



Actualización de los tiempos estándar de las etapas de producción de planta de agroquímicos de Invesa S.A, medición del OEE (Eficiencia Global de Equipo) y propuestas de mejora continua

Lina Rocio Hurtado Cendales 1

Ingeniera química

Asesor

Diego Fernando Mendoza Muñoz, PhD

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería química

Medellín

2023

Cita	(Hurtado, 2023)
Referencia	Hurtado Cendales, L. R., (2023). <i>Actualización de los tiempos estándar de las etapas de producción de la línea de Agroquímicos de Invesa S.A, medición del OEE (Eficiencia Global de Equipo) y propuestas de mejora continua.</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Asesor externo: Jaime Alberto Galeano Ángel.

Asesor interno: Diego Fernando Mendoza Muñoz.

Institución externa: Invesa S.A.

Institución interna: Universidad de Antioquia.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Lina María Gonzáles Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a Invesa S.A por brindarme la oportunidad de realizar mi práctica profesional en su empresa. En especial, quiero agradecer al personal y a los líderes por su disposición constante para enseñarme y aclarar mis dudas sobre los diferentes procesos, lo cual ha permitido mi crecimiento profesional.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo general	15
1.2 Objetivos específicos	15
2 Marco teórico	16
2.1 Proceso de producción de la planta de Agroquímicos	16
2.1.1 Materias primas	17
2.1.2 Etapas de proceso	18
2.1.3 Equipos de proceso	19
2.2 Contextualización y modelo de cálculo del indicador OEE	19
2.2.1 Disponibilidad	20
2.2.1.1 Disponibilidad para Gráneles	20
2.2.1.2 Disponibilidad para Empacados	21
2.2.2 Rendimiento	21
2.2.2.1 Rendimiento para Gráneles	21
2.2.2.2 Rendimiento para Empacados	22
2.2.3 Calidad	22
2.2.3.1 Calidad para Gráneles	22
2.2.3.2 Calidad para Empacados	22
2.3 Prueba t-student para la actualización de los estándares	24
3 Metodología	25

3.1 Fase 1. Reconocimiento de los procesos llevados a cabo en la planta y de los productos de la línea de Agroquímicos	25
3.2 Fase 2. Actualización de los tiempos estándar de las etapas de producción	25
3.3 Fase 3. Planteamiento del sistema de cálculo del OEE por semana	27
3.4 Fase 4. Recolección y procesamiento de datos	30
3.5 Fase 5. Seguimiento del OEE	30
3.6 Fase 6. Identificación de factores que afectan el OEE y propuestas de mejora	32
4 Resultados	33
4.1 Fase 1	33
4.2 Fase 2	33
4.2 Fase 3	34
4.3 Fase 4	34
4.4 Fase 5	38
4.4.1 Resultados del seguimiento del OEE por equipo semanalmente	38
4.4.2 Resultados de seguimiento del OEE semanal para cada equipo	41
5 Análisis	47
6 Conclusiones	53
Referencias	55

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación del OEE.	23
Tabla 2 Calculo del OEE por equipos (Total).....	36
Tabla 3 Resultados del OEE para Gráneles y Empacados	37
Tabla 4 OEE para envasadoras semiautomáticas y manuales.....	37
Tabla 5 Resultados del OEE por semana.	38

