



FACULTAD DE POSGRADOS

**TEMA: PROPUESTA DE MEJORA PARA INCREMENTAR EÑ OEE DEL
ÁREA DE PÚAS MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE MES Y APLICACIÓN DE
SMED**

Docente: Rafael Graña Salgado

Integrantes:

Edison Arturo Segovia Villavicencio

Resumen

En la industria actual, la eficiencia en los procesos de manufactura es crucial para mantener la competitividad. El OEE se destaca como indicador clave, pero enfrentamos un desafío significativo con un 28% de tiempos de paro no identificados, lo cual impacta negativamente en la eficiencia.

Para abordar este problema, se propone la transformación digital mediante la implementación de un Sistema de Ejecución de Manufactura (MES) y la metodología SMED. Se proyecta mejorar el OEE recuperando un 11%, elevando el nivel actual del 54% a un 65%.

El proyecto se basa en observaciones directas en el piso de producción, toma de tiempos y simulaciones utilizando herramientas como Flexim. Esto permite proyectar mejoras concretas y optimizar los procesos.

La implementación del MES proporcionará datos en tiempo real para una planificación precisa y una gestión efectiva del proceso. Esto no solo ayudará a identificar y reducir causas de paro, sino que también facilitará una planificación más equilibrada y mejorará los resultados esperados inicialmente.

En resumen, la digitalización y la mejora continua impulsarán la eficiencia operativa, posicionando a la compañía para superar expectativas y mantenerse competitiva en un entorno industrial cada vez más exigente.

Palabras clave: OEE; SMED; MES

Abstract

In today's industry, efficiency in manufacturing processes is crucial to maintain competitiveness. OEE stands out as a key indicator, but we face a significant challenge with 28% unidentified downtime, which negatively impacts efficiency.

To address this issue, digital transformation is proposed through the implementation of a Manufacturing Execution System (MES) and SMED methodology. It is projected to improve OEE by recovering 11%, raising the current level of 54% to 65%.

The project is based on direct observations on the shop floor, time recording and simulations using tools such as Flexim. This makes it possible to project concrete improvements and optimize processes.

The implementation of MES will provide real-time data for accurate planning and effective process management. This will not only help to identify and reduce causes of downtime, but will also facilitate more balanced planning and improve the initially expected results.

In summary, digitization and continuous improvement will drive operational efficiency, positioning the company to exceed expectations and remain competitive in an increasingly demanding industrial environment.

Keywords: OEE; SMED; MES

Introducción

El proyecto académico enfocado en la mejora del OEE (Overall Equipment Effectiveness) en un proceso productivo a través de la implementación de un sistema MES y la aplicación de la metodología SMED. El OEE es un indicador crucial que nos permite evaluar la eficiencia global de los equipos, y nuestra propuesta busca optimizar este rendimiento mediante estrategias innovadoras y prácticas específicas. A lo largo del desarrollo de este proyecto, exploraremos cómo esta implementación puede no solo incrementar la productividad, sino también reducir costos y mejorar la calidad del producto final.

Palabras clave

OEE

(Overall Equipment Effectiveness) es un indicador clave de la eficiencia de equipos en manufactura. Se calcula considerando disponibilidad, desempeño y calidad, y ayuda a identificar pérdidas y mejorar procesos para aumentar la productividad y reducir costos operativos.

MES

MES (Manufacturing Execution System) es un sistema que controla y gestiona la producción en tiempo real en entornos manufactureros. Facilita la planificación, seguimiento y control de procesos para mejorar la eficiencia y la calidad del producto final.

SMED

SMED (Single-Minute Exchange of Die) es una metodología que busca reducir el tiempo de cambio de herramientas o setups en procesos de manufactura a un solo dígito de minutos. Su objetivo es mejorar la flexibilidad, reducir tiempos muertos y aumentar la eficiencia operativa.

Black box

Tiempos de paro desconocidos.

Índice de contenido

1. Antecedentes	1
1.1. Descripción de la Organización	1
1.2. Descripción del problema	7
1.3. Justificación del problema	8
1.4. Alcance	9
1.5. Objetivos	12
2. Marco Teórico.....	13
2.1. OEE.....	13
2.2. SMED	14
2.3. Importancia de la Digitalización de Datos.....	14
2.4. Tecnologías Habilitadoras de la Digitalización	15
2.5. Beneficios de la Digitalización en la Manufactura	15
2.6. Retos y Consideraciones de la Digitalización.....	15
3. Análisis de la situación actual.....	15
3.1. Gestión por procesos.....	15
3.2. Análisis de datos y transformación digital.....	16
3.3. Análisis del problema real con datos del proceso	18
3.4. Priorización de los problemas.....	19
3.5. Análisis de causas	20
3.6. Priorización de causas.....	21
4. Propuesta y justificación de alternativas de solución.....	23
4.1 Propuesta de mejora.....	23

4.2. Plan de Mejora	24
4.2.1. Sistema de digitalización de datos en tiempo real	24
4.2.2. SMED	26
4.2.3. Cronograma de desarrollo	30
4.3. Análisis costo – beneficio	31
4.4. Proyección de resultados.....	33
4.5. Discusión de resultados	42
5. Conclusiones y Recomendaciones	43
5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones	44
Bibliografía.....	46
Anexos.....	48

Lista de Figuras

Figura 1 Mapa de procesos general de la organización.....	7
Figura 2 Causas de paros de producción por categoría	17
Figura 3 Gráfico cascada tiempos de paro Púas.....	18
Figura 4 Evolución OEE últimos 3 años	19
Figura 5 Identificación de causas	20
Figura 6 Diagrama Ishikawa	21
Figura 7 Diagrama de Pareto.....	21
Figura 8 Matriz de Priorización.....	22
Figura 9 Diagrama sistema MES.....	25
Figura 10 Pareto de paros cambio de elementos	28
Figura 11 Cronograma de ejecución del proyecto.....	31
Figura 12 Producción y tiempos de paro escenario de observación 1.....	34
Figura 13 Producción y tiempos de paro observación escenario 2	36
Figura 14 Simulación de proceso Flexim.....	38
Figura 15 Producción teórica vs producción real – Escenario 1	40
Figura 16 Producción teórica vs producción real – Escenario 2	41
Figura 17 Producción teórica vs producción real – Escenario 3	41

Lista de tablas

Tabla 1 Líneas de producción o servicio	7
Tabla 2 Clasificación de actividades y toma de tiempos.....	26
Tabla 3 Listado de actividades con tiempos de paro	27
Tabla 4 Acciones de mejora	29
Tabla 5 Detalle de costos.....	31
Tabla 6 Mix de productos programados escenario de observación 1	33
Tabla 7 Resultados observación escenario 1	34
Tabla 8 Mix de producción escenario de observación 2.....	35
Tabla 9 Resultados observación 2	36
Tabla 10 Datos para escenarios de simulación Flexim.....	38
Tabla 11 Resultados simulación Flexim - Escenario 1.....	39
Tabla 12 Resultados simulación Flexim - Escenario 2.....	40
Tabla 13 Resultados simulación Flexim - Escenario 3.....	41

1. Antecedentes

1.1.Descripción de la Organización

Ideal Alambrec nace en la ciudad de Ambato en el año 1940, ciudad en la que la familia Kohn, ayudados de un pequeño capital y mucho esfuerzo crea Ideal Industria de Alambre, dedicándose a fabricar telas metálicas. Este proceso muy innovador para su tiempo adapta telares normales para que puedan trabajar con alambres, obteniendo como resultado un producto totalmente nuevo que son las telas metálicas, muy demandadas en la región costa del país como protectores contra insectos en las viviendas.

La creciente demanda del mercado generó la necesidad de incorporar nuevas tecnologías como también incrementar la cartera de productos y es así como en 1947 se inaugura el proceso de alambre de púas y traslada su planta a la ciudad de Quito.

En 1956 se realiza la adquisición de la antigua Fábrica Nacional de Clavos S.A. en Guayaquil, ampliando aún más de esta manera su gama de productos.

En los años 70 gracias a la sociedad realizada con el grupo Bekaert de Bélgica, líderes a nivel mundial en la producción de alambres de todo tipo, se comienza la producción de todo tipo de alambres y sus productos derivados como mallas y rollos de alambre para diferentes aplicaciones.

En los años 70, Ideal Alambrec experimenta un crecimiento gradual a medida que ganaba reputación y clientes en el mercado ecuatoriano. Gracias al aporte del Grupo Bekaert de Bélgica, quienes son líderes a nivel mundial en la producción de alambres de todo tipo logran diversificar

su línea de productos para incluir una variedad de alambres y productos derivados del alambre, como alambre de púas, alambre galvanizado, mallas metálicas, entre otros, para satisfacer las necesidades específicas de diferentes industrias y clientes.

Finalmente, en 1974 se inauguró la planta industrial Alambrec para posteriormente en 1983 llevarse a cabo la fusión de las dos empresas.

La coalición permite que en Ideal Alambrec se tenga un crecimiento gracias a tecnología y procesos de fabricación avanzados mejorando así la calidad de sus productos y aumentando su eficiencia operativa. La innovación en el diseño y la producción de alambres es fundamental para mantenerse competitivo en la industria.

En la búsqueda de oportunidades de expansión a nivel nacional Ideal Alambrec adquiere en 1991, la Fábrica de Clavos Guayas, Alalit y Multiacero y a la par establece sucursales o centros de distribución en diferentes regiones de Ecuador para atender a una base de clientes más amplia y reducir los costos logísticos.

Actualmente, Ideal Alambrec en Ecuador es una empresa bien establecida en el mercado local e internacional, con una sólida reputación por la calidad de sus productos y servicios. Ha conseguido una amplia base de clientes en diversos sectores industriales y comerciales en todo el país. Su enfoque en la calidad, la innovación y la satisfacción del cliente seguiría siendo fundamental para su éxito continuo en un mercado competitivo.

Ideal Alambrec en Ecuador habría pasado por un proceso de crecimiento y desarrollo desde sus inicios hasta su situación actual, adaptándose a las demandas del mercado y consolidando su posición como un proveedor líder de productos de alambre en el país.

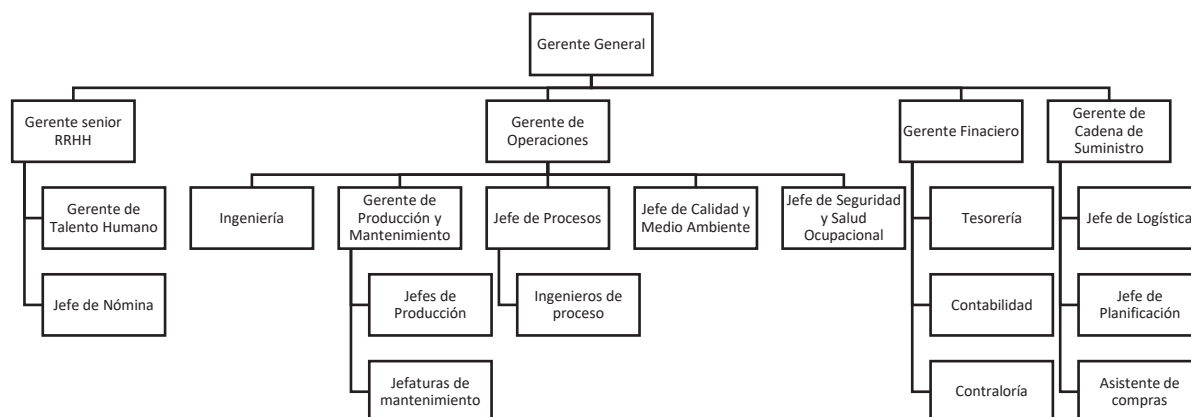
Misión:

"Nuestra misión es ser líderes en la fabricación de soluciones para la industria agrícola, construcción, minería, y telecomunicaciones ofreciendo productos de la más alta calidad que satisfagan las necesidades y expectativas de nuestros clientes. Nos comprometemos a mantener estándares de excelencia en todos los aspectos de nuestro negocio, desde la selección de materias primas hasta la entrega final del producto. Buscamos constantemente la innovación y la mejora continua para proporcionar soluciones confiables y rentables a nuestros clientes, al tiempo que fomentamos un entorno laboral seguro y colaborativo para nuestro equipo."

