



Departamento de
Ingeniería Industrial
Universidad de Concepción

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA OEE COMO HERRAMIENTA
PARA LA MEJORA CONTINUA EN LA MÁQUINA PBA DE
NIUFORM**

POR

Carlos Manuel Valdés Muñoz

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía

Eduardo Javier Salazar Hornig

Julio 2025

Concepción (Chile)

© 2025 Carlos Manuel Valdés Muñoz

© 2025 Carlos Manuel Valdés Muñoz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Dedicatoria

“We can’t change the past, but we can change what we do now.”

Arthur Morgan, *Red Dead Redemption 2* (Rockstar Games, 2018)

Este trabajo se lo dedico a quienes han sido parte esencial de mi vida y de este camino.

A mi madre, por ser el reflejo más claro de la fortaleza y el amor incondicional. La admiro profundamente por su capacidad de seguir adelante incluso cuando la vida no fue fácil, y por enseñarme, con su ejemplo silencioso, que incluso en los días más difíciles se puede avanzar con dignidad.

A mi padre, quien ya no está físicamente, pero cuya presencia sigue viva en mí. En cada uno de sus actos encontré compañía, protección y enseñanza. Hoy, su recuerdo sigue guiándome con la misma fuerza con que lo hizo en vida.

Todo lo que soy, en esencia, se lo debo a ambos.

A mi hermana Angela, por caminar a mi lado con ánimo y convicción. Ha sido una presencia constante y luminosa en mi vida, y su apoyo ha significado más de lo que alguna vez he podido expresar.

A mi hermano Esteban, con quien siempre he compartido la risa. En medio del cansancio o el estrés, su humor ha sido un refugio que me recuerda que no todo tiene que ser tan serio para ser importante.

A mi amigo Marco, que ha sido como una extensión de mi familia, con quien he compartido no solo momentos, sino también certezas, dudas y el camino mismo. Gracias por estar ahí, sin condiciones ni explicaciones.

A mi familia que me vio crecer, que ha sido parte de mi crecimiento y me ha acompañado desde los primeros pasos; y a la familia que he elegido en el camino, mis amigos, quienes han estado presentes con cariño, compañía y apoyo sincero. Gracias por hacerme sentir en casa incluso fuera de ella. Y a todos quienes me han permitido entrar en su vida, quienes me han enseñado algo, y a quienes ya no están conmigo, pero siguen formando parte de lo que soy.

Este trabajo no es solo un resultado académico. Es también un acto de gratitud. Gracias por ser parte de mí.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a Niuform CMPC y a todo su equipo, por brindarme la oportunidad de aprender junto a ellos en un entorno real y desafiante. En especial, agradezco a Pablo Cajas, por confiar en mí y darme la oportunidad de iniciar mi camino profesional con el desarrollo de mi primera práctica, lo que además me permitió continuar y dar forma a este trabajo.

Agradezco a la Universidad de Concepción, en especial a todos los profesores y profesoras que formaron parte de mi proceso académico, por entregarme las herramientas, el conocimiento y la orientación necesarios para llegar hasta aquí. Cada uno de ellos ha sido una pieza clave en mi formación, desde mis primeros años hasta este cierre de etapa.

Finalmente, agradezco a todas las personas que han creído en mí, me han dado una oportunidad, y han estado presentes de una u otra forma durante este proceso. A quienes me han guiado, apoyado y acompañado: gracias por ser parte de este logro.

Sumario

Este estudio tiene como finalidad implementar un sistema de medición de desempeño en la máquina PBA (Portalbearbeitungszentrum, es español Centro de mecanizado de pórtico) es de la planta Niuform, perteneciente al grupo CMPC, mediante la aplicación del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness). Esta herramienta, ampliamente validada en contextos industriales, permite cuantificar la eficiencia de un equipo a partir de tres componentes fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad. La motivación principal del estudio surge de la necesidad de abordar una problemática concreta observada en planta: la ausencia de un sistema estructurado que permita monitorear, analizar y mejorar el desempeño de equipos críticos como la PBA, cuya eficiencia impacta directamente en el flujo operativo y en los resultados productivos generales.

El proyecto se desarrolló en un contexto operativo complejo, con registros dispersos y gestionados informalmente. Mediante el análisis de datos históricos, un protocolo de recolección estructurado y un dashboard en Power BI, se consolidó una plataforma clara y orientada a la toma de decisiones. El sistema incluyó la depuración y modelado de datos de producción, tiempos muertos y rechazos, enfocados exclusivamente en la PBA.

El análisis de los resultados evidenció que la principal limitante en el desempeño de la máquina no corresponde a problemas de calidad ni de velocidad de trabajo, sino a una baja disponibilidad operativa causada por altos niveles de tiempo muerto. El OEE global promedio del periodo analizado (octubre 2024 – abril 2025) fue de 49,19 %, clasificado como deficiente, con una disponibilidad media de 53,10 %, un rendimiento de 93,09 % y una calidad de 99,52 %. Más del 80 % del tiempo muerto se concentró en diez causas críticas, destacando ajustes operacionales, volteo de producto y retiro de producto, todas de origen interno y, por lo tanto, abordables mediante mejoras de gestión.

A partir del diagnóstico, se diseñó un plan de mejora enfocado en las diez causas más frecuentes de tiempo perdido, proponiendo acciones específicas para cada una, tales como pautas operativas, micro observaciones, estandarización de rutinas, mejoras en la coordinación y mecanismos de seguimiento. Las propuestas buscan reducir la variabilidad operativa, recuperar capacidad instalada y establecer una cultura de mejora continua basada en evidencia objetiva. En definitiva, esta tesis no solo entrega un diagnóstico técnico del comportamiento de la PBA, sino que además deja instaladas herramientas concretas para gestionar el desempeño de manera más eficiente y replicable en otros equipos de planta.

Summary

This study aims to implement a performance measurement system for the PBA (Portalbearbeitungszentrum, or Gantry Machining Center) machine at the Niuform plant, part of the CMPC group, through the application of the OEE (Overall Equipment Effectiveness) indicator. This tool, widely validated in industrial contexts, quantifies the efficiency of a piece of equipment based on three fundamental components: availability, performance, and quality. The main motivation for the study arises from the need to address a specific issue observed at the plant: the absence of a structured system to monitor, analyze, and improve the performance of critical equipment such as the PBA, whose efficiency directly impacts the operational flow and overall production result.

The project was developed in a complex operational context, with records dispersed and informally managed. Through historical data analysis, a structured data collection protocol, and a Power BI dashboard, a clear and decision-oriented platform was consolidated. The system included the cleaning and modeling of production, downtime, and rejection data, focusing exclusively on the PBA.

The analysis of the results showed that the main limitation in the machine's performance is not related to quality issues or working speed, but rather to low operational availability caused by high levels of downtime. The average global OEE for the period analyzed (October 2024 – April 2025) was 49.19%, classified as poor, with an average availability of 53.10%, a performance of 93.09%, and a quality of 99.52%. More than 80% of the downtime was concentrated in ten critical causes, notably operational adjustments, product flipping, and product removal, all of internal origin and therefore addressable through management improvements.

Based on the diagnosis, an improvement plan was designed focusing on the ten most frequent causes of lost time, proposing specific actions for each, such as operational guidelines, micro-observations, routine standardization, coordination improvements, and monitoring mechanisms. These proposals aim to reduce operational variability, recover installed capacity, and establish a culture of continuous improvement based on objective evidence. Ultimately, this thesis not only provides a technical diagnosis of the PBA's behavior but also implements concrete tools to manage performance more efficiently and in a way that can be replicated in other plant equipment.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1: Introducción	1
Capítulo 2: La empresa NIUFORM	2
2.1 Presentación general de Niuform	2
2.2 Sistema productivo	3
2.3 Complejidad de la operación	8
2.4 Objetivos y descripción general del proyecto	9
2.5 Alcance y justificación del proyecto	9
Capítulo 3: Indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness)	12
3.1 Productividad	12
3.2 Eficiencia	12
3.3 Índice OEE.....	13
3.4 Cálculo del OEE.....	14
3.4.1 Disponibilidad.....	15
3.4.2 Rendimiento.....	15
3.4.3 Calidad.....	16
3.5 Ventajas del OEE.....	17
3.6 Clasificación del OEE	17
3.7 Principales causas de pérdidas productivas según OEE	18
3.8 Relación del OEE con herramientas de mejora continua	19
3.9 Aplicación del OEE en contextos industriales.....	20
Capítulo 4: Aplicación del OEE.....	22
4.1 Estructura del sistema de datos y cálculo del OEE	22
4.2 Marco operativo del periodo analizado	24
4.3 Análisis de disponibilidad, rendimiento y calidad	25
4.3.1 Disponibilidad	26
4.3.2 Rendimiento	28
4.3.3 Calidad	29
4.4 Visualización y análisis de datos en Power BI	30
Capítulo 5: Análisis de resultados	36
5.1 Evaluación general del OEE y sus componentes	36
5.2 Análisis de indicadores por turno.....	47

5.3	Comportamiento mensual del tiempo muerto	48
5.4	Distribución de pérdidas por grupo	49
5.5	Análisis general de causas de tiempo muerto	50
5.6	Propuestas de mejora	52
Capítulo 6: Conclusiones		57
Referencias		59

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Equipos del proceso productivo.....	6
Tabla 3.1 Clasificación del OEE	18
Tabla 4.1 Horarios de trabajo de cada turno en la semana	24
Tabla 4.2 Días hábiles de los meses de estudios	24
Tabla 4.3 Horarios efectivos de programación de producción por día.....	25
Tabla 4.4 Tiempo disponible por turno y por día.....	25
Tabla 4.5 Tiempo programado, operativo y muerto mensual de la PBA	27
Tabla 4.6 Producción y rendimiento mensual de la PBA	28
Tabla 4.7 Rechazos y calidad mensual de la PBA	30
Tabla 5.1 Resumen Mensual De OEE y componentes.....	37
Tabla 5.2 Resumen de indicadores por turno.....	48
Tabla 5.3 Minutos perdidos por mes	48
Tabla 5.4 Minutos perdidos por grupo causal.....	49
Tabla 5.5 Distribución de minutos perdidos por causa	51
Tabla 5.6 Matriz esfuerzo-impacto de propuestas de mejora	56

Lista de Figuras

Figura 2.1 Área Montaje de material PBA	4
Figura 2.2 Estación de trabajo PBA	5
Figura 2.3 Ingreso interior PBA.....	5
Figura 2.4 Diagrama de flujo del sistema productivo de Niuform.....	7
Figura 3.1 Componentes fundamentales del OEE	14
Figura 3.2 Composición OEE	16
Figura 4.1 Página Resumen del dashboard de OEE.....	31
Figura 4.2 Página Indicadores de producción del dashboard de OEE	32
Figura 4.3 Página Causales del dashboard de OEE.....	33
Figura 4.4 Página Análisis TM del dashboard de OEE.....	34
Figura 4.5 Página Por turno del dashboard de OEE.....	35
Figura 5.1 Evolución mensual de OEE, Disponibilidad, Rendimiento, Calidad y Producción.....	37
Figura 5.2 Comparativa mensual de OEE vs. Calidad	38
Figura 5.3 Comparativa mensual de OEE vs. Disponibilidad	39
Figura 5.4 Comparativa mensual de OEE vs. Rendimiento	40
Figura 5.5 Comparativa mensual de OEE vs. m3/h reales de producción	41
Figura 5.6 Comparativa mensual de OEE vs. tiempo disponible de producción.....	42
Figura 5.7 Comparativa mensual de OEE vs. tiempo disponible de producción promedio/día	43
Figura 5.8 Comparativa mensual de OEE vs. tiempo programado de producción promedio/día.....	44
Figura 5.9 Comparativa mensual de OEE vs. volumen producido en promedio/día	45
Figura 5.10 Comparativa mensual de OEE vs. días hábiles trabajados/mes	46
Figura 5.11 Comparativa mensual de tiempo perdido por mes	49
Figura 5.12 Distribución de minutos perdidos por grupo causal	49
Figura 5.13 Cascada de pérdidas por causa	50

Capítulo 1: Introducción

El presente informe tiene como objetivo principal presentar la propuesta de aplicación del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) en la planta Niuform, enfocándose específicamente en la máquina PBA (Portalbearbeitungszentrum, es español Centro de mecanizado de pórtico), la cual tiene un rol fundamental dentro del proceso productivo. En particular, este trabajo se concentra en revisar su desempeño y encontrar oportunidades de mejora que permitan hacer más eficiente su operación y reducir pérdidas.

Actualmente, uno de los principales problemas que enfrenta la planta es no contar con un sistema definido que permita medir el rendimiento de sus equipos críticos. Aunque se cuenta con registros y datos, estos no se están utilizando de forma estructurada. En el caso de la PBA, esto se vuelve especialmente importante, ya que, al no contar con un análisis detallado, no es posible identificar con claridad cuáles son los factores que afectan su eficiencia ni tomar decisiones en base a eso.

A través del desarrollo de este proyecto, se entregan lineamientos que buscan ordenar el uso de la información ya existente y aplicarla a través del cálculo del OEE. La intención no es solo generar un diagnóstico, sino también dejar herramientas y recomendaciones que puedan implementarse dentro del área, e idealmente puedan repetirse en otras partes de la planta si se observan buenos resultados.

El impacto esperado de este proyecto, más allá de mejorar los números o el rendimiento desde el punto de vista de la producción, también apunta a facilitar la gestión operativa, entregando datos más claros que sirvan para la toma de decisiones. Se espera que esto también ayude a prevenir problemas frecuentes y a tener un mejor control de lo que ocurre día a día en la operación.

En cuanto a la estructura del informe, primero se presenta una breve descripción de la empresa y su proceso productivo, en donde se incluye el rol de la PBA dentro del flujo general. Luego se describe el problema identificado, junto con la justificación del proyecto y sus objetivos. Después se abordan los conceptos necesarios para entender el OEE, sus componentes y su utilidad práctica. Finalmente, se explica la metodología usada, y se presentan los resultados obtenidos junto con las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

Capítulo 2: La empresa NIUFORM

2.1 Presentación general de Niuform

Niuform es una filial del grupo CMPC Maderas, ubicada en Ruta 5 Sur, kilómetro 485 interior, comuna de Los Ángeles, Región del Biobío, creada con el objetivo de revolucionar el uso de la madera en la industria de la construcción mediante soluciones innovadores, eficientes y sostenibles. Su propuesta se basa en el concepto de madera masiva, que busca transformar la forma de construir aprovechando las propiedades estructurales y medioambientales de materias como la madera laminada encolada (Glulam o GLT) y la madera contralaminada (CLT). Estos productos se caracterizan por su alta resistencia, versatilidad, precisión y bajo impacto ambiental, lo que permite desarrollar proyectos estructurales de alto estándar con menores emisiones y generación de residuos (Niuform, s.f.).

Este enfoque que presentan cobra relevancia en el contexto del cambio climático, ya que la madera utilizada en estos sistemas, al provenir de bosques manejados de forma sustentable, tiene la capacidad de capturar y mantener secuestrado el carbono que el árbol absorbió durante su crecimiento. Incluso considerando el uso de energía en las etapas de procesamiento y manufactura, la madera sigue siendo uno de los materiales de construcción con menor huella de carbono incorporado (CMPC, 2022).

Su modelo de operación se articula a cuatro etapas fundamentales, que guían el ciclo completo desde la concepción hasta la ejecución del proyecto (Niuform, s.f.):

- **Conceptualización:** Etapa inicial donde se trabaja en conjunto con el cliente para comprender su visión y traducirla en una propuesta arquitectónica viable. Se analizan aspectos técnicos, estéticos y funcionales que permitan definir una solución acorde a los objetivos del proyecto.
- **Modelación:** Se desarrollan los modelos estructurales en madera masiva utilizando herramientas digitales de diseño y simulación. Esta fase busca detallar con precisión cada componente, facilitar la coordinación entre equipos, y optimizar la solución propuesta.
- **Fabricación:** Se produce cada componente estructural bajo estándares industriales, utilizando máquinas de alta precisión que permite reducir errores, minimizar intervención en obra y garantizar calidad dimensional y estructural.
- **Instalación:** Gracias a la prefabricación, la instalación en terreno se simplifica considerablemente, reduciendo los tiempos de montaje, los riesgos asociados y la generación de residuos en obra.

Este enfoque ha permitido a Niuform participar en proyectos emblemáticos como el edificio corporativo de CMPC en Los Ángeles, la pasarela Santa Olga, las Caballerizas M Sporthorses en la cordillera de Los Andes, y la remodelación del estadio San Carlos de Apoquindo (hoy Claro Arena), consolidando su presencia en el mercado nacional como referente en construcción en madera (Niuform, s.f.).

2.2 Sistema productivo

Su sistema productivo opera bajo una lógica secuencial, técnicamente definida y estructurada, combinando decisiones operativas con flujos semiautomatizados y supervisión directa en terreno. El proceso inicia con la recepción de madera aserrada estructural seca, que es almacenada en patios exteriores de acuerdo con su formato y procedencia. Esta madera no ingresa inmediatamente al proceso, sino que queda en espera hasta que un proyecto es adjudicado y se realiza la planificación técnica del mismo. En esta etapa, un equipo compuesto por ingenieros y supervisores de línea revisan los planos y requisitos del cliente, determinando qué madera será utilizada y qué operaciones iniciales requiere cada pieza.

Una vez definida la estrategia de producción, se analiza para cada lote si es necesario realizar trozado, calibrado o dimensionado, y solo entonces se autoriza el movimiento del material hacia las estaciones correspondientes. Si se requiere ajustar el espesor, la materia prima pasa por la cepilladora REX; si se necesita modificar el ancho, se envían a la sierra múltiple; y si ninguna de estas intervenciones es necesaria, las piezas se derivan directamente al área de clasificación visual y marcaje. En esta estación, los operadores inspeccionan las piezas de forma manual, identificando nudos, grietas, torsiones u otros defectos que puedan afectar la calidad estructural o estética del producto final. Las zonas defectuosas se marcan, estableciendo claramente las secciones que deben ser eliminadas. Una vez marcadas, las piezas ingresan al área de trozado, donde se utilizan trozadora 1 y trozadora 2 (según disponibilidad) o sierra ingletadora (en su mayoría se utiliza principalmente para recuperar material), dependiendo del tipo de corte requerido. Esta etapa elimina las secciones defectuosas y produce bloques más cortos, pero estructuralmente válidos. Luego del trozado, se realiza una evaluación técnica que permite decidir si la pieza será derivada directamente al área de empalme finger joint o si requiere pasos adicionales.

En finger joint, los bloques son mecanizados mediante fresado dentado en sus extremos, se les aplica adhesivo estructural y se prensan longitudinalmente para formar una pieza nueva de largo continuo.

Esta etapa es fundamental para la recuperación de material y para formar elementos que cumplan con las longitudes exigidas por los planos del proyecto. Una vez que las piezas han sido unidas mediante este sistema, el flujo productivo se bifurca en dos rutas distintas según el tipo de producto final: GLT o CLT.

En la línea de producción de GLT, las piezas empalmadas se someten a un cepillado fino, que asegura la uniformidad superficial y permite una correcta adherencia del adhesivo. Posteriormente, pasan por la línea de cola, donde se aplica el adhesivo mediante equipos como moldurera weinig o Múltiple. En algunos casos, se incorpora una capa de primer, un recubrimiento diseñado para mejorar la adherencia o proteger la superficie según lo requerido por el cliente. Las piezas se organizan y se encolan en función del diseño estructural: si se trata de vigas rectas, se utilizan encoladoras de rodillo, mientras que para geometrías curvas se emplean encoladoras de cortina. Las vigas armadas son introducidas en prensas hidráulicas que aplican presión controlada durante el tiempo requerido por el tipo de adhesivo utilizado. Están presentes las prensas 1, 2 y 3 para GLT, la prensa para GLT curva y la prensa para CLT. Tras el prensado, las piezas pasan al centro de mecanizado CNC K2, donde se ejecutan cortes, rebajes, perforaciones y ajustes estructurales de alta precisión. Algunas piezas, si lo requieren, son procesadas adicionalmente en la estación PBA, donde se llevan a cabo operaciones no automatizadas o adaptaciones específicas. En esta fase también se remueve el exceso de adhesivo si se detecta, garantizando una terminación limpia y funcional. A continuación, en las Figuras 2.1, 2.2 y 2.3 podemos ver como es la máquina PBA.



