

MEJORA DE LA EFICIENCIA GENERAL DE LOS EQUIPOS (OEE) Y REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO (SMED) EN LA PRODUCCIÓN DE EVA

IMPROVEMENT OF OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY (OEE) AND REDUCTION OF CHANGEOVER TIMES (SMED) IN EVA PRODUCTION

Armando Mares Castro

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, México
armando.mc@purisima.tecnm.mx

Juan Pablo Guerrero Guerrero

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, México
LRS20110303@purisima.tecnm.mx

Mario Guadalupe Moreno Salcido

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, México
guadalupe.ms@purisima.tecnm.mx

Recepción: 4/julio/2025

Aceptación: 6/agosto/2025

Resumen

Esta investigación abordó la optimización de procesos en el departamento SKYVING de la empresa XY, donde la producción de EVA se veía obstaculizada por falta de eficiencia operativa y un mantenimiento preventivo deficiente.

La intervención, basada en la filosofía Lean Manufacturing, se estructuró en cuatro etapas clave para resolver estos retos de raíz. Inicialmente, se analizaron los procesos mediante estudios detallados de tiempos y movimientos para identificar cuellos de botella. Posteriormente, se implementaron las 5S (Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Disciplina) y una redistribución de planta (SLP). Estas acciones transformaron el entorno de trabajo, mejorando significativamente el flujo de materiales, la organización y la limpieza del departamento.

La aplicación de la metodología SMED redujo drásticamente el tiempo de cambio de cuchilla en la máquina de rollo, pasando de 4 h y 43 min a tan solo 2 h y 47 min, lo que también hizo el proceso más seguro. Finalmente, la instauración de un plan

de Mantenimiento Productivo Total (TPM) incrementó la Eficiencia General de Equipos (OEE) de la máquina de rollo hasta un notorio 92%.

Palabras Clave: EVA, Lean Manufacturing, OEE, SMED.

Abstract

This research addressed process optimization in the SKYVING department of XY enterprise, where EVA production was hampered by lack of operational efficiency and poor preventive maintenance. The intervention, based on the Lean Manufacturing philosophy, was structured in four key stages to solve these challenges at their root. Initially, processes were analyzed through detailed time and motion studies to identify bottlenecks. Subsequently, the 5S (Categorize, Sort, Clean, Standardize, Discipline) and a plant layout (SLP) were implemented. These actions have transformed the work environment, significantly improving the flow of materials, organization and cleanliness of the department. The application of the SMED methodology drastically reduced the blade replacement time on the roll machine from 4 h and 43 min to only 2 h and 47 min, which also made the process safer. Finally, the implementation of a Total Productive Maintenance (TPM) plan boosted the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of the roll machine to a remarkable 92%.

Keywords: EVA, Lean Manufacturing, OEE, SMED.

1. Introducción

En el panorama actual de la manufactura global, las organizaciones se ven inmersas en un entorno de competencia creciente, lo que las impele a mejorar continuamente la calidad, optimizar costos, incrementar la flexibilidad operativa y garantizar la puntualidad en las entregas [Haddad et al., 2021; Junior et al., 2022; Saad et al., 2023]. Para afrontar estos desafíos, la filosofía Lean Manufacturing emerge como una estrategia fundamental, orientada a la identificación y erradicación sistemática de desperdicios, la mejora de la calidad de los productos, y la consiguiente reducción de tiempos y costos de producción [Haddad et al., 2021]. Esta metodología, arraigada en el Sistema de Producción Toyota (TPS), no solo

reduce el desperdicio (muda), sino también la variabilidad (mura) y la sobrecarga (muri) en los procesos industriales. Entre las herramientas distintivas de Lean Manufacturing que permiten materializar estas mejoras, destacan la Eficiencia General de Equipos (OEE) y la Reducción de Tiempos de Cambio (SMED), ambas considerados pilares esenciales para la competitividad industrial [Haddad et al., 2021; Junior et al., 2022].

El presente estudio se centra en la aplicación de esta filosofía en los procesos de bondeado y dividido de Etileno Acetato de Vinilo (EVA) en el departamento SKYVING de la empresa XY.

Previo a la intervención, se identificaron problemáticas significativas que afectaban la operatividad diaria y la rentabilidad de la compañía. Se observó una notoria falta de optimización en los procesos y una ausencia de un plan de mantenimiento preventivo, lo que se traducía en tiempos muertos prolongados y fallas recurrentes de la maquinaria. Estas deficiencias, sumadas a una inadecuada distribución de la planta, desorganización en los espacios físicos y una estandarización insuficiente de los métodos de trabajo, generaban una producción defectuosa con alta incidencia de productos descalibrados, rayaduras, variaciones en dureza, porosidad, manchas y burbujas en el material EVA.

La necesidad de comprar refacciones para reemplazar las piezas dañadas por la falta de mantenimiento preventivo implicaba fuertes inversiones económicas y afectaba la eficiencia general de los equipos. Consecuentemente, estas problemáticas impactaban directamente en la producción diaria, se manifestaban en pérdidas de materia prima y generaban significativas afectaciones económicas y en el cumplimiento de los pedidos a clientes.