Visión:

"Nuestra visión es ser reconocidos como el proveedor preferido de alambres en el mercado global. Nos esforzamos por expandir nuestra presencia a nivel nacional e internacional, estableciendo relaciones sólidas y duraderas con nuestros clientes y socios comerciales. Buscamos ser referentes en términos de calidad, servicio al cliente, sostenibilidad y responsabilidad social corporativa. Nos comprometemos a impulsar el crecimiento y la rentabilidad de nuestra empresa mediante la innovación constante, la eficiencia operativa y el desarrollo de nuestro talento humano."

Organigrama funcional



Ubicación

La planta de Producción Ideal Alambre Bekaert se encuentra ubicada en Quito en la siguiente dirección:

Calle S60 N°. E3-423 y Calle E3E. Sector Parque Industrial Sur.

Sucursales:

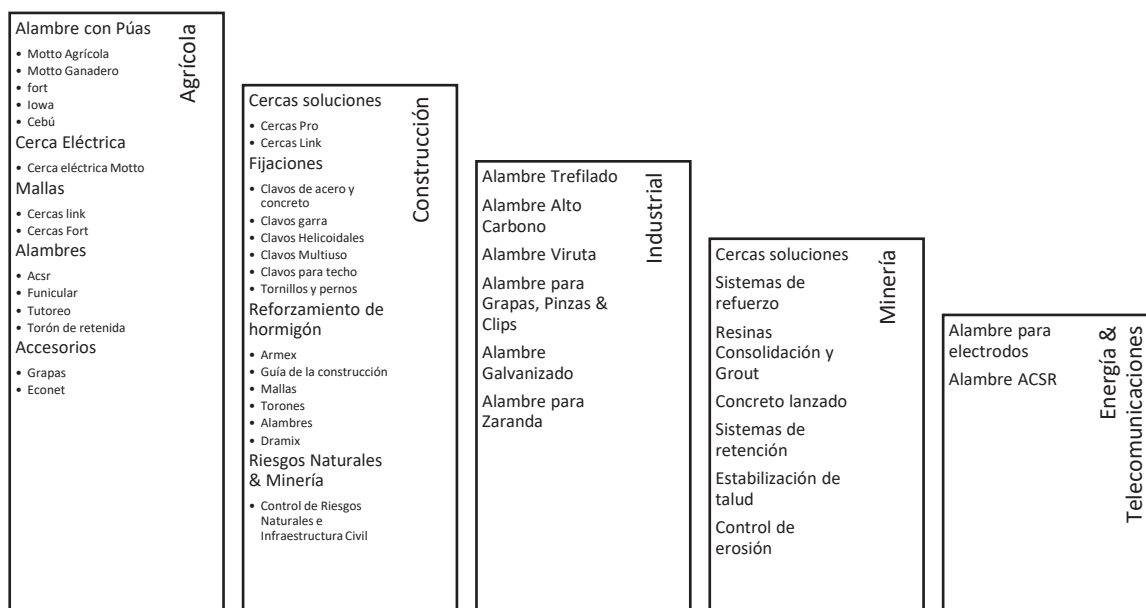
Guayaquil

Av. Velazco Ibarra N°. 101 y calle Primera S.O. Bellavista.

Cuenca

Av. San Pablo del Lago N°2-13 y Cuicocha, Quinta Chica.

Cartera de productos



Certificaciones

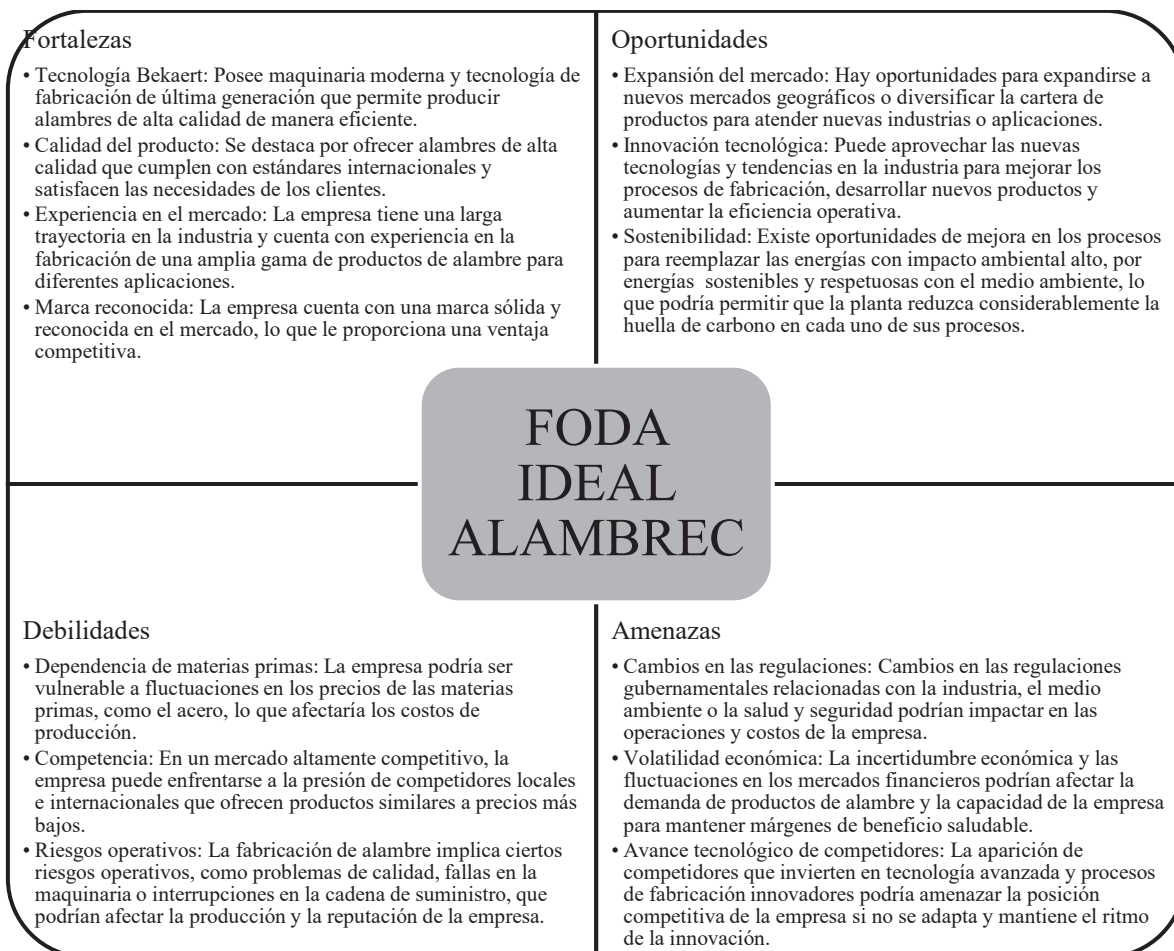
ISO 9001, Sistema de Gestión Calidad.

ISO 14001, Sistema de Gestión Ambiental.

OHSAS 18001, Sistema de Gestión de la Salud y la Seguridad en el Trabajo.

INEN

FODA



Nota. Análisis de fortalezas y debilidades de la compañía

1.2.Descripción del problema

Figura 1

Mapa de procesos general de la organización



Nota. Mapa de procesos Ideal Alambrec

Tabla 1

Líneas de producción o servicio

Trefilados	Trefilados industriales de alto carbono
	Trefilados extrapulidos
	Trefilados para amarre
	Trefilados corrugados
	Mallas de alambre retrefilado
	Clavería
Línea de alambres Galvanizados	Alambres Galvanizados
	Mallas Galvanizadas
	Alambres de Púas
	Mallas extruídas
	Grapas y clavo techo
Armex	Mallas electrosoldadas pesadas
	Vigas y columnas
	Paquetes de varilla
	Varilla laminada

Nota. Cartera de productos de la empresa

Procesos que requieren mejorar, en Ideal Alambrec se ha identificado una oportunidad de mejora importante en el proceso de fabricación de alambre de Púas Motto-Fort, mismo que actualmente presenta un nivel bajo en el indicador de OEE.

1.3. Justificación del problema

Actualmente el área de Púas Motto-Fort en Ideal Alambrec tiene un resultado de OEE del 54%, mismo que se ha mantenido en el promedio de los tres últimos años.

El propósito de este proyecto es mejorar significativamente el proceso de fabricación de alambres de púas en nuestra empresa, con el objetivo de aumentar la eficiencia operativa y reducir los costos de producción. Esta iniciativa surge en respuesta a la creciente competencia en el mercado y la necesidad de mantenernos competitivos y adaptados a las demandas cambiantes de nuestros clientes.

Razones de la Mejora

Mejora de OEE: Actualmente, el proceso de fabricación de alambres de púas enfrenta desafíos en términos de eficiencia, lo que resulta en tiempos de producción prolongados y costos operativos elevados. Mediante la implementación de mejoras, buscamos reducir los tiempos de ciclo y aumentar la productividad global de la línea de producción.

Optimización de recursos: Los altos costos de producción impactan negativamente en la rentabilidad de la compañía, mejorar la utilización de los recursos y optimizar el proceso mejorará la productividad del proceso lo que nos permitirá reducir los costos operativos y aumentar la competitividad del alambre de púas en el mercado.

Reducción de Tiempos de Inactividad: La implementación de medidas de mantenimiento preventivo ayudará a identificar y abordar proactivamente problemas potenciales antes de que causen tiempos de inactividad no planificados en la línea de producción.

Mejora en la Velocidad de Rendimiento: Al reducir los tiempos de ajuste y optimizar los procesos de producción, se mejorará la velocidad de rendimiento de la línea, lo que resultará en una mayor producción de alambres de púas en el mismo período de tiempo.

Beneficios esperados:

- Mejora del OEE en el área.
- Reducción de la caja negra en el proceso.
- Establecer el man occupation para cada uno de los productos fabricados en el proceso.
- Planificación efectiva con metas por número de máquinas.
- Control de la producción y monitoreo de tiempos con el uso de herramientas digitales.

En resumen, este proyecto de mejora en el proceso de fabricación de alambres de púas es fundamental para mantener la competitividad y el éxito a largo plazo de nuestra empresa. Al optimizar nuestros procesos y mejorar la calidad y eficiencia de nuestra producción, estaremos mejor posicionados para satisfacer las demandas del mercado y superar las expectativas de nuestros clientes.