Figura 2.1 Área Montaje de material PBA
Fuente: Niuform 2025



Figura 2.2 Estación de trabajo PBA

Fuente: Niuform 2025



Figura 2.3 Ingreso interior PBA

Fuente: Niuform 2025

En el caso de la línea CLT, el proceso continúa con la organización de capas cruzadas, dispuestas en sentido perpendicular entre sí. Esta configuración mejora la rigidez bidireccional del panel, haciéndolo ideal para muros o losas. Se aplica un adhesivo estructural en toda la superficie de contacto entre las capas, y el conjunto se introduce en prensas especializadas. La prensa N°4 (o también conocida por prensa CLT) se utiliza principalmente para paneles estándar. Tras el prensado, se permite un curado controlado, es decir, un tiempo definido donde el adhesivo termina de endurecer bajo condiciones específicas de humedad y temperatura. Una vez completado este proceso, los paneles CLT se mecanizan en la PBA de acuerdo con los planos del proyecto, y se realiza una inspección dimensional

para verificar espesores, alineación y tolerancias.

Ambos flujos, GLT y CLT, convergen finalmente en una serie de operaciones comunes: inspección visual, aplicación de sellantes si corresponde, corrección de imperfecciones menores (como bordes dañados o astillas, en general, los detalles que el cliente no acepta que son previamente negociados), lijado superficial, y embalaje. El producto terminado es rotulado por proyecto y almacenado temporalmente hasta su despacho.

A lo largo de toda la cadena productiva, se mantiene un enfoque técnico que permite recuperar y reprocesar material cuando es posible. Si se detectan fallas en una pieza ya trabajada, esta puede ser redimensionada y adaptada a otro proyecto o enviada nuevamente a la sierra ingletadora o al finger para poder recuperar la materia prima. Las decisiones en estas instancias se toman en conjunto por el equipo de producción, priorizando tanto la calidad final como la eficiencia del uso de los recursos. En la Tabla 2.1 se presenta una breve descripción de los equipos principales utilizados en las distintas etapas del proceso productivo.

Tabla 2.1 Equipos del proceso productivo

Máquina	Identificación interna	¿para qué sirve?
Trozadora	Trozadora 1 y trozadora 2	Corta transversalmente las partes defectuosas de la materia prima
Sierra Ingletadora	-	Permite cortes en ángulo o para recuperar piezas útiles
Escuadradora	-	Realiza cortes rectos y en ángulos para dejar piezas con bordes limpios
Cepilladora Rex	-	Ajusta el espesor de las tablas para que todas sean iguales
Sierra múltiple	-	Reduce el ancho de la madera según se necesite
Finger Joint	Finger 1, Finger 2 y Finger 3	Une piezas cortas de madera para formar una más larga
Encoladora	-	Aplica adhesivo en las superficies que se van a unir
Moldurera Weinig	-	Crea molduras funcionales en madera (corta, perfila y da forma a la madera para producir molduras específicas)
Prensa GLT	Prensa 1, Prensa 2 y Prensa 3	Une piezas de madera mediante presión para formar vigas
Prensa GLT curva	-	Unen piezas de madera mediante presión para formar vigas curvas
Prensa CLT	-	Une piezas de madera mediante presión para formar paneles CLT
Mecanizado K2	-	Máquina CNC para cortes o procesos de precisión
Mecanizado PBA	-	Máquina CNC para cortes o procesos de precisión y perforación de piezas

Fuente: Niuform 2025

El diagrama de la Figura 2.1 representa de manera esquemática el flujo de producción de la planta Niuform, desde la recepción de materia prima hasta el despacho de producto terminado.

FLUJO DE PROCESO V.0.2

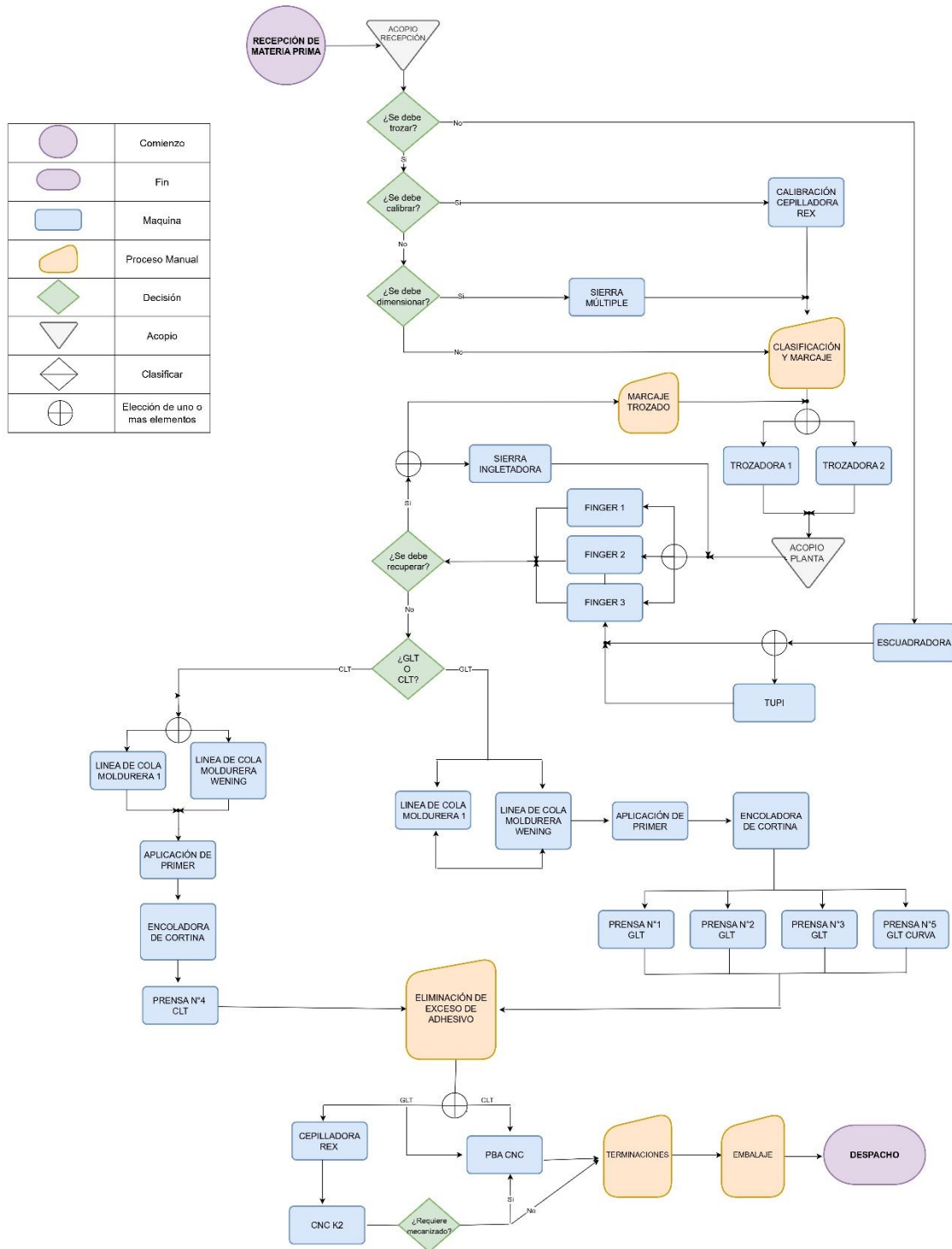


Figura 2.4 Diagrama de flujo del sistema productivo de Niuform

Fuente: Niuform 2025

2.3 Complejidad de la operación

El proceso productivo de Niuform se caracteriza por su enfoque flexible y orientado a proyectos específicos, lo que permite desarrollar soluciones estructurales personalizadas con alto detalle arquitectónico. Sin embargo, esta modalidad introduce una complejidad operativa considerable, ya que cada proyecto puede requerir distintas configuraciones de equipos, ajustes en procesos y tiempos de ejecución acotados. Esto obliga a que la planta funcione como una célula operativa altamente coordinada, más que como una línea de producción estandarizada.

Una de las principales dificultades operativas identificadas es la ausencia de un sistema estandarizado que permita monitorear y evaluar de forma continua y confiable el desempeño de los equipos críticos, en particular la máquina PBA. Actualmente, los registros operativos se encuentran dispersos entre áreas, gestionados mediante bitácoras, planillas u otros métodos no integrados. Esta fragmentación impide contar con una visión global de las pérdidas, dificulta la trazabilidad de las detenciones y limita la toma de decisiones fundamentadas.

La operación por turnos, junto a la participación importante de tareas manuales o semiautomatizadas, genera además una alta dependencia del conocimiento individual de los operadores. Muchas decisiones se toman con base en la experiencia personal, sin documentación formal, lo que refuerza la falta de trazabilidad y control sobre las causas reales de ineficiencia. Esto se agrava por la imposibilidad de distinguir si una baja en el rendimiento se debe a fallas, a condiciones subóptimas o a detenciones planificadas. En este contexto, tampoco es sencillo comparar el desempeño entre turnos o evaluar el impacto real de los distintos tipos de producto trabajados.

El caso particular de la PBA resulta crítico. Al ser un equipo clave dentro del flujo productivo, cualquier detención o merma en su rendimiento genera un efecto inmediato en toda la planta, provocando acumulación de inventario, tiempos muertos y pérdida de eficiencia general. Sin una forma sistemática de cuantificar estos impactos ni de identificar con precisión sus causas, se pierde la oportunidad de mejorar estructuralmente.

Este tipo de problema es común en industrias con automatización parcial, donde la incorporación de tecnología no siempre va acompañada de un sistema robusto de gestión de datos (Muchiri & Pintelon, 2008, citado en Rojas Alvarado et al., 2023). Frente a este escenario, la implementación del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) surge como una metodología pertinente y validada para

enfrentar el desafío.

El OEE integra tres componentes clave (disponibilidad, rendimiento y calidad) y sintetiza el desempeño en un valor comprensible y comparable en el tiempo. Su mayor fortaleza radica en su estructura lógica, que facilita la identificación de causas raíz, la priorización de mejoras y la definición de metas progresivas. En el contexto de Niuform, su aplicación permitiría establecer una línea base técnica para monitorear el desempeño de la PBA, transformar información dispersa en un sistema robusto, y alinear la gestión operativa hacia una toma de decisiones basada en evidencia objetiva.

2.4 Objetivos y descripción general del proyecto

Esta sección tiene por finalidad establecer con claridad los propósitos que orientan el desarrollo del presente trabajo. Para ello, se presenta el objetivo general y sus respectivos objetivos específicos, junto con una descripción del producto esperado, el alcance que tendrá la solución propuesta y una justificación de su pertinencia en el contexto productivo actual.

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de medición de desempeño para la PBA del proceso productivo en la planta de Niuform, basado en el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness), con el propósito de identificar pérdidas operacionales, establecer una línea base de eficiencia y generar insumos confiables para la toma de decisiones operativas.

Objetivos específicos

- Definir un protocolo de levantamiento, consolidación y análisis de datos orientados a la medición de eficiencia.
- Aplicar el cálculo del OEE en la PBA como caso base.
- Comparar los resultados obtenidos con los valores teóricos esperados y establecer una línea base de desempeño.
- Identificar brechas de eficiencia y proponer recomendaciones de mejora que puedan ser integradas por el equipo operativo o de mantenimiento.

2.5 Alcance y justificación del proyecto

Alcance del proyecto

Este proyecto se focaliza exclusivamente en la PBA del área productiva de Niuform, priorizando este equipo debido a su impacto sobre el flujo de fabricación y la factibilidad de levantamiento de datos.

El alcance considera:

- Evaluación de la PBA en etapa inicial.
- Aplicación del cálculo OEE bajo condiciones reales de operación.
- Propuesta de un modelo generalizable que pueda ser escalado posteriormente a otros activos de la planta.

El proyecto no contempla la automatización directa del sistema de medición ni el rediseño de procesos, aunque puede servir como insumo para futuras iniciativas en esas áreas, es decir, no incluye la modificación de los procesos productivos (como por ejemplo cambiar flujo de trabajo, rediseñar líneas o alterar físicamente las operaciones de la planta).

Justificación del proyecto

El presente proyecto surge como respuesta a una problemática operativa concreta: la falta de visibilidad estructurada sobre el desempeño de la PBA, lo que dificulta la toma de decisiones en ámbitos como planificación, mantención o gestión de producción. Contar con un sistema de medición basado en OEE permitirá a la empresa:

- Identificar y cuantificar pérdidas operacionales.
- Establecer puntos de referencias claros para el seguimiento del rendimiento.
- Mejorar la comunicación entre áreas operativas, de calidad y mantención.
- Promover una cultura de mejora continua basada en datos.

En un contexto donde la eficiencia y la competitividad industrial son factores clave, este proyecto representa un aporte concreto a la consolidación de prácticas de control de gestión en planta.

Aspectos generales de la metodología

La metodología adoptada para el desarrollo del proyecto contempla un enfoque práctico y progresivo. En una primera etapa, se realizó un levantamiento de información técnica sobre la máquina PBA. Luego, se definió un protocolo estructurado para la recolección de datos y se aplicó el cálculo del OEE utilizando parámetros reales obtenidos desde planta. Finalmente, se analizaron los resultados y se presentaron recomendaciones orientadas a la mejora y sostenibilidad del sistema implementado.

El enfoque metodológico se basa en principios de análisis cuantitativo, medición operativa y mejora continua, combinando observación directa en planta con herramientas básicas de gestión de

indicadores. A partir de este proceso, se desarrolló un sistema de medición aplicable en el entorno real de Niuform, compuesto por una metodología clara para el registro y clasificación de datos operacionales, un modelo de cálculo del indicador OEE con sus respectivas fórmulas, una herramienta base (dashboard en Power BI) que consolida los resultados, y un conjunto de recomendaciones para su implementación, monitoreo y seguimiento periódico. Esta herramienta busca facilitar la toma de decisiones operativas a partir de datos reales, promover la mejora continua y servir de base para futuras iniciativas de automatización o control avanzado.

Capítulo 3: Indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness)

3.1 Productividad

Para el desarrollo de este proyecto, es necesario conocer algunos conceptos básicos como la productividad y la eficiencia. La productividad es un concepto fundamental en la gestión de operaciones, ya que representa la relación existente entre las unidades producidas y los insumos utilizados en un proceso productivo.

Heizer et al., (2017, p. 13) señalan que la productividad se define como “el cociente entre los bienes o servicios generados y los recursos empleados, tales como el trabajo y el capital”. Es por ello que, con esta visión, la productividad permite evaluar el grado de eficiencia con el que una organización transforma sus entradas en salidas útiles para el mercado. De manera simple, la productividad se expresa como se muestra en (1):

$$Productividad = \frac{Producción}{Insumos} \quad (1)$$

Adicionalmente, Medina Fernández de Soto (2010, p. 4) menciona que “la productividad es un objetivo estratégico de las empresas, debido a que sin ella los productos o servicios no alcanzan los niveles de competitividad necesarios en el mundo globalizado”.

Incrementar la productividad implica optimizar el uso de los recursos disponibles, ya sea mediante la incorporación de tecnología, la mejora de procesos o la capacitación del personal, entre otras estrategias. Por esta razón, su estudio constituye un pilar clave para el mejoramiento continuo en entornos industriales.

3.2 Eficiencia

La eficiencia, según Carro Paz & González Gómez (2012, p. 5 y 8) corresponde al grado en el que se utiliza la mano de obra el cual puede expresarse como el tiempo de producción o como unidades producidas. Además, mencionan que un proceso es muy eficiente cuando:

- Tiene una productividad muy elevada (gran producción por insumos consumidos).
- Tiene una calidad muy alta (poco desperdicio, es decir, se aprovechan todas las unidades).
- Tiene costos de producción muy bajos.

- Tiene un ciclo de respuesta muy corto (entrega un excelente servicio en tiempo reducido).
- Obtiene su producción de equipos muy buenos que requieren de poca inversión y mantención.

Un proceso eficiente logra maximizar el output (producción) a partir de una cantidad determinada de recursos, o bien alcanzar un objetivo productivo utilizando la menor cantidad posible de insumos. Esta característica resulta esencial para mejorar la competitividad de las organizaciones, ya que permite ofrecer productos o servicios de calidad reduciendo costos operativos y tiempos de producción.

Una correcta gestión del equipo de trabajo y una adecuada adquisición de materias primas son elementos fundamentales para alcanzar una mayor eficiencia en los procesos productivos. No obstante, la modernización de las etapas de producción, ya sea mediante la incorporación de nuevos equipos, sistemas tecnológicos o la actualización de las estrategias operativas, constituye el factor más relevante para fortalecer la competitividad de la empresa y asegurar su sostenibilidad en el tiempo.

Cabe señalar que, si bien productividad y eficiencia son conceptos complementarios, no son equivalentes. Una organización puede ser altamente productiva sin ser eficiente si, por ejemplo, alcanza altos niveles de producción a costa de un uso desproporcionado de recursos. Por ello, en los análisis de desempeño industrial resulta fundamental considerar ambas perspectivas de manera integrada.

3.3 Índice OEE

El índice OEE (Overall Equipment Effectiveness, por sus siglas en inglés o indicador de eficiencia general de los equipos en español) es una herramienta utilizada para medir de manera estructurada la eficiencia global de los equipos en procesos productivos. Como menciona López C. et al. (2020) este indicador fue desarrollado por Seiichi Nakajima en Japón, como parte de la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM), con el objetivo de proporcionar una métrica capaz de evaluar de forma integrada la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de los equipos.

De acuerdo con Shiraldi & Varisco, (2020) citado en Rojas Alvarado et al., (2023) el OEE tiene la capacidad de poder indicar de manera porcentual la eficacia real de cualquier proceso productivo, bajo el concepto de la disponibilidad, el rendimiento y calidad. Este factor es clave en las empresas productivas para identificar y así poder corregir la existencia de ineficiencias en la fabricación.

Para Bamber et al. (1999), citado en Díaz-Contreras et al. (2020) “el rol del OEE va más allá de solo

monitorear, controlar y llevar la cuenta de las iniciativas de mejora del equipo. El OEE previene la suboptimización individual de las máquinas o líneas productivas, entregando un método sistemático de estabilización de objetos de producción e incorpora herramientas y técnicas prácticas de gestión con el fin de lograr una vista equilibrada de la disponibilidad de proceso, calidad y rendimiento”.

Entonces, el OEE busca indicar la eficacia real de cualquier proceso productivo para así poder identificar posibles cuellos de botella que se originen durante el proceso de fabricación. También tiene como objetivo el poder identificar y cuantificar las pérdidas de producción, siempre pensando en mejorar la eficiencia y productividad de los equipos de fabricación. Busca maximizar el tiempo de producción y minimizar las pérdidas por tiempos muertos, problemas de rendimiento y calidad. La Figura 3.1, muestra la dependencia que el OEE tiene ante estos tres factores que corresponden a: disponibilidad de trabajo, el rendimiento de los equipos y la calidad del producto final.