Ante este escenario, el objetivo general de esta investigación fue aplicar la filosofía Lean Manufacturing en los procesos manufactureros de bondeado y dividido de EVA en el departamento SKYVING de la empresa XY, con la finalidad de mejorar y optimizar la producción diaria en un (15%).

Para alcanzar esta meta global, se formularon objetivos específicos que incluyeron:

- Calcular los tiempos de producción de EVA en rollo, en láminas y en cuña mediante el estudio de tiempos y movimientos, creando un balanceo de

líneas que permita aprovechar al máximo los costos de mano de obra y el personal de trabajo en un (20%).

- Realizar una redistribución de planta y aplicar las 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) para mejorar los flujos de materia prima, la relación entre departamentos y el orden y limpieza del departamento.
- Emplear la metodología SMED para reducir los tiempos de preparación de la maquinaria en un 15%, creando y aplicando diseños de prototipos que optimicen la producción y reduzcan los accidentes laborales para el personal de trabajo.
- Aplicar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la OEE (Eficiencia General de los Equipos) disminuyendo los paros por mantenimiento correctivo en un 20%.

La justificación de este estudio radica en la imperante necesidad de integrar la ingeniería industrial en una empresa donde su aplicación era limitada, resultando en una baja estandarización de procesos y mantenimiento.

La investigación propone analizar y controlar las variables clave de producción, como temperatura y tiempo de vulcanizado, para documentar cada paso desde el laboratorio hasta el producto terminado, creando un historial que facilite el análisis de datos y la mejora continua. Se anticipa que la implementación de estas herramientas de ingeniería industrial no solo reducirá los retrabajos y el desperdicio, disminuyendo las pérdidas económicas, sino que también mejorará la eficiencia de los procesos y máquinas, permitirá reducir los tiempos de paro no planeados y posibilitará la medición y optimización de las capacidades de producción. Esta experiencia particular en la producción de EVA, que utiliza este material como su principal materia prima en procesos como bondeado, dividido de láminas y cuñas, pretende ser un referente para la industria manufacturera que busca transformaciones operativas [Mares-Castro & Domínguez-Domínguez, 2022].

En el ámbito de la revisión documental, se ha constatado que la implementación de herramientas como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y SMED ha sido objeto de extensas investigaciones por parte de diversos autores, quienes han demostrado

su efectividad en la mejora de la productividad [Rathi et al., 2024; Renzo et al., 2024]. El TPM, con origen en Estados Unidos y consolidado en Japón, tiene como propósito dar continuidad a las operaciones, mejorar el uso de equipos, involucrar a los operadores y reducir gastos por mantenimiento correctivo y defectos, logrando hasta un 30% de reducción en costos operativos [Socconini, 2019]. Su correcta implementación es clave, ya que los equipos son un insumo básico en los procesos, y una mala operación o lubricación puede ser responsable de hasta el 50% y 15% del gasto total de mantenimiento, respectivamente [Socconini, 2019]. La OEE, por su parte, es una medición indispensable que, según Seiichi Nakajima, un OEE de clase mundial se considera igual o superior al 85% [Socconini, 2019]. La aplicación exitosa de SMED ha sido documentada en diversos contextos industriales para reducir drásticamente los tiempos de cambio y optimizar el OEE [Haddad et al., 2021; Junior et al., 2022; Nikolić et al., 2023; Pacheco & Heidrich, 2023; Rathi et al., 2024]. Por ejemplo, un estudio de caso en una empresa de petróleo y gas, aplicando un novedoso marco SMED asistido por herramientas Lean, logró una reducción del 91.6% en el tiempo de preparación (pasando de 1 hora 44 minutos 56 segundos a 8 minutos 52 segundos) y un incremento del 44.6% en el OEE [Junior et al., 2022]. Otros trabajos también reportan mejoras significativas, como una reducción del 55% en el tiempo de preparación en la industria automotriz [Rathi et al., 2024] o del 31.25% en una máquina de mandrinado vertical [Haddad et al., 2021]. La influencia de SMED en la disponibilidad y el índice OEE de las máquinas y equipos es directa [Nikolić et al., 2023]. Las 5S son una herramienta esencial que soporta el ambiente de trabajo bajo aspectos ergonómicos, manteniendo el uso adecuado de las herramientas, el orden de los artefactos relacionados con la preparación, la limpieza del entorno, la estandarización de actividades y la disciplina en la máquina, factores que permiten el desarrollo de Kaizen y la mejora continua [Junior et al., 2022; Socconini, 2019].

La integración de SMED con otras herramientas Lean, como 5S y TPM, no solo optimiza los tiempos de cambio y la capacidad productiva, sino que también eleva el OEE, con casos que reportan aumentos de hasta el 25% en la eficiencia general de equipos [Haddad et al., 2021; Nikolić et al., 2023].

De igual forma, el Trabajo Estandarizado (SW) se perfila como una herramienta fundamental para reducir la variación en los procesos y empoderar a los operadores, sentando las bases para la aplicación exitosa de otras estrategias Lean [Mares Castro et al., 2024]. Un estudio previo en el moldeo de láminas de EVA validó esta sinergia, reportando una mejora del 15% en la productividad diaria y una reducción del 40% en los tiempos de cambio de moldes tras la aplicación de SMED [(Mares Castro et al., 2024)]. Esta investigación se inserta en esta línea de estudio, proporcionando un análisis profundo sobre cómo la aplicación conjunta de estas herramientas puede transformar la eficiencia operativa en el contexto específico de la producción de EVA.