1.4.Alcance

El proyecto de mejora se realizará en Ideal Alambrec Bekaert en el área de Púas Motto-Fort, misma que está conformada por 14 máquinas, siendo divididas en dos grupos de 7 máquinas llamados Grupo Motto y Grupo Fort respectivamente

Áreas de Mejora:

- Reducción de tiempos de inactividad.
- Optimización de la utilización de recursos.

Operaciones incluidas:

- Recepción y almacenamiento de materias primas
- Control y seguimiento de stocks de materia prima.
- Fabricación de púas.

Actividades específicas:

- Análisis de los procesos actuales.
- Identificación de áreas de oportunidad.
- Optimización de los procedimientos de producción.
- Capacitación del personal en nuevas prácticas y procedimientos.
- Instalación de equipos o tecnologías mejoradas, si es necesario.
- Evaluación de la eficacia de las mejoras implementadas.

Exclusiones del alcance:

- Rediseño completo de la línea de producción.
- Adquisición de maquinaria completamente nueva.
- Cambios estructurales en la fábrica.

- Ampliación de la capacidad de producción más allá de los límites actuales.

Recursos necesarios:

- Personal de proyecto (gerentes, ingenieros, supervisores).
- Personal de producción.
- Expertos en mantenimiento.
- Posiblemente consultores externos.
- Presupuesto para equipos, capacitación y otras necesidades.

Limitaciones:

- Presupuesto limitado.
- Tiempo limitado para implementar mejoras.
- Disponibilidad de recursos humanos y materiales.

Cronograma:

- Fase de análisis y planificación: 1 meses.
- Fase de implementación de mejoras: 12 meses.
- Evaluación y seguimiento de resultados: Ongoing (continuo).

Este alcance del proyecto proporciona una visión general clara de las metas, actividades y recursos necesarios para llevar a cabo la mejora en la línea de producción de alambres de púas de manera efectiva y eficiente.

1.5.Objetivos

Objetivo general

Alcanzar un OEE del 65% en el área de Púas hasta el mes de diciembre del 2024, por medio de la implementación de un proyecto MES que permita identificar los tiempos de paro del área al 100% y establezca un control digital en línea de la producción para el control de metas de producción por turno en el área.

Objetivo Especifico

- Implementar el proyecto MES en el área de Púas Motto-Fort para lograr la digitalización de la reportería de tiempos del proceso para eliminar la caja negra, que actualmente es del 20% hasta el mes de diciembre del 2024.
- Definir el man occupation en cada uno de los sku's producidos en el área de Púas Motto-Fort hasta el tercer trimestre del año 2024.
- Planificar la producción del área tomando en cuenta el man occupation de cada producto para establecer la cantidad de horas hombre necesarias, hasta el mes de diciembre del 2024.
- Realizar un seguimiento regular del OEE después de la implementación del sistema MES para evaluar el impacto de las mejoras en la eficiencia operativa. Realizar ajustes según sea necesario para alcanzar el objetivo de aumento del 11% en el OEE.

2. Marco Teórico

2.1.OEE

El concepto de OEE (Overall Equipment Effectiveness) es una métrica clave utilizada en la industria manufacturera para medir la eficiencia global de los equipos de producción. Fue desarrollado inicialmente en el contexto del TPM (Total Productive Maintenance) por Seiichi Nakajima en la década de 1960, y desde entonces ha sido ampliamente adoptado como un indicador fundamental de rendimiento en operaciones industriales (Nakajima, 1988).

El OEE se calcula multiplicando tres factores principales que representan diferentes aspectos del rendimiento de los equipos:

Disponibilidad: Representa el porcentaje de tiempo en que el equipo está disponible y listo para operar cuando se lo necesita. Incluye el tiempo de paro planificado y no planificado, como mantenimientos preventivos, averías y tiempos muertos no planificados.

Rendimiento: Mide la eficiencia del equipo durante el tiempo de producción efectiva. Se calcula como la relación entre la velocidad real de producción y la velocidad teórica de producción ideal. Incluye pérdidas por velocidad reducida y micro paradas.

Calidad: Indica el porcentaje de productos buenos y conformes que se producen en relación con el total de productos fabricados. Incluye pérdidas debido a productos defectuosos, re-trabajos y reprocesos (Nakajima, 1988).

2.2.SMED

El concepto de SMED (Single-Minute Exchange of Die) es una metodología desarrollada por Shigeo Shingo para reducir el tiempo de cambio de herramientas y equipos en los procesos de manufactura. SMED, se centra en convertir las actividades internas (realizadas cuando la máquina está parada) en actividades externas (que pueden realizarse mientras la máquina sigue funcionando), lo que, permite reducir drásticamente los tiempos de cambio y aumentar la flexibilidad de producción (Shingo, 1985).

Los componentes clave de SMED son:

Actividades Externas e Internas: Se refiere a distinguir y simplificar las actividades que se realizan durante el cambio de herramientas, convirtiendo las internas (realizadas cuando la máquina está parada) en externas (realizadas mientras la máquina sigue en funcionamiento).

Estandarización de Procesos: Implica estandarizar los pasos necesarios para cambiar herramientas o ajustar equipos, reduciendo la variabilidad y asegurando una ejecución consistente y eficiente.

Utilización de Dispositivos Especiales: Involucra el diseño y la implementación de dispositivos o herramientas que faciliten y aceleren el proceso de cambio, minimizando la manipulación manual y el ajuste (Shingo, 1985).

2.3.Importancia de la Digitalización de Datos

La digitalización de datos en la industria manufacturera se refiere a la transformación de información física y procesos analógicos en formatos digitales accesibles y manipulables. Esto incluye la captura, almacenamiento y análisis de datos generados por máquinas, sensores, y

operaciones, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones (Kagerman & Wahlster, 2013).

2.4. Tecnologías Habilitadoras de la Digitalización

Las tecnologías clave que facilitan la digitalización de datos incluyen Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Cloud Computing, Sistemas MES (Manufacturing Execution Systems) y sistemas de automatización avanzados. Estas tecnologías permiten la captura en tiempo real, el análisis predictivo y la optimización de procesos en toda la cadena de valor manufacturera (Manyika, y otros, 2015).

2.5. Beneficios de la Digitalización en la Manufactura

La digitalización de datos en la manufactura ofrece varios beneficios, como la mejora de la eficiencia operativa, la optimización de la gestión de inventarios, la reducción de costos de mantenimiento, y la capacidad de personalizar la producción según la demanda del mercado. Además, permite una integración más fluida con proveedores y clientes a lo largo de la cadena de suministro (Michael, Porter, & Heppelmann, 2014).

2.6. Retos y Consideraciones de la Digitalización

A pesar de sus beneficios, la digitalización también enfrenta desafíos como la ciberseguridad, la interoperabilidad entre sistemas heredados, la formación de personal capacitado y la gestión del cambio organizacional. Abordar estos retos es crucial para maximizar los beneficios de la transformación digital en la manufactura (Lee, Bagheri, & Kao, 2014).

3. Análisis de la situación actual

3.1. Gestión por procesos

En el análisis de situación actual, el uso de la herramienta SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) proporciona una estructura efectiva para comprender y visualizar los elementos clave de un proceso.

En el contexto del proyecto de mejora de OEE, es fundamental comprender a fondo el proceso actual para identificar áreas de oportunidad y proponer soluciones efectivas. La caracterización del proceso nos proporcionará una visión detallada de cómo se llevan a cabo las actividades, qué recursos se utilizan y cómo fluye la información a lo largo de todo el sistema.

En esta etapa inicial, nuestro objetivo es realizar una descripción exhaustiva del proceso existente, desde la entrada de materias primas o información hasta la entrega del producto final o servicio. A través de este análisis, podremos identificar los puntos críticos, cuellos de botella, ineficiencias y oportunidades de mejora que nos permitirán optimizar el rendimiento y la calidad del proceso.

3.2. Análisis de datos y transformación digital

Actualmente los datos del proceso son alimentados manualmente desde órdenes de proceso físicas en piso mismas que a través del MRP determinan las métricas los KPIs del área. Los paros de producción se clasifican en cuatro grandes grupos, los mismos que son:

Paros S

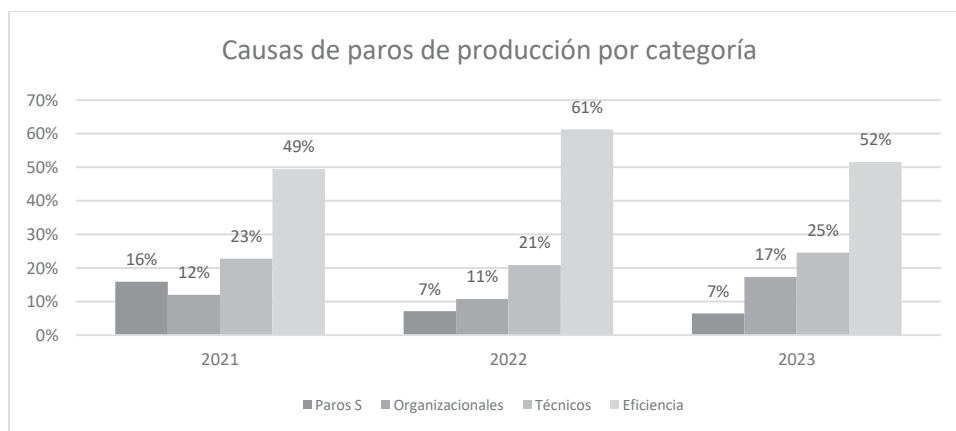
Paros Organizacionales

Paros técnicos

Paros de eficiencia

Los paros de eficiencia son los más representativos en los tres últimos años, siendo un promedio del 50% de los paros totales que se reportan en el proceso, a estos les siguen los paros técnicos que tienen un porcentaje promedio del 20% de los paros totales del proceso. En la figura 2 podemos observar los gráficos de la evolución por tipo de paro de los 3 últimos años.

Figura 2
Causas de paros de producción por categoría



Nota. Grafica comparativa de paros de los 3 últimos años

El porcentaje de paros no reportados o paros desconocidos es de aproximadamente el 24% de los tiempos totales del proceso, representando un punto crítico a ser solucionado para mejorar la eficiencia del proceso.

Todos los tiempos de para desconocidos dentro del proceso se los conoce como “black box” y los mismos a diferencia del OEE presentan una tendencia positiva en los últimos años, lo que muestra una relación inversa entre los dos indicadores, ya que cuando se tiene un incremento sobre los tiempos sin reporte o desconocidos como los black box se tiene inmediatamente una afectación hacia la eficiencia del proceso que se ve reflejada en una baja en el OEE. En la figura 3 se puede observar el gráfico cascada que muestra el porcentaje elevado de paros sin identificar dentro del proceso.

Figura 3
Gráfico cascada tiempos de paro Púas.



Nota. Grafica de cascada con reportes de paro del área de Púas

3.3. Análisis del problema real con datos del proceso

El área está equipada con un total de 14 máquinas, divididas en dos grupos de 7 máquinas cada uno. Cada grupo cuenta con un operario responsable del funcionamiento de estas 7 máquinas.

