

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.200>

Mejora de la Eficiencia General de los Equipos (EGE) en la etapa de prensado: Un estudio de caso en la industria de harina de pescado

Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) in the pressing stage: A case study in the fishmeal industry

Juan Carlos Muyulema-Allaica

jmuyulema@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9663-8935>

Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

Dennis Enrique Rodríguez-Suárez

jmuyulema@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3557-7462>

Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

Wellington Slatter Apolinario-Floreano

wellington.apolinariof@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-1742-885X>

Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

Gerardo Antonio Herrera-Brunett

jmuyulema@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5948-6998>

Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

Artículo recibido: 15 marzo 2024

Aceptado para publicación: 26 mayo 2024

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

La industria de la harina de pescado enfrenta desafíos notables en términos de eficiencia operativa, lo que destaca la necesidad de implementar estrategias y herramientas de optimización para mejorar los procesos. Este estudio se centra específicamente en el proceso de prensado, con el fin de optimizar el cambio de formato de la prensa de doble husillo mediante la aplicación de la metodología SMED para aumentar el rendimiento de la producción de harina de pescado, a través de un enfoque de estudio de caso basado en la empresa Rosmei S.A, ubicada en la parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena-Ecuador. Para el análisis de datos, se emplearon fichas de observación respaldadas por literatura científica, lo que permitió desarrollar una propuesta de mejora que logró reducir el tiempo total de cambio en 30.3 minutos, resultando en un incremento del 6% en la Eficiencia General de los Equipos (EGE). Esta mejora sitúa el desempeño por encima de la categoría estándar previa a la aplicación de SMED. La consecución del objetivo propuesto validó que la reducción de los tiempos de cambio no solo aumenta el EGE, sino que también contribuye a la estabilidad y control del proceso de fabricación de harina de pescado.

Palabras clave: optimización, proceso de prensado, cambio de formato, SMED, rendimiento

ABSTRACT

The fishmeal industry faces remarkable challenges in terms of operational efficiency, highlighting the need to implement optimization strategies and tools to improve processes. This study focuses specifically on the pressing process, in order to optimize the format change of the twin screw press by applying the SMED methodology to increase the yield of fishmeal production, through a case study approach based on the company Rosmei S.A, located in the parish of Chanduy, province of Santa Elena-Ecuador. For data analysis, observation sheets supported by scientific literature were used to develop an improvement proposal that reduced the total changeover time by 30.3 minutes, resulting in a 6% increase in Overall Equipment Effectiveness (OEE). This improvement places the performance above the standard category prior to the application of SMED. The achievement of the proposed objective validated that the reduction of changeover times not only increases OEE, but also contributes to the stability and control of the fishmeal manufacturing process.

Keywords: optimization, pressing process, changeover, SMED, performance

INTRODUCCIÓN

La industria acuícola ha sido objeto de evolución constante. Con el rápido aumento de la población mundial y su demanda de productos del mar, la acuicultura es la mejor manera de producir proteína animal, esta industria está produciendo alimentos acuáticos a una tasa de crecimiento del 7,5% anual desde 1970 (Hussain et al., 2024). En particular, por medio de la producción de harina de pescado se ha constituido una fuente nutricionalmente enriquecida de proteína animal de alta calidad (Mahamud et al., 2022). Debido a esto y al entorno cada vez más competitivo actual, las empresas industriales tienen que cumplir los requisitos de los clientes para garantizar la calidad, flexibilidad y plazos de entrega (Kumar et al., 2022).

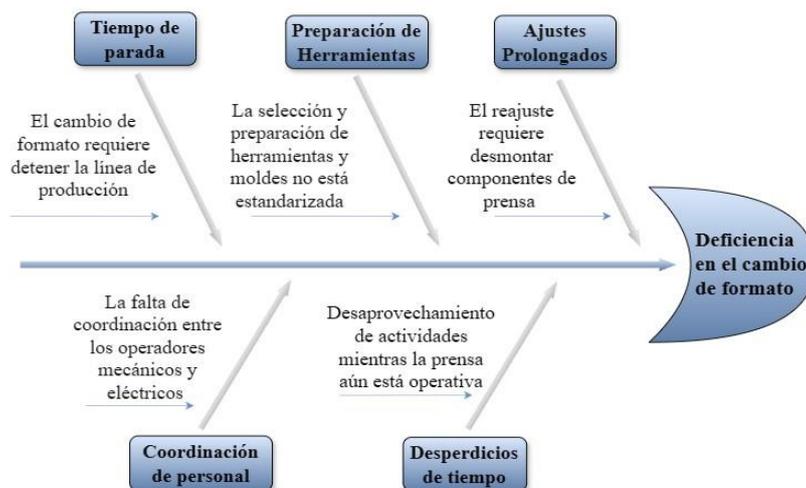
Según Sarker (2020), alrededor de 19 millones de toneladas de pescado silvestre, cerca del 20% de la cantidad global capturada, se convierten cada año en harina y aceite de pescado. En Sudamérica, los principales productores de harina de pescado son Perú, Chile y Ecuador, representando entre los 3 más del 60% de la producción mundial (The Marine Ingredients Organisation, 2024). Este último ha experimentado un notable aumento en su producción. De acuerdo con un estudio de la Cámara Nacional de Pesquería (2020), la industria de la harina de pescado ha pasado a ser la segunda más importante en el sector pesquero, después de la producción de atún en conserva.

El estudio se enfoca en el proceso de prensado, donde un prensado eficiente aumenta el rendimiento de producción, minimiza desperdicios y mejora la eficiencia general. Sin embargo, se reconocen desperdicios en toda cadena productiva que ralentizan la producción. Para dicho propósito se toma como caso de estudio a la empresa Rosmei S.A, ubicada en la parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena-Ecuador, dedicada a la producción de harina y aceite de pescado, se identificaron desperdicios significativos debido a tiempos de espera durante los cambios de formato en la prensa.