2. Métodos

La presente investigación adoptó un enfoque estructurado para la implementación de los principios de Lean Manufacturing, con el fin de optimizar los procesos de bondeado y dividido de Etileno Acetato de Vinilo (EVA) en el departamento SKYVING de la empresa XY. La metodología se articuló en cuatro fases interconectadas, diseñadas para abordar problemáticas específicas y lograr mejoras cuantificables en la eficiencia operativa y la calidad del producto.

- **Etapa 1: Fase de análisis y detección de necesidades:** La etapa inicial se dedicó a una evaluación exhaustiva del sistema de producción existente para identificar las áreas con mayor potencial de mejora. Se constató una deficiente optimización de los procesos, manifestada en tiempos muertos considerables, y una carencia notable de un programa de mantenimiento preventivo, lo que se traducía en interrupciones no programadas de la producción.

Para cuantificar y comprender el flujo de trabajo, se realizó un estudio de tiempos y movimientos detallado en las operaciones de producción de EVA en rollo, láminas y cuñas. Este análisis implicó la observación directa y el registro cronometrado de las actividades desempeñadas por los operadores, así como los desplazamientos de materiales. El objetivo principal fue determinar las capacidades de producción de cada área y detectar

actividades improductivas o condiciones que generaran fatiga. Ejemplos específicos incluyeron la toma de tiempos en el área de pegado, la producción de rollos y el empaque del producto terminado. Se identificó, por ejemplo, que el proceso de "refilado" (corte de orillas del bloque de EVA) representaba un tiempo extra significativo para los operadores. Adicionalmente, se detectaron fallas mecánicas que resultaban en productos defectuosos, como rollos descalibrados y con rayaduras, provocando pérdidas de materia prima y afectaciones económicas.

- **Etapa 2: Fase de rediseño de la distribución y aplicación de 5S:** Esta fase se centró en la optimización del entorno físico de trabajo para mejorar los flujos de materiales y la organización general del departamento.

La redistribución de planta, o Systematic Layout Planning (SLP), se implementó para eliminar flujos no lineales y optimizar la relación entre los departamentos. Para ello, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- ✓ Medición exhaustiva de los espacios físicos actuales en el departamento SKYVING.
- ✓ Análisis detallado de la producción para definir y comprender los procesos clave.
- ✓ Elaboración de una matriz de relaciones entre los diferentes departamentos, utilizando un código de letras (A, E, I, O, U, X) para indicar la importancia de la proximidad entre ellos. Esto sirvió de base para un diagrama de relaciones.
- ✓ Diseño de una propuesta de redistribución de planta utilizando software, con el propósito de organizar eficientemente las áreas de producción de manera similar a un formato por procesos, adecuado para la variedad de productos similares de EVA

Paralelamente, se aplicó la metodología 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) para fomentar un entorno de trabajo limpio, ordenado y disciplinado. Los pasos incluyen:

- ✓ Seiri (Clasificar): Identificación y separación de lo necesario de lo innecesario en el área de trabajo

- ✓ Seiton (Ordenar): Asignación de una ubicación específica para cada elemento necesario, empleando identificación visual y controlando las cantidades para reducir tiempos de búsqueda. Un ejemplo fue la instalación de estanterías para telas en el área de bondeado.
 - ✓ Seiso (Limpieza): Integración de la limpieza como una actividad diaria y autónoma, buscando no solo eliminar la suciedad, sino también sus fuentes.
 - ✓ Seiketsu (Estandarización): Mantenimiento de los niveles de organización, orden y limpieza alcanzados, mediante la creación de señalizaciones, manuales y procedimientos estandarizados.
 - ✓ Shitsuke (Disciplina): Fomento de una cultura de respeto por los estándares establecidos y promoción del autocontrol y la mejora continua, a menudo a través de auditorías periódicas.
- **Etapa 3: Fase de reducción de tiempos de cambio (SMED):** Esta fase se enfocó en disminuir drásticamente los tiempos de preparación de la maquinaria, particularmente en el proceso de cambio de navaja de la máquina de rollo.

La metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) se implementó siguiendo estos pasos:

- ✓ Medición del tiempo actual de cambio: Se registró el tiempo que tardaba la operación de cambio de navaja, inicialmente estimado en *4 h y 43 min.*
- ✓ Identificación y separación de actividades: Se analizaron todas las actividades involucradas en el cambio de navaja, clasificándolas en internas (aquellas que requieren la máquina parada) y externas (aquellas que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento) [Socconini, 2019].
- ✓ Conversión de actividades internas a externas: Se buscaron métodos para trasladar la mayor cantidad posible de actividades internas a la categoría de externas [Socconini, 2019]. Esto incluyó el diseño de prototipos y modificaciones en la maquinaria para optimizar la

producción y reducir accidentes laborales. Un ejemplo fue la modificación de soportes en la máquina de rollo continuo para fijar las bobinas sin intervención manual del operador.