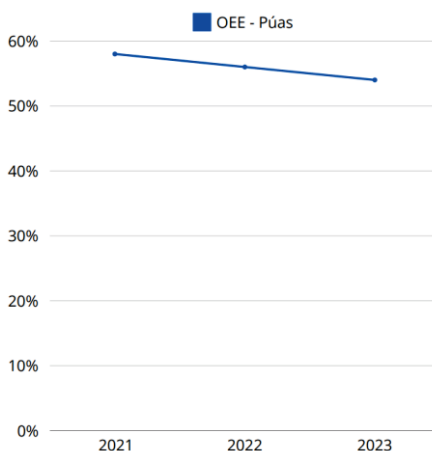
La distribución establecida para el trabajo del operario con las 7 máquinas plantea un desafío crítico en la planificación, especialmente en lo que respecta a la carga de horas hombre por máquina requerida según los metrajes de productos programados en cada una de las máquinas. En la planificación, uno de los principales factores determinantes de la eficiencia del área y su productividad reside en la efectividad para planificar la ocupación del personal en función del mix de producción asignado a su grupo de máquinas.

Uno de los aspectos cruciales a considerar en la planificación del recurso humano es el tiempo de descarga, también conocido como "take out" en Bekaert, ya que este tiempo guarda

una relación directa con el metraje del rollo procesado. Actualmente, se ha definido un tiempo de "man occupation" para cada uno de los productos, el cual se utiliza en la planificación del mix de producción en el área. Sin embargo, este enfoque no resulta efectivo debido a la presencia de numerosas interferencias con tiempos desconocidos en el proceso, lo que genera una ineficiencia que escapa a nuestro control.

El OEE del área de Púas ha venido con una tendencia a la baja en los últimos años como se puede apreciar en la figura 4.

Figura 4
Evolución OEE últimos 3 años



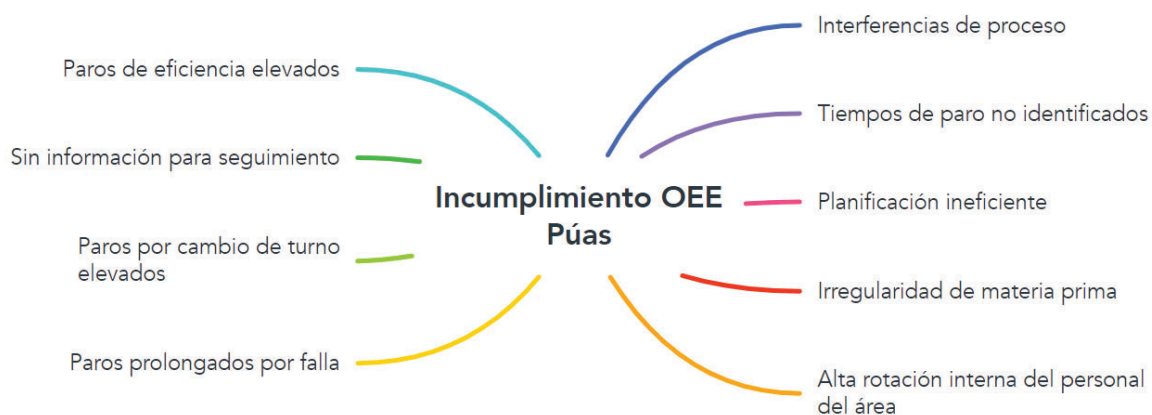
Nota. Evolución de resultados de OEE/ Púas de los 3 últimos años

3.4. Priorización de los problemas

En cualquier proyecto de mejora, ya sea enfocado en procesos industriales, servicios, o cualquier otra área, la identificación y priorización de problemas es el primer paso esencial para enfocar los recursos de manera efectiva y alcanzar resultados significativos. Esta etapa crítica establece la base para el diseño de soluciones que aborden los desafíos más apremiantes, maximizando así el impacto positivo en la eficiencia, calidad y rentabilidad.

En este contexto, la priorización de problemas no solo implica identificar las áreas que requieren atención, sino también evaluar su importancia relativa y su potencial para generar mejoras significativas en los resultados del proyecto. Esta introducción explorará los principios clave y las metodologías comunes utilizadas en la priorización de problemas, proporcionando una guía práctica para llevar a cabo este proceso crucial de manera efectiva. En la figura 5 podemos observar el diagrama para la identificación de causas.

Figura 5
Identificación de causas



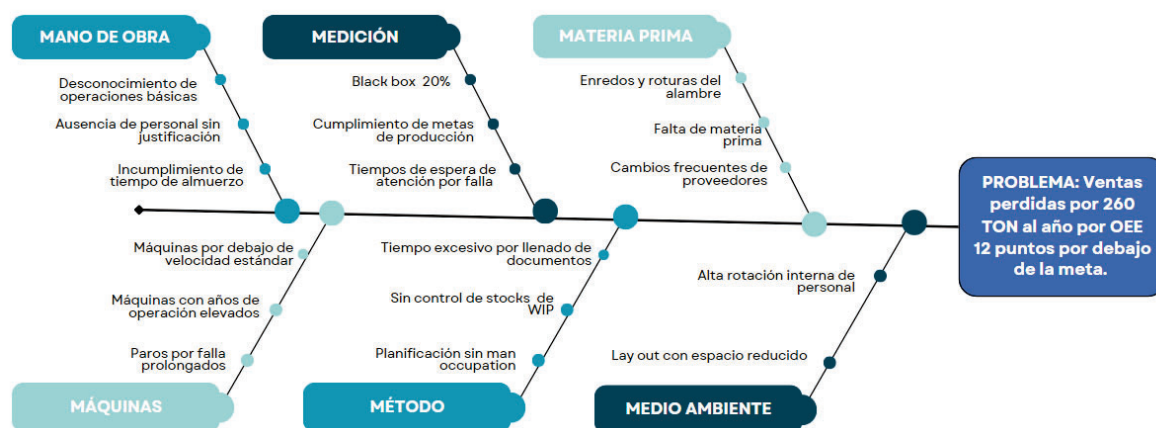
Nota. Análisis de causas de paros

Finalmente, el problema definido para el proyecto es el siguiente: Durante el año 2023, la eficiencia (OEE) para el proceso de Púas Motto Fort tuvo como resultado el 54%. Esta brecha del 11% con respecto al 66% que es la meta de este indicador para el área, representa un volumen de 260 Ton de ventas perdidas por falta de stock.

3.5. Análisis de causas

Para poder establecer un plan de mejora efectivo en el camino de la alcanzar la mejora de OEE propuesta, debemos identificar las causas que están mermando el tiempo efectivo de trabajo del área. Para esto utilizaremos la metodología del Diagrama Ishikawa con el fin de identificar y clasificar las causas de la pérdida de eficiencia planteada. La figura 6 nos muestra el diagrama Ishikawa utilizado para el análisis.

Figura 6
Diagrama Ishikawa



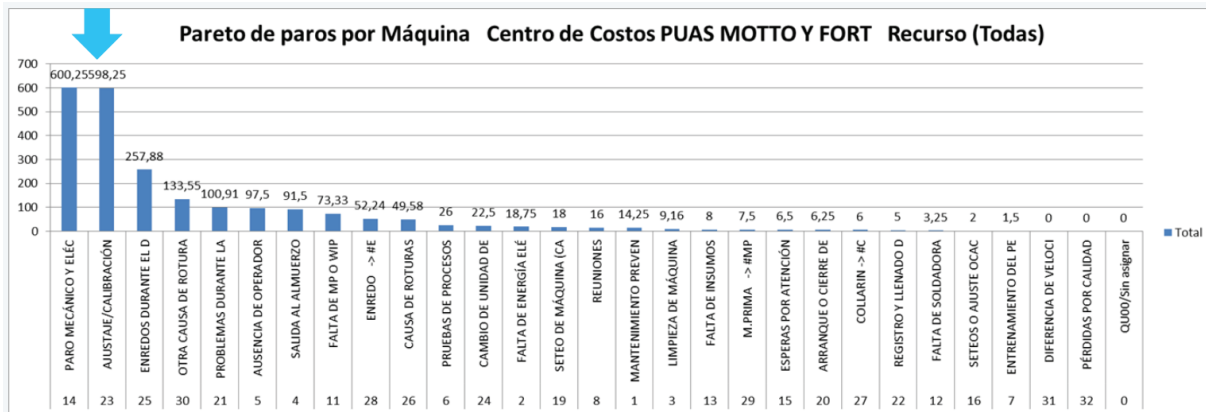
Nota. Metodología Ishikawa para identificar causa raíz

3.6. Priorización de causas

Para la priorización de causas se ha utilizado la metodología de Pareto con el objetivo de focalizar las acciones para el posterior plan de mejora.

Como observamos en la figura 7, la información utilizada para el diagrama de Pareto es la ingresada manualmente al MRP del sistema a través de las órdenes de proceso entregadas al personal en piso.

Figura 7
Diagrama de Pareto



Nota. Detalle de paros de producción del área de Púas

Adicionalmente se realiza la priorización de las causas identificadas en el diagrama Ishikawa realizado, usando la metodología de matriz de priorización. La figura 8 muestra la matriz de priorización utilizada en la fase del análisis de causas.

Figura 8
Matriz de Priorización

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS						10
Desarrollado por www.excelparatodos.com						0
CRITERIOS	Impacto del OEE	Frecuencia de ocurrencia	Grado de dificultad para resolver	Costo asociado	Potencial de mejora del OEE	TOTAL
	20%	20%	20%	20%	20%	
ALTERNATIVAS						
Desconocimiento de operaciones básicas	5	3	8	9	2	5,4
Ausencia de personal sin justificación	3	4	9	9	2	5,4
Incumplimiento de tiempo de almuerzo	6	6	6	7	8	6,6
Máquinas por debajo de velocidad estándar	7	2	9	10	4	6,4
Máquinas con años de operación elevados	8	8	3	1	8	5,6
Paros por falla prolongados	7	6	4	5	6	5,6
Black box 20%	9	10	5	5	9	7,6
Cumplimiento de metas de producción	6	10	5	9	5	7,0
Tiempos de espera de atención por falla	4	9	3	10	4	6,0
Tiempo excesivo por llenado de documentos	7	10	7	3	6	6,6
Sin control de stocks de WIP	8	7	8	7	7	7,4
Planificación sin man occupation	9	9	6	8	7	7,8
Enredos y roturas del alambre	8	8	5	5	7	6,6
Falta de materia prima	9	5	6	8	5	6,6
Cambios frecuentes de proveedores	9	7	1	1	7	5,0
Alta rotación interna de personal	8	3	9	9	2	6,2
Lay out con espacio reducido	8	2	1	1	7	3,8

Nota. Análisis para la priorización de causas de paro

4. Propuesta y justificación de alternativas de solución

4.1 Propuesta de mejora

Como pudimos evidenciar en el análisis de la causa el proceso sufre de una gran cantidad de interferencias que afectan directamente a la eficiencia del proceso, y el principal problema, es que no se tiene una métrica de los tiempos generados por cada una de estas interferencias; lo que no permite tomar acciones efectivas para recuperar esa eficiencia perdida. Los paros no identificados como caja negra forman 28% de las pérdidas de eficiencia reportadas en el área repercutiendo en tener un resultado del 54% en el indicador de OEE cuando la meta establecida para el área es del 65%.

A partir del análisis de ejemplos exitosos implementados en otras organizaciones enfocados en el trabajo sobre los tiempos de inactividad identificados en los procesos como los progresos identificados en el proyecto de (Smith & Johnson, 2023).