Lista de figuras

Figura 1	Plantilla para la definición de estándares por medio de la prueba t-student.....	26
Figura 2	Continuación de plantilla para la definición de estándares por medio de la prueba t-student.	26
Figura 3	Plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los gráneles.....	27
Figura 4	Continuación de la plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los gráneles.....	27
Figura 5	Plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los empacados.....	29
Figura 6	Continuación de la plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los empacados.	29
Figura 7	Plantilla de resumen del OEE semanal para los gráneles.....	30
Figura 8	Plantilla de resumen del OEE semanal para los gráneles.....	31
Figura 9	Plantilla de resumen del OEE semanal para los empacados.....	31
Figura 10	Plantilla de resumen del OEE semanal para los empacados.....	32
Figura 11	OEE por equipos total.....	35
Figura 12	Resultados del OEE por equipo para la semana 9 de producción.	39
Figura 13	Resultados del OEE por equipo para la semana 10 de producción.	39
Figura 14	Resultados del OEE por equipo para la semana 11 de producción.	40
Figura 15	Resultados del OEE por equipo para la semana 12 de producción.	40
Figura 16	Resultados del OEE por equipo para la semana 13 de producción.	41
Figura 17	Resultados del OEE por equipo para la semana 14 de producción.	41
Figura 18	Resultados del OEE por semanalmente por cada equipo (parte 1).....	42
Figura 19	Resultados del OEE por semanalmente por cada equipo (parte 2).....	43
Figura 20	Resultados del OEE semanalmente por cada equipo (parte 3).....	44
Figura 21	Resultados del OEE semanalmente por cada equipo de empacado (envasadoras semiautomáticas).....	45

Figura 22 Resultados del OEE semanalmente por cada equipo de empacado (envasados manuales).46

Figura 23 Diagrama de Pareto (OEE por equipo).....48

Figura 24 Diagrama de Pareto para el OEE de los gráneles.50

Siglas, acrónimos y abreviaturas

DMS	Dynamic Modular System
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OP	Orden de producción
SGOM	Sistema de gestión de Operaciones de Manufactura
Uds	Unidades

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo medir y hacer seguimiento al indicador de Eficiencia Global de Equipo (OEE) en la planta de producción de agroquímicos de la empresa Invesa S.A, la cual que se encuentra en un proceso de modernización para incorporarse al mundo de la Industria 4.0. Se pretende mejorar la trazabilidad de los procesos y medir la eficiencia de los equipos mediante la actualización de los tiempos estándar de fabricación y empaçado, y la recolección de los datos necesarios para calcular el OEE.

Para lograr esto, se hizo uso de los reportes de los softwares y aplicativos de la compañía y se diseñaron plantillas de cálculo en Excel, permitiendo la evaluación semanal de los resultados alcanzados. Finalmente, después del análisis de los datos recolectados, se obtiene un OEE global de la planta de agroquímicos de 79.26%, siendo la disponibilidad del equipo el factor que más afectó la eficiencia operativa, seguido del rendimiento y por último la calidad. Para darle seguimiento a la mejora continua de la planta se formularon propuestas para mejorar la recolección de la información y el control del proceso con el fin de aumentar la valoración del OEE de la planta.

Palabras clave: Industria 4.0, OEE, eficiencia, disponibilidad, estándares, mejora continua.

Abstract

The objective of this project is to measure and monitor the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator in the agrochemical production plant of Invesa S.A, which is in the process of modernization to join the Industry 4.0 world. The aim is to improve process traceability and measure equipment efficiency by updating manufacturing and packaging standard times and collecting the necessary data to calculate OEE.

To achieve this, the company's software and applications reports were used, and Excel calculation templates were designed to allow weekly evaluation of the achieved results. Finally, after analyzing the collected data, the overall OEE of the agrochemical plant was 79.26%, with equipment availability being the factor that most affected operational efficiency, followed by performance and quality. Proposals were formulated to improve information collection and process control to increase the plant's OEE value, thus ensuring continuous improvement.

Keywords: Industry 4.0, Overall Equipment Effectiveness (OEE), efficiency, availability, standards, continuous improvement.

Introducción

Las industrias de Colombia y del mundo se enfrentan a grandes cambios impulsados principalmente por transformación tecnológica, la que requiere la modernización de las industrias con nuevas capacidades digitales para mejorar el monitoreo del estado de las maquinas con el fin de aumentar productividad y hacerlas más veloces, eficientes y competitivas.

El Overall Equipment Effectiveness (OEE) o Eficiencia Global de Equipo es un indicador crucial para el rendimiento y permite evaluar la eficiencia de la operación de los equipos al medir tres factores clave del proceso: la disponibilidad, la eficiencia y la calidad. La medición de estos factores sirve como punto de referencia para evaluar el rendimiento de la planta y tomar decisiones que contribuyan a la mejora continua del proceso, permitiendo que la empresa sea cada vez más competitiva.