- ✓ Optimización de actividades internas y externas: Se refinaron las actividades restantes para hacerlas más eficientes (por ejemplo, uso de herramientas rápidas, estandarización de procesos, mejora de la organización de componentes) [Socconini, 2019]. Se elaboró un diagrama de flujo para el cambio y calibración de la navaja (Tabla 1), sirviendo como manual de operaciones.
- ✓ Estandarización: Se documentaron los nuevos procedimientos de cambio mejorados y se capacitó al personal involucrado para mantener los logros de forma consistente [Socconini, 2019].

Tabla 1 Diagrama de flujo de cambio de navaja.

Descripción de las actividades	Operación	Inspección	Transporte	Combinadas	Demora	Almacenaje	Tiempo	Distancia
Operación para desarmar, poner la navaja y volver a armar.	○	□	→	⊗	⊔	▽	segundos	
Subir base con rodillos giratorios en la parte inferior de la máquina y fijar a las placas	1		→	⊗	⊔	▽	540	-
Alojar poleas	2		→	⊗	⊔	▽	360	-
Quitar protecciones izquierdas y derechas de las poleas de las navajas	3		→	⊗	⊔	▽	600	-
Quitar todas los tornillos 10mm de la plancha de la parte superior	4		→	⊗	⊔	▽	600	-
Poner las T en los orificios de los extremos superiores izquierdos y derechos de la plancha	5		→	⊗	⊔	▽	240	-
Retirar plancha	6		→	⊗	⊔	▽	300	-
Quitar las contras y acomodar las mas grandes en las orillas y las mas chicas al centro			→	1	⊔	▽	300	-
Quitar la palcha inferior sin mover tornillos 12mm solo los de 10mm			→	2	⊔	▽	540	-
Quitar la contra y separarla del resto	7		→	⊗	⊔	▽	180	-
limpiar toda la maquina	8		→	⊗	⊔	▽	600	-
Poner navaja nueva	9		→	⊗	⊔	▽	900	-
Ajustar poleas de acuerdo a las medidas de la navaja	10		→	⊗	⊔	▽	900	-
inspeccionar		1	→	⊗	⊔	▽	600	-
Poner las contras de acuerdo con el acomodo anteriormente establecido.	11		→	⊗	⊔	▽	180	-
Inspeccionar		2	→	⊗	⊔	▽	720	-
Subir plancha	12		→	⊗	⊔	▽	300	-
Poner tornillos 10mm en la plancha superior	13		→	⊗	⊔	▽	420	-
Sacar el filo de la navaja a 10mm sobre el filo de la plancha			→	3	⊔	▽	600	-
Verificar la tension de la navaja y acomodar mediante los tornillos 12mm		1	→	4	⊔	▽	600	-
Colocar la plancha inferior	14	1	→	⊗	⊔	▽	180	-
Poner tornillos 10mm	15		→	⊗	⊔	▽	240	-
inspeccionar			→	5	⊔	▽	300	-
Bajar base con rodillos giratorios	16		→	⊗	⊔	▽	420	-
Sacar filo a la navaja	17		→	⊗	⊔	▽	1800	-

Fuente: Elaboración Propia

- Etapa 4: Fase de mantenimiento preventivo y optimización del OEE:** La fase final se dirigió a la mejora de la Eficiencia General de Equipos (OEE) mediante la instauración de un plan de mantenimiento preventivo, minimizando las paradas correctivas no planificadas. Se aplicaron los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM), una metodología que busca la continuidad operativa, cero defectos, cero accidentes y la participación total del personal [Socconini, 2019].

Las actividades clave incluyeron:

- ✓ Creación e implementación de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo: Se definieron y programaron inspecciones y tareas de mantenimiento para las partes mecánicas y eléctricas clave, priorizando la máquina de rollo debido a su uso intensivo.
- ✓ Se establecieron rutinas diarias, semanales, mensuales y anuales, junto con instrucciones de mantenimiento autónomo para los operadores en la Tabla 2, actividades para el mantenimiento autónomo en la Tabla 3 y el programa de mantenimiento preventivo en la Tabla 4.
- ✓ Análisis de fiabilidad: Se contempló la realización de un Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) para identificar componentes críticos y prevenir problemas de calidad o accidentes [Socconini, 2019].

Tabla 2 Instrucciones para mantenimiento autónomo.