Los resultados mostraron que, mediante la aplicación de estrategias específicas, como la implementación de mantenimiento predictivo, la optimización de los tiempos de ajuste y la mejora de la planificación de la producción, se logró un aumento significativo en el OEE de la instalación. Este aumento en el OEE se tradujo en una mayor producción, menores costos de mantenimiento y una mejora general en la eficiencia operativa. Además, se destacó la importancia de la participación de los empleados en el proceso de mejora continua, así como el uso de herramientas de análisis de datos para identificar y priorizar áreas de mejora. Estas conclusiones resaltan la eficacia de un enfoque sistemático y colaborativo para mejorar el OEE en entornos de fabricación de la industria automotriz.

La implementación de metodologías de mejora como el Lean Manufacturing aplicado en un laboratorio universitario y con una eficacia comprobada en su aplicación en la industria como en el caso aplicado de (García & López, 2019), donde por medio de la estandarización de procesos, reducción de desperdicios y el enfoque en la mejora continua se lograron mejoras significativas en la eficiencia operativa y la competitividad.

Los ejemplos citados dan testimonio de una gran oportunidad de recuperar tiempo no productivo por medio de la aplicación de las metodologías de mejora disponibles, para lo cual el primer paso es conocer a detalle cada uno de los tiempos que interfieren dentro de esta no productividad del área y es ahí donde se centra la propuesta de mejora del proyecto, que plantea eliminar la caja negra del proceso con la implementación de un sistema que digitalice los datos de los paros generados en tiempo real en las máquinas, generando la data necesaria para realizar una gestión de recursos inmediata, sean estos internos en el departamento de producción o con otros departamentos como Mantenimiento o Calidad.

4.2. Plan de Mejora

4.2.1. Sistema de digitalización de datos en tiempo real

Actualmente los reportes de paros de producción son registrados manualmente en las órdenes de proceso por parte del operador, y al tener un operador como responsable de la operación de 7 máquinas se ha podido evidenciar que los datos registrados tienen una confiabilidad baja y hay un alto porcentaje de paros que no se registran, debido a que el operador no cuenta con el tiempo necesario para registrar los paros inmediatamente que los mismos se generan, por lo que realiza el registro al final del turno, dependiendo de la memoria del operario.

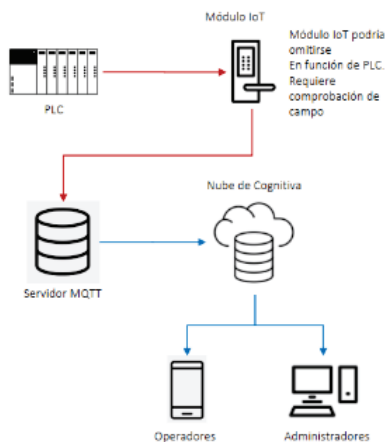
Dentro de la priorización realizada de problemas realizada en la fase de análisis, se ha determinado que el problema principal del proceso es el alto porcentaje de paros no identificados, por lo que la propuesta del proyecto se centra en identificar estos tiempos, para posteriormente trabajar con la información levantada en la gestión de mejoras que transformen el tiempo perdido, en tiempo efectivo de trabajo en el área.

Los datos más valiosos que se esperan obtener del sistema son los tiempos de interferencias reales generados en las máquinas, de modo que se pueda establecer un indicador de man occupation que permita realizar una planificación del mix de producción acorde a la eficiencia esperada del proceso, lo que actualmente es determinado de manera aleatoria de acuerdo con la demanda.

El sistema planteado como se muestra en la figura funciona logrando la interconectividad entre la máquina y un servidor que concentre los datos generados en tiempo real. Esta interconectividad es lograda gracias a un dispositivo IOT que transforma las señales generadas desde el PLC de cada una de las máquinas.

El resultado final es una base de datos en tiempo real que permita transformar esta información en reportes que sirvan para la toma de decisiones inmediatas de los supervisores de planta, también como un sistema andon que muestre los resultados de eficiencia a los operadores y su cumplimiento de meta, y que finalmente se convierta en una herramienta de gestión para la toma de decisiones en el área en la administración de recursos. La figura 9 nos muestra la estructura del sistema con los elementos necesarios para generar la interconectividad de los datos desde la máquina para contar con la información en tiempo real.

Figura 9
Diagrama sistema MES



Nota. Mapa explicativo de funcionamiento del sistema MES

4.2.2. SMED

Se aplicó esta metodología SMED al cambio de elementos por cambio de producto en el área, con el fin de identificar oportunidades de mejora en la optimización de tiempos al realizar esta actividad.

A continuación, en la tabla 2 se muestra el detalle de las actividades internas y externas que intervienen en el cambio de elementos por cambio de producto de modo que puedan ser evaluadas e identificar una oportunidad de mejora dentro de su desarrollo.

Tabla 2

Clasificación de actividades y toma de tiempos

No	Operación de Cambio			Tiempo Acumulado	Tiempo	Tiempo			
		1	2		Real	Potencia l	Interno	Extern o	Desperdici o
0	Asegurar el área	X		0:01:07	0:01:07	0:01:07	X		
1	Desmontar protección mecánica	X		0:02:14	0:01:07	0:01:07	X		
2	Separar brazo de metraje de brazo de alimentación	X		0:03:21	0:01:07	0:01:07	X		
3	Desmotar árbol de torsión	X		0:17:53	0:14:32	0:14:32	X		
4	Botar aceite	X		0:31:00	0:13:07	0:13:07	X		
5	Verificar que no existan limallas dentro del alojamiento	X		0:34:05	0:03:05	0:03:05	X		
6	Desmotar engranaje recto	X		0:45:05	0:11:00	0:11:00	X		

7	Verificar desgaste de elemento	X		0:47:05	0:02:00	0:02:00	X		
8	Montar nuevo engranaje	X		1:01:26	0:14:21	0:14:21	X		
9	Preparar árbol de torsión para su montaje	X		1:41:33	0:40:07	0:00:00		X	0:40:07
10	Montaje de árbol de torsión		X	1:55:00	0:13:27	0:13:27	X		
11	Montaje de brazo de metraje		X	1:56:35	0:01:35	0:01:35	X		
12	Cambiar catalina y cadena de reductor secundario		X	2:13:50	0:17:15	0:17:15	X		
13	Colocar base para porta martillo		X	2:37:50	0:24:00	0:24:00	X		
14	Llenar aceite	X		2:45:01	0:07:11	0:07:11	X		
15	Limpiar, entregar máquina y retirar letrero y cinta de peligro	X		2:50:12	0:05:11	0:05:11	X		
16	Pérdidas por traer herramientas, utillaje y pernos, arandelas, etc.	X		3:04:53	0:14:41	0:00:00		X	0:14:41

Tiempo Total	3:04:53	
Desperdicio Total	0:54:48	

Nota. Formulario de recolección de datos SMED

Como parte del análisis se identifica la posibilidad de convertir dos actividades internas en externas mismas que sumadas representan la reducción de 54 min dentro de la actividad de cambio de elementos por cambio de producto lo que en porcentaje representa una optimización de tiempo del 30%.

En la tabla 3 podemos observar las actividades que serán parte de la mejora con la implementación de SMED y posteriormente en la figura 10 podemos observar el gráfico de Pareto elaborado con los datos levantados.

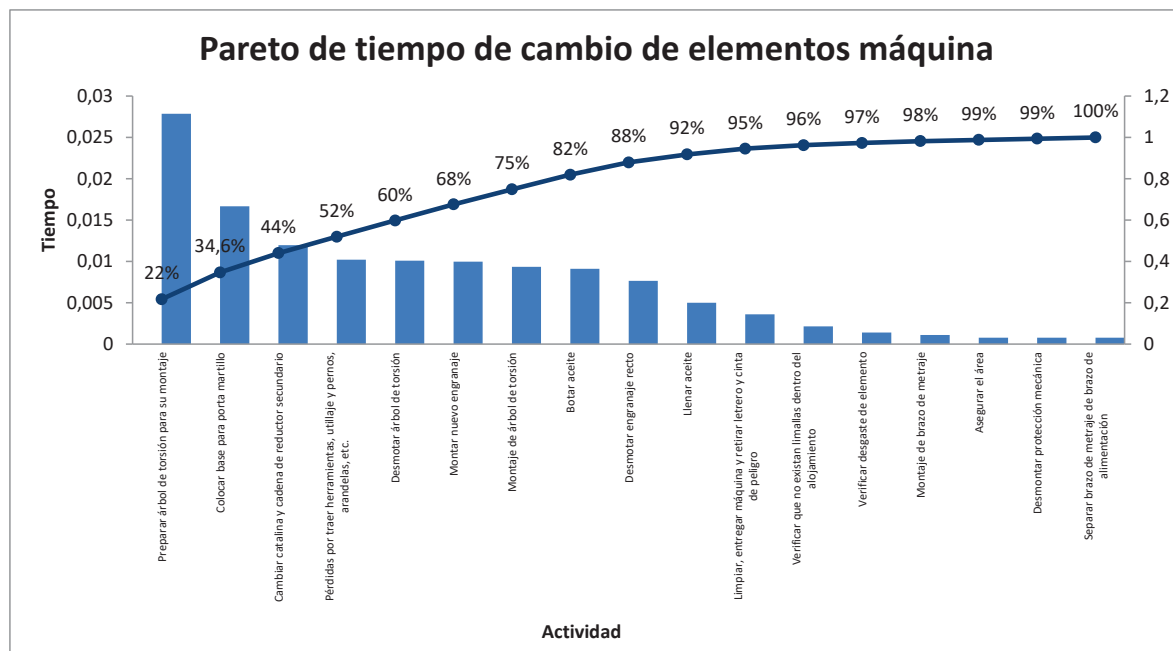
Tabla 3
Listado de actividades con tiempos de paro

#	Actividad	Tiempo de paro (min)
1	Preparar árbol de torsión para su montaje	0:40:07

2	Colocar base para porta martillo	0:24:00
3	Cambiar catalina y cadena de reductor secundario	0:17:15
4	Pérdidas por traer herramientas, utillaje y pernos, arandelas, etc.	0:14:41
5	Desmotar árbol de torsión	0:14:32
6	Montar nuevo engranaje	0:14:21
7	Montaje de árbol de torsión	0:13:27
8	Botar aceite	0:13:07
9	Desmotar engranaje recto	0:11:00
10	Llenar aceite	0:07:11
11	Limpiar, entregar máquina y retirar letrero y cinta de peligro	0:05:11
12	Verificar que no existan limallas dentro del alojamiento	0:03:05
13	Verificar desgaste de elemento	0:02:00
14	Montaje de brazo de metraje	0:01:35
15	Asegurar el área	0:01:07
16	Desmontar protección mecánica	0:01:07
17	Separar brazo de metraje de brazo de alimentación	0:01:07
	Total	3:04:53

Nota. Resumen de tiempos por actividad SMED

Figura 10
Pareto de paros cambio de elementos



Nota. Pareto de tiempos para cambio de elementos de maquina

En la tabla 4 podemos observar las acciones que deben implementarse en que se ubican en las categorías de preparación y cambio que nos permitirán la optimización de los tiempos en las actividades seleccionadas.

