 15% del valor monetario... clasificación C obtiene un valor estándar del 50% con un valor monetario del 5%”. En contraste, con la simulación se obtuvo un 24.84% de espacio a utilizar para A, un 35.09% para B y un 40.06% para C, diferencias mínimas que no influyen negativamente; por el contrario, permitirá reordenar las herramientas y acelerar el tiempo de búsqueda.

En tercera instancia, la empresa tiene un valor actual de 66.67% como porcentaje de pedidos entregados a tiempo. En unidades monetarias, la entrega de pedidos con retraso

ocasiona ventas rechazadas, o no efectuadas, lo cual se traduce en una utilidad perdida de S/4,710.00 (en tan solo 4 pedidos). En este contexto, de acuerdo con la norma internacional ISO 9001:2015, titulada “Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos”, el valor actual está muy por debajo del estándar (100%). En dicho documento, se afirma que “La organización debe utilizar los medios apropiados para identificar las salidas, cuando sea necesario, para asegurar la conformidad de los productos y servicios”. Para evidenciar su impacto, se simuló con base en la regresión lineal, del cual se obtuvo como resultado un valor de 91.67%, lo cual representaría una importante mejora.

En cuarta instancia, la empresa tiene valor actual de 24,14% como porcentaje de productos reprocesados, lo cual genera una pérdida de S/.1370.75. Complementario a ello, según la norma ISO 9001:2015 se deben llevar a cabo acciones preventivas para eliminar las no conformidades potenciales, analizar cualquier no conformidad que ocurra, y tomar acciones que sean apropiadas para los efectos de la no conformidad para prevenir su recurrencia. De esto se interpretó que el estándar es 0% en cuanto a reprocesos; sin embargo, el valor actual es alto. Por ello, se propuso la metodología AMEF y la elaboración de un MOF como alternativa de solución al problema en mención. El resultado de la simulación arrojó un nuevo valor: solo 2 no conformidades al mes, lo que equivale a un 7%, lo cual indica un gran avance hacia la eliminación del reproceso.

En última instancia, la empresa tiene un valor actual de 44.44% como porcentaje de rotura de stock, generado por el desabastecimiento de productos terminados en tienda, motivo por el cual el índice de rotura debe ser próximo a 0%, que viene a ser el valor estándar. Por consiguiente, se propuso realizar pronósticos usando regresión lineal, cuyos datos se simularon dando como resultado un solo producto del modelo trompo semipesado 11P3 con motor Honda 13HP como referencias de producto sin stock, lo cual representa un 11.11% como valor simulado. A comparación del valor actual, se podría afirmar que la herramienta diseñada tiene un impacto significativo contra el desabastecimiento, porque la mejora es del 33.33%.

## CONCLUSIONES

- El diseño de plan de mantenimiento preventivo, ABC, codificación, sistema Kanban, AMFE y pronósticos representa un impacto positivo para la empresa, porque reducen costos mensuales de S/. 12,813.
- Mediante un diagnóstico a las áreas críticas de la empresa, se detectaron los siguientes problemas: paradas de máquinas (pérdida mensual de S/.3,593.76), desorden en almacén (pérdida mensual de S/.156.80), retrasos en la entrega de pedidos terminados (pérdida mensual de S/4,710.00); reprocesos (pérdida mensual de S/1,370.75) y desabastecimiento de productos terminados (pérdida mensual de S/6,610.00).
- Para dar solución a los cinco problemas, se propuso dos alternativas de solución para cada uno y la elección de la más adecuada se realizó a través de diez restricciones

realistas: tiempo de implementación, económica, accesibilidad, seguridad, sostenibilidad, control, mano de obra, usabilidad, funcionalidad y eficiencia.

- Se diseñaron las herramientas de las alternativas de solución seleccionadas: plan de mantenimiento preventivo, ABC, codificación, sistema Kanban, AMFE, MOF y pronósticos.
- Se establecieron indicadores para cada problema y se comparó el diseño propuesto con estándares de ingeniería, siendo estos: en paradas de máquinas no planificadas, el OEE con un valor estándar de 75% y un valor actual de 58.42%; en desorden en el almacén, los artículos de clase A con un valor estándar del 20%, los de clase B con un 30% y los de clase C con un 50%, mientras que todos sus valores actuales son 0%, porque no existe un sistema de clasificación en la empresa; en retrasos en la entrega de pedidos terminados, un valor estándar de 100% y un valor actual de 66.67%; en reprocesos, un valor estándar de 0% y un valor actual de 24.14%; y en desabastecimiento de productos terminados, el índice de rotura con un valor estándar de 0% y un valor actual de 44.44%.
- Los valores simulados que se obtuvieron como resultados fueron: un 69.02% como OEE; un 24.84% de productos tipo A, un 35.09% para los de tipo B y un 40.06% para los de tipo C en el sistema ABC; 91.67% de pedidos entregados a tiempo; un 7% de productos reprocesados; y un 11.11% como rotura de stock.
- Los indicadores económicos de viabilidad del proyecto, el Valor Actual Neto (S/.115,866.30), la Tasa Interna de Retorno (69.29%) y el Coeficiente Beneficio-Costo (5.91), determinan la viabilidad de la investigación, por lo que se recomienda su implementación para reducir significativamente los costos de la empresa y así esta organización pueda obtener un beneficio que le permita seguir creciendo en el mercado de la región.

## REFERENCIAS

- [1] Carro, R. & González, D. (2013). *Gestión de stocks*. <https://econpapers.repec.org/paper/nmpnland/1830.htm>
- [2] Cayetano, M. E. & Falero, V. A. (2018). La implementación del modelo de costos ABC y su influencia en la rentabilidad de una empresa metalmeccánica en su proceso de internacionalización, del distrito de San Martín de Porres, Lima, 2017 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/14238>
- [3] Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C., *Sistemas de Gestión de la calidad – Requisitos*, NMX-CC-9001-IMNC-2015, 2016. <https://www.teczamora.mx/sgi/documentos/sgi/normas/NMX-CC-9001-IMNC-2015.pdf>
- [4] *La gestión de stocks*, Mc Graw Hill. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448612124.pdf>
- [5] Mejía, J. (2018). Diseñar un programa de mantenimiento preventivo en el área de producción de una empresa metalmeccánica (Tesis de Pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- [6] Novau, A., & Suárez, A. (2020). Estrategia y operaciones esbeltas: Camino directo a la sobrevivencia y desarrollo de nuestras empresas. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.
- [7] Patasca Zamora, A. W. (2018). Mejora del sistema productivo de la empresa Comercial Damián E.I.R.L. para reducir retrasos en la entrega de pedidos. (Tesis de Licenciatura). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Recuperado de [http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1632/1/TL\\_PatazcaZamoraAngel.pdf](http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1632/1/TL_PatazcaZamoraAngel.pdf)
- [8] Soto, K. (2018). Mejora de la gestión de calidad del proceso productivo para disminuir los costos de no conformidad de la metalmeccánica A&N Company SAC, 2017 (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Perú.