Bajo este contexto, se realizó un diagnóstico empleando el diagrama de Ishikawa con el método de estratificación para identificar y detallar las causas potenciales de los tiempos improductivos en esta etapa (ver gráfico).

Gráfico 1

Diagrama de Ishikawa por estratificación



Nota: Elaborado por autor

Bajo esta óptica, el problema identificado se debe principalmente a las cinco causas especificadas en el diagrama. Dependiendo del tipo de materia prima a procesar, se realiza un cambio de formato en la prensa, ajustando las revoluciones de los husillos, ya sea aumentándolas o disminuyéndolas. Este cambio es prolongado debido a la necesidad de cambiar poleas y ajustar el funcionamiento del motor, implicando un reajuste completo del sistema y la detención de toda la cadena de procesamiento. En consecuencia, estos frecuentes reequipamientos incrementan los tiempos de preparación, impactando negativamente en el rendimiento de la producción de harina de pescado.

Diversas empresas implementan una producción ajustada mediante la combinación de diversas técnicas, lo que mejora la eficiencia en la cadena de producción y fomenta una mejora continua en todas las etapas del proceso productivo. Esto también incrementa los indicadores clave de rendimiento, calidad, entrega y productividad (Martínez & Arboleda, 2021). Entre las herramientas de manufactura ajustada, el intercambio de troqueles en un solo minuto (SMED) se considera una herramienta eficiente para reducir los tiempos de cambio o las configuraciones de la máquina al convertir los pasos que se realizan mientras la máquina está parada (actividades internas) en pasos que se pueden realizar mientras la máquina está en funcionamiento (actividades externas) (Haddad et al., 2021). El objetivo de este trabajo es aplicar SMED en la etapa de prensado para analizar el efecto de la aplicación de dicha estrategia en la disminución del tiempo de preparación del cambio de troqueles de una prensa de doble husillo. En consecuencia, se mejora la eficiencia general de los equipos (EGE) o OEE, por sus siglas en inglés (Overall Equipment Efficiency).

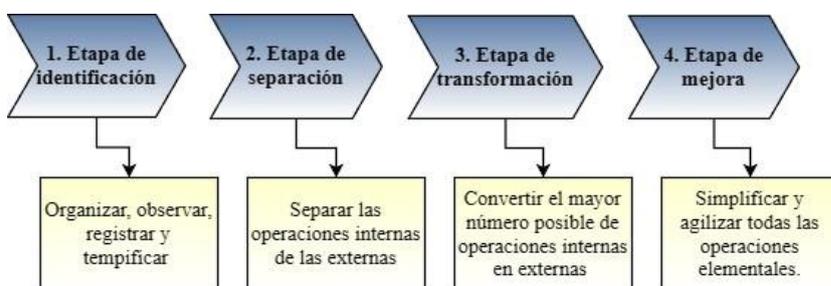
MATERIALES Y MÉTODOS

Para este propósito, se llevó a cabo la investigación utilizando un enfoque cuantitativo con el objetivo de alcanzar un estudio descriptivo y correlacional. Se empleó un diseño no experimental transeccional (Starbuck, 2023), recolectando información sobre las actividades relacionadas al prensado y al cambio de formato. Este diseño es adecuado para la observación y recopilación de datos en un período y ubicación específicos.

La elaboración del procedimiento metodológico se basa en las investigaciones de Haddad et al. (2021) y Malindzakova et al. (2021), que tratan sobre la creación de un modelo de optimización mediante la metodología SMED en el proceso de extrusión. Esta fundamentación asegura la aplicabilidad y coherencia del enfoque metodológico adoptado en este estudio, estableciendo una base sólida para la investigación. El gráfico 2 ilustra el plan estructurado en las 4 etapas del método SMED, seguido de una descripción detallada de los procedimientos a implementar. Este plan tiene como objetivo conducir de manera metódica y sistemática los procedimientos para la propuesta de mejora, basándose en los datos obtenidos.

Gráfico 2

Etapas del método SMED



Nota: Elaborado por autor

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para implementar una estrategia orientada al rendimiento de una máquina, el paso crucial es identificar y analizar los procesos, así como los impactos de los posibles tiempos de inactividad en la eficiencia productiva. Tsarouhas (2020) indica que el OEE es el indicador de desempeño más ampliamente utilizado, compuesto por tres elementos principales: disponibilidad, desempeño y calidad. Por lo tanto, el OEE se puede calcular utilizando la ecuación (1):

$$OEE (\%) = D \times C \times R \times 100 \% \quad (1)$$

D = disponibilidad *C* = calidad *R* = rendimiento

Basándose en esta métrica de rendimiento, se debe enfocar la atención en los tiempos de inactividad o fallos, los cuales tienen un impacto significativo en la disponibilidad, eficiencia operativa y calidad del producto. De acuerdo con Haddad et al. (2021) estos tres elementos del OEE se pueden determinar mediante las siguientes formulaciones:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(TTD - TI)}{TTD} \quad (2)$$

$$\text{Calidad} = \frac{(NUP - ND)}{NUP} \quad (3)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{NUP}{PNU} \quad (4)$$

Tabla 1

Codificación de componentes de OEE

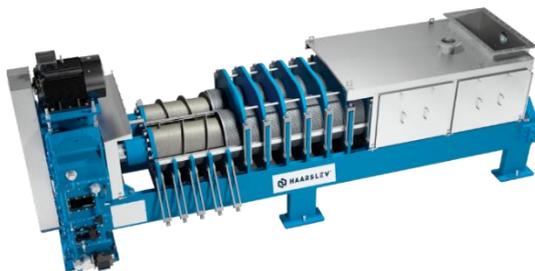
TTD	Tiempo total disponible
TI	Tiempo de inactividad
NUP	Número de unidades producidas
ND	Número de defectos
PNU	Posible número de unidades