Figura 3.1 Componentes fundamentales del OEE

Fuente: Elaboración propia

3.4 Cálculo del OEE

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es un indicador que permite comparar el número de piezas que se podrían haber producido bajo condiciones ideales, con las unidades sin defectos que realmente se han fabricado. Según Socconini (2019) citado en Hernández Vázquez & Hernández Vázquez,

(2023) este indicador representa el tiempo que efectivamente se trabaja, sin tiempos muertos, a la capacidad establecida y sin defectos (p. 1). Hernández Vázquez & Hernández Vázquez (2023) menciona que el OEE se obtiene mediante el producto de tres factores, como se indica en (2):

$$OEE = D \times R \times C \quad (2)$$

donde:

- D: Disponibilidad
- R: Rendimiento
- C: Calidad

3.4.1 Disponibilidad

La disponibilidad (D) mide el porcentaje de tiempo en que el equipo estuvo realmente operativo respecto al tiempo que estaba disponible para la producción. La disponibilidad se ve afectada principalmente por detenciones de los equipos no planificados, como fallas o averías, pudiendo ser tanto de la planta como del equipo, y tiempos prolongados de arranque (Rojas Alvarado et al., 2023). Se calcula como se indica en (3):

$$D = \frac{TO}{TP} \times 100 [\%] \quad (3)$$

donde:

- TO: corresponde al tiempo efectivo donde el equipo estuvo operativo, excluyendo en su totalidad el tiempo muerto, como se indica en (4):

$$TO = TP - TM \quad (4)$$

- TP: Corresponde al tiempo planificado total para el funcionamiento del equipo, descontando el tiempo de descanso programado.
- TM: Corresponde al tiempo muerto en el cual el equipo no estuvo operando ya sea por alguna falla del tipo técnica u operacional.

3.4.2 Rendimiento

El rendimiento (R) evalúa la relación entre la producción real y la capacidad productiva teórica del equipo, siempre y cuando opere a velocidad ideal. El rendimiento se ve afectado por las microparadas y la velocidad reducida (Rojas Alvarado et al., 2023). Se calcula como se indica en (5):

$$R = \frac{PR}{CP} \times 100 [\%] \quad (5)$$

donde:

- PR: Corresponde a la producción real, el número de unidades producidas efectivamente.
- CP: Corresponde al número de unidades que deberían haberse producido en el tiempo operativo ideal, calculado considerando el tiempo de ciclo estándar.

3.4.3 Calidad

La calidad (C) mide el porcentaje de unidades producidas que cumplen los estándares de calidad definidos sin presentar defectos. El porcentaje de calidad se ve reducido por retrabajos o piezas defectuosas. Un nivel alto de calidad implica menos desperdicio y menos reproceso, lo que impacta positivamente en el indicador OEE (Rojas Alvarado et al., 2023). Se calcula como se indica en (6):

$$C = \frac{PB}{PR} \times 100 [\%] \quad (6)$$

donde:

- PB: Corresponde al número de unidades producidas que cumplen con los estándares de calidad.
- PR: Corresponde a la producción real, considerando tanto las piezas que cumplen y no los estándares de calidad.

Con base en su análisis, las organizaciones pueden identificar áreas críticas de mejora en sus sistemas productivos y tomar decisiones fundamentadas para incrementar su eficiencia. De esta manera, el indicador OEE integra algunas de las principales fuentes de pérdidas en la operación industrial: reprocesos/defectos y tiempos de espera (tiempo de inactividad) (Castaño-Jiménez et al., 2021).

En la Figura 3.2 se puede apreciar de la composición del OEE.



Figura 3.2 Composición OEE

Fuente: www.oee.com

3.5 Ventajas del OEE

La ventaja principal de este indicador es que permite medir los parámetros fundamentales vinculados a la producción, como lo son la disponibilidad, rendimiento y calidad. Existen 10 ventajas adicionales de las que pueden disfrutar las compañías si deciden utilizar el OEE (ZEO Technology for Industry):

- Mejora el retorno de inversión (ROI), ya que el indicador busca poder obtener la máxima productividad y eficiencia en el proceso productivo.
- Ayuda a ser más competitivo, ya que el indicador permite ver en donde y por qué está fallando el proceso.
- Maximiza el rendimiento de las máquinas, ya que la aplicación de este indicador permite ver si existen falencias en el rendimiento de estas y saber por qué no está rindiendo como debe, pudiendo corregir esto.
- Perfecciona la capacidad de medir y decidir, ya que permite cuantificar la eficiencia y conocer el funcionamiento real de los procesos productivos.
- Ayuda a descubrir tu fábrica oculta, ya que permite conocer el origen de las pérdidas productivas, y así conocer el punto de partida para mejorar la productividad.
- Facilita el trabajo de todos, ya que, al usar información en tiempo real, les ayuda a saber si el personal está trabajando correctamente y permite activar acciones de medidas de mejora cuando sean necesarias.
- Reduce costos de reparación de máquina, ya que permite una mejor gestión y mantenimiento preventivo, anticipando posibles fallas por alguna posible reducción en el rendimiento.
- Es flexible y escalable.
- Es una puerta de entrada a la industria 4.0.

3.6 Clasificación del OEE

Cruelles (2010) citado en Soto Ramírez (2014) menciona que el valor del OEE permite clasificar, tanto una línea productiva como la planta completa, el cual se recomienda aplicar en los mejores equipos de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia. En la Tabla 3.1 se muestra la clasificación del OEE según el valor del indicador y la descripción de esta valoración.

Tabla 3.1 Clasificación del OEE

OEE	Valoración	Descripción
$OEE < 65\%$	Deficiente (Inaceptable)	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
$65\% < OEE < 75\%$	Regular	Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Se produce pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
$75\% \leq OEE < 85\%$	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
$85\% \leq OEE < 95\%$	Buena	Entra en valores de clase mundial. Buena competitividad.
$95\% \leq OEE \leq 100\%$	Excelente	Valores de clase mundial. Alta competitividad.

Fuente: Cruelles (2010), citado en Díaz-Contreras et al. (2020)

3.7 Principales causas de pérdidas productivas según OEE

Cuando se busca mejorar el desempeño de un equipo productivo, no basta con saber su eficiencia general. También es clave entender dónde exactamente se están generando las pérdidas. En este sentido, la metodología OEE identifica lo que se conocen como las seis grandes pérdidas, que se agrupan según los tres componentes del indicador: disponibilidad, rendimiento y calidad (Infraspeak, 2020):

Paradas no Programadas: Una de las más comunes son las paradas no programadas, que ocurren por fallas en el equipo, problemas eléctricos, atascos o falta de materiales. Estas detenciones imprevistas reducen directamente el tiempo disponible para producir.

Configuración y ajuste: Otro tipo de pérdida dentro de la disponibilidad es el tiempo destinado a ajustes y preparación. Si bien estas actividades pueden estar dentro del proceso normal, en algunos casos no están optimizadas, y terminan tomando más tiempo del necesario, afectando también la disponibilidad del equipo.

Paradas menores y microparadas: Por el lado del rendimiento, se encuentran las microparadas, que son pausas muy cortas y repetitivas. Muchas veces se dan por pequeñas fallas o interrupciones menores que no se reportan, pero que, al acumularse, generan una baja importante en el ritmo de trabajo.

Reducción de velocidad: También se debe considerar la reducción de velocidad, que ocurre cuando el equipo no trabaja al ritmo para el cual fue diseñado. Esto puede deberse a desgaste, condiciones de operación inadecuadas o incluso por decisiones del operador que, por precaución o comodidad, prefieren operar a menor velocidad.

Rechazos en el arranque: En cuanto a la calidad, una pérdida importante se da al inicio de la producción. En esos momentos, mientras el equipo se estabiliza o se ajusta, es común obtener piezas que no cumplen con los estándares. A esto se le llama rechazo en el arranque.

Defectos de producción: Finalmente, están los defectos durante la producción normal, que pueden ser producto de errores en el proceso, fallas técnicas, materias primas con problemas o incluso por falta de supervisión en ciertos puntos.

Reconocer estas seis pérdidas y entender cómo se manifiestan en el día a día de la planta es un paso clave para mejorar el OEE. De hecho, muchas empresas que logran buenos resultados con este indicador lo hacen precisamente porque trabajan en reducir estas pérdidas una por una, de forma estructurada y con datos (Infraspeak, 2020)

3.8 Relación del OEE con herramientas de mejora continua

A medida que indaga en los temas de eficiencia operativa, empieza a notar que el OEE no es una herramienta aislada. Al contrario, se relaciona bastante con otras metodologías que también apuntan a mejorar el funcionamiento de los equipos y del proceso completo. Por ejemplo, algo que pasa mucho en empresas manufactureras es que, cuando se empieza a medir el OEE, saltan a la vista problemas que ya se venían arrastrando hace tiempo, pero que no estaban del todo claros. Y ahí es donde otras herramientas como el TPM, Lean o incluso SMED entran a jugar.

En el caso del TPM, lo que se busca es que las fallas se reduzcan lo máximo posible a través de mantenimientos bien planificados, pero también involucrando a los operadores en ese proceso. La idea es que cuiden su máquina, la revisen, le hagan limpieza básica, etc. El OEE permite ver si eso se está traduciendo o no en una mayor disponibilidad. Si las paradas bajan, uno podría decir que el TPM está dando resultado. Si no cambia mucho, probablemente haya que revisar cómo se está implementando (LeanProduction, s.f.)

Con Lean Manufacturing la relación con el OEE también es clara. Según lo que plantea MSC Direct, muchas empresas están utilizando el OEE no solo para medir productividad, sino como una herramienta de mejora continua que encaja perfecto con la filosofía Lean. Al tener datos concretos sobre disponibilidad, rendimiento y calidad, se puede hacer un análisis más detallado de los cuellos de botella, identificar desperdicios y atacar directamente las causas. En vez de aplicar cambios a ciegas, el OEE permite que las decisiones se tomen con respaldo, lo que hace que las prácticas Lean

tengan más efecto real en la operación (MSC Industrial Supply Co., s.f.)

Ahora, en cuanto a SMED, no todas las plantas lo usan, pero cuando hay muchas referencias de producto o se hacen cambios frecuentes, puede marcar la diferencia. El SMED apunta a que el cambio de formato sea rápido, idealmente en menos de 10 minutos. Eso pega directo en el componente de disponibilidad del OEE. Si antes una máquina paraba 45 minutos por un cambio, y ahora lo hace en 15, ya se ve una mejora concreta (Santiago, 2010).

En resumen, medir OEE es un buen punto de partida, pero lo importante viene después: entender qué hacer con esa información. Y ahí es donde tiene sentido combinarlo con herramientas como TPM, Lean y SMED. No se trata solo de medir, sino de actuar sobre esas pérdidas.

3.9 Aplicación del OEE en contextos industriales

La aplicación del indicador OEE ha demostrado ser una herramienta efectiva para mejorar el desempeño operativo en distintos sectores industriales. A través de su uso, diversas empresas han logrado identificar cuellos de botella, estandarizar prácticas, reducir tiempos muertos y aumentar la productividad global. A continuación, se exponen algunos casos representativos que evidencian el impacto concreto de esta metodología. En Nestlé Brasil, la implementación de un sistema automatizado de llenado y monitoreo, provisto por SIG, permitió alcanzar un OEE del 94%, superando los niveles previamente obtenidos por competidores del sector. Este resultado fue posible gracias al control en línea de los parámetros operativos, la trazabilidad completa de la producción y un enfoque proactivo en la gestión del rendimiento del equipo (SIG, 2018).

Por su parte, Samtec, fabricante de componentes electrónicos, utilizó un sistema de monitoreo en tiempo real para reemplazar procesos manuales y obtener visibilidad continua sobre el comportamiento de su máquina. Gracias a la implementación del módulo OEE de Sepasoft®, la empresa logró transformar su sistema de datos en planta, optimizando sus niveles de eficiencia y reduciendo significativamente el tiempo destinado a recopilación manual (Sepasoft, s.f.).

En el sector automotriz, la empresa Versatech experimentó un aumento del 30% en su OEE tras la adopción de herramientas de visualización y captura automática de datos. El uso de dashboard en tiempo real permitió detectar problemas, responder rápidamente a desviaciones y generar una cultura de mejora continua basada en evidencia operativa (Sherwood, 2024).

Finalmente, AstraZeneca llevó a cabo una intervención Lean en una de sus líneas de producción farmacéutica, logrando aumentar el OEE desde un valor inicial cercano al 45% hasta alcanzar el 75% en un periodo de diez meses. La mejora se atribuye a la estandarización de procesos, reducción de tiempos muertos y entrenamiento específico al personal para fomentar la autonomía operativa (McLean, s.f.).

Estos casos evidencian que la implementación del OEE, más allá del diagnóstico, permite generar cambios estructurales en la gestión de planta, sustentados en datos objetivos y alineados con una lógica de mejora continua. En todos los ejemplos revisados, el objetivo fue claro: reducir pérdidas, maximizar el uso del tiempo operativo y elevar el desempeño global del sistema productivo. Nestlé Brasil buscaba el aumento orientado a su eficiencia operativa y el control de calidad; Samtec apuntaba a automatizar el monitoreo para eliminar tareas manuales e improductivas; Versatech necesitaba identificar y resolver rápidamente fallas para sostener la mejora continua; mientras que AstraZeneca pretendía incrementar en un 60% la salida de su línea, lo que logró mediante un alza sustantiva en su OEE. En conjunto, estos objetivos revelan que el OEE es más que una métrica: se transforma en una palanca estratégica para la competitividad industrial.

Capítulo 4: Aplicación del OEE

Implementar un sistema de medición confiable fue un paso necesario para enfrentar las ineficiencias detectadas en la operación de la PBA. A partir del diagnóstico previo, se definió una estrategia centrada en el uso del indicador OEE, con el objetivo de monitorear el desempeño del equipo de forma sistemática y apoyar la toma de decisiones basada en evidencia.

Dado que los registros disponibles estaban dispersos y poco estructurados, fue necesario construir una base de datos consolidada que integrara la producción diaria, los tiempos muertos y los rechazos asociados a la PBA. Esta información se depuró, segmentó y modeló utilizando herramientas como planillas de cálculo y Power BI, permitiendo aplicar los componentes del OEE con datos reales del entorno de planta.

En este capítulo se expone cómo se desarrolló el sistema de medición, cómo se aplicó el cálculo del OEE a partir de los registros operacionales y qué resultados se obtuvieron. A su vez, se presentan los principales hallazgos y focos críticos detectados, que luego darán paso al diseño de propuestas de mejora orientadas a recuperar capacidad productiva y reducir las pérdidas operativas.

4.1 Estructura del sistema de datos y cálculo del OEE

Para implementar el sistema de cálculo del OEE en la máquina PBA, se construyó una base de datos estructurada en Google Sheets que permitió organizar, limpiar y analizar los registros operacionales disponibles en planta. Esta herramienta fue clave para consolidar información dispersa proveniente de múltiples fuentes y generar una plataforma común desde donde aplicar los indicadores de eficiencia.

El punto de partida fue la importación de tres bases principales desde el sistema interno de registro de la planta Niuform, el cual contiene datos operacionales recolectados de forma continua por las áreas productivas. Estas bases corresponden a: producción, tiempos muertos y rechazos de calidad.

Cada una de estas fuentes se encontraba originalmente en formatos distintos y con restricciones operativas, por lo que se creó una planilla externa llamada “Producción” para consolidar todos los registros de fabricación, y una planilla “Registro” para agrupar los tiempos muertos reportados.

En paralelo, la planilla “Calidata” fue destinada a importar los registros asociados a productos rechazados, expresados en volumen (m^3) de la unidad no conforme.

Con el fin de enfocar el análisis exclusivamente en el equipo PBA, se elaboró una planilla denominada “LimpiezaDatos”, donde se filtró la información desde el 01 de octubre de 2024 hasta el 10 de abril del 2025, eliminando registros asociados a otros equipos. Esta limpieza permitió generar una base acotada, trazable y representativa del comportamiento real de la PBA bajo condiciones de operación estándar. A partir de estos datos depurados, se construyeron múltiples planillas auxiliares con funciones específicas:

- Agrupados: contiene los minutos de tiempo muerto agrupados por causal, grupo y mes.
- TMDATA: preparada para alimentar visualizaciones en Power BI.
- xMeses, Grupos, TxGRUPO: resumen mensual de pérdidas, distribución por grupo y desagregación por causal.
- Prodfiltrada: producción diaria filtrada de la PBA.

En paralelo, se generaron tres planillas para el cálculo detallado de los componentes del OEE:

- Disponibilidad: donde se registra el tiempo programado diario por turno (TP), el tiempo muerto (TM) y el tiempo operativo (TO). La disponibilidad se calcula como la proporción entre el tiempo realmente operativo y el tiempo programado, excluyendo pausas por colación.
- Rendimiento: considerando una velocidad teórica de $0,73 \text{ m}^3/\text{hora}$, se calcula el rendimiento diario dividiendo el volumen producido por el tiempo operativo en horas, y comparando el resultado con la velocidad ideal.
- Calidad: se obtiene restando la producción rechazada del volumen total producido y dividiendo la producción conforme por el total diario. Días sin rechazos se consideran como calidad del 100%, dado que no se reportaron pérdidas.

Finalmente, en la planilla OEE, se consolidaron los valores diarios de cada componente para obtener el indicador general. Esta estructura fue complementada con la planilla Resumen, que resume el comportamiento mensual de variables clave.

Para la visualización e interpretación de resultados, se utilizó Power BI, herramienta que permitió transformar esta base estructurada en un tablero interactivo y dinámico.

4.2 Marco operativo del periodo analizado

Antes de presentar los resultados obtenidos mediante la aplicación del sistema OEE a la máquina PBA, es necesario establecer el marco operativo en que se desarrolló el análisis. Esta información resulta clave para interpretar adecuadamente los indicadores de desempeño y contextualizar los datos recopilados en planta. Durante el periodo comprendido entre octubre de 2024 y abril de 2025, la planta operó bajo un sistema de tres turnos laborales, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 4.1 Horarios de trabajo de cada turno en la semana

Día	Turno 1	Turno 2	Turno 3
Lunes	00:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h
Martes	22:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h
Miércoles	22:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h
Jueves	22:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h
Viernes	23:30 – 08:00 h	08:00 – 14:30 h	14:30 – 21:00 h

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que, con excepción del Turno 1 del lunes (que inicia a las 00:00 h del mismo día), todos los turnos 1 restantes inician su jornada la noche del día anterior. Por ejemplo, el Turno 1 correspondiente al martes comienza a las 22:00 h del lunes y finaliza a las 08:00 h del martes. Esta lógica se aplica también para los turnos 1 de miércoles, jueves y viernes. Adicionalmente, Los días hábiles que presenta cada mes del periodo analizado son los siguiente:

Tabla 4.2 Días hábiles de los meses de estudios

Mes	Días hábiles
Octubre 2024	22 días
Noviembre 2024	20 días
Diciembre 2024	21 días
Enero 2025	22 días
Febrero 2025	20 días
Marzo 2025	21 días
Abril 2025	8 días

Fuente: Elaboración propia

Para el mes de abril se consideraron únicamente los primeros 8 días hábiles, ya que la base de datos disponible abarcaba hasta el 10 de abril de 2025. Por tanto, los indicadores calculados reflejan solo un periodo parcial. Respecto a los turnos, si bien el Turno 1 comienza formalmente a las 22:00 h, este tramo no se incluye como tiempo programado efectivo. Durante ese lapso, la PBA sigue siendo operada por el Turno 3, mientras el operador del Turno 1 se encuentra en fase de transición. Por ello, para evitar solapamientos, se considera que el Turno 1 inicia operativamente a las 00:00 h. A

continuación, se detallan los horarios efectivos de programación aplicados en el análisis. A continuación, se presentan los horarios efectivos considerados para la programación de producción en la máquina PBA, una vez aplicados los criterios anteriores:

Tabla 4.3 Horarios efectivos de programación de producción por día

Día	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Total horas/día
Lunes	00:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h	24 h
Martes	00:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h	24 h
Miércoles	00:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h	24 h
Jueves	00:00 – 08:00 h	08:00 – 18:00 h	18:00 – 00:00 h	24 h
Viernes	00:00 – 08:00 h	08:00 – 14:30 h	14:30 – 21:00 h	20,5 h

Fuente: Elaboración propia

Para reflejar aún más fielmente la realidad operativa, se presenta en la Tabla 4.4 el tiempo programado bruto y el tiempo disponible efectivo por turno, una vez descontados 30 minutos de colación por turno. Estos valores son los utilizados como base para el cálculo de la disponibilidad en la máquina PBA.