Tabla 4
Acciones de mejora

Categoría	Aplica a Operaciones	Tipo de Mejora			Notas
		A	B	C	
PREPARACIÓN					
Implementar una caja de herramientas específica para el cambio de producto con todas las herramientas y elementos necesarios.		X			
Adquirir 3 juegos de árboles de torción nuevos para mantenerlos en stock.			X		
Check list para cambio de producto		X			
CAMBIO					
Tener listo el conjunto del árbol de torción para el montaje inmediato en la máquina.			X		
		A	Implementación inmediata		
		B	Implementación de mediano plazo		
		C	Implementación a largo plazo		

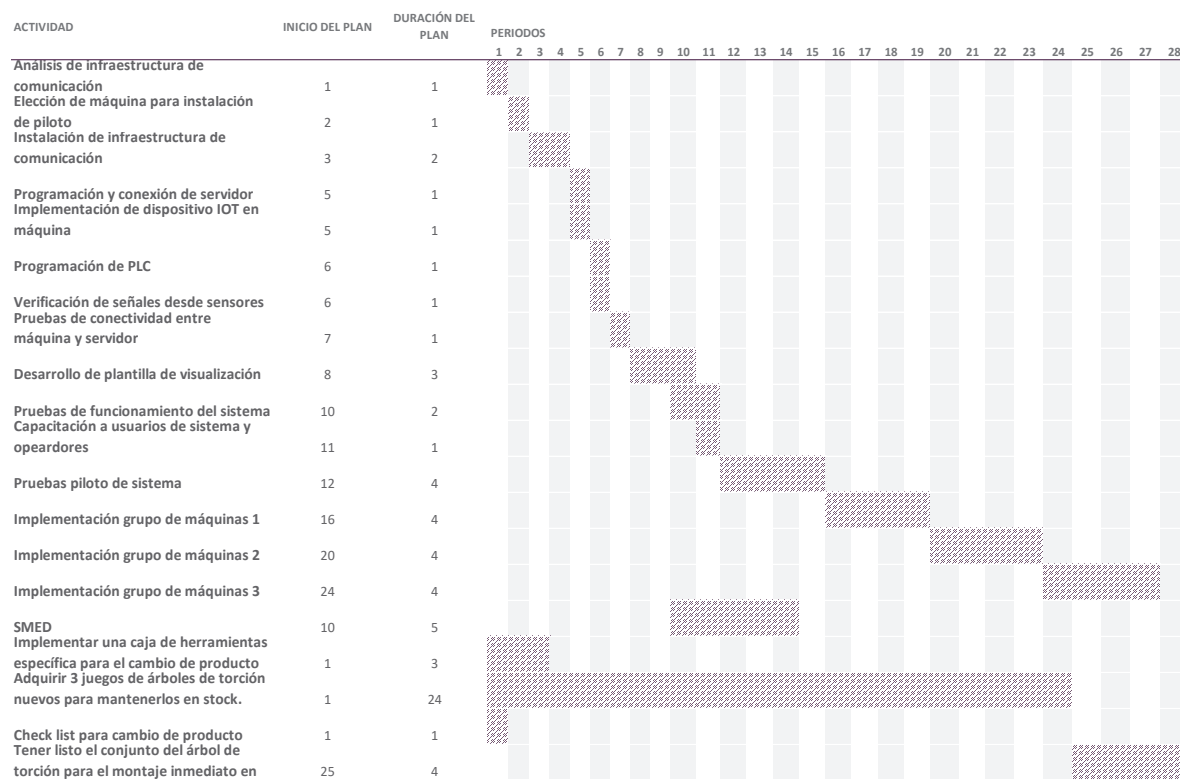
Nota. Plan de acción para implementación de SMED

4.2.3. Cronograma de desarrollo

Se ha establecido el cronograma de implementación para las dos actividades específicas definidas dentro de la propuesta de mejora, que comprenden la implementación del sistema de digitalización de datos mismo que ha sido establecido para realizarse en 3 etapas, iniciando con una etapa piloto en una máquina que servirá como fase de pruebas, cuyo éxito marcará el inicio de la instalación en el resto de las máquinas del área completando así el proyecto.

En el cronograma mostrado en la figura 11 también se detalla la planificación para la ejecución de las acciones de mejora producto del SMED realizado.

Figura 11
Cronograma de ejecución del proyecto



Nota. Planificación de actividades para ejecución del proyecto

4.3. Análisis costo – beneficio

En la Tabla 5 se detallan los costos que deben ser invertidos en el proyecto, tanto por la digitalización de datos de las máquinas del área como los elementos necesarios para la implementación del SMED realizado.

Tabla 5
Detalle de costos

Artículo descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Licencia software	1	27500	27500

Servicio de mantenimiento y actualización anual	1	7500	7500
Servicio de configuración e instalación	14	425	5950
Metro de cable de fibra óptica	1500	1,5	2250
Módulo I/O de 8 señales	5	850	4250
Par de convertidores	14	150	2100
Tablet Samsung 10"	14	402	5628
Caja de herramientas para cambio de elementos	1	345	345
Juego árbol de torsión	3	850	2550
Total			58073

Nota. Costos de inversión para el proyecto

El objetivo principal del proyecto es mejorar el OEE del área en un 11% tomando como base el resultado del último año que nos arroja un resultado del 54%. De acuerdo con los datos de Ideal Alambrec este incremento en la eficiencia del proceso, al ser un proceso trabajando a su máxima capacidad, representaría un incremento de 220 toneladas en la producción anual de la planta,

Este incremento en la producción del área cubrirá inmediatamente demanda que se encontraba no aprovechada, transformándose inmediatamente en ventas, lo que representaría un beneficio por recuperación de ventas de \$71000 anuales.

Tomando en cuenta el valor del CAPEX necesario para la ejecución del proyecto con el beneficio monetario calculado se tiene un índice de rentabilidad para el proyecto de 1,22, resultado que proyecta una buena rentabilidad del proyecto.

La mejora en la eficiencia operativa se ve reflejada en el OEE del área planteado por el proyecto inicialmente en un 11% de crecimiento, mismo que puede ser mayor al analizar los datos provistos por el sistema a lo largo del tiempo, donde brindarán una visión más acertada de los recursos del área para su administración, planteando un nuevo escenario para el funcionamiento del área donde todos los datos generados en el proceso puedan ser monitoreados en tiempo real y analizados para la toma de decisiones.

4.4. Proyección de resultados

Para proyectar los resultados se han realizado dos ejercicios de observación en el área de producción mejor conocidos en Ideal Alambrec como “shadowing” mismo que consiste en la observación de una operación específica en período de tiempo definido de 8 horas para obtener los datos de tiempos en los procesos. Se realizó el ejercicio con dos escenarios en el mix de producción planificada para el área.

En el primer escenario se determina el mix de producción mostrado en la tabla 6 con la misma presentación del mayor metraje en todas las máquinas del área lo que representa un mayor tiempo entre la salida de rollo y rollo.

Tabla 6

Mix de productos programados escenario de observación 1

	Máquina	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)
1		500	13

2	Máquina	500	13
3	Máquina	500	13
4	Máquina	500	13
5	Máquina	500	13
6	Máquina	500	13
7	Máquina	500	13

Nota. Detalle de programa en máquinas para observación 1

Los resultados sobre el levantamiento de tiempos se pueden observar en la tabla 7 donde podemos observar las interferencias generadas en el proceso a lo largo del turno.

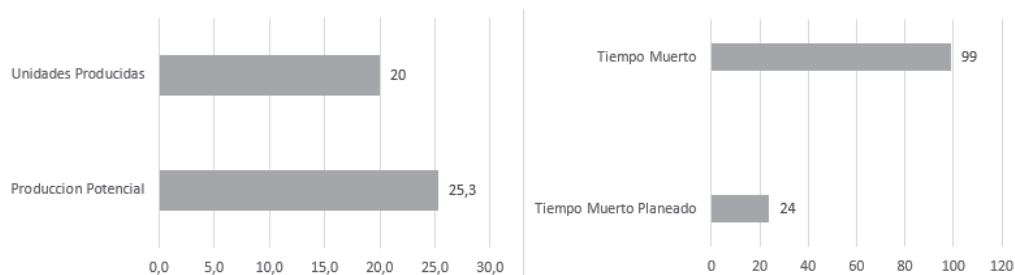
Tabla 7
Resultados observación escenario 1

Hora	Meta	Líneas	min.	Tipo
06:30 - 07:30	3,25	2	17	Paro por cambio de turno (11), enredo y rotura (6)
07:30 - 08:30	3,25	3	9	Interferencia atención otra máquina
08:30 - 09:30	3,25	1	25	Interferencia atención otra máquina
09:30 - 10:30	3,25	3	11	Almuerzo
10:30 - 11:30	3,25	3	6	Interferencia otra máquina (4), enredo (2)
11:30 - 12:30	3,25	3	5	Interferencia atención a otra máquina
12:30 - 13:30	3,25	2	17	Interferencia atención (3) Carga de materia prima (14)
13:30 - 14:30	3,25	3	9	Llenado de documentos final de turno
	26	20	99	

Nota. Formulario de toma de tiempos en piso, observación 1

Los resultados de tiempos se resumen en la figura 12

Figura 12
Producción y tiempos de paro escenario de observación 1



Nota. Graficas de resultados obtenidos en observación 1

El resultado de OEE en la máquina observada fue del 62% con un tiempo muerto por interferencias de 99 min.

En el segundo escenario se incluye en el mix de producción rollos de metrajes menores a 500 metros en varias máquinas de acuerdo con lo mostrado en la tabla 8.

Tabla 8

Mix de producción escenario de observación 2

	Máquina	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)
1	Máquina	500	13
2	Máquina	350	9,1
3	Máquina	400	10,4
4	Máquina	350	9,1
5	Máquina	500	13
6	Máquina	200	5,2
7	Máquina	500	13

Nota. Detalle de programa en máquinas para observación 2

Los resultados obtenidos de la observación del segundo escenario se muestran en la tabla

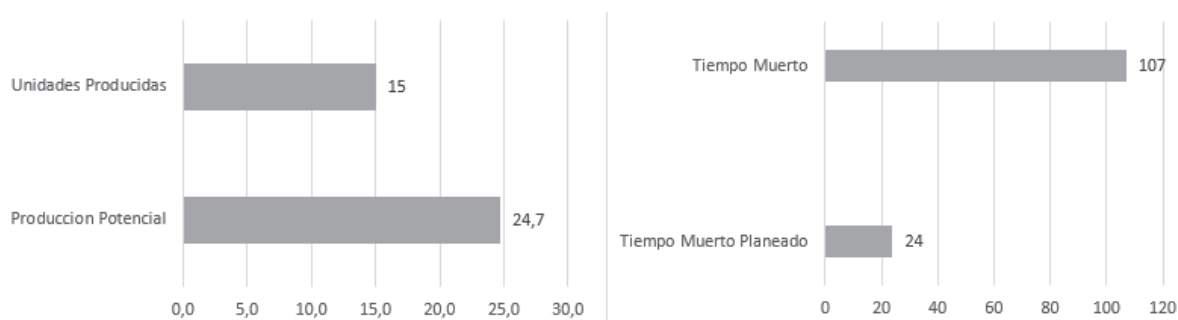
Tabla 9
Resultados observación 2

Hora	Meta	Líneas	min.	Tipo
06:30 - 07:30	3,25	1	19	Paro por cambio de turno (15), Interferencia atención otra máquina (4)
07:30 - 08:30	3,25	2	11	Interferencia atención otras máquinas
08:30 - 09:30	3,25	2	8	Interferencia atención otras máquinas
09:30 - 10:30	3,25	2	14	Almuerzo
10:30 - 11:30	3,25	3	6	Rotura de materia prima
11:30 - 12:30	3,25	2	15	Interferencia atención a otra máquina
12:30 - 13:30	3,25	1	22	Interferencia atención (3) Carga de materia prima (14)
13:30 - 14:30	3,25	2	12	Llenado de documentos final de turno
	26	15	107	

Nota. Formulario de toma de tiempos en piso, observación 2

Los tiempos resultantes se observan en la figura 13.

