

# Implementation of productivity improvements in gold chains through the PDCA and 5S cycles in a jewelry company in Peru

Jazmin Baldeón Cervantes, Bsc<sup>1</sup>, Diana Barrios Treviño, Bsc<sup>1</sup>

Carlos Céspedes Blanco, Ms<sup>1</sup>, Karol Moore Torres, Ms<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú,  
U20191A178@upc.edu.pe, U201917300@upc.edu.pe, carlos.cespedes@upc.pe, pcgekmo@upc.edu.pe

*Abstract– The jewelry industry, as one of the key subsectors within the manufacturing sector, plays a vital role in economic growth, representing 17% of the country's development. However, it faces an efficiency problem in the production process, mainly caused by unplanned machine downtime. This was evident in a jewelry manufacturing company, where the most crucial productivity factor was identified, and the DMAIC method was proposed to improve the company's efficiency. In order to achieve this, an implementation proposal based on two fundamental tools has been developed: the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle and the 5S. These tools were carefully selected due to their proven effectiveness in process optimization and reducing unplanned failures. The model was validated in a company dedicated to the supply and maintenance of dry chemical powder extinguishers in Apurímac. The results are remarkable: availability increased from 76% to 93%, performance from 39% to 95%, and quality from 43% to 95%. Efficiency also improved significantly, from 13% to 84%, demonstrating the effectiveness of the proposal. The main outcome of this research is the improvement in efficiency, directly contributing to the growth of the industry and, ultimately, the economic development of the country. This research provides an effective solution to address the low efficiency problem in the jewelry industry, demonstrating that the implementation of PDCA and 5S tools can lead to significant efficiency improvements.*

*Keywords– Efficiency, jewelry continuous improvement, production, machines, industry.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Implementation of productivity improvements in gold chains through the PDCA and 5S cycles in a jewelry company in Peru

Jazmin Baldeón Cervantes, Bsc<sup>1</sup>, Diana Barrios Treviño, Bsc<sup>1</sup>  
Carlos Céspedes Blanco, Ms<sup>1</sup>, Karol Moore Torres, Ms<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú,  
U20191A178@upc.edu.pe, U201917300@upc.edu.pe, carlos.cespedes@upc.pe, pcgekmo@upc.edu.pe

**Abstract**– *The jewelry industry, as one of the key subsectors within the manufacturing sector, plays a vital role in economic growth, representing 17% of the country's development. However, it faces an efficiency problem in the production process, mainly caused by unplanned machine downtime. This was evident in a jewelry manufacturing company, where the most crucial productivity factor was identified, and the DMAIC method was proposed to improve the company's efficiency. In order to achieve this, an implementation proposal based on two fundamental tools has been developed: the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle and the 5S. These tools were carefully selected due to their proven effectiveness in process optimization and reducing unplanned failures. The model was validated in a company dedicated to the supply and maintenance of dry chemical powder extinguishers in Apurímac. The results are remarkable: availability increased from 76% to 93%, performance from 39% to 95%, and quality from 43% to 95%. Efficiency also improved significantly, from 13% to 84%, demonstrating the effectiveness of the proposal. The main outcome of this research is the improvement in efficiency, directly contributing to the growth of the industry and, ultimately, the economic development of the country. This research provides an effective solution to address the low efficiency problem in the jewelry industry, demonstrating that the implementation of PDCA and 5S tools can lead to significant efficiency improvements.*

**Keywords**-- *Efficiency, jewelry continuous improvement, production, machines, industry.*

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sector joyero en Perú presenta una perspectiva prometedora, ya que ha experimentado un crecimiento constante del 17.6%. Esto es de suma importancia para desarrollar grandes oportunidades de mejora en los procesos de producción en el sector joyero. Por esta razón, las empresas dedicadas a este sector buscan mejorar su eficiencia dentro del proceso de producción, ya que en este medimos el rendimiento, la calidad y la disponibilidad. Por otro lado, con herramientas de fabricación esbelta identificadas dentro de la fabricación esbelta, lo que nos permite implementar mejoras dentro del proceso de producción, considerando que las empresas manufactureras de joyas en Perú no satisfacen la demanda de las exportaciones solicitadas [1], solo el 1.96% de

las exportaciones de oro de Perú están relacionadas con artículos de joyería [2]. Se espera que, en un plazo de 5 a 10 años, las joyas de oro se posicionen como el producto más representativo [3]. Esto se debe a que las exportaciones de joyería peruana han alcanzado los US\$71.3 millones.

Destaca en la exportación de joyas de oro, que representa el 84.8% del total. Los principales destinos de estas exportaciones son los Estados Unidos, Chile, Colombia, Canadá y México. En cuanto al ranking, Perú se ubica en el puesto 42 entre los países exportadores de joyas a nivel mundial y en el segundo lugar en América Latina [4]. El propósito de este estudio es implementar las herramientas 5S y PDCA, donde se proponen nuevos procesos internos para aumentar la eficiencia en la producción de cadenas de oro dentro de una empresa fabricante de joyas en el mercado peruano, de modo que cuando surjan problemas en el proceso de producción de cadenas de oro, se refleje el desarrollo de herramientas y soluciones dentro del equipo de trabajo.

Estas soluciones se aplican con la ayuda de información sobre el proceso de producción actual, el estado del entorno laboral, el ambiente de trabajo y la forma de trabajar dentro de la empresa, junto con los datos de la empresa que nos permiten estructurar y organizar los procesos, reducir partes defectuosas, disminuir las paradas de máquinas y aumentar el rendimiento de producción, lo que implica planificar y presentar nuevos procedimientos para que una empresa en este sector pueda producir de manera adecuada y mejorar el proceso de producción, mejorando así la exportación de cadenas de oro de la empresa.

En relación con eso, se implementarán mejoras dentro del proceso de producción teniendo en cuenta que la investigación se divide en 5 partes que se detallan a continuación: la Parte 2 desarrolla el estado del arte sobre las herramientas que justifican la investigación, la Parte 3 presenta el desarrollo de la implementación de las herramientas y su descripción, la Parte 4 detalla los procedimientos, el modelo y la solución para el problema. Finalmente, la Parte 5 describe la validación de los datos que se llevó a cabo y los cambios que ocurrieron, así como las conclusiones de la preparación.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

## II. ESTADO DEL ARTE

### A. Metodología 5S

La metodología 5S permite mantener el área de trabajo organizada, ordenada, limpia, estandarizada y con disciplina. Una vez que se implementa este proceso, se observan varios beneficios, como impulsar la moral de los trabajadores, crear impresiones positivas en los clientes y aumentar la eficiencia en la organización. Los trabajadores experimentan una mejora en su satisfacción con el entorno laboral, lo que fomenta una mentalidad de mejora constante. Estos factores combinados hacen que la organización sea más rentable y tenga una posición más competitiva en el mercado. Un ejemplo de estudio de caso es lo que se implementó en la empresa NISSAN, precisamente en el área de servicio y taller, ya que es el área más desorganizada, esto con el fin de mejorar la eficiencia, calidad, eliminación de tiempos muertos y reducción de costos [5]. La metodología 5S se basa en las 5'S, de las cuales la más importante es la primera "S" que significa "Seiri" o "Clasificación". Es la más importante porque es la base de las otras cuatro "S", ya que, sin una clasificación adecuada, las otras etapas de la metodología 5S no se pueden llevar a cabo de manera efectiva. Esta herramienta motiva a los empleados a realizar eficientemente las actividades asignadas, aumentando la productividad y logrando utilizar el tiempo de búsqueda más corto para los diversos productos que se encuentran en el área de trabajo [6].