Invesa S.A es una empresa que fabrica y comercializa productos para diversos sectores entre los que se destacan el agropecuario, industrial, de la construcción y decoración, así como para el tratamiento de metales y la fabricación de envases de hojalata. Para ello, la compañía se divide en cuatro unidades de negocio: Agro, Industria, Pinturas y Fibratore (*Invesa - La Compañía Amiga*, s/f). En la actualidad, la compañía se encuentra en un proceso de modernización con el fin de incorporarse al mundo de la Industria 4.0 y ser cada vez más competitivos en el mercado, por lo que resulta de vital importancia medir el indicador OEE.

Hace aproximadamente cinco años, Invesa S.A comenzó a integrar la Industria 4.0 en la planta de polimerización, perteneciente a la unidad de negocio de Industria. La planta cuenta con un gran número de equipos de control y monitoreo de procesos. Para mejorar la trazabilidad de los procesos, implementaron el software SGOM (Sistema de Gestión de Operaciones de Manufactura), que conecta los sistemas de información de la empresa para recopilar datos del proceso de fabricación. Por otra parte, tienen un software Power BI que recoge los datos necesarios para calcular el OEE de manera inmediata, lo cual permite detectar los focos de fallas de producción y mejorarlos continuamente.

Tras evaluar los beneficios que podría aportar la implementación de una solución tecnológica de Industria 4.0, Invesa decidió continuar con su proyecto en el primer trimestre del

año 2023. Al respecto, se está desarrollando el SGOM para mejorar la gestión automatizada de la información de los procesos de la planta de agroquímicos.

Este proyecto tiene como objetivo medir y hacer un seguimiento y evaluación del indicador OEE en la planta de producción de agroquímicos. La planta cuenta con equipos y personal calificado para la fabricación de 53 productos, los cuales se dividen entre herbicidas selectivos, herbicidas no selectivos, insecticidas, fungicidas, coadyuvantes y productos intermedios. Estos productos se ofrecen en 184 referencias en el mercado, además en la planta se realizan maquilas de 4 productos.

La planta fabrica sus productos por lotes, para lo cual cuentan con equipos de medición y de control de los procesos, como los PLC para el control flujo de agua y xilol, así como medidores de presión y temperatura en los reactores.

Actualmente, Invesa utiliza el software DMS (Dynamic Modular System) para administrar la mayoría de los procesos de la compañía, Este contiene un módulo que permite registrar los tiempos de las etapas de fabricación para cada proceso, cada uno de los cuales cuenta con un tiempo de referencia estandarizado para medir la eficiencia de los procesos de fabricación. Sin embargo, dado que estas mediciones son realizadas de manera manual, dependiendo exactitud, habilidad y diligencia de los operarios encargados de la fabricación, existe una considerable incertidumbre en torno a las mediciones, afectando así el factor de disponibilidad del equipo y, en consecuencia, el OEE. Por ello, en este proyecto se desarrolló la actualización de los estándares de fabricación y empaçados, para de esta forma intentar acercarse a la realidad operativa de cada producto, con el fin de mejorar la trazabilidad de las marcaciones de los operarios.

En conclusión, este proyecto tiene como objetivo apoyar la implementación de Industria 4.0 mediante la actualización de los tiempos estándar de fabricación y empaçados y la recolección de datos necesarios para calcular el índice de Eficiencia Global (OEE). Esto permitirá realizar una evaluación semanal de los resultados alcanzados, identificando las variables que más influyen en la desviación del OEE con respecto a la meta establecida, para así poder identificar y proponer acciones de mejora que optimicen los tiempos de producción.