ID	Actividad	Especificación	Requerimiento
ANTES			
1	Revisar las condiciones físicas de la nabaja y limpiar	Que no este atrellada, que este bien tensada y que no manche el material.	Utilizar W-40 para limpiar y una espátula
2	Revisar la cantidad de grasa en los engranajes.	Observar que abresalga la grasa de los engranajes.	Grasa lubral LITIO MOLLYE P-2
3	Revisar nivel de aceite hidráulico	Mínimo 3/4 del total	Acete Mobil H.L.1120
4	Revisar el estado físico de los rodillos inferiores y superiores	Observar que no estén doblados	Visual
5	Revisar la transmisión de velocidades.	Verificar que funcionen las 3 velocidades.	Manual
6	Revisar las poleas de las bandas y de la nabaja.	Observar que estén bien sentadas	Manual y visual
7	Revisar los esmeriles y los motores	Observar que los esmeriles no estén tan desgastados.	Visual
8	Revisar los soportes de los rodillos		Visual
9	Revisar las bandas transportadoras	Observar que no estén rotas o mal posicionadas.	Visual
10	Revisar las cadenas de toda la maquina	Observar que noe stan rotas, flojas o muy tensadas.	Visual
11	Revisar los contras que estén anclados.	Observar que no estén muy salidas ni muy medidas.	Visual
12	Revisar los opresores de planacha	Observar que no estén flojos.	Llave de estrella 6mm
13	Revisar los opresores de los brazos de los rodillos.	Observar que no estén flojos.	Llave de estrella 6mm
14	Revisar las conexiones electricas de los controles.	Observar que no aya hilos contactos o cables descubiertos	Visual
15	Engrasar todos los rodillos de la banda transportadora	Observar que no les fite grasa en los baleros	Pistola de grasa. Grasa lubral LITIO MOLLYE P-2
16	Limpiar toda la maquina y areas de trabajo.	Quitar restos de hacaite, basura, plasticos y polvo.	Escoba, disel, compresora y tapos
Notas y/o Precauciones:			
Utilizar siempre guantes para el cambio de nabaja Realizar la lubricación con el equipo apagado Realizar la revision de conexiones electricas con equipo apagado Realizar lubricacion con pistolas de engrases		Realizó Fecha de realización Última revisión Aprobó Versión	Pablo Guerrero 03/10/2024 07/10/2024 Jesus Maciel Ramirez 1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3 Actividades para mantenimiento autónomo.

Registro de mantenimiento Autónomo diario		Mes: Enero-Diciembre													
Máquina: Máquina de rollo continuo HK		FRECUENCIAS													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ANTES		L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
1	Revisar las condiciones físicas de la nabaja y limpiar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	Revisar la cantidad de grasa en los engranajes.	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
3	Revisar nivel de aceite hidráulico	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
4	Revisar los soportes de los rodillos	✓	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
5	Revisar el estado físico de los rodillos inferiores y superiores	□	✓	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
6	Revisar la transmisión de velocidades.	✓	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
7	Revisar las conexiones eléctricas de los controles.	✓	□	✓	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
DURANTE		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
8	Revisar los esmeriles.	✓	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
9	Revisar las poleas de las bandas y de la nabaja.	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
10	Revisar las bandas transportadoras	✓	✓	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
12	Revisar las cadenas de toda la máquina.	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
13	Revisar las contras que estén aniveltas.	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
AL FINALIZAR EL TURNO		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
14	Revisar los opresores de la plancha y de los brazos de rodillos	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
15	Engrasar todos los rodillos de la banda transportadora	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
16	Limpieza de la máquina y áreas de trabajo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supervisó															

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4 Programa de mantenimiento preventivo y predictivo.

Máquina	Máquina de rollo HK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
SEMANAL																																	
1	Revisar las condiciones físicas de la nabaja y limpiar	X							X																								
2	Revisar la transmisión de velocidades.		X							X																							
3	Revisar las contras que estén aniveltas.	X						X																									
4	Revisar las conexiones eléctricas de los controles.					X								X																			
5	Limpieza de máquina y área de trabajo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BISEMANAL																																	
6	revisar la cantidad de grasa en los engranajes	X																															
7	Revisar el nivel de aceite hidráulico.	X																															
8	Revisar los esmeriles.				X																												
9	Revisar la banda transportadora.		X																														
10	Revisar los opresores de la plancha y de los brazos	X																															
11	Revisar las cadenas de toda la máquina	X																															
SEMESTRAL																																	
12	Revisar los soportes de los rodillos	X																															
13	Revisar el estado físico de los rodillos inferiores y superiores.					X																											
ANUAL																																	
14	Revisar las poleas de la nabaja y de las bandas.	X																															
15	Engrasar todos los rodillos de la banda transportadora	X	X	X																													
Supervisó																																	

Fuente: Elaboración Propia

- Medición y mejora del OEE (Eficiencia General de Equipos): El OEE, un indicador indispensable para la capacidad real de producción sin defectos se calculó utilizando la Ecuación 1 para el cálculo de la disponibilidad, la Ecuación 2 para el cálculo del rendimiento, la Ecuación 3 para la calidad y la Ecuación 4 para el cálculo del OEE.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(\text{tiempo de funcionamiento planificado} - \text{tiempo de paro})}{\text{tiempo de funcionamiento planificado}} \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo ciclo ideal} * \text{conteo total}}{\text{Tiempo de funcionamiento}} \quad (2)$$

$$Calidad = \frac{\text{Numero de articulos buenos}}{\text{Numero de articulos disponibles}} \quad (3)$$

$$OEE(\%) = \frac{\text{Disponibilidad}(\%)}{100} * \frac{\text{Rendimiento}(\%)}{100} * \frac{\text{Calidad}(\%)}{100} \quad (4)$$