Además, esto permite tener un área de trabajo más organizada para satisfacer las expectativas del cliente respetando el tiempo de entrega de los pedidos respectivos [7]. Asimismo, cada persona debería conocer la importancia de encontrarse en un entorno limpio. Teniendo todo esto en cuenta, se podría definir a 5S como la herramienta precisa para mejorar toda el área de trabajo [8]. Se obtuvieron resultados como menos productos defectuosos, menos averías, niveles más bajos de stock o inventarios, menos accidentes, menos movimientos y traslados inútiles y menos tiempo para cambiar herramientas [9].

### B. Ciclo PDCA

La teoría del proceso del ciclo PDCA se basa en su aplicación sistemática para identificar y gestionar procesos en una organización, combinando sistemas de calidad y las interacciones entre ellos. Este enfoque se basa en el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PDCA) y se utiliza para controlar la calidad de la producción. La implementación de la herramienta comienza por encontrar oportunidades de mejora y luego se aplica a todos los procesos con el objetivo de reducir y eliminar desperdicios [10]. Un ejemplo de esta aplicación se encuentra en la fábrica ubicada en Kaliajoir, Gazipur, Dhaka, que se dedica a la fabricación de prendas de punto/tejidas. La implementación es el ciclo de mejora continua. A través de este ciclo, lograron identificar áreas de mejora, implementar cambios, evaluar resultados y realizar ajustes en un proceso

iterativo. Esto les permitió lograr una eficiencia constante, calidad y satisfacción del cliente.

La técnica logra un impacto positivo, donde se clasifica por diferentes áreas de ventas, mejorando su control, el registro es claro y ordenado, siendo más fácil de entender para el personal, lo que ayuda a minimizar su tiempo y errores [11]. Además, esto permite una mayor organización y proyectos para mejorar la calidad del servicio y garantizar la satisfacción del cliente [12]. El enfoque central de la implementación del PDCA es que, al estar compuesto por cuatro fases que actúan en un ciclo, una vez completada la cuarta fase, se debe regresar a la primera y repetir el ciclo. De esta manera, las actividades se analizan periódicamente para implementar nuevas mejoras [13]. El método busca mejorar la productividad, reducir costos, aumentar la competitividad y rentabilidad de la empresa.

### C. Fallas en el proceso de producción

Las fallas en el proceso de producción pueden tener un impacto significativo en la eficiencia y calidad de los productos. Estas fallas pueden manifestarse de diversas maneras, desde retrasos en la producción hasta defectos en los productos finales. Identificar y abordar estas fallas de manera oportuna es esencial para mantener la competitividad en un mercado en constante evolución. Un ejemplo donde este problema fue evidente ocurrió en la industria joyera. La implementación de herramientas como el Pensamiento Lean y sistemas de control de producción puede desempeñar un papel fundamental en la detección y resolución de estas fallas, contribuyendo así a la mejora continua y al éxito empresarial [14]. Estos hallazgos sugieren que las empresas en el sector manufacturero de joyería y en otras industrias pueden beneficiarse significativamente al adoptar enfoques de mejora continua, como el Pensamiento Lean, para mantenerse competitivas en un entorno empresarial en constante cambio y mejorar la eficiencia del proceso [15].

Identificar y gestionar de manera efectiva estas fallas se ha convertido en un objetivo crucial para las empresas que buscan mejorar su rendimiento. En este contexto, comprender las relaciones intrasistema y los mecanismos de acción necesarios se ha vuelto un aspecto clave para eliminar las fallas de manera rápida y sostenible [16]. La integración de la gestión de fallas en el proceso de producción puede llevar a una mejora significativa en la eficiencia de la producción, lo que tiene un impacto positivo en la productividad.

### D. Pérdida de producción debido a paradas no planificadas

Las fallas en el proceso de producción pueden tener un impacto significativo en la eficiencia y rentabilidad de una empresa. Estas fallas pueden manifestarse de diversas maneras, desde interrupciones temporales en la línea de producción hasta productos defectuosos que requieren retrabajo o incluso ser desechados. La detección y mitigación de estas fallas son aspectos críticos de la gestión de operaciones. Para abordar este desafío, las estrategias de mantenimiento y control de calidad desempeñan un papel crucial en la búsqueda de una producción

más eficiente y confiable [17]. La predicción de fallas basada en el tiempo, que considera intervalos de tiempo en lugar de programar el mantenimiento en momentos predefinidos, representa un enfoque prometedor para mejorar la eficiencia del mantenimiento y reducir los costos operativos. Esto significa que las actividades preventivas a menudo corresponden a los principios del mantenimiento basado en el tiempo [18], [19].

La pérdida de producción debido a paradas no planificadas de máquinas, o lo que comúnmente se conoce como fallas en el proceso de producción, es un desafío crítico en la industria moderna. Estas interrupciones imprevistas pueden tener una serie de consecuencias negativas, desde el desperdicio de tiempo y recursos hasta la insatisfacción del cliente y la disminución de la rentabilidad de la empresa. En un entorno altamente competitivo, minimizar estas fallas y optimizar la confiabilidad de las máquinas se vuelve esencial para mantener una producción eficiente y rentable [20]. La integración del mantenimiento preventivo y la programación de la producción permite mejorar la eficiencia y rentabilidad en entornos industriales al minimizar las paradas no planificadas de las máquinas y garantizar la confiabilidad de los sistemas en serie.

### III. CONTRIBUCIÓN

#### A. Modelo básico

El sector manufacturero es una esfera diversificada que alberga varios subsectores, cada uno con el potencial de impulsar el desarrollo económico. Uno de los subsectores que hemos abordado en nuestra investigación se centra en la producción de joyas, un campo rico en creatividad y sofisticación. A lo largo de nuestro estudio, identificamos problemas significativos que afectan la eficiencia de los procesos en la cadena de valor de la joyería.

El objetivo principal de nuestra investigación radica en resolver los problemas identificados en la producción de joyas, y para lograrlo, hemos recurrido a una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica. Esta revisión nos ha proporcionado metodologías, métodos y propuestas valiosas destinadas a optimizar la eficiencia en los procesos de producción en la industria joyera.

Las herramientas de ingeniería desempeñan un papel esencial en nuestra investigación, ya que nos permiten abordar los desafíos específicos enfrentados por el subsector de la joyería en el campo manufacturero. A continuación, se presenta una lista de las herramientas que hemos seleccionado y utilizaremos en nuestra investigación:

TABLA I  
COMPONENTES DE LAS FUENTES ELEGIDAS

Análisis previo	Componentes		
	Pérdidas por errores en el proceso de producción	Pérdidas provocadas por paradas no planificadas de máquina	Horas pérdidas por un inicio lento
Baja eficiencia	PDCA	PDCA	PDCA
Baja eficiencia	PDCA	RL / DRL	5S
Baja eficiencia	DMAIC	5S	5S
<b>Propuesta</b>	<b>PDCA</b>	<b>PDCA / 5S</b>	<b>5S</b>

### PÉRDIDAS DEBIDAS A ERRORES EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

1. Proporcionan una estrategia para mejorar el proceso de gestión y control de la producción. Esta estrategia es una solución práctica para mejorar la eficiencia y el control de la empresa, lo cual es de gran relevancia en un mercado competitivo y flexible.