Además, estas mediciones proporcionarán una base sólida para la administración de la información de los procesos productivos de la planta. Para que, con la ayuda de herramientas

tecnológicas, como el software de Power BI, se puedan obtener resultados claves para la gestión del proceso y la mejora continua d la línea de producción de agroquímicos.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la eficacia de los equipos de fabricación mediante la actualización de los tiempos estándar de producción y empaçado y la implementación del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) como una herramienta de mejora continua para planta de producción de agroquímicos de la empresa Invesa S.A.

1.2 Objetivos específicos

- Actualizar los tiempos estándar de fabricación por etapas de los productos y los empaçados de la planta de agroquímicos, mediante el seguimiento de los históricos de proceso del año 2022.
- Desarrollar el modelo de cálculo del OEE de la planta de producción de agroquímicos.
- Identificar aspectos del proceso productivo que mejoren el indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la planta.
- Mejorar el registro de los datos de tiempos de operación por parte de los operarios, con el fin de reducir la presencia de datos atípicos en el indicador.

2 Marco teórico

En la agricultura se utilizan sustancias químicas sintéticas conocidas como agroquímicos para prevenir, controlar o erradicar organismos patógenos y plagas en los cultivos. Los agroquímicos incluyen herbicidas, insecticidas, fungicidas, coadyuvantes y fertilizantes, y tienen diferentes objetivos: los herbicidas se usan para eliminar plantas nocivas para los cultivos, los insecticidas se utilizan para combatir plagas de insectos dañinos, los fungicidas son empleados para acabar con hongos perjudiciales (*¿Qué son los agroquímicos? | Pochteca Colombia, s/f*) y los coadyuvantes son destinados a facilitar y mejorar la aplicación y la acción plaguicida, conservando sus características (*Coadyuvantes, s/f*). Los fertilizantes, por otro lado, promueven el crecimiento de los cultivos al aportar nutrientes al suelo. Cada tipo de agroquímico tiene sus propias características y se clasifica en función de su composición química, modo de actuación, área de aplicación en el cultivo y grado de afectación de las plantas o cultivos.

La planta de Agroquímicos de Invesa S.A produce herbicidas selectivos y no selectivos, insecticidas, fungicidas y coadyuvantes, los cuales son productos competitivos en el mercado.

2.1 Proceso de producción de la planta de Agroquímicos de Invesa S.A

En la planta de agroquímicos de Invesa S.A el proceso de producción y el empaque de los productos comienza con la confirmación del programa de producción semanal. Este programa es elaborado por un grupo interdisciplinario de la empresa y tiene como objetivo indicar los productos que se fabricaran en la semana, su cantidad, el equipo necesario para su fabricación y las referencias de empaque correspondientes.

Con esta información, los auxiliares de producción evalúan la disponibilidad y compatibilidad de los equipos para hacer el requerimiento de los materiales necesarios para la fabricación. Finalmente, se asignan al operario que liderará la fabricación.

2.1.1 Materias primas

De forma general son necesarias las materias primas que se nombran a continuación, las cuales pasan por un proceso complejo, que puede involucrar muchas etapas y reacciones químicas diferentes para fabricar los agroquímicos:

- **Los dispersantes** utilizados para dispersar los ingredientes activos de los agroquímicos en el agua. Ayudan a evitar la formación de grumos y a mantener la homogeneidad de la mezcla.
- **Los humectantes** utilizados para mejorar la capacidad de mojado de las superficies de las plantas. Ayudan a que los agroquímicos se adhieran a las hojas y penetren en la cutícula para una mejor absorción.
- **Los anticoagulantes** utilizados para prevenir la formación de grumos y la separación de los componentes de los agroquímicos. Esto garantiza la eficacia y la uniformidad de la aplicación.
- **Los tensoactivos** utilizados para reducir la tensión superficial de los líquidos y mejorar la capacidad de dispersión y mojado de las soluciones de agroquímicos.
- **El ingrediente activo** es la sustancia química principal que tiene un efecto específico en las plantas, ya sea para controlar plagas, enfermedades o malezas. Es el componente que hace que el agroquímico sea efectivo.
- **El agua** utilizados como un medio para disolver y transportar los ingredientes activos y otros componentes de los agroquímicos a las plantas. También es importante para garantizar la absorción adecuada del agroquímico.
- **Los solventes** utilizados para disolver los ingredientes activos y otros componentes de los agroquímicos que no son solubles en agua. Esto ayuda a crear soluciones homogéneas y estables para una aplicación uniforme