Tabla 4.4 Tiempo disponible por turno y por día

Día	Turno	Horario	Tiempo bruto	Tiempo disponible (horas)	Tiempo disponible (minutos)
Lunes	1	00:00 – 08:00 h	8 h 00 min	7 h 30 min	450 min
	2	08:00 – 18:00 h	10 h 00 min	9 h 30 min	570 min
	3	18:00 – 00:00 h	6 h 00 min	5 h 30 min	330 min
Martes	1	00:00 – 08:00 h	8 h 00 min	7 h 30 min	450 min
	2	08:00 – 18:00 h	10 h 00 min	9 h 30 min	570 min
	3	18:00 – 00:00 h	6 h 00 min	5 h 30 min	330 min
Miércoles	1	00:00 – 08:00 h	8 h 00 min	7 h 30 min	450 min
	2	08:00 – 18:00 h	10 h 00 min	9 h 30 min	570 min
	3	18:00 – 00:00 h	6 h 00 min	5 h 30 min	330 min
Jueves	1	00:00 – 08:00 h	8 h 00 min	7 h 30 min	450 min
	2	08:00 – 18:00 h	10 h 00 min	9 h 30 min	570 min
	3	18:00 – 00:00 h	6 h 00 min	5 h 30 min	330 min
Viernes	1	00:00 – 08:00 h	8 h 00 min	7 h 30 min	450 min
	2	08:00 – 14:30 h	6 h 30 min	6 h 00 min	360 min
	3	14:30 – 21:00 h	6 h 30 min	6 h 00 min	360 min

Fuente: Elaboración propia

Este marco sirvió de base para el cálculo de los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad aplicados a la máquina PBA, los cuales se desarrollan en las secciones siguientes.

4.3 Análisis de disponibilidad, rendimiento y calidad

Para realizar el análisis detallado del desempeño de la máquina PBA, se aplicaron los tres

componentes fundamentales del indicador OEE: disponibilidad, rendimiento y calidad. Cada uno fue calculado a partir de los datos previamente organizados y tratados en la base desarrollada en Google Sheets, utilizando información histórica registrada entre octubre de 2024 y abril de 2025.

Con el objetivo de entregar una visión clara del comportamiento mensual de estas variables, se elaboraron tablas resumen que permiten observar la evolución de cada indicador y las relaciones entre tiempo programado, producción y eficiencia real. Los datos presentados fueron agrupados mensualmente para facilitar su interpretación.

4.3.1 Disponibilidad

La disponibilidad mide el porcentaje de tiempo en que la máquina estuvo efectivamente operativa respecto al tiempo total que se había programado para producción. Para su cálculo, se consideró el tiempo programado diario por turno, descontando 30 minutos de colación en cada jornada.

El tiempo operativo (TO) diario fue obtenido restando al tiempo programado (TP) los minutos de tiempo muerto (TM) registrados por turno. Con estos valores, se calculó la disponibilidad como se muestra en la ecuación 3 de la sección 3.4.1.

Cabe señalar que, para el cálculo del tiempo muerto en esta sección, se aplicó un criterio metodológico que busca compensar la falta de registros operacionales en algunos turnos. Cuando en un turno determinado existía tiempo programado, pero no se había registrado ningún evento de tiempo muerto, se asumió que la máquina no trabajó durante ese periodo, por lo que se asignó como tiempo muerto la totalidad del tiempo programado para ese turno. Esta lógica permitió mantener la consistencia del cálculo de disponibilidad, evitando asumir operación donde no existía respaldo explícito en los datos. Sin embargo, se identificaron algunos casos puntuales en que, bajo este criterio, se asignó tiempo muerto completo a un turno, a pesar de que en los datos aparecía producción registrada durante ese mismo turno. Esta aparente contradicción se explica por una práctica observada en planta: en ocasiones, los operadores del turno siguiente registran tarjetas de producción que no fueron ingresadas por el turno anterior, generando un desfase entre la ejecución real y su registro en la base de datos. Como resultado, puede ocurrir que el sistema muestre producción en un turno donde también se asumió tiempo muerto total.

Es importante señalar que esta situación solo se identificó en cuatro turnos específicos durante todo el periodo de análisis, por lo que su impacto sobre el cálculo general es estadísticamente poco

significativo. En consecuencia, se considera que el enfoque aplicado mantiene la representatividad del análisis de disponibilidad y resguarda la fidelidad del indicador global. La Tabla 4.5 presenta el detalle mensual de tiempo programado, tiempo operativo y tiempo muerto, junto con la disponibilidad resultante en porcentaje.

Tabla 4.5 Tiempo programado, operativo y muerto mensual de la PBA

Mes	TP (min)	TM (min)	TO (min)	TO promedio/día (min)	TM promedio/día (min)	Disponibilidad (%)
Octubre	28.980	12.325	16.655	757,05	560,23	57,47%
Noviembre	26.280	14.751	11.529	576,45	730,55	43,87%
Diciembre	27.630	11.367	16.263	774,43	541,29	58,86%
Enero	28.800	15.503	13.297	604,41	704,68	46,17%
Febrero	21.120	11.464	9.656	482,80	503,20	45,72%
Marzo	27.630	10.039	17.591	837,67	478,05	63,67%
Abril	10.620	4.786	5.834	729,25	598,25	55,93%

Fuente: Elaboración propia

El análisis evidenció que la disponibilidad es el componente más bajo del indicador OEE, con un promedio general de 56,18%, lo que refleja una pérdida considerable de capacidad operativa en la máquina PBA. Esta situación está fuertemente influida por la presencia recurrente de tiempos muertos, principalmente asociados a ajustes de máquina, mantenciones y maniobras logísticas que interrumpen la continuidad del proceso. Al observar el comportamiento del tiempo operativo promedio por día, se aprecia una relación directa entre este valor y el nivel de disponibilidad mensual. Al observar los datos de noviembre, podemos ver que el tiempo operativo promedio cayó de los 757 minutos en octubre a 576 minutos, lo que coincide con una de las disponibilidades más bajas del periodo (43,87%). Un patrón similar se repite en enero, donde la caída en el tiempo operativo promedio diario respecto a diciembre (774 a 604 minutos) se traduce en una disminución de la disponibilidad desde 58,86% a 46,17%. Por otra parte, en marzo se registró el mayor tiempo operativo promedio diario del periodo (837 minutos), lo que se vio reflejado en la disponibilidad más alta (63,67%), reafirmando la influencia que tiene la estabilidad operativa diaria en el desempeño del equipo.

Complementariamente, al analizar el tiempo muerto promedio diario, se observa que los meses con menor disponibilidad presentan también altos niveles de detención. Por ejemplo, en noviembre y enero, los tiempos muertos diarios alcanzaron 730 y 704 minutos respectivamente, lo que refuerza la idea de que las detenciones prolongadas afectan fuertemente la continuidad operacional. En contraste, marzo (el mes con mejor disponibilidad) presentó el tiempo muerto promedio más bajo del periodo

(478 minutos), lo cual evidencia que una menor cantidad de interrupciones facilita un mayor aprovechamiento del tiempo programado.

Este comportamiento sugiere que la regularidad en el uso efectivo del tiempo programado es clave para mejorar la eficiencia general, y que pequeñas variaciones diarias pueden tener un impacto significativo en los indicadores mensuales. Por tanto, se vuelve necesario trabajar sobre las causas específicas de detención para asegurar una operación más continua y estable en el tiempo.

4.3.2 Rendimiento

El rendimiento evalúa cuán eficiente fue la máquina al operar dentro del tiempo disponible. Para ello, se consideró la producción diaria en metros cúbicos y se relacionó con el tiempo operativo del día, expresado en horas. Posteriormente, este valor fue comparado con la velocidad teórica de 0,73 m³ por hora, correspondiente a las especificaciones del fabricante de la PBA. Se calculó como se indica en la ecuación 5 de la sección 3.4.2.

Tabla 4.6 Producción y rendimiento mensual de la PBA

Mes	Producción (m ³)	TO (horas)	Producción promedio/día (m ³)	TO promedio/día (horas)	Rendimiento (%)
Octubre	185,57	277,6	8,435	12,62	91,58%
Noviembre	168,40	192,1	8,42	9,61	120,06%
Diciembre	142,91	271,1	6,805	12,91	72,23%
Enero	161,29	221,6	7,331	10,07	99,70%
Febrero	117,06	134,9	5,853	6,75	118,84%
Marzo	179,08	293,2	8,528	13,96	83,67%
Abril	56,73	97,2	7,091	12,15	79,93%

Fuente: Elaboración propia

El análisis del rendimiento permite identificar variaciones en la eficiencia operativa de la máquina PBA, reflejadas en cambios mensuales en la relación entre producción y tiempo operativo real. El rendimiento promedio durante el periodo fue de 85,43%, lo cual sugiere un nivel adecuado de operación bajo las condiciones existentes, aunque con oportunidades claras de mejora asociadas a prácticas internas y ritmo de trabajo.

Al observar la producción promedio diaria junto con el tiempo operativo promedio por día, se evidencian comportamientos disímiles. En diciembre, por ejemplo, la máquina operó en promedio 12,91 horas por día, pero alcanzó solo 6,805 m³/día, resultando en el rendimiento más bajo del periodo (68,68%). Esta baja eficiencia sugiere la existencia de pérdidas ocultas, como microparadas no

registradas o velocidades de alimentación menores a las habituales. Por el contrario, en noviembre, con un tiempo operativo promedio diario de solo 9,61 horas, se logró una producción similar a la de octubre, alcanzando un rendimiento de 105,75%, superior al 100%. Este tipo de situaciones puede explicarse por la naturaleza de las piezas trabajadas, ya que algunos días, la máquina procesa elementos que requieren solo operaciones puntuales como perforación, perfilado o algún mecanizado menor, lo que permite que el volumen producido sea alto en relación al tiempo efectivo de operación. En estos casos, se considera el volumen total de la pieza procesada, incluso si solo se ejecutó una fase del mecanizado, lo que eleva artificialmente el rendimiento para esa jornada. Marzo destaca como uno de los meses más equilibrados, con el mayor tiempo operativo promedio por día (13,96 horas) y una de las producciones más altas del periodo (8,528 m³/día), lo que se refleja en un rendimiento eficiente (77,87%) y constante. En contraste, abril, a pesar de mostrar una producción diaria aceptable (7,091 m³), evidencia un rendimiento bajo (70,82%), probablemente afectado por la corta cantidad de días hábiles considerados (8 días) y la inestabilidad operativa propia del cierre del periodo.

En resumen, este análisis demuestra que no basta con extender el tiempo operativo disponible, sino que es esencial mantener un ritmo productivo eficiente, minimizando pausas no planificadas, cambios de formato poco optimizados y reducciones de velocidad no visibles en los registros. También resalta la necesidad de considerar el tipo de trabajo realizado por la máquina al interpretar el rendimiento, ya que no todas las jornadas representan la misma exigencia para el equipo.

4.3.3 Calidad

La calidad refleja el porcentaje de producción que cumplió con los estándares definidos sin presentar defectos. En la planilla correspondiente se calculó la producción conforme restando el volumen rechazado del total producido, y luego se comparó con el volumen total. Se calculó como lo indica la ecuación 6 de la sección 3.4.3.

Tabla 4.7 Rechazos y calidad mensual de la PBA

Mes	Producción Total (m ³)	Rechazos (m ³)	Calidad (%)
Octubre	185,57	0,0	100%
Noviembre	168,40	0,0	100%
Diciembre	142,91	0,0	100%
Enero	161,29	2,1	98,69%
Febrero	117,06	0,3	99,76%
Marzo	179,08	2,5	98,63%
Abril	56,73	0,0	100%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4.7 presenta el detalle de la producción total, el volumen rechazado y el porcentaje de calidad mensual de la PBA durante el periodo analizado. Los rechazos fueron cuantificados en m³, de acuerdo con los registros históricos. En los días donde no se reportaron rechazos, se asumió una calidad del 100%, ya que no existieron registros de material no conforme. Esto se respalda en el bajo volumen de rechazo registrado durante el período observado. El resultado promedio fue de 99,52%, lo que confirma que la PBA presenta un comportamiento robusto desde el punto de vista de la calidad.

4.4 Visualización y análisis de datos en Power BI

Con el fin de visualizar de forma más clara y práctica toda la información trabajada, se desarrolló un tablero en Power BI. Este dashboard permitió representar los datos de manera visual e interactiva, lo que ayuda bastante a identificar patrones, problemas y comportamientos dentro del proceso de producción de la PBA. Toda la información que alimenta el tablero proviene directamente de la base de datos construida en Google Sheets.

Página “Resumen”: Esta es la primera vista del dashboard y cumple un rol bien general. Aquí se muestran los indicadores principales: disponibilidad, rendimiento, calidad y el OEE total acumulado. También aparecen algunos datos clave, como el mes con más tiempo muerto y cuál fue la causa más importante de ese tiempo perdido.

Además, hay un gráfico de líneas que muestra cómo se comportaron los tres componentes del OEE mes a mes, y un gráfico de Pareto que deja claro que la mayoría del tiempo muerto se concentra en pocas causas, siendo las más relevantes los ajustes operacionales, el volteo de producto y el retiro de producción. Otro punto importante de esta página es la clasificación del tiempo muerto por grupo (por ejemplo, operacional, planificación, etc.), lo que ayuda a entender desde dónde vienen realmente las pérdidas. En la Figura 4.1 se aprecia esta primera vista que entrega una visión global que sirve como punto de partida para profundizar en las demás secciones del dashboard.

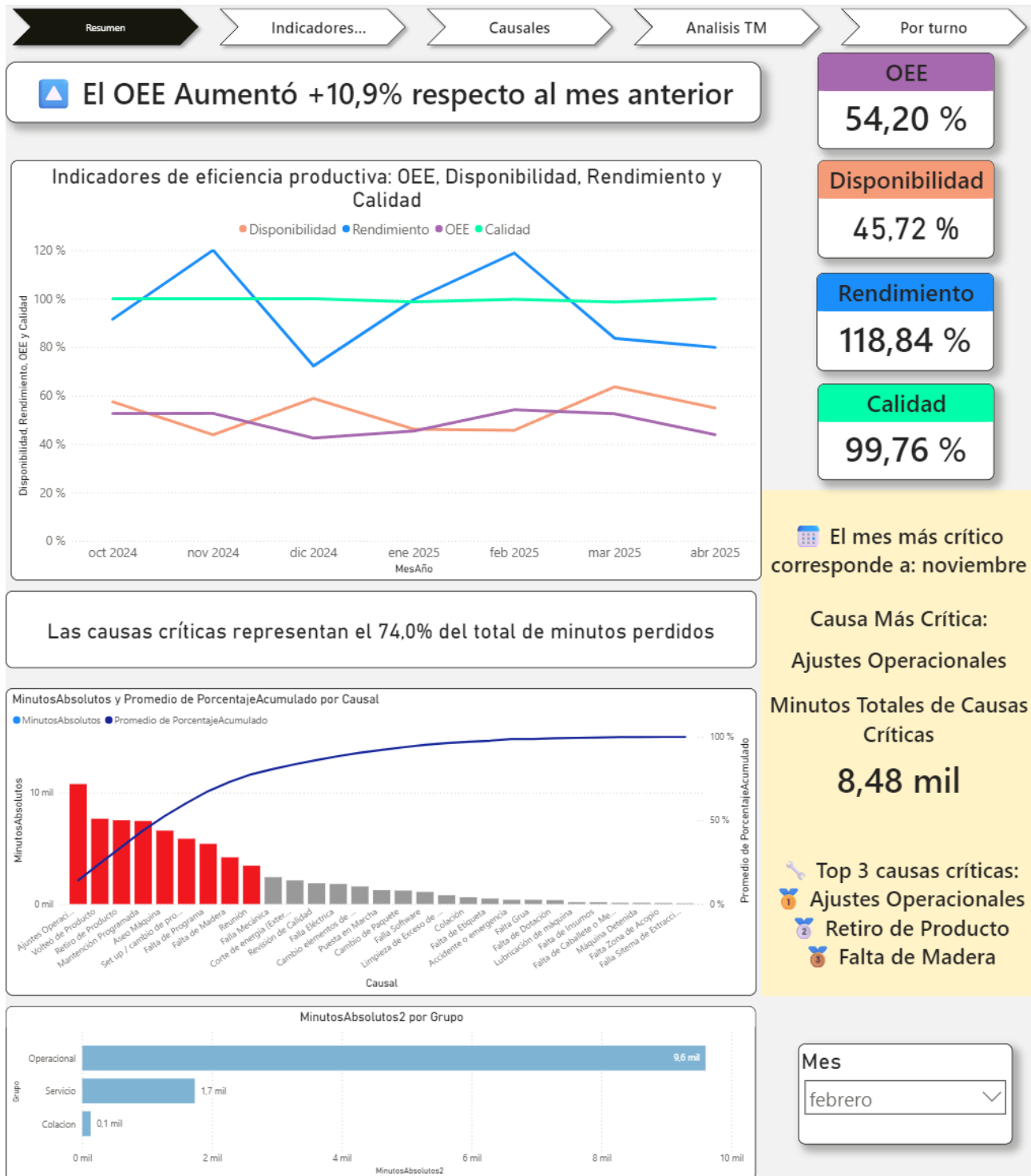


Figura 4.1 Página Resumen del dashboard de OEE

Fuente: Elaboración propia

Página “Indicadores Producción”: En la Figura 4.2 se puede ver cómo la página de indicadores de producción del dashboard analiza la variación mensual de la producción y su relación directa con los componentes del OEE. El gráfico principal combina el volumen producido con los porcentajes de

disponibilidad, rendimiento y calidad, lo que permite identificar si las fluctuaciones en la producción responden a cambios en la eficiencia operativa o a condiciones externas.

Además, se incluye una matriz con el detalle diario de los indicadores, herramienta clave para detectar días anómalos, evaluar el impacto de acciones específicas y observar tendencias en tiempo real. El gráfico complementario muestra la relación entre OEE y m³/h disponible, aportando una perspectiva adicional sobre la velocidad efectiva de producción y su influencia en la eficiencia global. En conjunto, esta página entrega un nivel de análisis más profundo que el resumen general, facilitando la identificación de patrones y la toma de decisiones operativas basadas en datos reales.