2. Enfóquese en el campo de la gestión de fallos en la producción mediante el desarrollo de un modelo que aborde los desafíos de integración y diseño, y al proporcionar una comprensión más profunda de las relaciones y mecanismos necesarios para una gestión eficaz de fallos y mejora del rendimiento productivo.

3. Aplicando el método Six Sigma DMAIC y utilizando técnicas analíticas para comprender, medir, analizar, mejorar y controlar la productividad en una empresa de fabricación de joyas. Se identificó el factor de productividad más importante y se propuso una solución concreta para mejorar la productividad de la empresa.

### PÉRDIDAS CAUSADAS POR PARADAS NO PLANIFICADAS DE MÁQUINAS

1. Se centra en el desarrollo de un algoritmo de predicción de fallos basado en el tiempo para entornos de fabricación con múltiples máquinas. El objetivo es mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento de las máquinas mediante el uso de datos de tiempo de procesamiento y datos históricos para programar de manera más precisa las tareas de mantenimiento.

2. Sintetiza la literatura relacionada con la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo por refuerzo en la planificación y optimización del mantenimiento. Se destaca la importancia de utilizar estos enfoques para mejorar la eficiencia y efectividad de las políticas de mantenimiento, teniendo en cuenta la información en tiempo real y las decisiones secuenciales en un entorno de mantenimiento.

3. Propuesta de un modelo conjunto de optimización que combina el mantenimiento preventivo en grupo de un sistema en serie con la programación de la producción. El objetivo de este modelo es minimizar el costo total, que incluye el costo de producción, el costo de mantenimiento preventivo, el costo mínimo de reparación por fallas inesperadas y el costo por retraso.

### HORAS PÉRDIDAS DEBIDO A UN INICIO LENTO

1. Aborda el desgaste de los dientes de los engranajes rectos en máquinas de servicio pesado utilizando un modelo teórico de desgaste dental. Este modelo se basa en conceptos matemáticos y teóricos para simular cómo los parámetros de

contacto y la temperatura de contacto instantánea afectan la forma de los perfiles de los dientes de los engranajes. Donde la validación experimental respalda la utilidad del modelo y su capacidad para predecir el desgaste dental en situaciones prácticas.

2. Sobrecarga de alarmas que puede afectar la eficiencia en la resolución de problemas y la duración del tiempo de inactividad. Propone un enfoque que utiliza descripciones de patrones y mecanismos de supresión para simplificar la gestión de alarmas y mejorar la eficiencia del operador. Las pruebas de usuario respaldan la utilidad de este enfoque en la práctica industrial al aumentar el rendimiento y reducir la necesidad de seguimiento de alarmas falsas.

3. Presenta un enfoque de modelado matemático para evaluar decisiones de mantenimiento correctivo rentables en sistemas de producción y manufactura. Se centra en la efectividad general del equipo como métrica clave y utiliza una función generadora universal para calcular la distribución de probabilidad de los estados del sistema. La validación y la comparación con otras técnicas respaldan la efectividad del enfoque propuesto, que puede ser valioso para la toma de decisiones en entornos de fabricación.

herramientas: el ciclo PDCA y la metodología 5S. Estas herramientas fueron seleccionadas debido a los resultados favorables (mejora en las pérdidas debido a errores en el proceso de producción, pérdidas debido a paradas no planificadas de máquinas y horas perdidas debido a un inicio lento).

**B. Modelo Propuesto**

El Modelo Lean propuesto se compone de la integración de las herramientas PDCA y 5S. Estas herramientas fueron integradas según las necesidades identificadas en el estudio de caso. Esto tiene como INPUTS fundamentales las pérdidas debidas a errores en el proceso de producción, las pérdidas causadas por paradas de máquinas y las horas perdidas debido a un arranque lento, y se espera que la OUTPUT aumente significativamente y que haya una reducción en los errores y habrá mantenimiento preventivo, personal capacitado y tiempo productivo debido a la disponibilidad de repuestos. Así, el modelo propuesto se basa en cuatro fases: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, donde la metodología 5S se aplica en cada fase, como se puede ver en la FIGURA 1.

Para lograr el diseño adecuado de este modelo de mejora, se inicia con el estudio inicial de la empresa, es decir, se analiza la causa raíz del problema con el objetivo de poder seleccionar

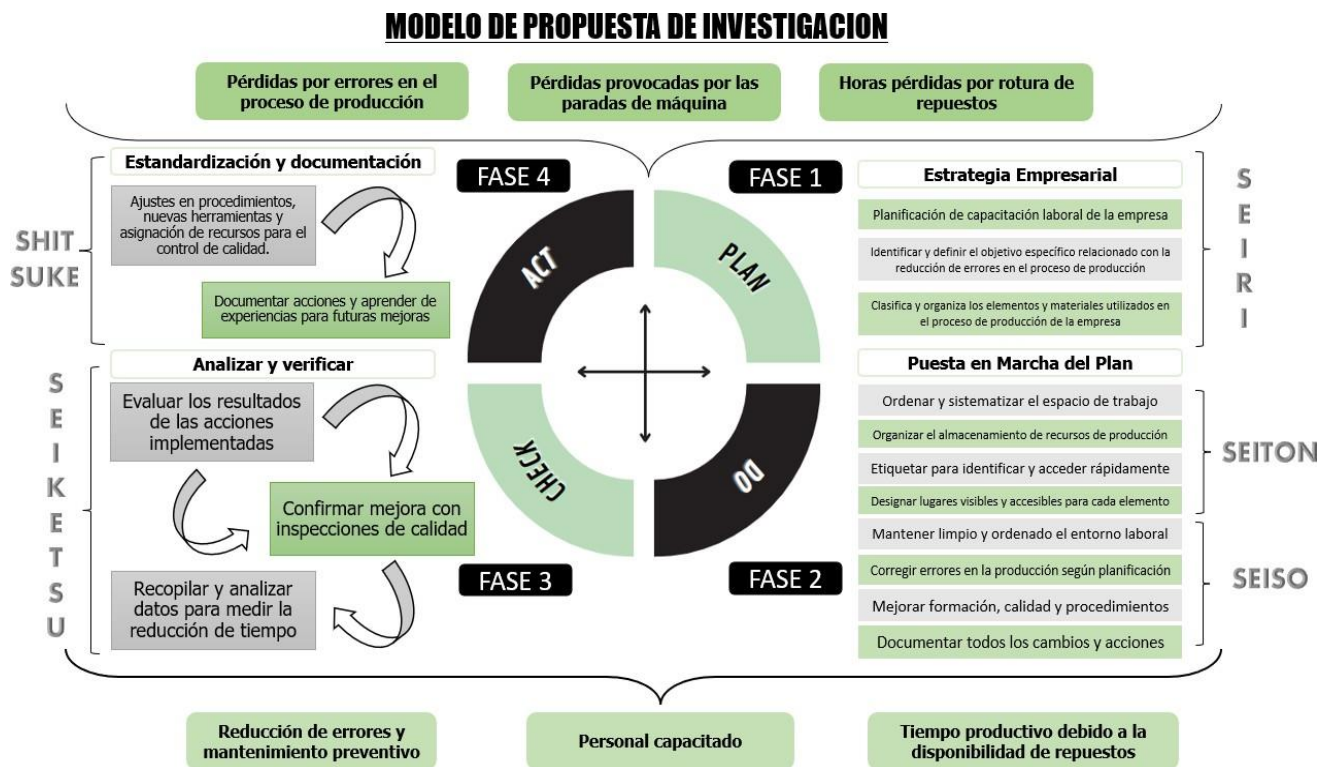


Fig. 1 Estructura del modelo propuesto  
Fuente: Elaboración propia

Según la información presentada en la TABLA I, se puede deducir que la propuesta del modelo implica el uso de dos

adecuadamente la técnica y las herramientas para la realidad de la empresa. Asimismo, se identificaron artículos científicos que

ayudan a proporcionar diversas soluciones a los problemas de la empresa.