Diagnóstico inicial del proceso de prensado

En la empresa sujeta a este estudio, se examinó exclusivamente el proceso de prensado. Se aplicó un enfoque de estudio de caso debido a su capacidad para analizar la relación de causa y efecto en un entorno real (Malindzakova et al., 2021). La prensa tiene una capacidad de 20 toneladas. El motor eléctrico responsable de su funcionamiento es de 70 HP y 1750 RPM, adecuado para operar a altas velocidades sin contratiempos. La velocidad de funcionamiento de la prensa puede oscilar entre 4 y 9 revoluciones por minuto, dependiendo de la consistencia del pescado a procesar. Cada variación de materia prima requiere ajustes en las revoluciones de los husillos. Para lograrlo, es necesario cambiar poleas, regular piñones y calibrar el motor y el reductor de la máquina.

Imagen 1

Prensa de doble husillo



Fuente: Haarslsev

En consecuencia, cualquier modificación en la maquinaria implica una paralización completa de la fabricación, dada la naturaleza del sistema de producción en masa y la interdependencia entre los procesos.

Tiempo de cambio actual del proceso de prensado

Después de identificar el cuello de botella, se emplean fichas de observación del tiempo de cambio como herramienta para recopilar datos. Esta lista detalla los pasos ejecutados por el operario y las acciones llevadas a cabo por la máquina.

Se registró con precisión la duración de cada paso del cambio para identificar las áreas donde se generan pérdidas de tiempo. La duración promedio de un cambio es de 111,9 minutos, lo que representa aproximadamente el 7.79% del tiempo total de producción disponible en un día y puede ocurrir diariamente. Por consiguiente, la implementación del método SMED en este proceso de cambio específico es altamente apropiada con el propósito principal de reducir el tiempo requerido para el cambio.

Dicho esto, se logró registrar sistemáticamente la duración temporal de 33 pasos, lo que permitió clasificarlos en actividades internas y externas (ver Tabla 2).

Tabla 2

Tiempo de cambio antes de la aplicación de SMED

Ficha de observación: Cambio de formato antes del SMED					
N°	Descripción del proceso	Tiem po, s	Actividades		Observaciones
			Inter nas	Exte rnas	
1	Apagar la prensa	9,4	X		
2	Apagar cocinador	13,5	X		
3	Apagar los transportadores helicoidales conectados a la prensa	9	X		Se deben apagar en secuencia.
4	Apagar los transportadores helicoidales conectados al secador	10,2	X		Se deben apagar en secuencia.
5	Apagar el resto de los equipos	19,2	X		
6	Verificar que la prensa esté detenida	6,8	X		
7	Verificar sistema de alimentación de la prensa	8,9	X		Quedan restos de pescado cocinado.
8	Verificar el sistema de transporte de llegada	6,9	X		Quedan restos de pescado cocinado en los transportadores.
9	Verificar el sistema de transporte de salida	9,5	X		Quedan restos de pescado cocinado en los transportadores.
10	Trasladar y preparar manguera de agua	86,7	X		El operador debe recorrer aproximadamente 10 m.
11	Limpiar el sistema de alimentación de la prensa	104,5	X		
12	Limpiar los transportadores helicoidales que conectan con la prensa	185,4	X		Se apertura la tapa de las canaletas y se limpia por completo.

1 3	Limpiar los transportadores helicoidales conectados al secador	184, 6	X		Se apertura la tapa de las canaletas y se limpia por completo.
1 4	Preparar y trasladar herramientas a la prensa	111, 8	X		Ausencia de pre-alistamiento
1 5	Aperturar el interior de la prensa	169, 3	X		
1 6	Limpiar la prensa con agua a presión	182, 7	X		
1 7	Desmontar bandas de distribución	439, 6	X		Reajuste prolongado
1 8	Desmontar poleas	458, 7	X		Reajuste prolongado
1 9	Regular motor de prensa para el nuevo formato	309, 9	X		Reajuste prolongado
2 0	Montar las nuevas poleas	336, 2	X		Reajuste prolongado
2 1	Colocar las bandas de distribución	388, 8	X		Reajuste prolongado
2 2	Verificar y preparar la materia prima	201, 4	X		
2 3	Encender calderos para generar vapor al cocinador	653, 5	X		El operador recorre 30 metros
2 4	Esperar que se complete 80 PSI y 80 °C en el caldero	861, 8	X		
2 5	Aperturar llave de vapor al cocinador	129, 8	X		
2 6	Encender el transportador helicoidal que alimenta al cocinador	106, 5	X		
2 7	Encender y procesar con la cocina industrial	679, 6	X		
2 8	Encender el sumidero de prensa	48,9	X		
2 9	Encender lo transportadores helicoidales que alimentan la prensa	18,6	X		Se encienden uno después del otro
3 0	Encender la prensa	223, 1		X	
3 1	Verificar en el amperímetro que no se supere los 20 A.	100, 7		X	
3 2	Encender transportadores helicoidales conectados al secador	16,2		X	Se encienden uno después del otro
3 3	Empezar a procesar en la prensa	622, 4		X	
TOTAL		671	29	4	
		4,1			

Se determinó que la duración de las actividades internas fue de 5751,7 segundos, es decir, 95,86 minutos (1.6 h), mientras que las actividades externas fue 962,4 segundos (16,4 min). Las actividades internas representan 29 pasos, mientras que las externas solo 4. Por lo cual, el 85,67% del tiempo de cambio, pertenece a elementos internos, lo que

significa que estas actividades se realizaron mientras la línea de producción estaba parada. Y el 14,33% de las actividades realizadas pertenecen a elementos externos y se realizaron mientras la línea de producción se pone en marcha.