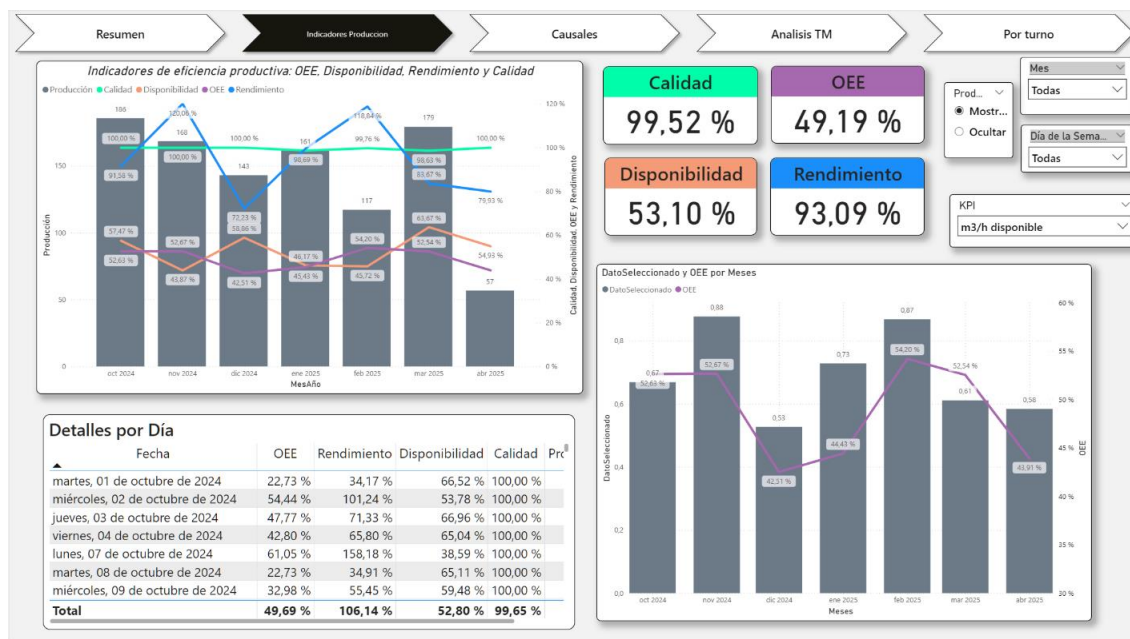


Figura 4.2 Página Indicadores de producción del dashboard de OEE

Fuente: Elaboración propia

Página “Causales”: En la Figura 4.3 se puede ver cómo esta página del dashboard detalla la distribución de las pérdidas de tiempo en la operación de la PBA. El gráfico circular identifica los meses con mayor acumulación de minutos perdidos, donde destacan noviembre y diciembre como los más críticos. A la derecha, la clasificación por tipo de grupo muestra que la mayor parte de los tiempos muertos corresponde a causas operacionales, dejando en evidencia el peso de las tareas internas en la eficiencia global.

En la parte inferior, el gráfico tipo cascada expone las causas específicas con mayor impacto, siendo ajustes operacionales, volteo de producto y retiro de producción las más relevantes. Esta visualización

facilita priorizar acciones de mejora al identificar de manera clara los focos que concentran la mayor proporción de pérdidas dentro del proceso productivo.

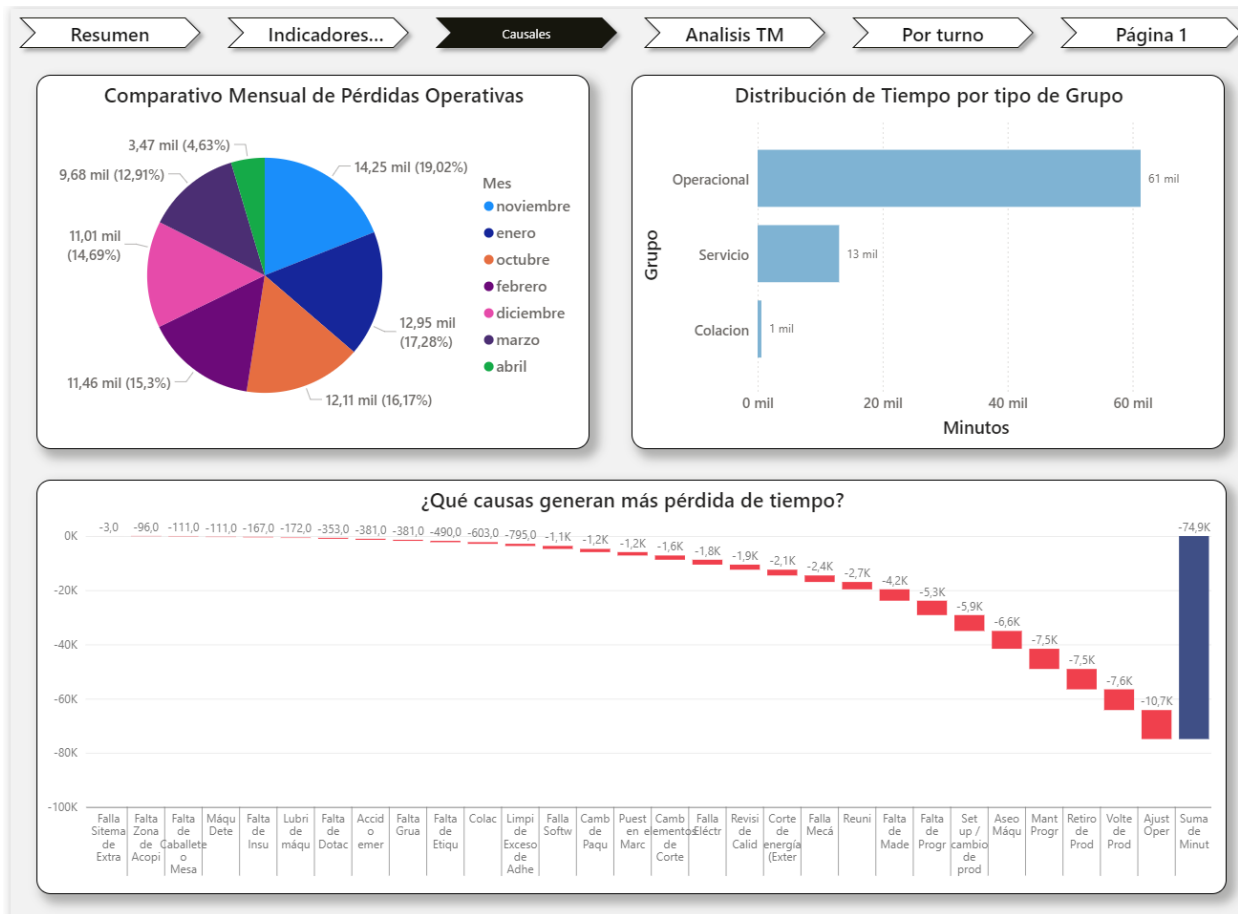


Figura 4.3 Página Causales del dashboard de OEE

Fuente: Elaboración propia

Página “Análisis TM”: En la Figura 4.4 se observa la página del dashboard destinada al análisis detallado del tiempo muerto. El árbol de descomposición permite seguir la distribución de minutos perdidos desde un nivel mensual hasta identificar cada causal específica, lo que facilita ubicar con precisión dónde se concentran las pérdidas. A la derecha, el mapa de calor muestra la intensidad de los tiempos muertos a lo largo de los meses, destacando días críticos y patrones que pueden repetirse entre periodos.

En la parte inferior, el gráfico de Pareto mensual permite visualizar si las causas principales de detención se mantienen constantes en el tiempo o si presentan variaciones.

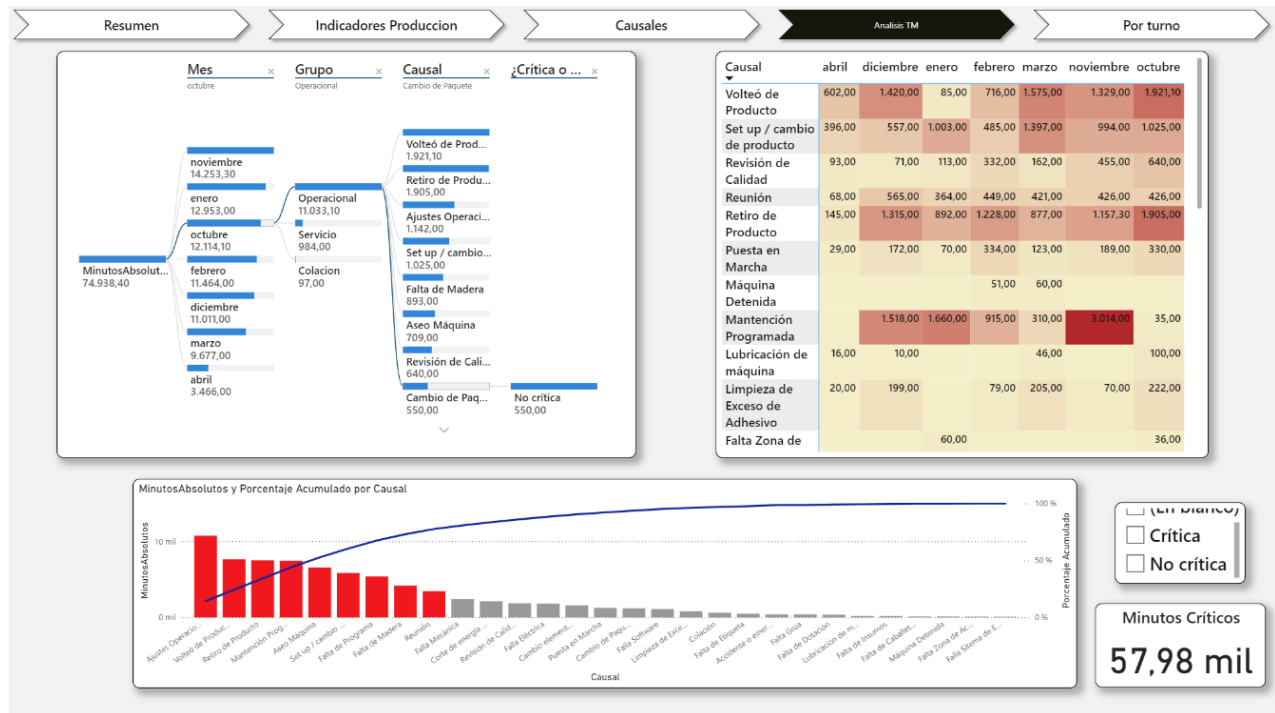


Figura 4.4 Página Análisis TM del dashboard de OEE

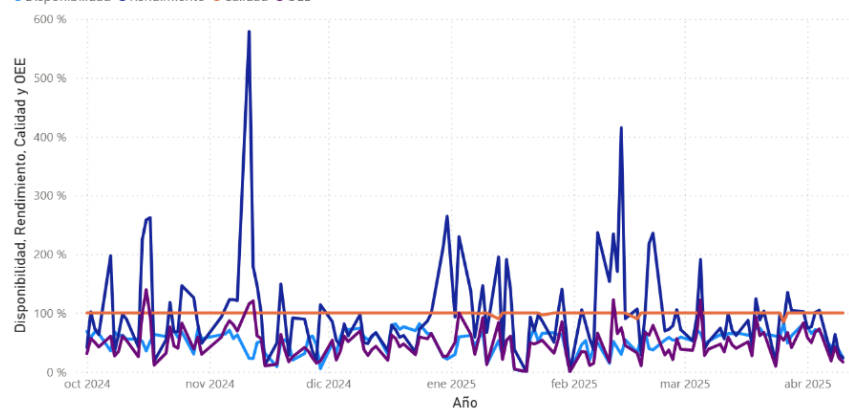
Fuente: Elaboración propia

Página “Por Turno”: En la Figura 4.5 se presenta la página destinada a comparar el desempeño entre los turnos 1, 2 y 3. El gráfico principal permite visualizar cómo varían los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE a lo largo de los días, segmentados por turno.

A la derecha se muestran los promedios de cada componente para todo el periodo analizado, lo que permite tener una visión general de cuál turno destaca o presenta mayores oportunidades de mejora. En la parte inferior, la matriz desglosa los datos por día y turno, facilitando un análisis más detallado para detectar patrones o eventos específicos que influyan en la eficiencia.

Indicadores de eficiencia productiva por turnos: OEE, Disponibilidad, Rendimiento y Calidad

● Disponibilidad ● Rendimiento ● Calidad ● OEE



Año	Mes	Día	Turno	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
2024	octubre	1	1	78,4 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
2024	octubre	1	2	51,8 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
2024	octubre	1	3	75,8 %	122,8 %	100,0 %	93,0 %
2024	octubre	2	1	54,7 %	140,5 %	100,0 %	76,8 %
2024	octubre	2	2	36,5 %	93,6 %	100,0 %	34,1 %
2024	octubre	2	3	82,4 %	71,5 %	100,0 %	59,0 %
2024	octubre	3	1	70,0 %	61,8 %	100,0 %	43,2 %
2024	octubre	3	2	61,8 %	66,0 %	100,0 %	40,7 %
2024	octubre	3	3	71,8 %	92,0 %	100,0 %	66,1 %
2024	octubre	4	1	66,9 %	74,4 %	100,0 %	49,8 %
Total				53,4 %	98,1 %	99,7 %	49,1 %

● Turno

1

2

3

DíaSemana

juevesmiércoles

lunesviernes

martes

NombreMes

abril

diciembre

enero

febrero

marzo

noviembre

octubre

Disponibilidad

53,24 %

Rendimiento

91,24 %

Calidad

99,52 %

OEE

48,34 %

Figura 4.5 Página Por turno del dashboard de OEE

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5: Análisis de resultados

Con la implementación del indicador OEE y la construcción de un tablero de visualización en Power BI, se logró realizar un análisis detallado del comportamiento de la máquina PBA desde octubre de 2024 hasta abril de 2025. A través del cruce de datos operacionales, tiempos de producción y causas de detención, fue posible detectar patrones, identificar los principales focos de pérdida y proponer áreas claras de mejora.

5.1 Evaluación general del OEE y sus componentes

Durante el periodo analizado, el indicador OEE presentó una eficiencia general baja, fluctuando entre 42,51% y 54,20%, como se observa en la Tabla 5.1 y la Figura 5.1. Esto indica que la PBA trabaja a menos de la mitad de su potencial teórico, situación que impacta directamente en la eficiencia global del proceso.

La calidad se mantuvo estable, con valores cercanos al 100% durante todos los meses. Esto demuestra que, una vez en funcionamiento, la PBA produce piezas conformes, sin mayores rechazos. Solo se observan leves variaciones en enero (98,69%), febrero (99,76%) y marzo (98,63%), que no afectan significativamente el resultado final del indicador.

El rendimiento mostró una mayor variabilidad, destacando noviembre y febrero con valores superiores al 100% (120,06% y 118,84% respectivamente). Tal como evidencia la Figura 5.1, esta situación puede explicarse por la naturaleza de las piezas trabajadas en esos meses, que en algunos casos solo requieren operaciones puntuales como cepillado, perforado o perfilado. Por el contrario, diciembre presentó el rendimiento más bajo del periodo (72,23%), reflejando una menor eficiencia en el uso del tiempo operativo.

La disponibilidad fue nuevamente el componente más deficiente del OEE, registrando promedios mensuales por debajo del 60% en casi todos los meses. Esto revela que una parte importante del tiempo programado no se utiliza para producir, debido principalmente a detenciones asociadas a ajustes, mantenciones y maniobras logísticas que afectan la continuidad operativa.

Tabla 5.1 Resumen Mensual De OEE y componentes

Mes	Producción (m³)	Disponibilidad (%)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	OEE (%)
Octubre	185,57	57,47 %	91,58 %	100,00 %	52,63 %
Noviembre	168,40	43,87 %	120,06 %	100,00 %	52,67 %
Diciembre	142,91	58,86 %	72,23 %	100,00 %	42,51 %
Enero	161,29	46,17 %	99,70 %	98,69 %	44,43 %
Febrero	117,06	45,72 %	118,84 %	99,76 %	54,20 %
Marzo	179,08	63,67 %	83,67 %	98,63 %	52,54 %
Abril	56,73	54,93 %	79,93 %	100,00 %	43,91 %

Fuente: Elaboración propia

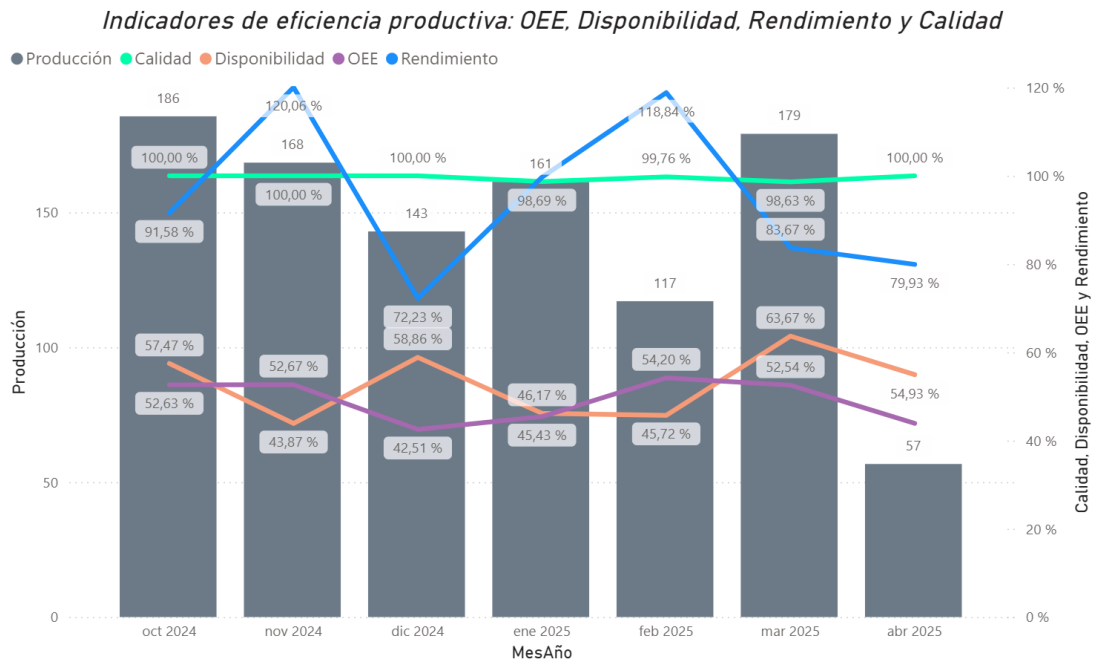


Figura 5.1 Evolución mensual de OEE, Disponibilidad, Rendimiento, Calidad y Producción

Fuente: Elaboración propia

Para profundizar, se realizaron comparaciones entre el OEE y distintas variables operativas, con el objetivo de identificar relaciones significativas que expliquen su comportamiento mensual.

En primer lugar, la comparación entre OEE y Calidad confirma que este componente no representa un cuello de botella, ya que se mantiene estable y en niveles cercanos al 100% durante todo el periodo como se puede observar en la Figura 5.2. La línea de OEE fluctúa independientemente de la calidad, lo que reafirma que las pérdidas no están asociadas a problemas en la calidad del producto.

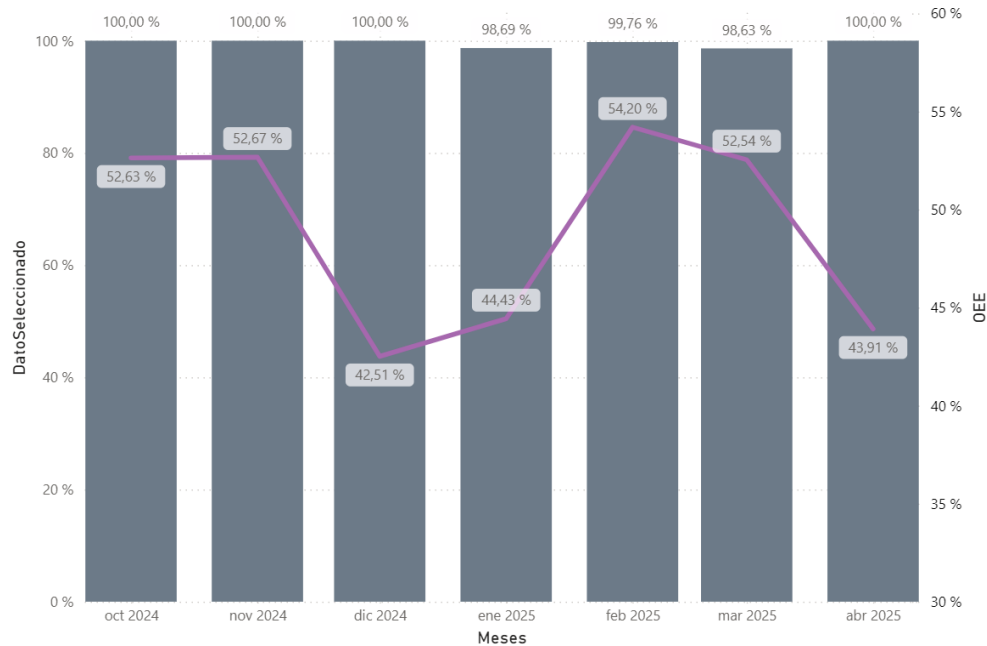


Figura 5.2 Comparativa mensual de OEE vs. Calidad

Fuente: Elaboración propia

Una de las variables más relevantes comparadas con el OEE fue la disponibilidad, ya que refleja cuánto del tiempo programado realmente se usó para producir. En la Figura 5.3 se observa que ambos indicadores tienden a moverse en conjunto: cuando la disponibilidad mejora, el OEE también tiende a subir, y cuando baja, pasa lo mismo con el OEE. Aun así, esta relación no siempre es totalmente proporcional. Por ejemplo, en febrero, con una disponibilidad de 45,72%, el OEE también fue bajo (54,20%). Algo similar ocurre en marzo, donde la disponibilidad alcanzó su punto más alto del periodo (63,67%) y el OEE también fue uno de los más altos (52,54%). En cambio, en diciembre, a pesar de que la disponibilidad subió a 58,86%, el OEE fue de solo 42,51%, lo que sugiere que otros factores como el rendimiento o la calidad también influyen.