C. Componentes

**PDCA EN LA PRODUCCIÓN EN EL SECTOR DE LA JOYERÍA**

La metodología PDCA fue seleccionada como una herramienta de gestión para la mejora de la calidad y eficiencia. Esta herramienta se implementará porque los procesos actuales no son suficientes para la producción adecuada de cadenas y entregar un producto de calidad que satisfaga al cliente. Asimismo, esta metodología se utiliza para la gestión de proyectos Lean, ya que no solo mejora la calidad, sino también los procesos según Deming. En esta ocasión, el ciclo se desarrolla con el objetivo de crear un nuevo proceso dentro del área de producción para minimizar errores y maximizar resultados. Para ello, procedemos a explicar la implementación de cada paso del proceso:

**Fase 1: (Plan)**


Consistiría en identificar y definir el objetivo específico relacionado con la reducción de errores en el proceso de producción. Esto podría incluir la reducción de defectos en las joyas, mejorar la precisión del diseño o disminuir retrabajos. Establecer metas claras y realistas que sean medibles.

Asimismo, se analiza la situación actual del proceso y los problemas que causan la dificultad para alcanzar los resultados planificados. Para esto, se utiliza la herramienta de Ishikawa para identificar el problema.

**Fase 2: (Do)**

Se deben implementar las acciones planificadas para abordar los errores en el proceso de producción. Esto podría implicar capacitación adicional para el personal, implementar controles de calidad más rigurosos, revisar y mejorar los procedimientos de trabajo, y utilizar herramientas y tecnologías que faciliten la precisión en la producción. Asegurarse de documentar cualquier cambio o acción tomada.

TABLA II  
INFORME DE CALIDAD DE LA MÁQUINA DE CADENAS

		<b>REGISTRO</b>										Código:	
		CONTROL INTERNO CADENA MAQUINA - CIEMMEO										Versión: 01	
REPORT DE CALIDAD DE CADENA MAQUINAS - CIEMMEO												Aprobado:	
ENCARGADO:												Fecha:	
FECHA	MAQUINA	PESO	K	VEL	PRUEBA 1			PRUEBA 2			PRUEBA 3		
					DATOS DE CADENA			DATOS DE CADENA			DATOS DE CADENA		
					Ø	P" 18	TEN	Ø	P" 18	TEN	Ø	P" 18	TEN

Fuente: Elaboración propia

**Fase 3: (Check)**

Se monitorean y evalúan los resultados obtenidos después de implementar las acciones. Se realizan inspecciones y

controles de calidad para verificar si se han reducido los errores en el proceso de producción. También se evalúa si se cumplen adecuadamente los criterios de calidad. Se deben recopilar datos relevantes y analizar los resultados para determinar si se ha logrado una reducción significativa en el tiempo.

**Fase 4: (Act)**

Basándose en los hallazgos de la etapa de verificación, se toman medidas correctivas o de mejora adicionales. Si los resultados obtenidos no cumplen con las metas establecidas, se analizan las posibles causas y se toman acciones para abordarlas. Esto puede implicar ajustes a los procedimientos, la implementación de nuevas herramientas o tecnologías, o la asignación adecuada de recursos para el control de calidad. Asegurándose de documentar todas las acciones tomadas y aprender de las experiencias para futuras mejoras.

**METODOLOGÍA S EN EL SECTOR DE LA JOYERÍA:**

**Seiri:**

En esta etapa, se clasifican y organizan los elementos y materiales utilizados en el proceso de producción de la empresa Arín S.A. Cualquier material o herramienta innecesaria u obsoleta que pueda estar ocupando espacio y dificultando el proceso debe ser eliminada. Solo se deben conservar los elementos esenciales para el trabajo y organizarlos eficientemente en áreas designadas.

**Seiton:**

Los elementos esenciales se organizan en el lugar de trabajo de manera ordenada y sistemática. Se crea un sistema de almacenamiento claro y lógico para las herramientas, materiales y repuestos utilizados en la producción. Esto se logra mediante la etiquetación de elementos, contenedores y marcadores para una fácil identificación y acceso rápido. Asegurándose de que cada elemento tenga su lugar designado y sea fácilmente visible y accesible para los trabajadores.

**Seiso:**

Mantener un entorno de trabajo limpio y ordenado en todo momento. Implementar prácticas regulares de limpieza y establecer estándares para mantener la limpieza en el área de producción de la empresa Arín S.A. Promover la responsabilidad de todos los operadores de mantener limpias y organizadas sus áreas de trabajo. Esto ayuda a prevenir errores y reduce el tiempo perdido buscando herramientas o materiales.

**Seiketsu:**

Se deben establecer normas y procedimientos claros para mantener la clasificación, el orden y las prácticas de limpieza con el tiempo. Crear listas de verificación y programas de inspección para garantizar que se sigan las normas establecidas. Realizar capacitaciones periódicas para los operadores y fomentar una cultura de trabajo ordenada y eficiente.

**Shitsuke:**

Promover la disciplina y la responsabilidad individual y colectiva para mantener los estándares 5S en la empresa Arín S.A. Esto involucra a todos los operadores en el proceso y fomenta la participación activa y el monitoreo constante de las prácticas 5S. Crear un sistema de recompensas y reconocimiento para aquellos que demuestren un compromiso excepcional en la implementación y mantenimiento de las prácticas 5S.

#### D. Indicadores

La aplicación de la métrica de Efectividad General de Equipos (OEE, por sus siglas en inglés) tiene como objetivo identificar herramientas y técnicas de gestión estratégica para mejorar la eficiencia de la producción. Este enfoque busca abordar las limitaciones de los marcos de mejora existentes y proporcionar a los profesionales de OEE orientación efectiva para implementar mejoras en la producción de joyas [21].

#### DISPONIBILIDAD DE PRODUCCIÓN

Objetivo: Medir el tiempo en el que la máquina está disponible y operativa para realizar su función o tarea específica.

$$Disponibilidad \% = \left( \frac{Tiempo\ de\ Producción\ Real}{Tiempo\ Programado} \right) 100 \quad (1)$$

Nota: Fórmula de disponibilidad de producción. Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

Consiste en llevar un registro del tiempo en el que la máquina está inactiva y analizar el tiempo en el que la máquina está en funcionamiento.