Evaluación de OEE antes de aplicación SMED

Con el fin de evaluar el rendimiento operativo actual en la planta, se calcularon los componentes del OEE utilizando las ecuaciones (2), (3) y (4).

Disponibilidad (D)

Se consideró que el número medio diario de cambios es de 2, el tiempo de inactividad semanal programado es de 2 horas, y los días operativos son 288. Esto se debe a que la fábrica sigue un calendario basado en temporadas de oscura y clara. Durante la temporada de oscura, se trabaja 22 días al mes, mientras que los restantes se consideran de clara. No obstante, Rosmei S.A opera durante 2 días adicionales debido a la adquisición de materia prima de otras industrias. Con esa base de información ya es posible determinar el Tiempo total disponible (TTD) y el Tiempo de inactividad (TI):

$$TTD = \frac{288 \text{ días}}{\text{año}} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} = 6912 \text{ h/año}$$

$$TI = \frac{2 \text{ h}}{\text{sem}} \times \frac{52 \text{ sem}}{\text{año}} = 104 \text{ h/año}$$

Ambos resultados son componentes para el cálculo de la disponibilidad. Para calcular el tercer componente, tiempo total de cambio (TTC), se considera el intervalo en el que la prensa se apaga hasta que se reanuda la producción (95,86 minutos), equivalente a 1.6 horas, el cuál es tomado del diagnóstico inicial de SMED. De este modo, ya es posible calcular el tiempo total de cambio anual de la prensa.

$$TTC = \frac{1,6 \text{ h}}{\text{cambio}} \times \frac{2 \text{ cambios}}{\text{día}} \times \frac{24 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{\text{año}} = 921,6 \text{ h/año}$$

$$D = \frac{\left(6912 \frac{\text{h}}{\text{año}} - 104 \frac{\text{h}}{\text{año}} - 921,6 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right)}{6912 \frac{\text{h}}{\text{año}}}$$

$$D = 0,8516 \times 100 = \mathbf{85,16\%}$$

La disponibilidad del 85,16% refleja el porcentaje del tiempo en que la prensa estuvo operativa en relación con el tiempo total disponible para producción. Este valor sugiere que existieron períodos de inactividad de la prensa, asociados principalmente al tiempo necesario para efectuar los cambios de formato.

Calidad (C)

La producción mensual promedio de harina de pescado es de 8,500 sacos, cada uno pesa 50 kg, lo que equivale a un total de 425 toneladas por mes.

- ✓ Producción media por día = 425 T/mes = 17,71 T/día
- ✓ Promedio de desperdicio por día = 250 kg/día = 0.25 T/día

$$NUP = \frac{17,71 T}{día} \times \frac{24 días}{mes} \times \frac{12 mes}{año} = 5100 T/año$$

$$ND = \frac{0,25 T}{día} \times \frac{24 días}{mes} \times \frac{12 mes}{año} = 72 T/año$$

$$C = \frac{\left(5100 \frac{T}{año} - 72 \frac{T}{año}\right)}{5100 \frac{T}{año}}$$

$$C = 0,9859 \times 100 = \mathbf{98,59\%}$$

La calidad del 98,59% representa la proporción de productos conformes en relación con el total producido. Este alto porcentaje indica que la harina de pescado cumple consistentemente con los estándares de calidad requeridos.

Rendimiento (R)

Durante cada temporada de oscura, se espera una producción de 10,000 sacos, basada en el rendimiento óptimo alcanzado en escenarios favorables. Por ende, la producción potencial asciende a 6,000 toneladas anuales.

$$R = \frac{NUP}{PNU} = \frac{5100 \frac{T}{año}}{6000 \frac{T}{año}} = \mathbf{85\%}$$

Un rendimiento del 85% sugiere que la prensa no está alcanzando su máximo potencial de producción. Esto está relacionado con la eficiencia del proceso de cambio de formato. Finalmente, calculado los 3 indicadores, se determina el OEE inicial:

$$OEE = 0,8516 \times 0,9859 \times 0,85 = \mathbf{0,7137}$$

$$OEE = 0,7137 \times 100 = \mathbf{71,37\%}$$

El OEE general de 71.37% indica que hay espacio para mejorar la eficiencia del equipo. Para incrementar el OEE, se requiere optimizar la disponibilidad y el rendimiento. Esto implica mejorar los procesos de cambio de formato para minimizar el tiempo de inactividad y garantizar una producción eficiente y continua una vez que la máquina esté en operación.

Aplicación de la metodología SMED

Etapa 1: identificación

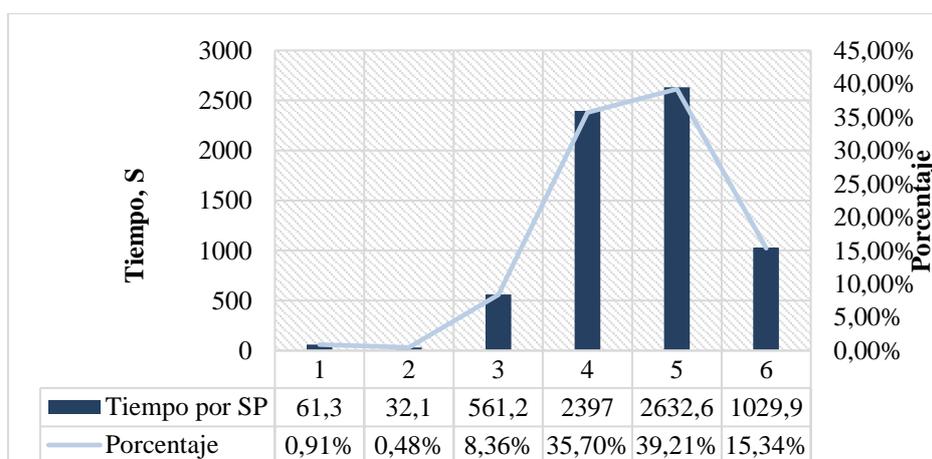
Se observó que el cambio de formato se compone de 33 actividades, las cuales fueron categorizadas en 6 subprocesos, en colaboración con el personal experto en el campo de estudio. Esta categorización se presenta en detalle en la tabla 3.