En resumen, la disponibilidad es probablemente el punto de partida para entender las variaciones del OEE. Si no hay tiempo útil para producir, difícilmente se puede compensar con buen ritmo o calidad. Por eso, aunque no explica todo, sí tiene un peso clave en cómo se comporta el indicador general.

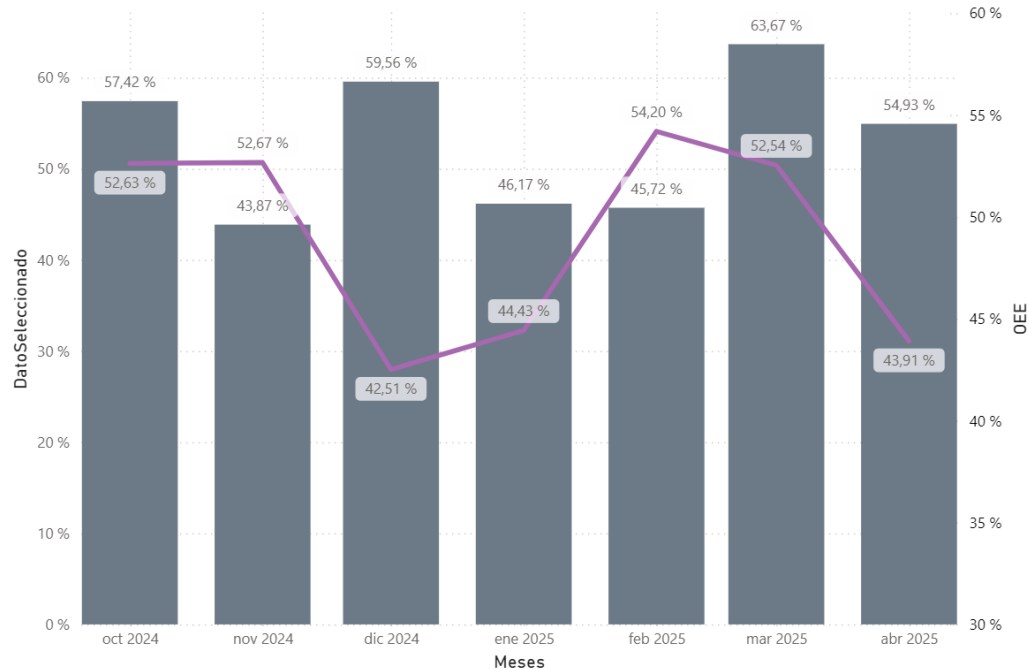


Figura 5.3 Comparativa mensual de OEE vs. Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

Otra comparación relevante fue entre el OEE y el rendimiento mensual, que muestra qué tan eficiente fue la máquina al convertir su tiempo operativo en producción real. En la Figura 5.4 se observa que, cuando el rendimiento se mantuvo por sobre el 99%, como en noviembre (120,06%) y febrero (118,64%), el OEE también subió en relación con los meses previos. Esto indica que trabajar a una velocidad más cercana a la ideal permite aprovechar mejor el tiempo y elevar el desempeño global. Sin embargo, no siempre se da una relación tan directa. En marzo, por ejemplo, el rendimiento bajó a 83,67%, pero el OEE se mantuvo alto (52,54%). Esto se explica porque la disponibilidad fue la más alta del periodo, lo que compensó la caída en velocidad. En cambio, diciembre mostró un rendimiento bajo (72,23%) y el OEE también fue el más bajo del periodo (42,51%), lo que evidencia una pérdida combinada de eficiencia y tiempo operativo.

En resumen, el rendimiento influye directamente en el comportamiento del OEE, pero su impacto depende del contexto. Para que el rendimiento tenga efecto real, debe estar acompañado de una buena disponibilidad. Aun así, mantener una velocidad de producción constante y cercana al ideal es clave para que la eficiencia no se vea afectada por pausas, cambios lentos o procesos poco optimizados.



Figura 5.4 Comparativa mensual de OEE vs. Rendimiento

Fuente: Elaboración propia

Se incluyó además una comparación entre el OEE y los m³ por hora reales producidos en cada mes. La Figura 5.5 muestra cómo se comporta el OEE en comparación con la cantidad de metros cúbicos que se producen por cada hora disponible para trabajar. A simple vista, se nota que cuando el valor de m³/h sube, el OEE también tiende a mejorar, lo que sugiere que hay una relación directa entre ambos. Tiene sentido, porque si se aprovecha mejor el tiempo que hay para operar, el rendimiento mejora y eso impacta directamente en el OEE. Un ejemplo claro es noviembre junto a febrero, donde se alcanzó uno de los valores más altos de producción por hora (0,88 y 0,87 respectivamente) y también uno de los mejores niveles de OEE. Esto probablemente se debe a que ese mes se trabajaron piezas más simples o con menos procesos, lo que permite avanzar más rápido. Por el contrario, en diciembre, el ritmo de producción bajó, y el OEE también fue el más bajo, lo que muestra que una menor velocidad de trabajo puede afectar bastante el resultado global.

En resumen, mientras más estable y rápido sea el trabajo durante el tiempo disponible, mejor es el OEE. No es una fórmula exacta, pero sí se ve una tendencia clara que ayuda a entender por qué algunos meses fueron más eficientes que otros.

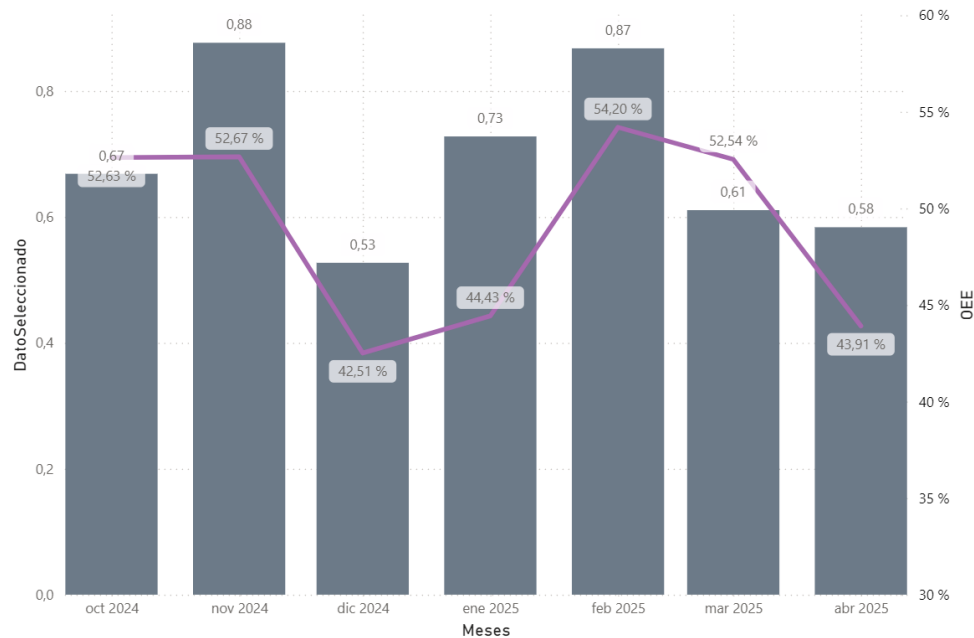


Figura 5.5 Comparativa mensual de OEE vs. m3/h reales de producción

Fuente: Elaboración propia

Se evaluó la relación entre el OEE y el tiempo disponible mensual de la máquina PBA. La Figura 5.6 muestra que un mayor tiempo asignado no siempre se traduce en una mayor eficiencia operativa. Por ejemplo, en marzo se registró el tiempo disponible más alto del periodo (293,2 horas), y se alcanzó uno de los OEE más elevados (52,54%), lo cual sugiere un uso más efectivo de los recursos asignados. Sin embargo, esta relación no se da de forma lineal. Octubre, con 277,6 horas disponibles, obtuvo un OEE similar (52,63%), mientras que, en noviembre, a pesar de tener solo 192,1 horas disponibles, el OEE fue prácticamente el mismo (52,67%). Esto indica que no basta con programar más horas de trabajo: lo que realmente determina la eficiencia es cuánto de ese tiempo se logra utilizar productivamente. Un caso ilustrativo es febrero, que presenta el menor tiempo disponible del periodo (134,9 horas), pero logró un OEE superior (54,20%) gracias a un buen comportamiento en los demás componentes del indicador. Por el contrario, abril, con apenas 97,2 horas disponibles, mostró también el OEE más bajo del análisis (43,91%), lo que refleja una menor oportunidad de aprovechamiento.

En conclusión, el tiempo disponible actúa como una condición habilitante para la eficiencia, pero no garantiza buenos resultados por sí solo. Para que este tiempo se transforme en valor, debe ir acompañado de alta disponibilidad real, planificación efectiva, y una reducción sostenida de los tiempos muertos.

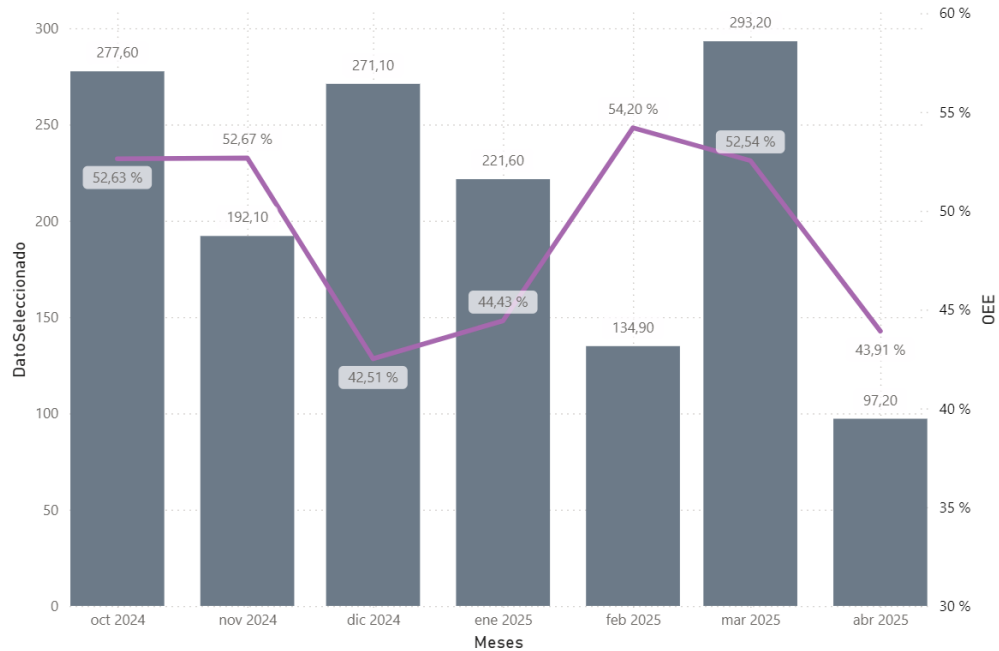


Figura 5.6 Comparativa mensual de OEE vs. tiempo disponible de producción

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente a esto, se comparó el indicador OEE en función del tiempo disponible promedio por día, es decir, la cantidad de horas efectivas programadas para operar diariamente. La Figura 5.7 muestra que, si bien existe cierta correlación entre ambas variables, esta no es estrictamente proporcional. Por ejemplo, marzo presenta el tiempo disponible promedio diario más alto del periodo (13,96 horas), coincidiendo con uno de los mejores desempeños del OEE (52,54%). En contraste, en febrero, a pesar de contar con solo 6,75 horas promedio por día, se alcanzó el OEE más alto (54,20%). Este resultado se explica por una operación eficiente durante ese mes, con escasas interrupciones y un aprovechamiento casi total del tiempo disponible. Del mismo modo, diciembre, con un promedio diario de 12,91 horas, mostró uno de los valores de OEE más bajos (42,51%). Esto revela que disponer de muchas horas diarias no garantiza eficiencia por sí sola si no se acompañan de una alta disponibilidad y rendimiento dentro de ese tiempo.

En resumen, el tiempo disponible promedio diario ofrece un marco de referencia útil para dimensionar la planificación operativa. Sin embargo, su impacto en la eficiencia dependerá siempre de cuán efectivo sea su uso, por lo que debe ser considerado en conjunto con la estabilidad del proceso y la continuidad del flujo de trabajo.

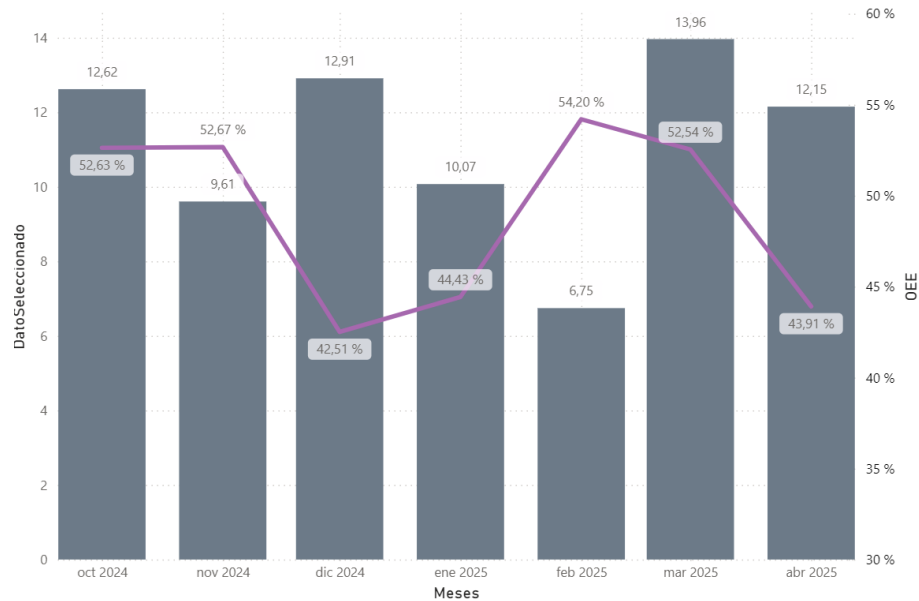


Figura 5.7 Comparativa mensual de OEE vs. tiempo disponible de producción promedio/día

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con el análisis de las variables temporales que influyen en el desempeño del OEE, la Figura 5.8 permite examinar cómo varía el indicador en función del tiempo programado promedio diario, es decir, la cantidad de horas que se planificaron diariamente para operar la máquina. A diferencia del tiempo realmente disponible u operativo, esta métrica refleja la intención de uso establecida en la planificación. En general, se observa que el tiempo programado por día se mantuvo relativamente constante en la mayoría de los meses, oscilando en torno a las 21-22 horas, salvo en febrero, donde cayó a 17,60 horas, lo que coincide con el valor más alto del OEE (54,20%). Esto sugiere que no necesariamente una mayor cantidad de horas programadas se traduce en una mejor eficiencia, sino que el foco debe estar en la calidad de la ejecución operativa dentro de ese tiempo. De forma inversa, diciembre mantuvo un tiempo programado diario de 21,93 horas, similar al de otros meses, pero su OEE fue el más bajo del periodo (42,51%). Esto refuerza la idea de que planificar muchas horas sin una ejecución efectiva no garantiza buenos resultados.

En resumen, el tiempo programado promedio diario representa una condición base que establece el marco de trabajo, pero no tiene una correlación directa con la eficiencia del proceso. Su impacto sobre el OEE dependerá de la capacidad del sistema para transformar esa planificación en tiempo operativo real y productivo.

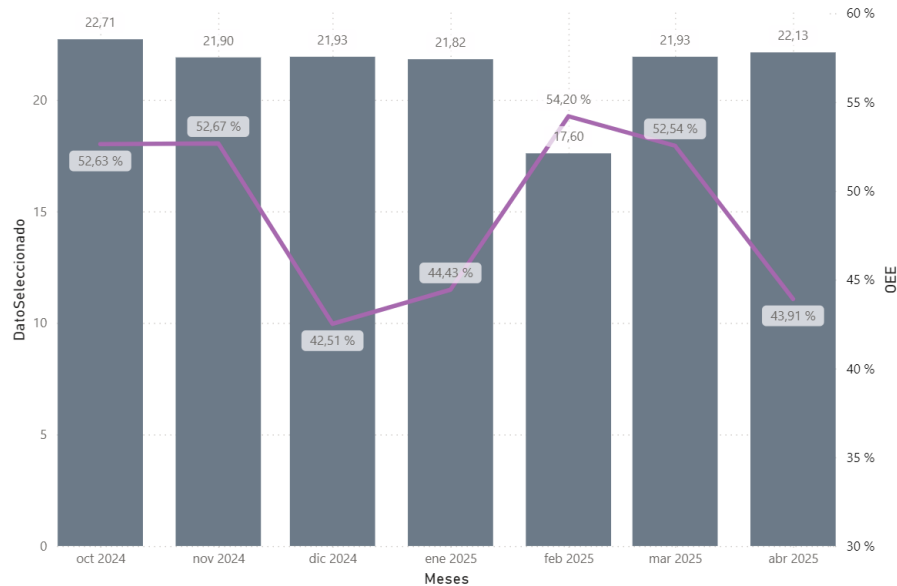


Figura 5.8 Comparativa mensual de OEE vs. tiempo programado de producción promedio/día

Fuente: Elaboración propia

En complemento a los gráficos anteriores, se incorporó un nuevo análisis que considera el volumen de producción promedio por día, con el fin de observar cómo este factor incide en el comportamiento del OEE. La Figura 5.9 permite visualizar cómo se comporta el OEE en relación con la producción promedio por día (en m³). A lo largo del periodo, se aprecia una tendencia coherente: cuando el volumen diario aumenta, el OEE tiende a mejorar también. Octubre y noviembre, por ejemplo, muestran producciones diarias sobre los 8 m³, lo que coincide con valores de OEE por sobre el 52%. Por el contrario, en diciembre, el volumen cayó a 6,81 m³/día y el OEE también se desplomó al punto más bajo del periodo (42,51%). Lo interesante es que, aunque el rendimiento mide directamente la eficiencia de producción, este indicador de volumen promedio diario también da pistas claras sobre cómo se está aprovechando el tiempo operativo en general. En febrero, por ejemplo, el volumen producido fue más bajo (5,85 m³), pero el OEE se mantuvo relativamente alto, lo que podría indicar una operación más constante o con menos interrupciones, aunque a menor ritmo.

En resumen, hay una relación bastante clara entre estos dos indicadores. Cuando la máquina logra mantener una producción diaria elevada, el desempeño global mejora. Sin embargo, también hay casos donde, aun con un volumen más bajo, el OEE se sostiene gracias a una mayor estabilidad en otros factores como la disponibilidad o la calidad.