TABLA III  
SEMAFORIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE PRODUCCIÓN

Semaforización	Cumplimiento de la meta
Mínima	70% - 80%
Satisfactoria	85% - 90%
Sobresaliente	> 95%

Nota: Efectividad general de equipos (OEE) ajustado por costos. Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

#### RENDIMIENTO DE LA MÁQUINA

Objetivo: Medir la velocidad a la que la máquina está produciendo en comparación con su velocidad teórica máxima.

$$Rendimiento \% = \left( \frac{Producción\ Real}{Producción\ Teórica\ Máxima} \right) 100 \quad (2)$$

Nota: Fórmula de rendimiento de la máquina. Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

Consiste en análisis donde se obtienen a partir de encuestas a empleados y la implementación de criterios utilizados en la encuesta de rendimiento de la máquina.

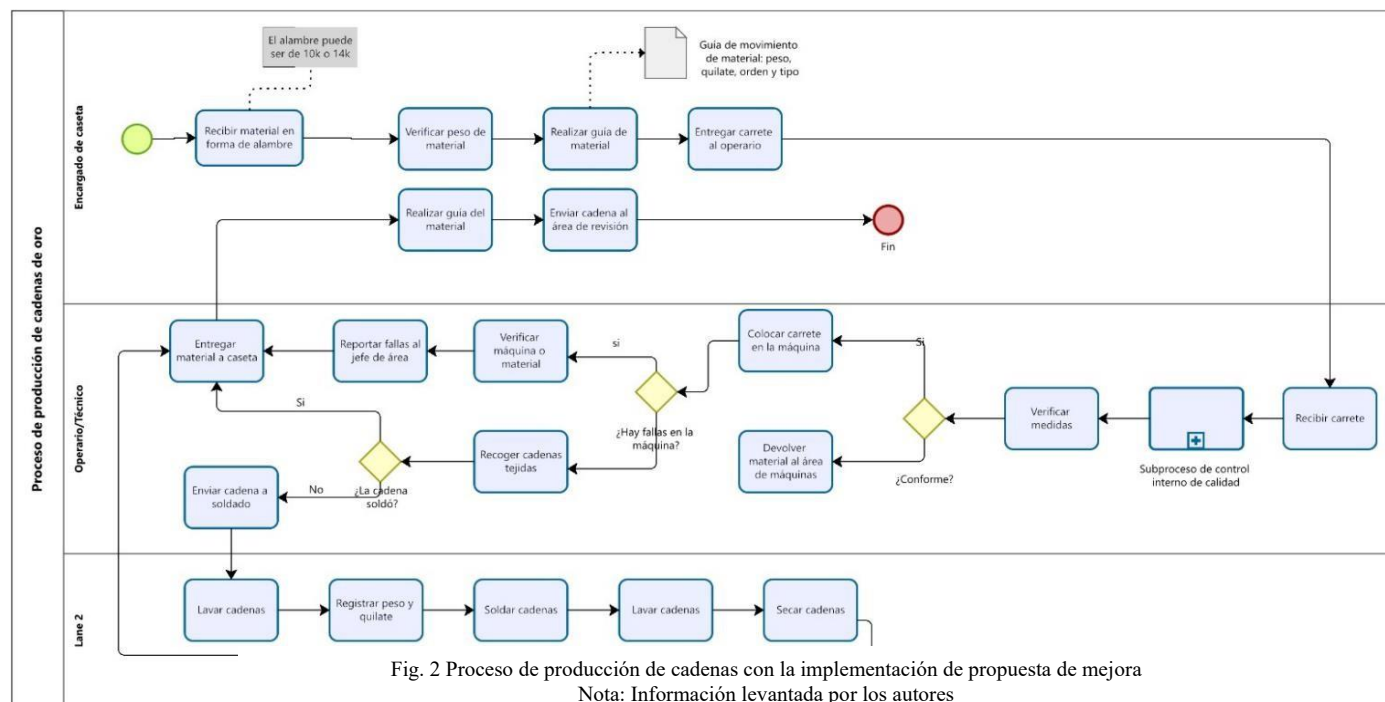


Fig. 2 Proceso de producción de cadenas con la implementación de propuesta de mejora  
Nota: Información levantada por los autores

TABLA IV  
SEMAFORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA MÁQUINA

Semaforización		Cumplimiento de la meta
Mínima		30% - 50%
Satisfactoria		55% - 85%
Sobresaliente		> 90%

Nota: Efectividad general de equipos (OEE) ajustado por costos.  
Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

### ÍNDICE DE CALIDAD DEL PROCESO

Objetivo: Medir la calidad de los productos producidos en comparación con los productos defectuosos o rechazados.

$$Calidad \% = \left( \frac{Productos\ Buenos}{Total\ de\ Productos\ Producidos} \right) 100 \quad (3)$$

Nota: Fórmula de índice de calidad. Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

Consiste en la inspección visual regular de productos o unidades fabricadas y la realización de auditorías para identificar defectos y problemas de calidad en el proceso de producción.

TABLA V  
SEMAFORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL PROCESO

Semariforización		Cumplimiento de la meta
Mínima		30% - 50%
Satisfactoria		55% - 80%
Sobresaliente		> 85%

Nota: Efectividad general de equipos (OEE) ajustado por costos.  
Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

## IV. VALIDACIÓN

Para la validación, aplicamos las metodologías y el estudio de caso para demostrar que la propuesta resuelve el problema identificado en las empresas del sector de la joyería. Como parte de la validación y para garantizar los resultados, se involucró el modelo de proceso presentado, que ha sido de suma importancia para la validación práctica.

Para ello, se desarrolló el registro del tipo de joyería de oro con mayor demanda donde se llevó a cabo la investigación. El ciclo PDCA, también conocido como ciclo de Deming, es una metodología que facilita la gestión de proyectos de mejora en una organización al promover un cambio cultural entre los empleados y fomentar el concepto de mejora continua para aumentar la competitividad de la empresa. Se refiere a la integración de una mejora en la forma de trabajar dentro de un proceso para promover mejores resultados. Por lo tanto, dentro del área de producción, se integró un nuevo informe de calidad y el subproceso interno de aseguramiento de la calidad para detectar si existen parámetros de material repetitivos y estimar medidas estándar [21].

De esta manera, para proceder con la validación, se utiliza el modelo teórico de la metodología PDCA, empleando los siguientes cuatro pasos:

### A. Planificar

En este paso, comenzamos con la contextualización del problema a estudiar, los procesos y los objetivos que queremos alcanzar para comenzar con el plan de acción. Una vez hecho esto, se debe definir lo primero que obstaculiza el proceso. En este estudio, el problema identificado es la baja eficiencia en la producción de cadenas de oro en una empresa de joyería. Para ello, el objetivo es mejorar los indicadores de Efectividad General de Equipos (OEE), como se muestra en la FIGURA 3.

$$OEE = Availability \times Performance\ efficiency \times Quality\ rate = A \times PE \times QR.$$

Fig. 3 Indicadores del OEE.

Nota: Fórmula del OEE. Tomado de Diaz. (2020), Asociación Interciencia, Chile.

## PROPUESTA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD INTERNO

Este subproceso se lleva a cabo con el propósito de reducir las fallas de material, por lo que este subproceso será de suma importancia para la mejora de los procesos. El subproceso comienza con la recepción del material y la medición del grosor del calibre. Si se producen errores, se debe notificar al jefe de sección para enviar el material al proceso anterior. De lo contrario, el material se coloca en la máquina para comenzar con el tejido de la cadena. Luego, se debe esperar a que la máquina produzca una distancia de 18 pulgadas, que debe ser pesada, medir el diámetro y la tensión de la cadena. Estos datos deben registrarse en un formulario de control de calidad interno para identificar patrones repetitivos y cómo varían las medidas según el calibre del alambre y el quilate.