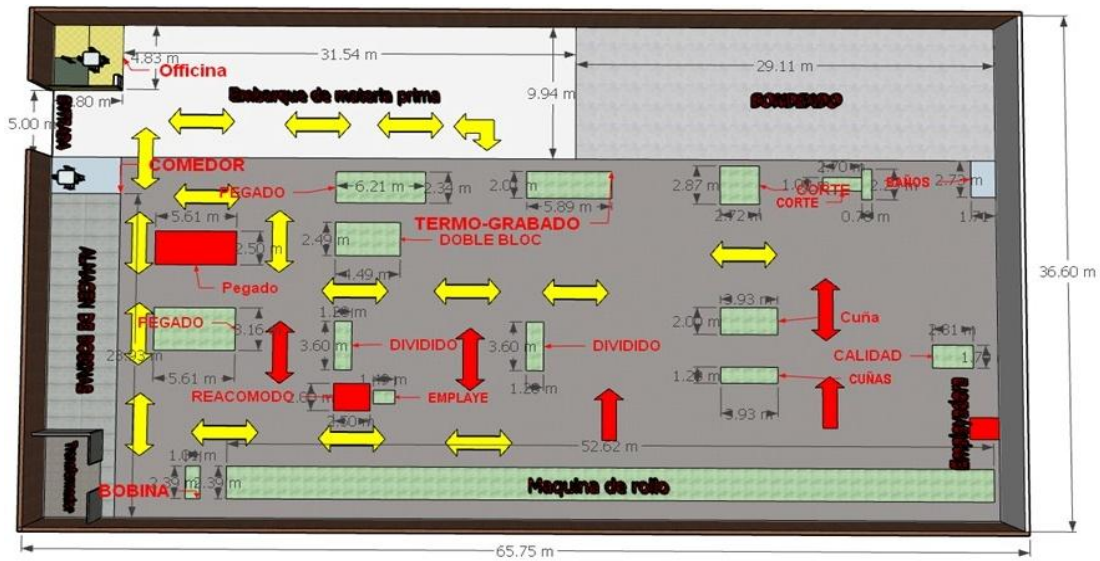
Se realizó un cálculo del OEE antes y después de la implementación de las mejoras. El estudio reporta un incremento del OEE de la maquinaria del 80 a un 91%, con los valores de disponibilidad, eficiencia y calidad mejorando a 96, 94 y 98% respectivamente tras la intervención.

- Codificación e inventario de maquinaria: Se clasificó la maquinaria según su importancia en la producción y se creó un inventario detallado, incluyendo fichas técnicas con información relevante (voltaje, dimensiones, marca, función) para facilitar el mantenimiento y la adquisición de refacciones. También se documentaron los tiempos de paro no planificados y las fechas de mantenimiento correctivo para programar futuras acciones preventivas.

3. Resultados

Redistribución de planta (metodología SLP)

La metodología SLP fue la guía para el rediseño del layout de la planta. Un análisis inicial de los espacios físicos existentes en el departamento SKYVING, representado en la Figura 1, estableció la línea base. Para este rediseño, fue crucial comprender los volúmenes de producción diarios de los diversos productos de EVA, como rollos, láminas y cuñas, información que se detalla en la Tabla 5. Asimismo, la definición clara de las cantidades de materias primas y su flujo, presentadas en la Tabla 5 y el flujo general del proceso en la Figura 2, orientó la ubicación estratégica de los departamentos. Las interrelaciones entre los distintos departamentos fueron analizadas minuciosamente, utilizando un sistema de codificación por letras (A, E, I, O, U, X) para indicar la importancia de la proximidad. Esta jerarquía de importancia, junto con las razones subyacentes para estas relaciones, se explica sistemáticamente en la Tabla 6 y el código de razones. Esta matriz de relaciones exhaustiva, resumida en la Tabla 7, sirvió de plan para el desarrollo del layout propuesto.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1 Lay Out actual.

Tabla 5 Materias primas.

Materia Prima	Cantidades
Blocks	200 blocks
Tela	6000 metros

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2 Flujo del proceso.

Tabla 6 Código de letras SLP.

Código	Relacion	Código de lineas
A	Absolutamente necesaria	=====
E	Especialmente importante	=====
I	Importante	=====
O	Ordinaria	=====
U	Sin importancia	-----
X	Rechazable	-----

Fuente: Elaboración Propia

Reducción de tiempos de cambio (SMED)

Esta fase se enfocó específicamente en la drástica reducción de los tiempos de preparación de la maquinaria, particularmente en el proceso de cambio de navaja de la máquina de rollo, una operación que previamente se caracterizaba por un tiempo de inactividad excesivo.

Análisis inicial SMED

Un análisis inicial pormenorizado de la operación de cambio de navaja, que abarcaba el desmontaje, montaje y calibración, reveló una duración total de 4 h y 43 min. Esto se atribuía principalmente a la inexperiencia de los operadores y a la falta de procedimientos estandarizados. La Tabla 8 documenta meticulosamente estas actividades y sus duraciones. Un sistema de clasificación "semáforo" que indica que el color verde es sin cambio, el color amarillo es área de oportunidad inmediata, el color naranja es área de oportunidad B (mediano plazo) y el color rojo es área de oportunidad C (largo plazo), permitió categorizar las oportunidades de mejora (A: inmediata, B: mediano plazo, C: largo plazo), orientando la priorización de las acciones. Se generó una hoja de planeación para implantar mejoras delineó las mejoras propuestas, como tener las herramientas a mano, marcar las contrapartes y organizar los tornillos por ubicación.

Tabla 8 Análisis SMED (antes) para reducción de tiempos de cambio.