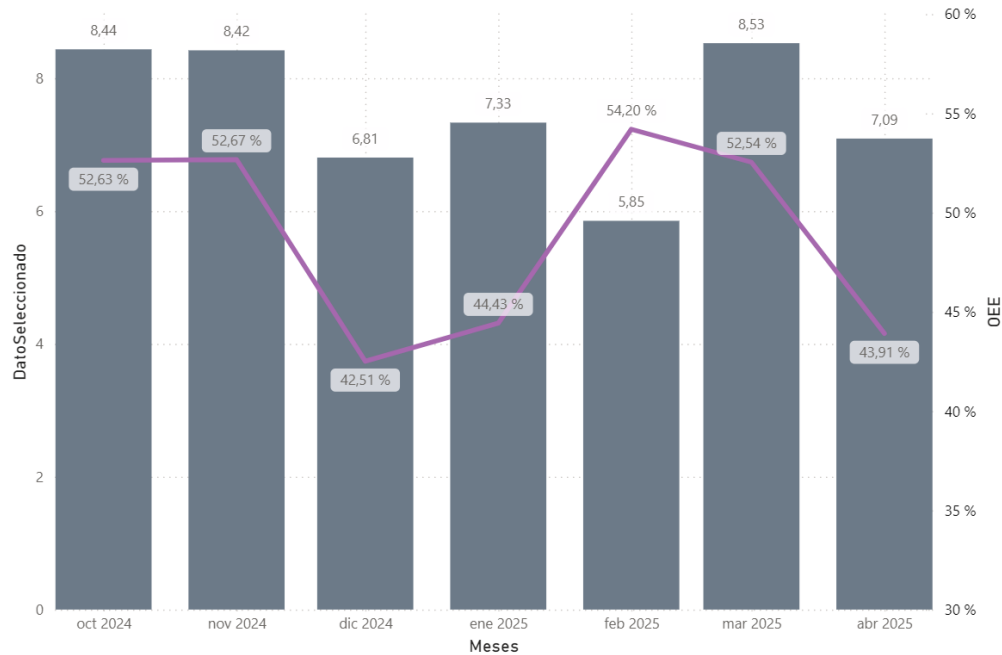


Figura 5.9 Comparativa mensual de OEE vs. volumen producido en promedio/día

Fuente: Elaboración propia

Como complemento final, se incorporó el análisis de los días hábiles trabajados cada mes, con el fin de explorar su impacto en la eficiencia global de la máquina. La Figura 5.10 muestra que, si bien una mayor cantidad de días hábiles permite disponer de más oportunidades de producción, no existe una relación directa ni determinante con el valor del OEE. Por ejemplo, octubre y enero trabajaron 22 días hábiles, pero presentaron niveles de OEE diferentes (52,63% y 44,43%, respectivamente). A su vez, en febrero y marzo, con solo 20 y 21 días hábiles, se alcanzaron OEE de 54,20% y 52,54%, lo que indica que, más que la cantidad de días, lo relevante es cómo se aprovechan. El caso más claro es abril, donde solo se trabajaron 8 días hábiles debido al cierre del periodo. Este mes mostró también el OEE más bajo (43,91%), reflejando tanto la menor disponibilidad de tiempo como la dificultad de sostener una operación eficiente en lapsos tan acotados.

En resumen, los días hábiles trabajados entregan el marco temporal sobre el cual se ejecuta la producción, pero no determinan por sí solos el desempeño. La clave sigue estando en la calidad de la operación diaria, la continuidad del flujo productivo y la capacidad de mantener altos niveles de disponibilidad, rendimiento y calidad en cada jornada.

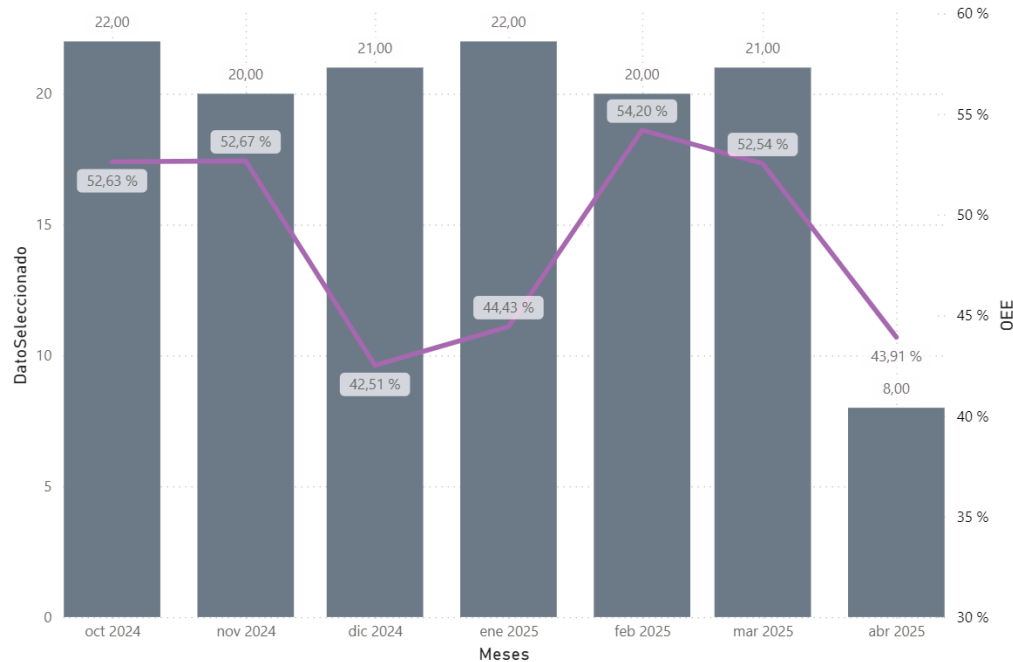


Figura 5.10 Comparativa mensual de OEE vs. días hábiles trabajados/mes

Fuente: Elaboración propia

En conjunto, el análisis realizado permite concluir que la eficiencia global de la máquina PBA está condicionada principalmente por la disponibilidad efectiva del equipo. La calidad se mantuvo alta y estable durante todo el periodo, descartándola como fuente de pérdida significativa. El rendimiento influyó directamente en el comportamiento del OEE en varios meses, especialmente cuando se logró mantener una velocidad operativa cercana al ideal. No obstante, su efecto fue variable y muchas veces dependió del tipo de pieza mecanizada y de las condiciones específicas de la operación. Las comparaciones con otras variables como el volumen diario producido, los m³/h, el tiempo disponible total y promedio, los días hábiles trabajados y el tiempo programado por día, aportaron una visión más completa del contexto operativo. Sin embargo, ninguna de ellas resultó ser determinante por sí sola. De hecho, hubo meses con bajo tiempo disponible o pocos días hábiles donde igualmente se alcanzaron buenos niveles de OEE, lo que refuerza la idea de que no es la cantidad de tiempo lo que define la eficiencia, sino cómo se utiliza.

En este sentido, la disponibilidad se reafirma como el componente más decisivo del indicador. Su mejora sostenida no solo permite aumentar la eficiencia global, sino que también habilita un mejor aprovechamiento del rendimiento y la calidad. Por tanto, cualquier estrategia que busque elevar el OEE debe partir por asegurar la continuidad operativa y minimizar las causas de tiempo muerto que hoy limitan el desempeño de la máquina.

5.2 Análisis de indicadores por turno

Con el objetivo de identificar posibles diferencias operativas entre los distintos turnos, se realizó un desglose de los principales indicadores de eficiencia (OEE, disponibilidad, rendimiento y calidad) segmentados por turno como se muestra en la Tabla 5.2.

El turno 1 presentó un desempeño global sólido, alcanzando un OEE promedio de 53,86%, con una disponibilidad del 57,62% y un rendimiento de 93,90%. La calidad se mantuvo alta y estable en 99,54%, confirmando que una vez en operación, el proceso es confiable y con escasa presencia de defectos. Este turno mostró un equilibrio aceptable entre disponibilidad y ritmo de producción, sin presentar variaciones extremas en los datos diarios, lo que sugiere una operación relativamente continua y estructurada.

El turno 2, en contraste, reflejó el desempeño más bajo de los tres. El OEE promedio fue de apenas 39,92%, explicado en gran medida por una disponibilidad reducida (49,53%) y un rendimiento también por debajo del estándar (81,26%). A pesar de mantener una calidad aceptable (99,17%), la combinación de alta intermitencia operativa y menor eficiencia en la conversión del tiempo disponible en producción efectiva se traduce en un bajo aprovechamiento global. Este turno muestra gran dispersión en los valores diarios, con muchos días por debajo de los umbrales deseables, lo que indica oportunidades de mejora importantes.

El turno 3 fue el que obtuvo el mejor resultado global, alcanzando un OEE promedio de 55,06%. Esto se debió principalmente a un rendimiento sobresaliente (103,85%), lo que sugiere una operación ágil y efectiva, probablemente asociada a piezas de menor complejidad o con ciclos de trabajo más rápidos. La calidad fue prácticamente perfecta (99,96%) y la disponibilidad, aunque solo moderada (53,04%), fue suficiente para sustentar un buen desempeño gracias al excelente aprovechamiento del tiempo operativo. A diferencia de los otros turnos, este mostró una menor variabilidad en el tiempo, con varios días destacando por su alto rendimiento.

En resumen, este análisis evidencia que existen diferencias importantes entre los turnos operativos. Mientras el turno 3 se perfila como el más eficiente, el turno 2 muestra debilidades que requieren atención, especialmente en la gestión del tiempo disponible y la estabilidad del proceso. Esta heterogeneidad sugiere la necesidad de evaluar factores organizativos como la dotación por turno, la planificación de tareas, los procedimientos de arranque y cambio, así como posibles diferencias en la

supervisión o formación del personal, con el fin de homogenizar el rendimiento entre franjas horarias y alcanzar un estándar más equilibrado de eficiencia operativa.

Tabla 5.2 Resumen de indicadores por turno

Turno	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
1	57,62%	93,90%	99,54%	53,86%
2	49,53%	81,26%	99,17%	39,92%
3	53,04%	103,85%	99,96%	55,06%

Fuente: Elaboración propia

5.3 Comportamiento mensual del tiempo muerto

Durante el periodo analizado, noviembre concentró la mayor cantidad de tiempo muerto con un total de 14.253 minutos (712,65 min/día), seguido de enero y octubre. Esta acumulación de pérdidas en los primeros meses evidencia una alta frecuencia de interrupciones, afectando la eficiencia operativa de forma sostenida. En contraste, marzo y abril registraron los menores niveles de tiempo muerto, siendo abril el mes con la menor cantidad absoluta (3.466 minutos), lo que responde en parte a la baja cantidad de días hábiles trabajados. No obstante, incluso al observar el promedio diario, marzo destacó con el menor valor del periodo (332,24 min/día), reflejando una operación más estable y continua. Los resultados de la Tabla 5.3 y la Figura 5.11 permiten visualizar claramente la evolución mensual de los tiempos muertos y refuerzan la necesidad de focalizar acciones en los meses críticos para reducir estas pérdidas.

Tabla 5.3 Minutos perdidos por mes

Mes	Tiempo Muerto (minutos)	Tiempo Muerto promedio/día (minutos)
Octubre	12.114	550,64
Noviembre	14.253	712,65
Diciembre	11.011	524,33
Enero	12.953	588,77
Febrero	11.464	573,20
Marzo	9.677	332,24
Abril	3.466	433,25

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que, para este análisis, el tiempo muerto corresponde únicamente a los registros reales ingresados en la plataforma. Esto difiere del cálculo utilizado en el indicador de disponibilidad, donde, en ausencia de registro y existencia de turno activo, se asumió el tiempo programado como completamente perdido. En este caso se optó por trabajar solo con los datos efectivamente registrados, con el fin de reflejar con mayor fidelidad la trazabilidad operativa.

Comparativo Mensual de Pérdidas Operativas

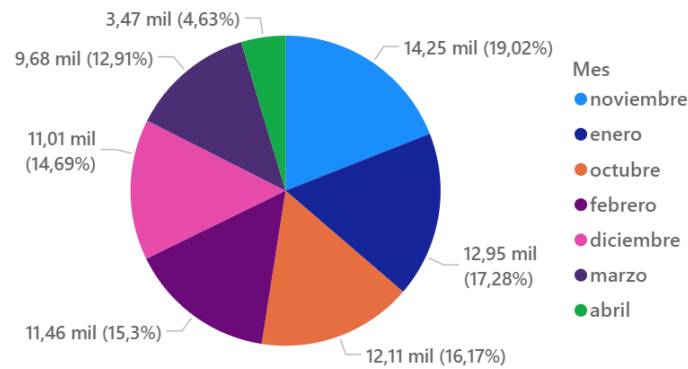


Figura 5.11 Comparativa mensual de tiempo perdido por mes

Fuente: Elaboración propia

5.4 Distribución de pérdidas por grupo

El análisis de los tiempos muertos agrupados por tipo de causa reveló que el Grupo Operacional concentra la gran mayoría de los minutos perdidos, acumulando más de 60.000 minutos. A considerable distancia le sigue el Grupo Servicio. En la Tabla 5.4 el grupo operacional considera los minutos extra de colación.

Tabla 5.4 Minutos perdidos por grupo causal

Grupo	Minutos acumulados
Operacional	61.894
Servicio	13.044

Fuente: Elaboración propia

Distribución de Tiempo por tipo de Grupo

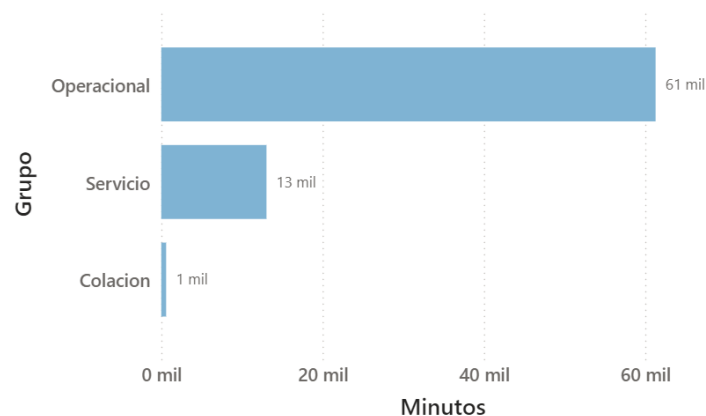


Figura 5.12 Distribución de minutos perdidos por grupo causal

Fuente: Elaboración propia

En este contexto, se entiende por Grupo Servicio a todas aquellas detenciones vinculadas a mantenimiento del equipo, ya sea por fallas mecánicas, problemas eléctricos, software o actividades

programadas de revisión. Por su parte, el Grupo Operacional corresponde a todo lo asociado directamente con la operación diaria o actividades manuales propias del proceso productivo.

Cabe destacar que, si bien en la Figura 5.12 se representa por separado el tiempo de colación (son aquellos minutos que se consideran extra a la colación, es decir si alguien se toma más de 30 minutos de colación, aquellos minutos superiores a los 30 son los que se consideran), este forma parte del Grupo Operacional. La decisión de mostrarlo de forma individual responde únicamente a criterios técnicos del origen de los datos, y no a una clasificación analítica distinta. A efectos del análisis, se considera que todas las detenciones no atribuibles a fallas o mantenimiento pertenecen al Grupo Operacional. Este resultado refuerza que las pérdidas más significativas provienen del ámbito interno de operación en sí, y no de factores de servicios. Esto indica que las mayores oportunidades de mejora están en reorganizar, estandarizar y optimizar los procesos cotidianos, más que en intervenciones de tipo técnico.

5.5 Análisis general de causas de tiempo muerto

Antes de identificar las causas críticas, se realizó un análisis general de todas las detenciones registradas, considerando 29 causas distintas en la base de datos. La Tabla 5.55 muestra la distribución de minutos perdidos por causa, donde ajustes operacionales, volteo de producto y retiro de producto concentran casi un tercio del tiempo muerto total. Este patrón se observa de forma clara en la Figura 5.13, donde el gráfico tipo cascada evidencia que un número reducido de causas acumula la mayor parte de las pérdidas, reforzando la necesidad de priorizar acciones correctivas sobre estos focos principales.

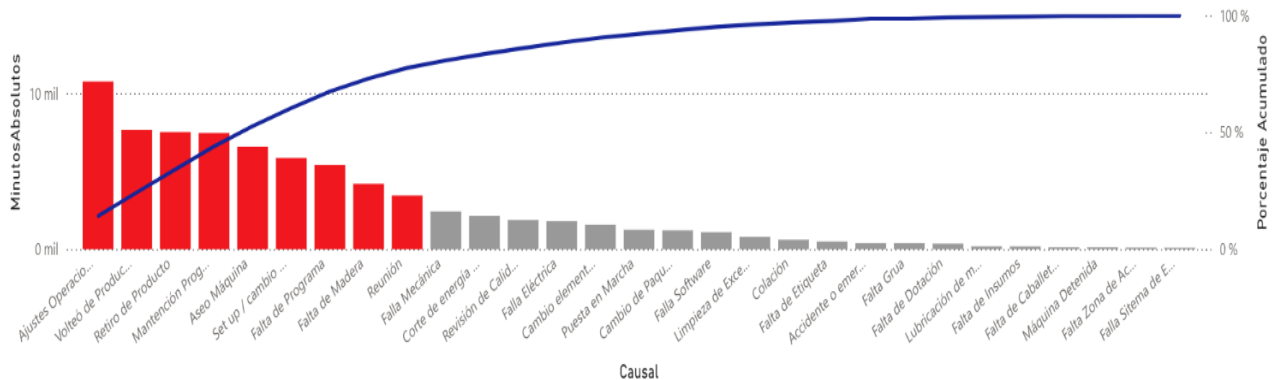


Figura 5.13 Cascada de pérdidas por causa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5 Distribución de minutos perdidos por causa

Causa	Minutos perdidos	% del Total	% Acumulado
Ajustes operacionales	10.761	14,19 %	14,19 %
Volteo de producto	7.648	10,08 %	24,27 %
Retiro de producto	7.519	9,92 %	34,19 %
Mantenición programada	7.452	9,83 %	44,02 %
Aseo máquina	6.585	8,68 %	52,70 %
Set up/Cambio de producto	5.857	7,72 %	60,42 %
Falta de programa	5.398	7,12 %	67,54 %
Falta de madera	4.190	5,52 %	73,06 %
Reunión	3.439	4,54 %	77,60 %
Falla mecánica	2.410	3,18 %	80,78 %
Corte de energía	2.127	2,8 %	83,58 %
Revisión de calidad	1.866	2,46 %	86,04 %
Falla eléctrica	1.807	2,38 %	88,42 %
Cambio elementos de corte	1.573	2,08 %	90,50 %
Puesta en marcha	1.247	1,64 %	92,14 %
Cambio de paquete	1.207	1,59 %	93,73 %
Falla de software	1.089	1,44 %	95,17 %
Limpieza de exceso adhesivo	795	1,05 %	96,22 %
Colación	603	0,79 %	97,01 %
Falta de etiquetas	490	0,65 %	97,66 %
Falta de grúa	381	0,5 %	98,16 %
Accidente o emergencia	381	0,5 %	98,66 %
Falta de dotación	353	0,47 %	99,13 %
Lubricación de máquina	172	0,23 %	99,36 %
Falta de insumos	167	0,22 %	99,58 %
Máquina detenida	111	0,14 %	99,72 %
Falta de caballete	111	0,15 %	99,87 %
Falta de zona de acopio	96	0,12 %	99,99 %
Falla sistema de extracción	3	0,01 %	100 %

Fuente: Elaboración propia

Mencionar que las barras corresponden a los minutos acumulados de cada causal, mientras que la línea curvada representa el porcentaje acumulado entre estas. Como se observa, la causa con mayor impacto fue Ajustes operacionales, con de 10.921 minutos perdidos, seguida por Volteo de producto y Retiro de producto, todas vinculadas a actividades propias del entorno operacional. Estas tres causas, por sí solas, acumulan aproximadamente un 34% del total de tiempo perdido. La Figura 5.13 complementa esta información mediante un gráfico de cascada, permitiendo ver cómo se acumulan los minutos perdidos en función de cada una de las causas. Para establecer un criterio de priorización, se aplicó el principio de Pareto (80/20), lo que permitió definir las llamadas causas críticas: aquellas que, en conjunto, acumulan aproximadamente el 80% de los minutos perdidos. Es por ello que las causas críticas corresponden a:

- Ajustes operacionales.
- Volteo de producto.
- Retiro de producto.
- Mantención programada.
- Aseo máquina.
- Set up/Cambio de producto.
- Falta de programa.
- Falta de madera.
- Reunión.
- Falla mecánica.