Tabla 3*Labores por subprocesos*

Subprocesos	N° Act.
Apagado de las maquinas	5
Verificación de maquinaria	4
Limpieza de transportadores helicoidales	4
Procedimiento de cambio de formato	8
Encendido de equipos previos al prensado	6
Encendido y sincronizado de la prensa	6
TOTAL	33

Nota: Elaborado por autor

Después de esta etapa, se llevó a cabo un análisis de los tiempos ejecutados por subprocesos para identificar aquellos que requieren más tiempo durante el cambio de formato. Esto permitió intervenir con estrategias de optimización. El gráfico 3 proporciona una representación detallada de los tiempos de cada subproceso (SP).

Gráfico 3. Tiempo de ejecución por subprocesos

Nota: Elaborado por autor

Se observa una tendencia favorable en el cuarto y quinto subproceso, donde se evidencia que la mayor demora ocurre en el procedimiento de cambio de formato (SP4), con una duración de 39.95 minutos, y en el encendido de equipos previos al prensado (SP5), con 43.88 minutos, lo que representa el 35.7% y el 39.21% respectivamente.

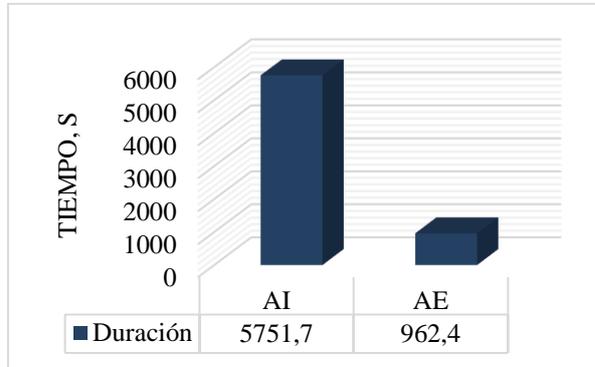
Etapa 2: separación

Definidas las 33 tareas del cambio de formato (anteriormente en la tabla 2) se presentó las actividades consideradas como labores internas (AI) y labores externas (AE).

Esta clasificación de las tareas resultó favorable con un 85.67% para las AI y el 14.3% restante para las AE. El gráfico 4 revela los resultados de esta etapa.

Gráfico 4

Separación de actividades



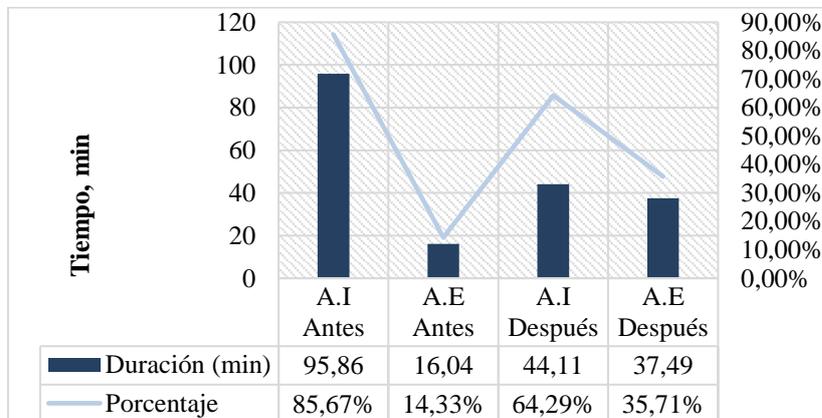
Nota: Elaborado por autor

Etapa 3: transformación

En este punto, en el gráfico 5 se ilustra la comparación temporal de las AI y AE antes y después de la conversión de actividades internas en externas. Se logró reducir 32,34 minutos de las AI, lo que significa una variación favorable del 28,91%.

Gráfico 5

Comparación de actividades transformadas



Nota: Elaborado por autor

Entre las alternativas de mejora para reducir las AI fueron la asignación de un operador que se encargue de estas actividades antes que se pare la prensa y que prepare la manguera con anticipación, designar a los operadores de la poza de recepción que tengan descargada la materia prima. Además, la instalación de un tablero de herramientas correctamente identificado, mantener el caldero encendido con la llave de vapor cerrada. Las alternativas tuvieron como fin aumentar la eficiencia del tiempo de producción, realizando preparativos de actividades previas a que la maquinaria deje de procesar.

Etapa 4: mejora

Optimización de AI

La mejora de las AI restantes, incluso después de las reducciones logradas en la etapa anterior, puede ser optimizada aún más. El subproceso relevante es el cambio de formato (SP4), que impactará en la disminución del tiempo de arranque de los equipos antes del prensado (SP5), eliminando la tarea de "Encender caldera para generar vapor al cocinador". Para abordar los largos tiempos de espera en SP4, se sugiere instalar un variador de frecuencia SINAMICS G120 en el motor trifásico de 70 HP de la prensa.