### B. Ejecutar

## INFORME DE CALIDAD INTERNO DE LA MÁQUINA DE CADENAS

TABLA III  
Informe de calidad interno de la máquina de cadenas

FECHA		MAQUINA		PESO		K		VEL		REGISTRO										
										CONTROL INTERNO CADENA MAQUINA - CIEMMEO									Código: 001-1	
																			Versión: 01	
ENCARGADO: JOSE CORTEZ											Aprobado: Jefe de planta		Fecha: 01/05/2023							
										PRUEBA 1			PRUEBA 2			PRUEBA 3				
										DATOS DE CADENA			DATOS DE CADENA			DATOS DE CADENA				
										Ø	P" 18	TEN	Ø	P" 18	TEN	Ø	P" 18	TEN		
4/05/2023	Ciemmeo #4 - 0.16	441.46	10	80	2.22	2.5	10	2.22	2.5	10	-	-	-	-	-	-	-	-		
4/05/2023	Ciemmeo #5 - 0.16	208.83	10	70	2.23	2.6	15	2.23	2.6	15	-	-	-	-	-	-	-	-		
4/05/2023	Ciemmeo #6 - 0.18	841.60	14	70	2.49	3.45	16	2.49	3.45	16	-	-	-	-	-	-	-	-		
4/05/2023	Ciemmeo #7 - 0.18	465.00	10	70	3.58	3.37	16	3.58	3.37	16	-	-	-	-	-	-	-	-		
5/05/2023	Ciemmeo #4 - 0.16	132.00	10	60	2.45	2.54	7	2.45	2.54	7	-	-	-	-	-	-	-	-		
5/05/2023	Ciemmeo #5 - 0.16	245.30	10	65	2.32	2.5	17	2.32	2.5	17	2.32	2.5	17	2.32	2.5	17	2.32	2.5		
5/05/2023	Ciemmeo #4 - 0.16	463.30	10	50	2.44	2.46	13	2.44	2.46	13	2.44	2.46	13	2.44	2.46	13	2.44	2.46		
5/05/2023	Ciemmeo #6 - 0.18	132.20	10	54	2.58	3.5	15	2.58	3.5	15	2.58	3.5	15	2.58	3.5	15	2.58	3.5		
6/05/2023	Ciemmeo #4 - 0.16	445.23	10	60	2.22	2.48	13	2.21	2.5	12	2.21	2.5	12	2.21	2.5	12	2.21	2.5		
6/05/2023	Ciemmeo #8 - 0.23	720.10	14	70	2.46	12.2	16	2.45	2.45	15	2.45	2.45	15	2.45	2.45	15	2.45	2.45		
6/05/2023	Ciemmeo #9 - 0.23	258.30	10	75	3.02	12.97	20	3.01	13	21	-	-	-	-	-	-	-	-		
6/05/2023	Ciemmeo #7 - 0.18	489.40	10	80	2.45	6.2	16	2.46	6	16	-	-	-	-	-	-	-	-		
7/05/2023	Ciemmeo #3 - 0.14	836.50	10	65	1.95	2.3	10	1.94	2.28	9	-	-	-	-	-	-	-	-		

Nota: Información levantada por los autores



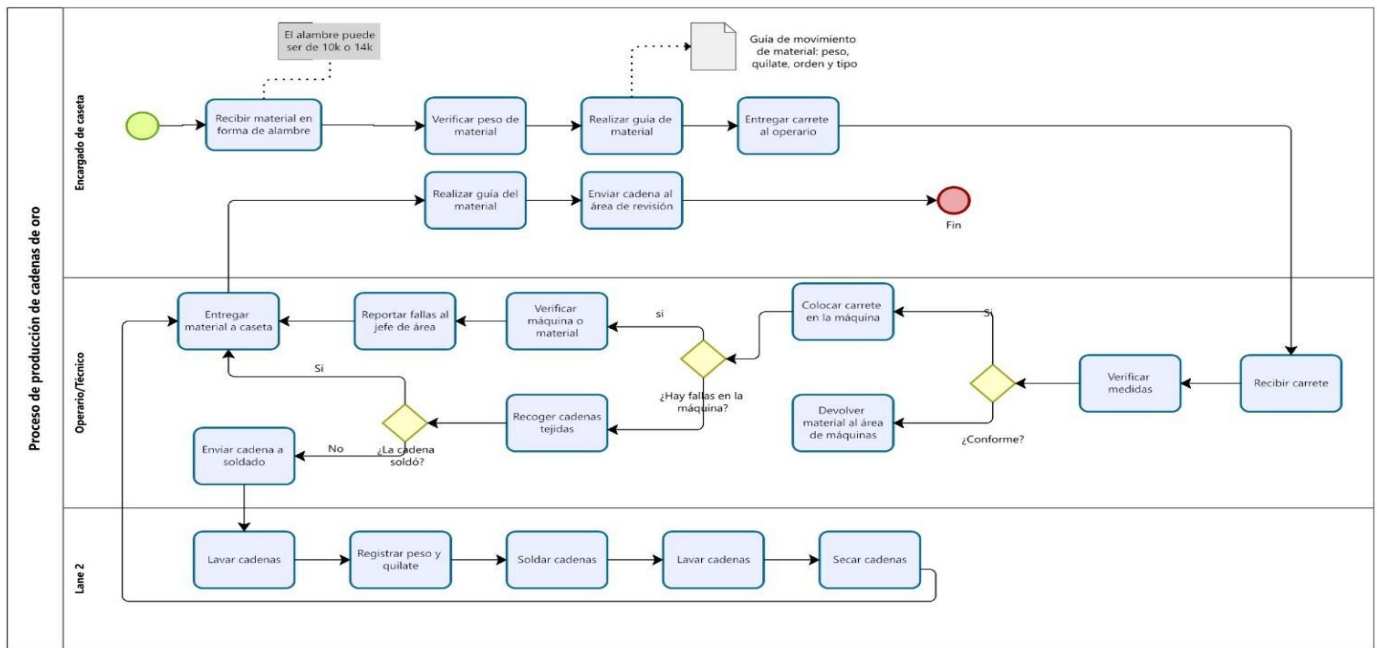


Fig. 4 Proceso de producción de cadenas  
Nota: Información levantada por los autores

En la TABLA III se muestra el control de calidad por tipo de cadena y calibre, donde se realiza la prueba de diámetro. Se toman medidas, se pesan 18 pulgadas y se mide la tensión o resistencia de la cadena en libras. De esta manera, fue posible determinar los parámetros mencionados. Estas pruebas se realizaron tres veces al día y cuando la máquina se detenía, ya que debido a problemas de producción no se podía detener por el operador o técnico.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de producción de la cadena mencionado anteriormente y el proceso de producción propuesto con el hilo de control de calidad propuesto para la empresa, como se puede ver en la FIGURA 4.

Además, el formato de control de calidad interno muestra su finalización, evitando productos defectuosos y aumentando la eficiencia en el cumplimiento de pedidos.