2.1.2 Etapas de proceso

En la planta de producción de agroquímicos, se clasifican los productos en diferentes categorías según su ingrediente activo y naturaleza. Estas categorías incluyen los solubles (SL), emulsiones concentradas (EC), suspensiones concentradas (SC), microemulsiones (ME) y polvo esparcible (DP). Además, se hacen las maquilas que son granulo dispersable (WG) y polvo mojable (WP).

Cada tipo de producto requiere etapas específicas durante su fabricación. Para los productos SL, ME y EC, se necesitan las etapas de carga de materia prima y agitación. En cambio, para los productos SC, se requieren las etapas de carga de materia prima, dispersión, molienda y completado. Por otro lado, los productos DP se fabrican mediante la carga de baches de los diferentes polvos que se mezclan.

Todos los productos pasan por una etapa de análisis de laboratorio en la cual se realiza el control de calidad. Para que un producto sea aprobado, debe cumplir con las normas establecidas por el ICA (Instituto Colombia de Agricultura) y el ICONTEC. Además, para proceder con la etapa final del proceso, que es el envasado, el laboratorio debe enviar un certificado que constate que el producto cumple con las normas y los factores requeridos, como el pH, el contenido de ingrediente activo, la estabilidad, entre otros.

Por último, está la etapa de envasado, que se lleva a cabo con una envasadora semiautomática o de forma manual, dependiendo del tipo de presentación. Durante esta etapa, los productos se envasan, sellan y etiquetan de acuerdo con las normas y necesidades de cada producto. Es importante destacar que tanto en la fabricación como en el envasado se tiene un especial cuidado para evitar la contaminación cruzada, por lo que la asignación de equipos depende específicamente del ingrediente activo del producto. Por ejemplo, se deben separar los herbicidas selectivos de los no selectivos y a su vez estos se separan de los insecticidas, fungicidas y coadyuvantes.

En todas estas etapas, el factor humano es crucial, ya que los operarios están involucrados en todas las operaciones, excepto en el análisis de laboratorio, todas estas operaciones se llevan a cabo en la planta de producción.

2.1.3 Equipos de proceso

En la planta de Agroquímicos se dispone de una amplia variedad de equipos que permiten llevar a cabo tanto la fabricación como el empaqueo de sus productos. Entre ellos, destacan los siguientes:

- Reactores con chaqueta
- Sistemas de enfriamiento
- Sistemas de calentamiento
- Molinos
- Mezclador tipo V
- Envasadoras semiautomáticas
- Sistemas de automatización como PLC
- Tanques de almacenamiento.

2.2 Contextualización y modelo de cálculo del indicador OEE

El Overall Equipment Effectiveness (OEE) fue presentado por Nakajima en 1988 y se ha convertido en un indicador de eficiencia muy utilizado en la industria manufacturera. Este indicador tiene como objetivo evaluar los procesos productivos y mejorar el rendimiento de la maquinaria y líneas de producción. El OEE se basa en la medición de la eficiencia global de una máquina o línea de producción, tomando en cuenta factores como la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, con el propósito de minimizar al máximo las pérdidas. De esta manera, se busca mejorar la eficiencia de los procesos y reducir los costos de producción. (Díaz-Contreras et al., 2020).

La implementación del OEE permite a las empresas identificar los puntos débiles en su proceso de producción y tomar medidas para mejorar la eficiencia y reducir los costos. A través del OEE, se pueden detectar los cuellos de botella y las interrupciones en la producción, lo que permite a las empresas tomar medidas para minimizar los tiempos de inactividad y maximizar la producción.