En este sentido, se excluyen las actividades 17, 18, 20 y 21 para evitar el reajuste mecánico prolongado de poleas y bandas de distribución. La actividad 'Regular motor de prensa para el nuevo formato' se reemplaza por 'Reajustar velocidad de motor mediante variador de frecuencia'. El tiempo de 458,7 segundos que se tomaba en desmontar poleas se añadirá a la nueva actividad, totalizando 768,6 segundos. La tabla 4 detalla la optimización de las AI mencionadas.

Tabla 4

Optimización de AI

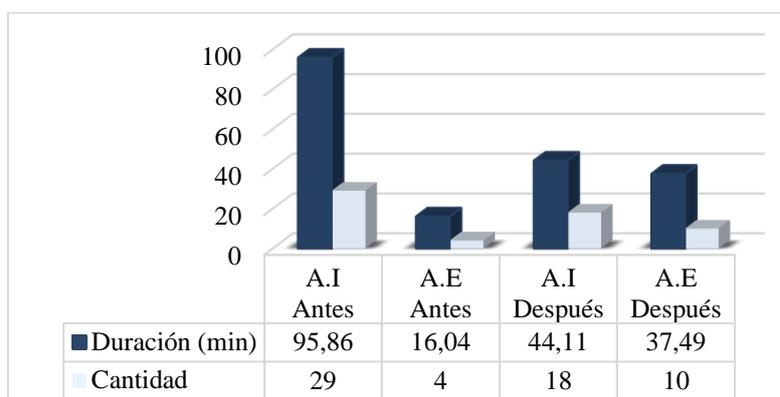
Antes de reducir actividades internas		
N°	Descripción	Tiempo (s)
17	Desmontar bandas de distribución	439,6
18	Desmontar poleas	458,7
19	Regular los piñones para el nuevo formato	309,9
20	Montar las nuevas poleas	336,2
21	Colocar las bandas de distribución	388,8
Después de reducir actividades internas		
N°	Descripción	Tiempo (s)
17	Reajustar velocidad de motor mediante variador de frecuencia	768,6

Nota: Elaborado por autor

Tras implementar SMED, el tiempo total de cambio se redujo significativamente de 6714,1 segundos a 4896 segundos, mejorando tanto en actividades internas como externas. El tiempo para AI pasó de 95,86 minutos a 44,11 minutos (1,6 horas a 0,74 horas), mientras que para AE aumentó de 16,4 minutos a 37,49 minutos. El número de actividades internas disminuyó de 29 a 18 (un 37,93% menos) y las actividades externas aumentaron de 4 a 10, reconfigurando el proceso para mayor eficiencia (gráfico 6).

Gráfico 6

Comparativo del antes y después de la aplicación SMED.



Nota: Elaborado por autor

El tiempo para AI fue el 54,06% del tiempo total de cambio, comparado con el 85,67% antes de la implementación, mostrando una reducción significativa en el tiempo que la línea de producción está detenida. El tiempo para AE aumentó al 45,94% del total, en comparación con el 14,33% previo a la implementación.

Evaluación de OEE después de aplicación SMED

En la "ETAPA 4: MEJORA" se estableció que el nuevo tiempo de cambio de formato sin operar la prensa es de 44,11 minutos, es decir 0,74 horas. Así, se puede calcular el tiempo total de cambio anual para este equipo de la planta

$$TTC = \frac{0,74 \text{ h}}{\text{cambio}} \times \frac{2 \text{ cambios}}{\text{día}} \times \frac{24 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{\text{año}} = 426,24 \text{ h/año}$$

Después de la aplicación SMED el tiempo requerido anualmente para los reajustes de la prensa de doble husillo será de 426,24 horas, lo que se traduce como tiempo improductivo para la empresa. Sin embargo, la metodología logró reducir 495 h/año respecto a la situación inicial. Con aquello ya es posible calcular la disponibilidad con los datos obtenidos.

$$D = \frac{\left(6912 \frac{\text{h}}{\text{año}} - 104 \frac{\text{h}}{\text{año}} - 426,24 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right)}{6912 \frac{\text{h}}{\text{año}}}$$

$$D = 0,9233 \times 100 = \mathbf{92,33\%}$$

La disponibilidad incrementó un 7.17 %, logrando superar el 85,16% inicial, es decir, se redujo los períodos en los que la prensa estuvo inactiva al momento de realizar el cambio de formato. En cuanto a la calidad y el rendimiento, se mantienen según los cálculos previos. El rendimiento muestra cuán eficientemente está operando la prensa en relación con su capacidad teórica máxima. Un rendimiento del 85% revela que la prensa no está operando a su máximo potencial. Por otra parte, un nivel de calidad del 98,59% indica la proporción de productos que cumplen con los estándares de calidad en

comparación con el total producido. Un alto nivel de calidad significa que la harina de pescado satisface los requisitos establecidos. Bajo este contexto, se obtiene el nuevo valor del OEE:

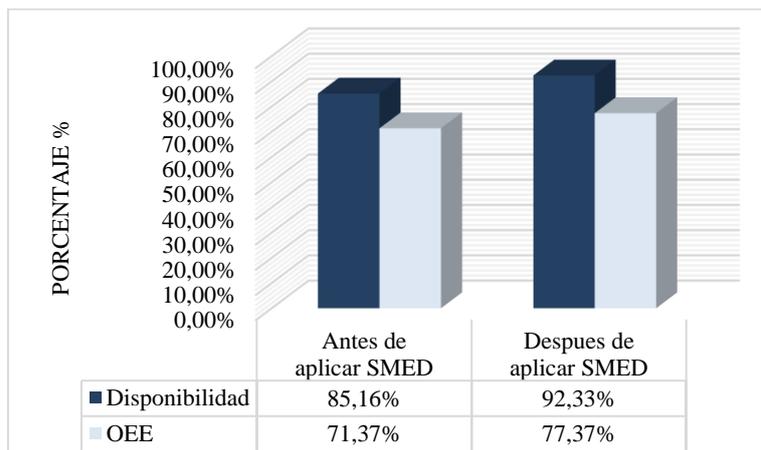
$$OEE = 0,9233 \times 0,9859 \times 0,85$$