Figura 13
Producción y tiempos de paro observación escenario 2



Nota. Graficas de resultados obtenidos en observación 2

El resultado de OEE en la máquina observada fue del 46% con un tiempo muerto por interferencias de 107 min.

Los resultados de los dos escenarios nos permiten analizar la cantidad de interferencias generadas como resultado del cambio en el mix de producción que incrementó la cantidad de

interferencias por descarga de máquina en un 27% debido a la reducción del metraje en 4 de las 7 máquinas del área.

La observación muestra claramente el impacto de las interferencias generadas por el incremento de descargas en las máquinas de acuerdo con el metraje de los productos programados, mismas que afectan directamente la ocupación del operador ya que los tiempos muertos generados en su gran mayoría corresponden a tiempos de máquina parada a espera de descarga del rollo.

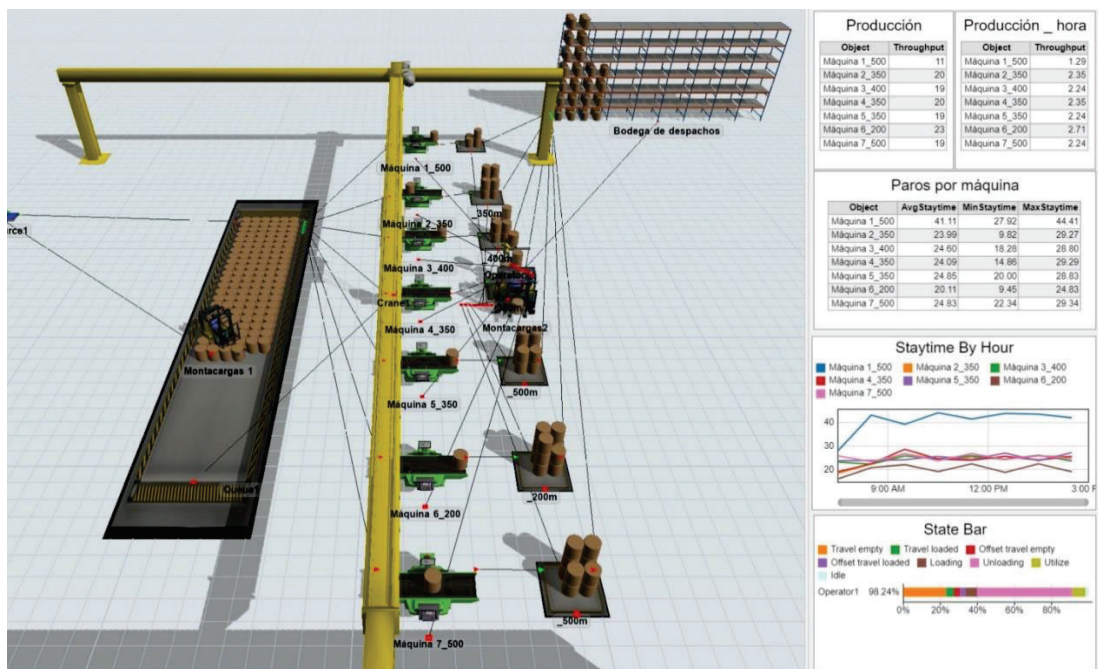
La data generada a partir de la digitalización de la información permitirá tener información real de la ocupación del operador, para que sea utilizado en la programación de recursos desde la planificación de la producción del área, estableciendo la eficiencia a la que se espera trabajar de acuerdo con el programa emitido, lo que finalmente se proyecta en incrementar 11% en el OEE derivados de la gestión de recursos realizada.

Como parte de la fase de proyección de resultados del proyecto se realizó una simulación con ayuda del programa Flexim con el objetivo de simular el comportamiento del proceso con 3 escenarios diferentes, con mixes de producción que permitan visualizar el comportamiento de la eficiencia de las máquinas en función de las interferencias generadas por la interacción del operador con la máquina.

Se ha creado un modelo de pruebas en la plataforma Flexim, que simule el proceso de uno de los grupos de máquinas que conforman el área de púas, donde observamos una “source” que simula la llegada de la materia prima al área de almacenaje del área, 7 máquinas bajo responsabilidad de 1 operario, quien se encarga de transportar el producto de cada una de las

máquinas a su zona de almacenaje para que posteriormente las mismas sean trasladados a la bodega de producto terminado. La figura 14 muestra el modelo de simulación de Flexim.

Figura 14
Simulación de proceso Flexim



Nota. Pantalla de simulador Flexim con dashboard de seguimiento

Con el objetivo de realizar la simulación de 3 escenarios diferentes yendo desde un escenario ideal con un mix de producción totalmente equilibrado hacia un escenario con un mix de producción totalmente desbalanceado, para de este modo concluir a partir de los resultados, el impacto del balance de la planeación en el proceso de producción. En la tabla 10 se puede observar el mix de producción utilizado para cada uno de los escenarios de la simulación.

Tabla 10
Datos para escenarios de simulación Flexim

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
Número de máquina	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)

Máquina 1	500	13	500	13	200	5,2
Máquina 2	500	13	350	9,1	400	10,4
Máquina 3	500	13	400	10,4	350	9,1
Máquina 4	500	13	350	9,1	350	9,1
Máquina 5	500	13	350	9,1	200	5,2
Máquina 6	500	13	200	5,2	200	5,2
Máquina 7	500	13	500	13	400	10,4

Nota. Datos ingresados para simulación de 3 escenarios

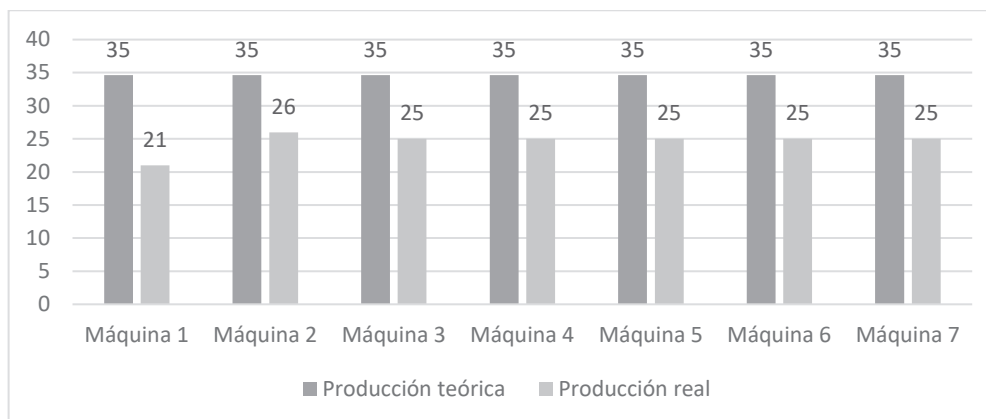
En la tabla 11 podemos observar los resultados obtenidos en el escenario 1 con un mix de producción balanceado. El resultado de OEE del grupo de máquinas con este mix de producción es del 71%.

Tabla 11
Resultados simulación Flexim - Escenario 1

	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)	Producción teórica	Producción real	OEE
Máquina 1	500	13	35	21	61%
Máquina 2	500	13	35	26	75%
Máquina 3	500	13	35	25	72%
Máquina 4	500	13	35	25	72%
Máquina 5	500	13	35	25	72%
Máquina 6	500	13	35	25	72%
Máquina 7	500	13	35	25	72%

Nota. Resultado simulación primer escenario

En la figura 15 se puede observar el gráfico comparativo en el resultado entre la producción teórica y la producción real para el escenario de simulación 1.

Figura 15*Producción teórica vs producción real – Escenario 1*

Nota. Grafica comparativa producción real vs producción teórica – primer escenario

En la tabla 12 podemos observar los resultados obtenidos en el escenario 2 con un mix de producción medianamente desbalanceado. El resultado de OEE del grupo de máquinas con este mix de producción es del 50%.

Tabla 12*Resultados simulación Flexim - Escenario 2*

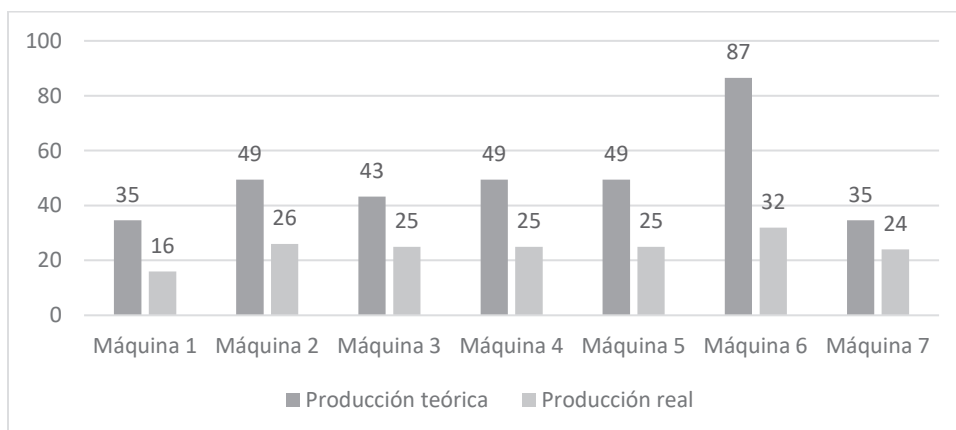
	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)	Producción teórica	Producción real	OEE
Máquina 1	500	13	35	16	46%
Máquina 2	350	9,1	49	26	53%
Máquina 3	400	10,4	43	25	58%
Máquina 4	350	9,1	49	25	51%
Máquina 5	350	9,1	49	25	51%
Máquina 6	200	5,2	87	32	37%
Máquina 7	500	13	35	24	69%

Nota. Resultado simulación segundo escenario

En la figura 16 se puede observar el gráfico comparativo en el resultado entre la producción teórica y la producción real para el escenario de simulación 1.

Figura 16

Producción teórica vs producción real – Escenario 2



Nota. Grafica comparativa producción real vs producción teórica – segundo escenario

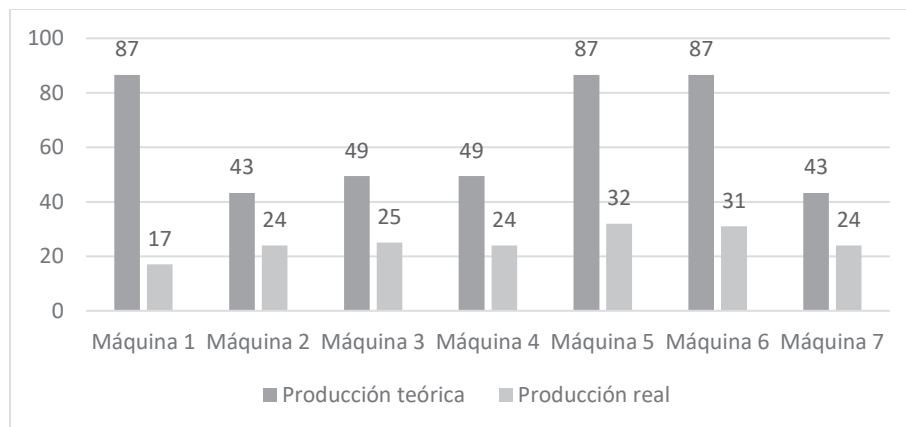
En la tabla 13 podemos observar los resultados obtenidos en el escenario 2 con un mix de producción totalmente desbalanceado. El resultado de OEE del grupo de máquinas con este mix de producción es del 40%.