### C. Verificar

TABLA IV.  
NÚMERO DE HORAS PÉRDIDAS DEBIDO A DEFECTOS DE CALIDAD

MES	TIPO DE CADENA	CANTIDAD DE PRODUCCIÓN DAÑADA (GR)	HORAS DE PRODUCCIÓN POR PRODUCCIÓN DAÑADA	HORAS DISPONIBLES	% TIEMPO PERDIDO
Enero	Cadena Rope	2658	224	1364	16%

La TABLA IV muestra la cantidad dañada en gramos que se produjo, las horas de producción por producción dañada, las horas disponibles y el porcentaje de tiempo perdido.

Esta cantidad corresponde a un solo mes y a un tipo de cadena, lo que representa un costo de pérdida de S/. 248,603 y un 22.15%. Sin embargo, la empresa de joyería busca reducir los defectos de calidad al 5%. Por esta razón,

debemos incorporar el control de calidad dentro del área de producción para la identificación de material, máquina o repuestos defectuosos. Esto se prepara junto con la metodología 5S para el orden y la organización de repuestos esenciales para evitar daños en la máquina y prevenir fallas en el hilo de oro.

INDICADOR OEE (RESULTADOS DEL AÑO 2022)		INDICADOR OEE (RESULTADOS DEL AÑO 2023) CON MEJORAS	
% Disponibilidad =	$\frac{5,616.00}{7,392.00} \times 100 = 76\%$	% Disponibilidad =	$\frac{6,720.00}{7,392.00} \times 100 = 91\%$
% Rendimiento =	$\frac{119,136.00}{302,400.00} \times 100 = 39\%$	% Rendimiento =	$\frac{266,712.00}{302,400.00} \times 100 = 88\%$
% Calidad =	$\frac{43,417.00}{101,856.00} \times 100 = 43\%$	% Calidad =	$\frac{257,067.00}{266,712.00} \times 100 = 96\%$
OEE	13%	OEE	77%

Fig. 5 Comparación de Resultados  
Nota: Elaboración propia

Como se muestran los resultados del indicador de OEE, se pueden observar las cantidades producidas, el rendimiento de las máquinas al producir y la producción en buen estado, donde los resultados en comparación son de un mes seleccionado por año antes y después de la implementación del modelo. Por lo tanto, se verifica la funcionalidad de dicho modelo que la cantidad dañada, la disponibilidad y el rendimiento en la producción de joyas aumentaron.

### D. Act

Una vez obtenidos los resultados, continuamos el mismo proceso con los diferentes tipos de cadenas para aumentar la

eficiencia de producción. A su vez, implementamos nuevas actividades durante la mejora del proceso, como la asignación de nuevas responsabilidades, la capacitación y la adquisición de nuevos equipos. Para ello, se propone analizar los nuevos procesos de otras cadenas donde se puedan monitorear las medidas, el peso y el diámetro de las cadenas con aseguramiento de calidad, siendo estos datos posibles parámetros. Dentro del desarrollo, se deben tener en cuenta los riesgos y oportunidades que puedan surgir, ya que los procesos son diferentes. Es decir, monitorear indicadores y medir el progreso hacia objetivos como el cumplimiento de pedidos en su fecha de exportación. Además, evaluar los resultados y documentar las lecciones aprendidas durante este proceso es valioso para futuras mejoras y un ciclo continuo de PDCA.

## V. DISCUSIÓN

Los resultados de la implementación del modelo propuesto nos permitieron mejorar los siguientes aspectos:

### AUMENTO EN LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN

La implementación del ciclo PDCA y la metodología 5S permitieron a la empresa de joyería mejorar significativamente su eficiencia de producción. Los procesos de fabricación de cadenas de oro se volvieron más ágiles y eficientes, lo que resultó en una mayor producción con los mismos recursos.

### REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS Y ERRORES

La metodología 5S contribuyó a la eliminación de desperdicios, la optimización del espacio de trabajo y la reducción de errores en la producción de cadenas de oro.

### COMPROMISO DEL PERSONAL

La implementación del ciclo PDCA y 5S también tuvo un impacto positivo en el compromiso del personal. Los empleados se sintieron más involucrados en la mejora continua de procesos y contribuyeron activamente con ideas y sugerencias para optimizar la eficiencia.

Esto nos permite realizar mejoras continuas en otros procesos y áreas de una empresa de joyería. Por lo tanto, para investigaciones futuras en el ámbito de la mejora de la eficiencia de producción en empresas de joyería peruanas mediante la aplicación del ciclo PDCA y la metodología 5S, se sugiere considerar una serie de aspectos. En primer lugar, sería valioso realizar un análisis más profundo de los factores culturales y organizativos que influyen en la adopción de estas metodologías en la industria joyera peruana, para comprender mejor las barreras y facilitadores específicos. Asimismo, sería beneficioso explorar en detalle la aplicación de estas metodologías en empresas de diferentes tamaños, desde talleres artesanales hasta empresas más grandes, para evaluar su adaptabilidad y eficacia en contextos diversos. Además, se podría investigar la interacción entre la implementación del ciclo de mejora continua y la metodología 5S con otros sistemas de gestión de calidad o programas de mejora continua en la

industria joyera. Finalmente, se podría evaluar el impacto a largo plazo de estas mejoras en términos de sostenibilidad y responsabilidad social, considerando aspectos como el uso de materiales sostenibles y la gestión responsable de residuos en la producción de joyas. Estos temas proporcionarían una base sólida para futuras investigaciones y contribuirían al avance del conocimiento en este campo.

Cabe mencionar que la implementación de esta metodología también se llevó a cabo con otros tipos de cadenas de oro. Sin embargo, este proceso solo se aplicó a un tipo más de cadena porque fue más extenso al aplicar las medidas, ya que tiene un proceso adicional. Pero se obtuvieron resultados de acuerdo con la maquinaria utilizada, la producción planificada y la cantidad de cadena dañada. A continuación, se muestran los resultados de otro escenario en la FIGURA 5.1, en el cual se obtuvieron indicadores en el rango medio, ya que el proceso de producción de esta cadena es el mismo que el propuesto en el estudio de caso.

INDICADOR OEE (RESULTADOS DEL AÑO 2022)	INDICADOR OEE (RESULTADOS DEL AÑO 2023) CON MEJORAS
% Disponibilidad = $\frac{2,456.00}{4,892.00} \times 100 = 52\%$	% Disponibilidad = $\frac{2,456.00}{4,892.00} \times 100 = 89\%$
% Rendimiento = $\frac{105,361.00}{207,897.00} \times 100 = 51\%$	% Rendimiento = $\frac{105,361.00}{207,897.00} \times 100 = 83\%$
% Calidad = $\frac{40,135.00}{95,631.00} \times 100 = 42\%$	% Calidad = $\frac{40,135.00}{95,631.00} \times 100 = 73\%$
OEE 11%	OEE 54%

Fig. 6 Indicadores de OEE aplicados en otro tipo de cadena  
Nota: Elaboración propia

## V. CONCLUSIONES

Con los resultados de la tabla anterior, se concluye que la implementación del modelo propuesto en la empresa bajo estudio aumentó la eficiencia. La implementación de las metodologías 5S y ciclo Deming permitirá optimizar los procesos en la empresa de joyería. La eliminación de desperdicios, la organización del espacio de trabajo y la estandarización de tareas contribuirán a una mayor eficiencia operativa.