$$OEE = 0,7737 \times 100 = 77,37 \%$$

El nuevo valor de 77,37% reflejó un aumento del OEE, esto se debió únicamente a la mejora del componente ‘disponibilidad’. Específicamente aumentó alrededor del 7,17% y logró alcanzar un 92,33%, lo cual permitió que el OEE incremente en un 6% a comparación de su evaluación inicial. El gráfico 7 representa la variación del indicador de disponibilidad y el efecto que tuvo en el OEE, donde se contrasta los resultados del antes y después de la implementación de la metodología SMED y que deja en evidencia el cambio sustancial con la aplicación de esta herramienta de optimización de procesos.

Gráfico 7

Comparación de Disponibilidad y OEE antes y después de aplicar el SMED



Nota: Elaborado por autor

DISCUSIÓN

La propuesta de este estudio se desarrolló aplicando la metodología Single Minute Exchange of Die (SMED) para optimizar el cambio de formato de la prensa de doble husillo, responsable de la etapa de prensado en la producción de harina de pescado. Tras implementar SMED, el tiempo total de cambio se redujo de 6414,1 a 5027,4 segundos. Esto reflejó una disminución tanto en las actividades internas, que bajaron de 95,86 a 44,11 minutos (1,6 horas a 0,74 horas), como un aumento en las actividades externas, que pasaron de 16,4 a 37,49 minutos. El análisis de varios estudios resalta la eficacia y el impacto significativo de la metodología SMED en la optimización de procesos industriales. En el estudio de Calderón y García (2020), se observó una notable reducción

del 33% en los tiempos de secado, disminuyendo de 45 a 30 minutos, lo que indica una mayor eficiencia en el proceso. Además, se evidenció un incremento sustancial del 10,02% en la OEE. Además, el método SMED mostró su eficacia al reducir los tiempos de cambio de herramientas en un 62,2%, pasando de 1509,5 segundos a 569,75 segundos. Esta mejora se tradujo en un aumento progresivo de la producción diaria de piezas (Basri et al., 2021).

El aumento del OEE se debió a la mejora en el índice de disponibilidad, que subió al 92,33% con un incremento del 7,17%, resultando en un aumento del OEE del 6%. En su estudio Haddad et al. (2021), mostró que la mejora del indicador de disponibilidad, lograda mediante SMED, aumentó el OEE. La disponibilidad alcanzó el 95,36%, con un incremento del 4,86%, lo que resultó en un aumento del OEE del 3,26%. Esto demuestra que SMED es eficaz para mejorar la eficiencia general de los equipos. En términos generales, el nuevo valor de OEE calculado sigue estando por debajo del objetivo de clase mundial de al menos el 85% (Datisation, 2022). Sin embargo, los resultados de las observaciones, el procesamiento de datos y el aumento de la disponibilidad del equipo de prensa, permiten considerar el OEE alcanzado como aceptable según Varela et al. (2023), ya que está en el rango del 75% al 85%. Así, el OEE final fue 77,37%, superando la categoría regular (65% - 75%) en la que se encontraba antes de aplicar SMED.

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología SMED facilitó la identificación y categorización de las actividades que prolongan los ajustes durante el cambio de formato, las cuales afectaban negativamente al OEE. Se determinó que la opción más práctica para mejorar la situación es mejorar la disponibilidad del equipo mediante estrategias que reduzcan el tiempo de cambio de formato, lo que, a su vez, aumentaría el rendimiento operativo de la planta.

Los resultados sobre el tiempo de ejecución del cambio de formato en la prensa respaldan la metodología SMED como una estrategia de optimización viable para situaciones análogas. Esto demuestra su capacidad para eliminar desperdicios de manera efectiva y asegurar un rendimiento mejorado tanto para el equipo como para la producción.

Este estudio proporciona una base fundamental y un respaldo para investigaciones futuras que se centren en la optimización de procesos relacionados con la industria de la

harina de pescado. Esto incluye consideraciones sobre las diversas etapas involucradas en este sistema productivo, especialmente en lo que respecta a los cambios de formato en los diversos equipos de la planta.

REFERENCIAS

- Cámara Nacional de Pesquería. (22 de Abril de 2020). La producción de harina de pescado demanda seguridad jurídica y sostenibilidad. Obtenido de Cámara Nacional de Pesquería: <https://camaradepesqueria.ec/la-produccion-de-harina-de-pescado-demanda-seguridad-juridica-y-sostenibilidad/>
- Datision. (17 de Marzo de 2022). ¿Por qué necesitas saber el Overall Equipment Effectiveness (OEE) para que tu fábrica sea más productiva? Obtenido de Datision: <https://datision.com/blog/overall-equipment-effectiveness/>
- LIESA. (2 de Marzo de 2020). Variadores de Velocidad Siemens. Obtenido de LIESA: <https://liesa.com.ar/variadores-velocidad-siemens-sinamics-v20/>
- Ministerio de Producción, Comercio exterior, Inversiones y Pesca. (13 de Octubre de 2022). Plantas harineras registradas y aprobadas. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/10/PLANTAS-HARINERAS-PH-13102022.pdf>
- The Marine Ingredients Organisation. (12 de Enero de 2024). Tendencias del mercado de ingredientes marinos (enero de 2024). Obtenido de IFFO: <https://www.iffco.com/es/tendencias-del-mercado-de-ingredientes-marinos-enero-de-2024>
- Acosta, J., & Carvajal, J. (2021). Optimización de la eficiencia productiva a través de un diseño experimental factorial en el proceso productivo de prensado de suelas para calzado en una empresa textil. Polo de Conocimiento, 6, No 9. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3138>
- Afonso, M., Gabriel, A. T., & Godina, R. (2022). Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit. Advances in Industrial and Manufacturing Engineering, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- Aguilar, F., & Salazar, A. (2022). Aplicación del estudio del trabajo para mejorar la productividad en el proceso de prensado de pet blanco en la empresa Marbel Pachas, Juliaca, Puno, 2022. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/94274>
- Basri, A. Q., Mohamed, N., Nelfiyanti, & Y, Y. (2021). SMED Simulation in Optimising the Operating Output of Tandem Press Line in the Automotive Industry using WITNESS Software. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 18(3). <https://doi.org/10.15282/ijame.18.3.2021.05.0682>