Área	Rollo	Operadores					Tiempo Acumulado			Clasificación del cambio			Kaizen: 1	Fecha: 05 de Septiembre del 202
No.	Operación de cambio	1	2	3	4	5	Tiempo	Jack	Potencial	Interno	Externo	Desperdici	Comentario	
1	Para máquina	X					09:17:00							
2	Subir estructura de la banda y fijar con bandas	X	X	X	X		09:42:32	00:25:32	00:09:10	A			Diseño de soportes fijados a la banda superior	
3	Aflojar todos los tornillos de la plancha	X	X				10:05:21	00:22:49	00:02:00	A			Tener todas las herramientas necesarias a la mano	
4	Desmontar plancha	X	X				10:15:13	00:09:52	00:05:00	A			Diseñar mesa para poner la plancha y no ponerla en el suelo.	
5	Quitar la nabaja	X	X				10:30:00	00:14:47	00:09:12	A		Transporte	Tener el equipo de protección a la mano	
6	Limpiar la máquina	X	X	X			11:14:40	00:44:40	00:20:18	A		Transporte	Poner conexiones de aire para que	
7	Poner la nabaja	X	X				12:07:35	00:52:55	00:30:00	A			Tener la nabaja a la mano	
8	Montar la plancha	X	X				12:22:10	00:14:35	00:11:09	A				
9	Atornillar.	X					13:05:09	00:42:59	00:30:00	A			Tener a la mano los tornillos completos	
10	Calibrar						14:00:12	00:55:03	00:40:00		A		Elaborar un manula	
Tiempo Total							04:43:12	4:43:12	2:36:49					

Fuente: Elaboración Propia

Optimización y estandarización

Se identificaron e implementaron ajustes cruciales, como la modificación de la banda transportadora para evitar la caída de bobinas, eliminando la necesidad de

alineación manual por parte de un auxiliar. La instalación de placas metálicas para facilitar el levantamiento de la base del rodillo mejoró significativamente la seguridad y la velocidad de la operación.

Para optimizar y estandarizar aún más el proceso de cambio y calibración de la navaja, se desarrolló un diagrama de flujo detallado, documentado en la Tabla 1. Este documento sirve como un manual operativo completo, esencial para la capacitación de futuros operadores y para asegurar una ejecución consistente.

Resultados post-implementación SMED

Un análisis posterior a la implementación de estas mejoras, documentado en la Tabla 9: Análisis SMED (después) para reducción de tiempos de cambio, reveló una reducción sustancial en el tiempo de cambio de navaja, pasando de 4 h y 43 min a tan solo 2 h y 47 min. Esto demuestra el impacto significativo de la metodología SMED en la optimización de los procesos de preparación de la maquinaria.

4. Discusión

La presente investigación se propuso abordar los desafíos operativos y la optimización de procesos en el departamento SKYVING de XY, centrándose en la fabricación de EVA [Junior et al., 2022]. La implementación de la filosofía Lean Manufacturing, con sus herramientas esenciales como la Eficiencia General de Equipos (OEE) y la Reducción de Tiempos de Cambio (SMED), se consideró fundamental para potenciar la competitividad industrial [Haddad et al., 2021].

Tabla 9 Análisis SMED (después) para reducción de tiempos de cambio.

Area/No.	Rol/Operación de cambio	Operadores					Tiempo Acumulado	Tiempo	Potencial	Clasificación del cambio			Fecha: 01 de Octubre del 2024
		1	2	3	4	5				Interno	Externo	Desperdicio	
1	Para máquina	X					11:13:00						
2	Subir estructura de la banda y fijar con bandas	X	X	X			11:22:19	00:09:19	00:09:10	A			
3	Alojar todos los tornillos de la plancha	X	X				11:35:11	00:12:52	00:02:00	A			
4	Desmontar plancha	X	X				11:54:33	00:19:22	00:05:00	A			
5	Quitar la navaja	X	X				12:18:20	00:23:47	00:09:12	A			
6	Limpiar la máquina	X	X				12:34:40	00:16:20	00:20:18				
7	Poner la navaja	X	X				12:57:35	00:22:55	00:30:00				
8	Montar la plancha	X	X				13:11:18	00:13:43	00:11:09				
9	Atornillar	X					13:19:02	00:07:44	00:30:00				
10	Calibrar	X					14:00:19	00:41:17	00:40:00				
Tiempo Total							02:47:19	2:47:19	2:36:49				

Fuente: Elaboración Propia

Un logro destacable de esta intervención fue la reducción significativa de los tiempos de preparación de la maquinaria gracias a la metodología SMED. Específicamente, el tiempo para el cambio de cuchilla en la máquina de rollo se redujo drásticamente de 4 h y 43 min a tan solo 2 h y 47 min. Esta mejora se consiguió mediante el análisis detallado de las actividades, logrando convertir operaciones internas en externas y simplificando las restantes. Por ejemplo, se enfocaron en tener herramientas y navajas a la mano, así como la compresora para la limpieza, y se implementaron modificaciones en la máquina para facilitar el proceso, como la instalación de placas para fijar la base con rodillos, haciendo el proceso más seguro y rápido. Este éxito es consistente con la literatura que subraya cómo el SMED, a través de la distinción y optimización de actividades internas y externas, contribuye a reducir los tiempos de cambio de herramienta [Haddad et al., 2021; Socconini, 2019]. Otros estudios también han demostrado la efectividad de SMED en la mejora de la productividad [García-García et al., 2022; Nikolić et al., 2023], y en el contexto de EVA, una investigación previa reportó una mejora del 15% en la productividad diaria y una reducción del 40% en los tiempos de cambio de moldes con la aplicación de SMED [Mares Castro et al., 2024].