Tabla 13*Resultados simulación Flexim - Escenario 3*

	Metraje producto	Tiempo por rollo (min)	Producción teórica	Producción real	OEE
Máquina 1	200	5,2	87	17	20%
Máquina 2	400	10,4	43	24	55%
Máquina 3	350	9,1	49	25	51%
Máquina 4	350	9,1	49	24	49%
Máquina 5	200	5,2	87	32	37%
Máquina 6	200	5,2	87	31	36%
Máquina 7	400	10,4	43	24	55%

Nota. Resultado simulación tercer escenario

Figura 17*Producción teórica vs producción real – Escenario 3*



Nota. Grafica comparativa producción real vs producción teórica – tercer escenario

La simulación muestra claramente en los resultados de producción por máquina, el impacto del desbalance del mix de producción, sobre el OEE del grupo de máquinas. Podemos apreciar en la figura 17 el descenso de la eficiencia de las máquinas en cada uno de los escenarios, siendo las máquinas con resultados más bajos aquellas que se tienen programados rollos de metrajes bajos, lo que implica una ocupación de operador mayor y por consiguiente un incremento considerable de interferencias en el proceso, lo que finalmente se traduce en tiempos muertos.

Como hemos comprobado por medio de la simulación realizada, los datos que se obtendrán en tiempo real desde las máquinas con la implementación del proyecto permiten establecer una planificación equilibrada en función del resultado de OEE que se espere obtener del proceso, logrando de este modo aprovechar al máximo la ocupación de las máquinas y administrando los recursos de manera eficiente.

4.5. Discusión de resultados

Grandes empresas han utilizado la transformación digital mediante la implementación de sistemas MES para mejorar las eficiencias de sus procesos, quienes han conseguido beneficios

significativos en sus operaciones de manufactura como lo menciona Heiko - Meyer (2016) usando como ejemplo el caso de Boeing donde utilizaron el sistema MES para optimizar la gestión de la producción en su planta de producción de aviones, permitiéndoles una mejora planificación de la producción que se tradujo en la reducción de los tiempos de ciclo y mejora en la calidad de sus productos. La gestión de eficiente de los procesos, misma que se evidencia desde su origen con una planificación que refleje un uso eficiente de los recursos, logrando el balance de la operación que genere la menor cantidad de interferencias que se verá traducida mejores resultados productivos.

El proyecto proyecta una mejora inicial de 11% del OEE tomado como línea base de referencia el resultado del 2023. La mejora de OEE se trasladará de manera inmediata en una reducción del tiempo de ciclo que finalmente nos dará como resultado un incremento en la producción diaria del grupo de máquinas.

Los beneficios cualitativos que se esperan de la implementación del proyecto se observarán en una mayor transparencia y visibilidad, gracias a la visualización en tiempo real de los indicadores de rendimiento claves del proceso que al mismo tiempo permitirán una toma de decisiones más informada y rápida mejorando de este modo la capacidad de respuesta ante los desafíos operativos que se presentan diariamente en el funcionamiento del proceso de manufactura.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

La implementación de sistemas como el sistema MES y metodologías como la SMED dentro un proceso productivo con una gran cantidad de interferencias se traduce de manera

inmediata en la mejora de los tiempos mostrándose en un incremento significativo en la eficiencia del proceso y su disponibilidad.

Mediante la aplicación del SMED, se logró reducir de manera significativo el tiempo requerido para realizar el cambio de producto lo que representa una reducción sustancial de los tiempos de cambio entre órdenes de producción. Esto no solo aumentó la flexibilidad del área por grupo de máquinas, sino que permitió una mejor utilización de los recursos y una respuesta más rápida a la demanda del mercado.

El sistema MES facilita una planificación más precisa, así como, un control en tiempo real de las operaciones del área de púas. La captura automática de datos permite una toma de decisiones más informada y estratégica, contribuyendo directamente en la mejora del OEE.

La mejora en la eficiencia operativa no sólo se traduce en mayores índices de OEE, sino también en una mejora con respecto a la satisfacción del cliente que se ve reflejada en la mejora y cumplimiento de los tiempos de entrega gracias a la eficiencia del proceso.

La reducción de tiempos de ciclo y la mejora de eficiencia operativa conlleva a beneficios económicos tangibles, como la reducción de costos de producción y el aumento de la rentabilidad, además que se ven reflejados en beneficios ambientales al minimizar desperdicios y optimizar el consumo de recursos.

5.2.Recomendaciones

Aunque se ha logrado una mejora significativa en el OEE, es crucial mantener un enfoque de mejora continua. Esto implica la revisión periódica de procesos, la identificación de nuevas oportunidades de optimización y la implementación de nuevas tecnologías emergentes en sistemas MES.

Es fundamental invertir en la capacitación y desarrollo del personal para maximizar el uso efectivo del sistema MES y la metodología SMED. Esto garantizará que todo el equipo esté alineado con los objetivos del proyecto y pueda aprovechar al máximo las nuevas herramientas y procesos.

Considerar la posibilidad de expandir la implementación de sistema MES y SMED a otras áreas dentro de la planta de manufactura. Esto podría incluir la aplicación en líneas de producción adicionales o la replicación del éxito obtenido en otras operaciones similares.

Seguimiento y evaluación de resultados: Establecer un sistema de seguimiento y evaluación continua de los resultados obtenidos después de la implementación. Esto permitirá detectar cualquier desviación y realizar ajustes necesarios para mantener y mejorar los niveles de OEE alcanzados.

Comunicación y colaboración interdepartamental: Fomentar la comunicación y la colaboración entre diferentes departamentos, incluyendo producción, mantenimiento, y gestión de calidad. Esto es crucial para garantizar una implementación efectiva y una alineación continua con los objetivos estratégicos de la organización.

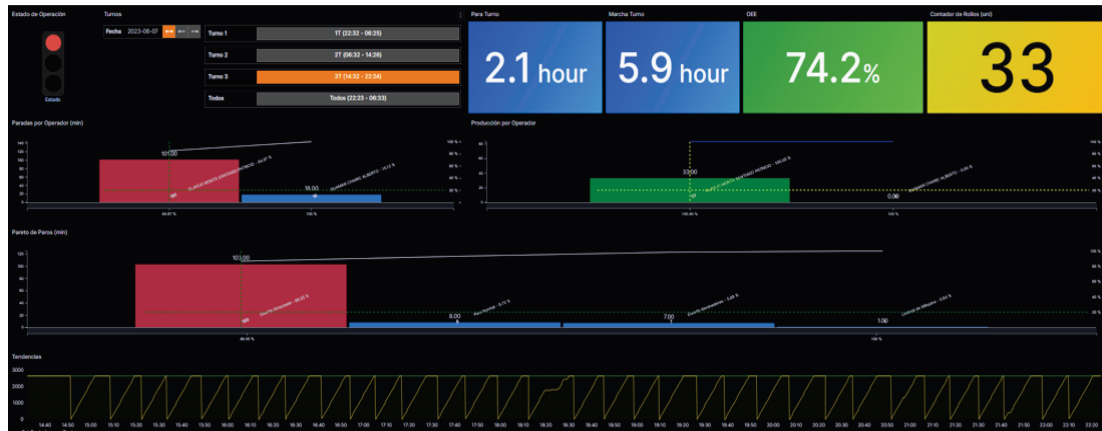
Bibliografía

- Garcia, C., & López , M. (2019). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) in university manufacturing laboratories: A case study on Lean Manufacturing Techniques. *Journal of Manufacturing Research*, 112-125.
- Ideal Alambre Bekaert. (s.f.). *Ideal Alambre Bekaert*. Obtenido de <https://idealalambre.bekaert.com/sobre-ideal-alambre-bekaert>
- Kagerman, L., & Wahlster, W. (17 de junio de 2013). *Industria 4.0: Con Internet de las cosas hacia la cuarta revolución industrial*. Obtenido de doi:10.1007/978-3-658-01367-3
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2014). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters, Volume 3*, 18-23.
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). *The internet of things: Mapping the value beyond the hype*. McKinsey Global Institute.
- Michael, E., Porter, & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*.
- Nakajima, S. (1988). *Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*. Portland: Productivity Press, Inc.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Massachusetts: Productivity Press.

Smith, A., & Johnson, B. (2023). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) in university manufacturing laboratories: A case of study on Lean Manufacturing techniques. *Journal of Lean Operations*, 12(3), 45-58.

Anexos

ANEXO A: Pantalla de visualización piloto sistema MES



ANEXO B: Pantalla para el reporte de paros desde la máquina

ANEXO C: Modelo de simulación Flexim con dashboards de control

The dashboard displays a 3D simulation of a factory layout with various components labeled: Source1, Bodega de despachos, Montacargas2, Maquina 1_500, Maquina 2_500, Maquina 3_500, Maquina 4_500, Maquina 5_500, Maquina 6_500, Maquina 7_500, Queue1, Queue6, Queue7, and Queue8. The interface includes a control bar with buttons for Run, Stop, Fast Forward, Skip, Step, and a Run Speed slider set to 4.00. The top status bar shows the Run Time as 15:00:00 on 13/6/2024.

Producción

Object	Throughput
Máquina 1_500	21
Máquina 2_500	26
Máquina 3_500	25
Máquina 4_500	25
Máquina 5_500	25
Máquina 6_500	25
Máquina 7_500	25

Producción _ hora

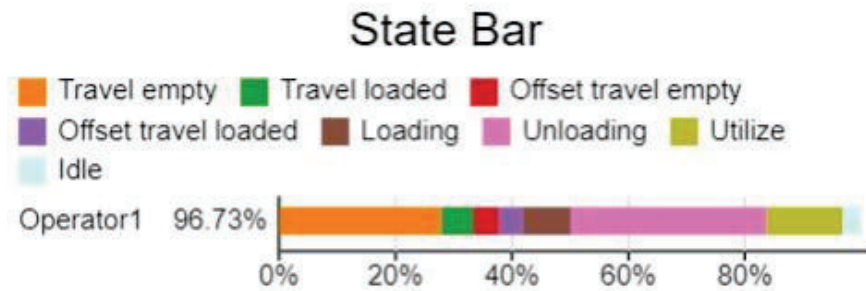
Object	Throughput
Máquina 1_500	2.47
Máquina 2_500	3.06
Máquina 3_500	2.94
Máquina 4_500	2.94
Máquina 5_500	2.94
Máquina 6_500	2.94
Máquina 7_500	2.94

Paros por máquina

Object	AvgStaytime	MinStaytime	MaxStaytime
Máquina 1_500	22.15	19.34	27.01
Máquina 2_500	18.35	13.69	22.06
Máquina 3_500	18.51	14.10	22.11
Máquina 4_500	18.77	14.63	22.20
Máquina 5_500	18.82	15.13	22.28
Máquina 6_500	18.85	15.67	20.96
Máquina 7_500	18.84	15.47	22.13

Staytime By Hour

ANEXO D: Gráfica tiempo de paro por máquina simulación Flexim



ANEXO E: Tiempo de para por hora por máquina simulación Flexim