Este análisis es clave para tomar decisiones estratégicas, ya que permite focalizar los esfuerzos de mejora en los puntos de mayor impacto. Además, refuerza lo observado en el análisis por grupo causal, las principales pérdidas tienen origen en operaciones internas, y no en fallas técnicas o externas.

5.6 Propuestas de mejora

En función del análisis realizado en el apartado anterior y con base en las causas más recurrentes de tiempo muerto en la PBA, se propone un plan de mejora estructurado que permita reducir las pérdidas operativas y fortalecer la eficiencia del equipo. Se detallan las causas junto a una breve descripción de que es lo que abarca dicha causa y sus respectivas propuestas:

Ajustes operacionales: Corresponde a las detenciones generadas por modificaciones en parámetros de corte, posicionamiento o calibración del equipo durante el proceso productivo. Se proponen las siguientes acciones:

- Estandarizar el proceso de ajuste mediante la elaboración de una pauta visual con pasos secuenciales definidos según el tipo de ajuste.
- Realizar capacitaciones prácticas orientadas al enfoque Quick Changeover.
- Clasificar los ajustes por frecuencia y criticidad para focalizar esfuerzos de mejora.

Volteo de producto: Hace referencia al tiempo utilizado para girar o reorientar piezas dentro del proceso, acción necesaria para completar ciertas etapas del mecanizado. Se proponen las siguientes acciones:

- Estandarizar el procedimiento de volteo con roles definidos, pasos concretos y tiempos de

referencia.

- Reducir el tiempo asociado al volteo de producto mediante la revisión de las prácticas actuales entre turnos y operadores.
- Realizar micro observaciones por turno para identificar demoras u oportunidades de agilización.

Retiro de producto: Tiempo en que el equipo permanece detenido por acumulación de piezas terminadas, debido a demoras en su traslado hacia la siguiente etapa del proceso. Se proponen las siguientes acciones:

- Delimitar un área de acopio temporal exclusiva para productos terminados en la PBA.
- Implementar un aviso anticipado desde la PBA cuando una orden esté por finalizar, para coordinar el retiro.
- Registrar sistemáticamente las detenciones por falta de retiro, con causa y duración.

Mantenición programada: Corresponde a las detenciones planificadas para ejecución de labores preventivas o correctivas menores por parte del equipo de mantenimiento. Se proponen las siguientes acciones:

- Revisar los procedimientos de mantención programada para asegurar su ejecución dentro de ventanas definidas y con mínima interferencia en la producción.
- Estandarizar procedimientos de mantención con Checklist que minimicen tiempos por falta de preparación.
- Aplicar mantenimiento predictivo mediante inspecciones y monitoreo de condición.

Aseo de máquina: Tiempo utilizado para limpiar la zona de trabajo o el interior del equipo, ya sea como rutina diaria o como intervención extraordinaria ante acumulación excesiva de residuos. Se proponen las siguientes acciones:

- Evaluar la implementación de un sistema de extracción de viruta o material particulado en la PBA.
- Establecer una pauta operativa para el aseo no programado, indicando cuándo y cómo ejecutarlo.
- Monitorear semanalmente la frecuencia y duración de los aseos no programados.

Set up / Cambio de producto: Hace referencia al tiempo requerido para preparar el equipo entre una orden y otra, incluyendo carga de herramientas, ajustes y validación de parámetros. Se proponen las siguientes acciones:

- Establecer un procedimiento estandarizado para el cambio de referencia en la PBA, que incluya una preparación anticipada de herramientas, materiales y parámetros técnicos antes de finalizar el lote anterior.
- Analizar los tiempos reales de cada cambio de producto para detectar desviaciones.
- Establecer tiempos de referencia visibles por tipo de cambio para facilitar el control operativo.

Falta de programa: Se refiere a la ausencia de programación al inicio del turno, lo que impide el arranque de la operación por falta de directrices de producción. Se proponen las siguientes acciones:

- Asegurar que la programadora deje programada la producción para las primeras horas del turno de la mañana.
- Implementar un plan de contingencia con órdenes alternativas validadas para evitar tiempo muerto crítico.
- Establecer criterio de validación para liberar programación en función de disponibilidad real de órdenes.

Falta de madera: Tiempo muerto generado por indisponibilidad del material requerido, ya sea por errores de registro, problemas logísticos o procesos previos inconclusos. Se proponen las siguientes acciones:

- Mejorar la coordinación con logística interna para asegurar la disponibilidad del material en planta antes del inicio del turno.
- Verificación cruzada diaria entre sistema y terreno para confirmar existencia real del material.
- Establecer restricción en programación que solo libere órdenes con material procesado y real.

Reunión: Hace referencia al tiempo en que la operación se detiene producto de instancias de coordinación, charlas o reuniones internas, planificadas o emergentes. Se proponen las siguientes acciones:

- Programar las reuniones operativas con anticipación y excluirlas del tiempo disponible para operar.
- Documentar y justificar como tiempo muerto solo las reuniones no planificadas o emergentes.
- Reducir la duración de reuniones usando minutas estructuradas y medios alternativos de comunicación.

Falla mecánica: Corresponde a detenciones no programadas asociadas a problemas técnicos o averías en los componentes del equipo. Se proponen las siguientes acciones:

- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo específico para los componentes críticos de la PBA, basado en historial de fallas y registros operacionales.
- Crear un kit de intervención rápida con repuestos, herramientas y manuales básicos cerca de la PBA.
- Etiquetar físicamente los componentes críticos para facilitar trazabilidad y registro de fallas.

Estas propuestas, organizadas por causa crítica, conforman en su conjunto un plan de acción progresivo enfocado en mejorar el desempeño de la máquina PBA. La implementación deberá seguir una lógica de priorización basada tanto en la criticidad de la causa como en su impacto registrado durante el periodo de análisis. En este sentido, las acciones dirigidas a mitigar los tiempos muertos por ajustes operacionales, retiro de producto y volteo de producto deben ser abordadas en una fase inicial, ya que concentran la mayor cantidad de minutos perdidos y presentan un alto potencial de mejora mediante intervenciones de baja complejidad.

La ejecución del plan requerirá la designación de responsables por causa, así como la definición de indicadores de seguimiento que permitan monitorear el avance de las acciones y su impacto en el OEE. Cada propuesta debe traducirse en tareas específicas calendarizadas, comenzando con aquellas que puedan ser desarrolladas internamente sin requerir inversiones significativas, tales como la elaboración de pautas, estandarización de procesos o micro observaciones operativas. En paralelo, será necesario establecer instancias periódicas de revisión para ajustar las medidas implementadas, escalar aquellas que presenten buenos resultados y reformular las que no generen mejoras sostenidas.

Este enfoque progresivo, coordinado y medible permitirá consolidar una dinámica de mejora continua en la operación de la PBA, utilizando el OEE como herramienta central de diagnóstico, seguimiento y evaluación. Así, el plan de acción no solo busca resolver los problemas identificados, sino también instalar una cultura operativa orientada al control estructurado, la trazabilidad y la eficiencia productiva. Para apoyar esta priorización, se presenta la Tabla 5.6 de esfuerzo–impacto que clasifica las propuestas de mejora según su efecto esperado en el OEE y el nivel de esfuerzo requerido para su implementación.

Tabla 5.6 Matriz esfuerzo-impacto de propuestas de mejora

Impacto	Esfuerzo bajo	Esfuerzo medio	Esfuerzo alto
Alto	- Estandarizar proceso de ajustes - Aviso anticipado para retiro de producto - Delimitar área de acopio de producto terminado - Estandarizar procedimiento de volteo - Procedimiento estándar para cambios de producto	- Checklist de mantención programada - Clasificar ajustes por frecuencia y criticidad - Establecer tiempos de referencia para set up - Plan de mantenimiento preventivo para componentes críticos	- Sistema de extracción de viruta o material particulado - Kit de intervención rápida con repuestos y manuales
Medio	- Micro observaciones por turno - Capacitación en Quick Changeover - Pauta operativa para aseo no programado - Programar reuniones anticipadamente - Reducir duración de reuniones	- Analizar tiempos reales de set up - Mejorar coordinación logística de madera - Verificación cruzada diaria de stock - Plan de contingencia para falta de programación	- Aplicar mantenimiento predictivo con monitoreo de condición
Bajo	- Registrar detenciones de retiro con causa y duración - Documentar reuniones emergentes	- Monitorear frecuencia de aseos no programados - Establecer criterio de validación de programación	- Establecer restricción en programación solo con material procesado

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6: Conclusiones

El análisis permitió identificar que el bajo OEE de la máquina PBA en Niuform se debe principalmente a altos niveles de tiempo muerto acumulado. La calidad se mantuvo constantemente alta durante todo el periodo, descartándola como un factor limitante relevante. En términos de disponibilidad, se evidenció una proporción significativa de tiempo muerto respecto al tiempo programado, lo que refleja problemas en la ejecución diaria de las operaciones y condiciona directamente la capacidad productiva real del equipo.

El rendimiento mostró variaciones mes a mes, influido tanto por el tipo de unidad procesada como por el ritmo de trabajo alcanzado. Meses como noviembre presentaron niveles altos de rendimiento debido al procesamiento de piezas más pequeñas y ciclos más rápidos, lo que evidencia que la naturaleza del producto afecta la eficiencia. Sin embargo, esta variabilidad también expone la falta de consistencia en la gestión operativa.

El análisis de causas de tiempo muerto confirmó que más del 80 % de las detenciones provienen de actividades operativas internas, tales como ajustes, aseo, retiro de producto o cambios de formato. Esto demuestra que el problema principal no está en fallas técnicas complejas, sino en la gestión diaria de la operación, donde se concentran las mayores oportunidades de mejora.

Al comparar el OEE con variables como volumen producido diario, tiempo disponible y días hábiles trabajados, se comprobó que la eficiencia no depende exclusivamente de la cantidad de horas o días programados, sino de cómo se utilizan esos recursos. El caso de febrero, con el menor tiempo disponible promedio y el mejor OEE del periodo, evidencia que la estabilidad operativa y la gestión eficiente del tiempo tienen un impacto más decisivo que la cantidad de horas asignadas.

El análisis por turno reveló diferencias significativas entre equipos de trabajo. El turno 3 destacó por su alto rendimiento y mejor OEE, mientras que el turno 2 concentró las mayores pérdidas por tiempo muerto. Este contraste refuerza la necesidad de establecer estándares comunes y reforzar la capacitación según las condiciones y dinámicas de cada horario, con el fin de homogenizar el desempeño.

El uso de herramientas como Power BI y la construcción de una base de datos depurada hicieron posible un diagnóstico visual y confiable, capaz de mostrar con precisión dónde se concentran las

pérdidas. El trabajo combinó los indicadores OEE con variables operativas y temporales, construyendo una base sólida para diseñar estrategias de mejora continua adaptadas a la realidad de la planta.

Desde una perspectiva cuantitativa, el OEE global obtenido durante el periodo analizado fue de 49,19 %, lo que según la Tabla 3.1 se clasifica como deficiente (inaceptable). Este resultado indica que la máquina está trabajando muy por debajo de su potencial teórico, con importantes pérdidas económicas asociadas y una competitividad muy baja si se compara con estándares de referencia.

Al desglosar este valor, la disponibilidad global fue de 53,10 %, confirmando que la principal fuente de pérdidas está en la falta de tiempo efectivo de operación. El rendimiento global alcanzó un 93,09 %, lo que muestra que, cuando la máquina está en marcha, opera a una velocidad cercana a la ideal. La calidad global se mantuvo en 99,52 %, descartando defectos de producto como una causa relevante de ineficiencia. Este balance refuerza que la mayor oportunidad de mejora se concentra en recuperar tiempo productivo y estabilizar la disponibilidad del equipo.

En términos prácticos, la fuerte correlación entre disponibilidad y OEE sugiere que cualquier aumento sostenido en la primera tendría un efecto inmediato sobre la eficiencia global. Dado que las causas críticas concentran más del 50 % de los minutos perdidos, su reducción progresiva podría elevar el OEE a niveles aceptables en el corto plazo.

Las propuestas de mejora derivadas de este análisis se enfocan en atacar las causas críticas de detención, con acciones orientadas a recuperar minutos perdidos, estandarizar rutinas y reducir la variabilidad operativa. En conjunto, el proyecto sienta las bases para avanzar hacia una operación más controlada y eficiente, instalando herramientas y prácticas que entregan mayor visibilidad sobre el desempeño real del equipo y fomentan una cultura de gestión basada en datos objetivos.

Referencias

- Bamber, S. J., & M, H. (1999). Factors affecting successful implementation of total productive maintenance. En *J. Qual. Mainten. Eng* (págs. 162-181).
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2012). *Productividad y Competitividad*.
- Castaño-Jiménez, P., Sánchez-Jurado, J., & García-Londoño, J. (2021). Revisión bibliográfica sobre el estudio de pérdidas en la construcción bajo principios Lean. *Revista UIS Ingenierías*, 20(4), 27-44. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/11695/11559>
- CMPC. (02 de Noviembre de 2022). *La Revolución de la Construcción en Madera*. Obtenido de CMPC: <https://www.cmpc.com/en/the-wood-construction-revolution/>
- Cruelles Ruiz, J. A. (2010). *La Teoría de la Medición del Despilfarro*. Toledo: Artef.
- Díaz-Contreras, C. A., Catari-Vargas, D. A., Murga-Villanueva, C. D., Díaz-Vidal, G. A., & Quezada-Lara, V. F. (12 de Marzo de 2020). Efectividad general de equipos (OEE) ajustado por costos. *Interciencia*, 45(3), 158-163. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/339/33962773006/html/>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson.
- Hernández Vázquez, J. O., & Hernández Vázquez, J. I. (2023). Adaptación e implementación del indicador OEE en la industria de manufactura de calzado. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2023* (págs. 6191-6194). Celaya: Academia Journals.
- Infraspeak. (23 de Diciembre de 2020). *Las Seis Grandes Pérdidas del OEE*. Obtenido de Infraspeak: <https://blog.infraspeak.com/es/seis-grandes-perdidas-del-oeef/>
- LeanProduction. (s.f.). *TPM (Total Productive Maintenance)*. Obtenido de LeanProduction: <https://www.leanproduction.com/tpm/>
- McLean, T. (s.f.). *TXM Lean Solutions*. Obtenido de https://txm.com/lean-manufacturing-for-oeef-improvement-in-pharmaceuticals/?utm_source
- Medina Fernández de Soto, J. E. (29 de Julio de 2010). Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación. *Escuela de Administración de Negocios*, 110-119. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/206/20619966006.pdf>
- MSC Industrial Supply Co. (s.f.). *Lean manufacturing: Improving TPM, OEE calculations and*

- methods*. Obtenido de Better MRO: <https://www.mscdirect.com/betterMRO/metalworking/lean-manufacturing-improving-tpm-oe-e-calculations-and-methods>
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. En *International Journal of Production Research* (págs. 3517-3535).
- Niuform. (s.f.). *Inicio*. Obtenido de Niuform: <https://niuform.cl/>
- Niuform. (s.f.). *Madera Masiva: La revolución de la construcción sostenible*. Obtenido de Niuform: <https://niuform.cl/blog/madera-masiva-la-revolucion-de-la-construccion-sostenible/>
- Niuform. (s.f.). *Proyectos*. Obtenido de Niuform: <https://niuform.cl/proyectos/>
- Rojas Alvarado, O. A., Benavidez, J. F., & Pascuas, W. (2023). Cálculo de la Efectividad Global del Equipo (OEE) basado en el concepto de gemelo digital bajo un entorno de transformación digital industrial. (U. d. Cauca, Ed.) *Mutis*, 13(2), 1-27. Obtenido de <https://doi.org/10.21789/22561498.2019>
- Santiago, S. (18 de Mayo de 2010). *TPM, OEE y SMED para mejorar la eficiencia de los equipos*. Obtenido de Caletec: <https://www.caletec.com/mejora-de-procesos/tpm-oe-e-y-smed-para-mejorar-la-eficiencia-de-los-equipos/>
- Schiraldi, M. M., & Varisco, M. (2020). Overall equipment effectiveness: consistency of iso standard with literature. En *Computers & Industrial Engineering*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106518>
- Sepasoft. (s.f.). Obtenido de <https://www.sepasoft.com/videos/oe-e-case-study-samtec/>
- Sherwood, A. (12 de Julio de 2024). *Mingo Smart Factory*. Obtenido de <https://www.mingosmartfactory.com/how-to-calculate-oe-e-for-automotive-manufacturers/>
- SIG. (2018). *SIG EXPANDS GLOBAL PARTNERSHIP WITH NESTLÉ TO BRAZIL*.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing Paso a Paso*. Valencia: Marge Books.
- Soto Ramírez, F. E. (2014). *Medición automatizada de la eficiencia por medio de sistemas de pesaje*. Pachuca de Soto: CIATEQ / SYCSA. Obtenido de <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/234/1/Medicion%20automatizada%20de%20la%20eficiencia.pdf>
- ZEO Technology for Industry. (s.f.). *Guía completa y definitiva del OEE (Overall Equipment Effectiveness)*. Obtenido de SistemasOEE: <https://www.sistemasoe-e.com/oe-e-guia-completa/>

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA
RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO

Departamento: Departamento de Ingeniería Industrial

Carrera: Ingeniería Civil Industrial

Nombre del memorista: Carlos Manuel Valdés Muñoz

Título de la memoria: Implementación del sistema OEE como herramienta para la mejora continua en la máquina PBA de Niuform

Fecha de la presentación oral:

Profesor(es) Guía: Eduardo Javier Salazar Hornig

Profesor(es) Revisor(es): Alejandro Andalaft

Concepto:

Calificación:

Resumen
Este trabajo implementa el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) como herramienta para medir y mejorar el desempeño de la máquina PBA de la planta Niuform (CMPC). El proyecto surge ante la falta de un sistema estructurado para monitorear equipos críticos, cuya eficiencia impacta directamente en la operación global. Mediante la depuración de registros históricos de producción, tiempos muertos y rechazos, se construyó una base de datos centralizada y un dashboard en Power BI para el análisis visual y seguimiento en tiempo real. El OEE global obtenido fue de 49,19 %, clasificado como deficiente según la Tabla 3.1, con una disponibilidad de 53,10 %, rendimiento de 93,09 % y calidad de 99,52 %. Los resultados evidenciaron que la principal causa de ineficiencia es la baja disponibilidad, derivada de altos niveles de tiempo muerto. Las causas operativas internas son las que más tiempo muerto generan como ajustes, retiro y volteo de producto, todas abordables mediante gestión. Se diseñó un plan de mejora enfocado en las diez causas críticas de tiempo perdido, con acciones orientadas a reducir variabilidad, recuperar capacidad instalada y establecer prácticas estandarizadas. El proyecto entrega no solo un diagnóstico técnico, sino también herramientas para instalar una cultura de mejora continua basada en evidencia operativa.