- Biegler, L. T. (2024). Multi-level optimization strategies for large-scale nonlinear process systems. *Computers & Chemical Engineering*, 185, 108657. <https://doi.org/10.1016/J.COMPCHEMENG.2024.108657>
- Bilgen, B., & Taşkın, T. (2023). Optimization of an integrated harvest, and process planning model in the agri-food industry. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.09.036>
- Calderón, E., & García, R. (2020). Mejora de la productividad del proceso de elaboración de harina de pescado aplicando la metodología Lean Manufacturing. Repositorio Institucional - UTP. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3955>
- Garcia, G., Singh, Y., & Jagtap, S. (2022). Optimising Changeover through Lean-Manufacturing Principles: A Case Study in a Food Factory. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148279>
- Haddad, T., Shaheen, B. W., & Németh, I. (2021). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach. *Manufacturing Technology*, 21(1), 56–64. <https://doi.org/10.21062/mft.2021.006>
- Hussain, S. M., Bano, A. A., Ali, S., Rizwan, M., Adrees, M., Zahoor, A. F., Sarker, P. K., Hussain, M., Arsalan, M. Z. ul H., Yong, J. W. H., & Naeem, A. (2024). Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*, 10(4), e26573. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E26573>
- Jurík, L., Horňáková, N., & Domčeková, V. (2020). The application of smed method in the industrial enterprise. *Acta Logistica*, 7(4). <https://doi.org/10.22306/al.v7i4.189>
- Kumar, R., Singh, K., & Jain, S. K. (2022). Setup time reduction to enhance the agility of the manufacturing industry through kobetsu kaizen and SMED: a case study. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 12(5), 631–656. <https://doi.org/10.1504/IJPMB.2022.125320>
- Mahamud, A. G. M. S. U., Anu, M. S., Baroi, A., Datta, A., Khan, M. S. U., Rahman, M., Tabassum, T., Tanwi, J. T., & Rahman, T. (2022). Microplastics in fishmeal: A threatening issue for sustainable aquaculture and human health. In *Aquaculture Reports (Vol. 25)*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101205>
- Malindzakova, M., Malindzak, D., & Garaj, P. (2021). Implementation of the Single Minute Exchange of Dies method for reducing changeover time in a hygiene production company. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(4). <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2021-4-291>

- Miranda, Y., Toledo, F., & Altamirano, E. (2022). Optimization model to increase the efficiency of the flexible packaging production process applying the Johnson Method, SMED and TPM in a SME in the Plastics Sector. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.748>
- Mohammad, A., Hamja, A., & Hasle, P. (2023). Reduction of changeover time through SMED with RACI integration in garment factories. International Journal of Lean Six Sigma. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2021-0176>
- Niekurzak, M., Lewicki, W., Coban, H. H., & Bera, M. (2023). A Model to Reduce Machine Changeover Time and Improve Production Efficiency in an Automotive Manufacturing Organisation. Sustainability (Switzerland), 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310558>
- Oleksiak, B., Ciecńska, B., Ołów, P., & Hordyńska, M. (2023). Analysis of the Possibility of Introducing the Reduction of Changeover Time of Selected CNC Machines Using the SMED Method. Production Engineering Archives, 29(1). <https://doi.org/10.30657/pea.2023.29.10>
- Ondra, P. (2022). The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness. Journal of Competitiveness, 14(3). <https://doi.org/10.7441/joc.2022.03.07>
- Raju, S., Kamble, H. A., Srinivasaiyah, R., & Swamy, D. R. (2022). Anatomization of the overall equipment effectiveness (OEE) for various machines in a tool and die shop. Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment, 3(1), 97–105. <https://doi.org/10.1108/jimse-01-2022-0004>
- Ribeiro, M. A. S., Santos, A. C. O., de Amorim, G. da F., de Oliveira, C. H., Braga, R. A. da S., & Netto, R. S. (2022). Analysis of the Implementation of the Single Minute Exchange of Die Methodology in an Agroindustry through Action Research. Machines, 10(5). <https://doi.org/10.3390/machines10050287>
- Sahin, R., & Kologlu, A. (2022). A Case Study on Reducing Setup Time Using SMED on a Turning Line. Gazi University Journal of Science, 35(1), 60–71. <https://doi.org/10.35378/gujs.735969>
- Santos, V., Sousa, V. F. C., Silva, F. J. G., Matias, J. C. O., Costa, R. D., Pinto, A. G., & Campilho, R. D. S. G. (2022). Applying the SMED Methodology to Tire Calibration Procedures. Systems, 10(6). <https://doi.org/10.3390/systems10060239>

- Tsarouhas, P. H. (2020). Overall equipment effectiveness (OEE) evaluation for an automated ice cream production line: A case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(5). <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2019-0126>
- Varela, J., López, A., & Romero, R. (2023). Medición de la productividad mediante el Overall Equipment Effectiveness (OEE) para operaciones no cíclicas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(6). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1522>