La metodología PDCA, al centrarse en la planificación y control de procesos, permitirá identificar áreas de mejora y realizar los ajustes necesarios para garantizar la calidad de los productos de joyería. La implementación de controles de calidad y retroalimentación constante contribuirá a la mejora continua.

La metodología 5S se centra en la organización y limpieza del entorno de trabajo. Al implementar esta metodología, se crearán condiciones seguras y ordenadas que reducirán los riesgos de accidentes laborales y mejorarán la moral de los empleados.

La mejora en la calidad del producto, la reducción en los tiempos de entrega y la eficiencia operativa general, derivados de la implementación de estas metodologías, contribuirán a una mayor satisfacción del cliente. Los clientes tendrán acceso a productos de calidad, entregados a tiempo y respaldados por un servicio eficiente.

Es importante implementar el plan de acción del modelo propuesto, analizando el estado de los procesos y el entorno laboral actual, ya que se debe tener en cuenta que, al implementar cambios, deben realizarse paso a paso y siempre monitorear cada nueva actividad para mejorar los resultados.

La metodología propuesta tiene la intención de influir en diferentes empresas dedicadas a la fabricación de joyería, ya que es una de las actividades más populares en exportaciones, por lo que es necesario tener una mayor eficiencia en la producción y cumplir con los pedidos de los clientes.

#### REFERENCIAS

[1] M. Tesén, «Proposal to improve the jewelry manufacturing process to increase the level of production in a jewelry store in Lambayeque», 2021. Available: [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4024/1/TL\\_LopezRodriguezAlicia.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4024/1/TL_LopezRodriguezAlicia.pdf) M. King, B. Zhu, and S. Tang, «Optimal path planning,” *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.

[2] Adex, «Private sector joins to give added value to gold». 2023. Available: <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/sector-privado-se-une-para-dar-valor-agregado-al-oro/>

[3] S. Pérez, «Peru could export more than US\$ 600 million in jewelry in 5 or 10 years», 2020. Available: <https://gestion.pe/economia/peru-podria-exportar-mas-de-us-600-millones-en-joyas-en-5-o-10-anos-estima-adex-noticia/?ref=gesr>

[4] Cien, «Weekly commercial intelligence note», 2021. Available: [https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2021/06/CIEN\\_NSIM1\\_Julio\\_2021-Joyer%C3%ADa.pdf](https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2021/06/CIEN_NSIM1_Julio_2021-Joyer%C3%ADa.pdf)

[5] I. Nava, M. León, I. Toledo & J. Kido, «5S application methodology», *Journal of Social Investigations*, vol.3, no.8, 2017. Available: [https://www.ecorfan.org/republicofnicaragua/researchjournal/investigaciones-sociales/journal/vol3num8/Revista\\_de\\_Investigaciones\\_Sociales\\_V3\\_N8\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/republicofnicaragua/researchjournal/investigaciones-sociales/journal/vol3num8/Revista_de_Investigaciones_Sociales_V3_N8_3.pdf)

[6] J. Hernández, «Proposal for implementation of the 5s continuous Improvement in a repair service center in bogotá d.c -Colombia», Thesis Aeronautical Engineering, Militar University of New Granada, 2016. Available: <https://repositorio.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15453/Hernandez%20Casta%20Jesica%20Andrea%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[7] G. Mendoza, «Proposal Of The 5s Methodology In The Company Andec.Sa. In Order To Improve Work Methods And Productivity In The Area Of Machine Tools», Industrial Engineering Thesis, Guayaquil University, 2015. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/13318/1/CORRECCION%20PDF.pdf>

[8] C. Luján, «Implementation of the 5s Methodology to increase the operability at the General Services Factory Olmedo E.I.R.L.», Thesis Industrial Engineering, Private University Antenor Orrego, 2015.

[9] J. Defeo, «Juran method. Mexico: McGraw Hill», 2008. Available: <https://sistemasdecalidad6to.weebly.com/uploads/4/6/5/8/46581171/metodo-juran-an%C3%A1lisis-y-planeaci%C3%B3n-de-la-calidad-juran-5ta.pdf>

[10] T. Md, R. Mustafizur, D. Kumar & K. Taposh, «Minimization of Sewing Defects of an Apparel Industry in Bangladesh with 5S & PDCA», *American Journal of Industrial Engineering*, vol 5, no.1, 2018. Available: [https://www.researchgate.net/publication/323858091\\_Minimization\\_of\\_Sewing\\_Defects\\_of\\_an\\_Apparel\\_Industry\\_in\\_Bangladesh\\_with\\_5S\\_P\\_DCA](https://www.researchgate.net/publication/323858091_Minimization_of_Sewing_Defects_of_an_Apparel_Industry_in_Bangladesh_with_5S_P_DCA)

[11] I. Díaz, «Proposal for continuous improvement applying the PDCA technique to control warranty costs of the company RESEMIN S.A.», *Work Of Professional Sufficiency*, Inca Garcilaso de la Vega University, Lima, 2021. Available: [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/5715/TRSUFICIENCIA\\_D%20ZARAGOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/5715/TRSUFICIENCIA_D%20ZARAGOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[12] J. Guerra, «Implementation of the PDCA methodology to improve the quality of service, company Caramelo & Chocolate S.A.C.», Thesis To Obtain The Professional Title Of Industrial Engineer, Cesar Vallejo University, 2020. Available: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64783/Guerra\\_CJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64783/Guerra_CJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[13] E. Bahamonde and L. Garcia, «Standardization of processes to Increase productivity in the post-production process of parchment coffee through the application of the PDCA methodology in a coffee farm in Villa Rica», *Work Of Professional Sufficiency*, Peruvian University of Applied Sciences, Lima, 2020.

[14] H. T. Rocha, L.P. Ferreira & F.J.G Silva, «Analysis and Improvement of Processes in the Jewelry Industry», *Procedia Manufacturing*, 17, 640–646, 2018. Available: <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.10.110>

[15] C. Rosa, F. J. G. Silva, e L. P. Ferreira, «Improving the Quality and Productivity of Steel Wire-rope Assembly Lines for the Automotive Industry», *Procedia Manuf.*, vol. 11, n. June, pp. 1035–1042, 2017.

[16] R. Tuertmann, H. Gloeckner, B. Falk & R. Schmitt, «Conceptual modelling of the Failure management process in the manufacturing industry». *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(9– 10), 1041–1053. 2017. Available: <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1309128>

[17] Ł. Sobaszek, A. Gola & A. Świć, «Time-based machine failure prediction in multi-machine manufacturing systems», *Eksplotacja i Niezawodność*, 22(1), 52–62. 2020. Available: <https://doi.org/10.17531/EIN.2020.1.7>

[18] Y. Gao, Y. Feng, Z. Zhang, J. Tan, «An optimal dynamic interval preventive maintenance scheduling for series systems», *Reliability Engineering & System Safety* 2015; 142: 19–30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.032>.

[19] W. Liao, X. Zhang, M. Jiang, «An optimization model integrated production scheduling and preventive maintenance for group production». *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2016*; December, 936–940, <http://dx.doi.org/10.1109/IEEM.2016.7798015>

[20] L. Xiao, S. Song, X. Chen & D.W. Coit, «Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 146, 68–78. <https://doi.org/10.1016/J.RESS.2015.10.013>

[21] P. Tsarouhas, «Overall equipment effectiveness (OEE) evaluation for an automated ice cream production line: A case study». 2020. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-03-2019-0126/full/html>