La instauración de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo fue fundamental para mejorar la Efectividad General de Equipos (OEE). Al definir y programar inspecciones y tareas de mantenimiento para las partes clave, especialmente en la máquina de rollo por su uso intensivo, se logró minimizar las paradas correctivas no planificadas. Este enfoque, alineado con los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM), busca la continuidad operativa, la eliminación de defectos y accidentes, y la participación de todo el personal [Socconini, 2019]. La implementación de instrucciones de mantenimiento autónomo para los operadores fue crucial, permitiendo que el 50% del gasto de mantenimiento, usualmente atribuido a la mala operación, fuera atenuado. Como resultado tangible, la OEE de la máquina de rollo mejoró considerablemente, alcanzando un 92%, lo que se tradujo en mayores ingresos económicos para la empresa.

Se logró reducir los tiempos de paro no planificados y se estableció una base sólida para la medición y optimización continua de las capacidades de producción. Este

estudio en la producción de EVA, un polímero ampliamente utilizado en diversas industrias [Geoffroy et al., 2019], se posiciona como un referente valioso para la manufactura que busca transformaciones operativas y una mejora constante. Aunque los materiales EVA han sido extensamente estudiados en el laboratorio por sus propiedades y aplicaciones industriales [Geoffroy et al., 2019; Velasco Nieto, 2016], nuestro enfoque en la optimización de sus procesos de fabricación mediante Lean, es lo que impulsa el impacto directo en la producción.

5. Conclusiones

La intervención de la filosofía Lean Manufacturing en la empresa XY, específicamente en el departamento SKYVING y sus procesos de fabricación de Etileno Acetato de Vinilo (EVA), ha probado ser una decisión estratégica de gran calado, logrando una transformación palpable en la eficiencia y la competitividad. La iniciativa se gestó con el firme propósito de solventar desafíos persistentes, como la notable falta de optimización operativa y la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo, que históricamente habían generado paradas prolongadas y fallas recurrentes en la maquinaria. En resumen, se ha establecido una sólida plataforma para la medición y la optimización continua de las capacidades productivas, consolidando el camino de la empresa hacia la excelencia operativa y una mayor competitividad industrial. Este caso de estudio en la producción de EVA sirve como un referente práctico y valioso para cualquier entidad manufacturera que aspire a transformaciones operativas sostenibles.

6. Referencias y bibliografía

- [1] Garcia-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>.
- [2] Geoffroy, L., Samyn, F., Jimenez, M., & Bourbigot, S. (2019). Additive manufacturing of fire-retardant ethylene-vinyl acetate. *Polymers for Advanced Technologies*, 30(7), 1878 – 1890. <https://doi.org/10.1002/pat.4620>.

- [3] 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>.
- [4] Junior, R. G. P., Inácio, R. H., da Silva, I. B., Hassui, A., & Barbosa, G. F. (2022). A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(9–10), 6469–6487. <https://doi.org/10.1007/S00170-021-08534-W/METRICS>.
- [5] Mares Castro, A., Becerra Rodríguez, M. B., Hernández Hernández, A., & Oliva Ramos, M. D. L. (2024). Standardized Work. In *Lean Manufacturing in Latin America: Concepts, Methodologies and Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-0317-0984-5_2.
- [6] Mares-Castro, A., & Domínguez-Domínguez, J. (2022). Evaluación estadística de índices de desempeño para el proceso de división de rollos de EVA. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 23(2), 1–15. <https://doi.org/10.22201/FI.25940732E.2022.23.2.013>.
- [7] Nikolić, J., Dašić, M., & Đapan, M. (2023). SMED AS AN INDISPENSABLE PART OF LEAN MANUFACTURING IN THE SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES. *International Journal for Quality Research*, 17(1), 255 – 270. <https://doi.org/10.24874/IJQR17.01-16>.
- [8] Pacheco, D. A. de J., & Heidrich, G. D. G. (2023). Revitalising the setup reduction activities in Operations Management. *Production Planning and Control*, 34(9), 791 – 811. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1964881>.
- [9] Rathi, S. S., Sahu, M. K., & Kumar, S. (2024). Implementation of lean manufacturing methods to improve rolling mill productivity. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 11(111), 243 – 256. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2023.10102004>.
- [10] Saad, S. M., Bahadori, R., Bhoovar, C., & Zhang, H. (2024). Industry 4.0 and Lean Manufacturing – a systematic review of the state-of-the-art literature

- and key recommendations for future research. *International Journal of Lean Six Sigma*, 15(5), 997–1024. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2022-0021>
- [11] Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing. Paso a Paso*. ICG Marge, SL. <https://books.google.com.mx/books?id=rjyeDwAAQBAJ>.
- [12] Vargas, L., Fry, H., & Flores Pérez, A. (2024, November). Increased productivity through SMED and TPM in a Metalworking SME. An empirical investigation in the Peruvian industry. In *4th Indian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, <https://doi.org/10.46254/IN04.20240180>.
- [13] Velasco Nieto, D. (2016). *Desarrollo de biomateriales celulares en base EVA, PLA y PHB: fabricación y caracterización*. <https://doi.org/10.35376/10324/22235>.