En este marco teórico se explicará en detalle los factores que componen el OEE y su definición para las necesidades de la planta. Matemáticamente se define como el producto de tres componentes clave (**Ecuación 1**):

$$\%OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad \quad \text{Ecuación 1}$$

2.2.1 Disponibilidad

La disponibilidad es la medida de tiempo en que una máquina o equipo está disponible para su uso. Se calcula restando el tiempo de inactividad programado y no programado de la duración total del tiempo disponible (Badiger & Gandhinathan, 2008). El tiempo de inactividad programado se refiere al tiempo en que la máquina está programada para no estar en uso, por ejemplo, durante el mantenimiento preventivo. El tiempo de inactividad no programado se refiere al tiempo en que la máquina está inactiva debido a averías no planificadas o problemas de mantenimiento (*Seis Grandes Pérdidas en la Manufactura | OEE*, s/f).

2.2.1.1 Disponibilidad para Gráneles

Teniendo en cuenta que la planta fabrica sus productos por lote, la disponibilidad se define como:

$$Disponibilidad = \frac{t_{operación}}{t_{planeado\ de\ producción}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$$t_{Planeado\ de\ producción} = \sum t_{estandar\ de\ etapas\ de\ producción}^1 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$t_{operación} = t_{planeado\ de\ producción} - t_{perdidos} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$t_{perdidos} = t_{Real} - t_{Planeado\ de\ producción} \quad \text{Ecuación 5}$$

¹ El tiempo estándar de etapas de producción será el tiempo de cada etapa de fabricación del producto en el equipo específico.

2.2.1.2 Disponibilidad para Empacados

Teniendo en cuenta que las líneas de empacado son discontinuas o manuales la disponibilidad se calculara de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{t_{\text{Operación}}}{t_{\text{planeado de empacado}}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$$t_{\text{planeado de empacado}} = Uds_{\text{Totales Empacadas}} \div \frac{\text{Unidades}}{\text{Minuto}} \text{ Estandar} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$t_{\text{Operación}} = t_{\text{planeado de empacado}} - t_{\text{Perdido}} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$t_{\text{Perdido}} = t_{\text{Real Trabajado}} - t_{\text{planeado de empacado}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Uds_{\text{Totales Empacadas}} = Uds_{\text{Buenas Empacadas}} + Uds_{\text{Dañadas}} \quad \text{Ecuación 10}$$

2.2.2 Rendimiento

El rendimiento mide la eficacia con la que la máquina produce o empaca productos de calidad en la cantidad requerida. Se calcula dividiendo la producción real por la producción esperada. El rendimiento se puede mejorar mediante la optimización del proceso de producción y la capacitación del personal para maximizar la eficiencia (*¿Qué es el OEE? Cómo Calcular y Optimizar | Guía DEFINITVA 2023, s/f*).

2.2.2.1 Rendimiento para Gráneos

Teniendo en cuenta que la planta fabrica sus productos por lote, el rendimiento se define como:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad producida}}{\text{Cantidad cargada}} \quad \text{Ecuación 11}$$

2.2.2.2 Rendimiento para Empacados

Teniendo en cuenta que las líneas de empacado son discontinuas o manuales el rendimiento se calculara de la siguiente forma:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Uds Entregadas}}{\text{Uds Teoricas}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde las unidades teóricas se calcularán de la siguiente forma:

$$\text{Uds Teoricas} = \frac{\text{Unidades}}{\text{Minuto}} \text{ Estandar} * t_{\text{Real Trabajado}} \quad \text{Ecuación 13}$$

2.2.3 Calidad

La calidad se refiere a la eficacia con la que una máquina produce productos de calidad. Se puede calcular dividiendo la cantidad de productos buenos entre la cantidad total de productos producidos. La calidad puede mejorarse mediante la implementación de políticas de control de calidad y la capacitación del personal para detectar y corregir problemas de calidad (*¿Qué es el OEE? Cómo Calcular y Optimizar | Guía DEFINITVA 2023, s/f*).

2.2.3.1 Calidad para Gráneles

En el caso específico de la planta y la fabricación por lotes, el factor calidad se convierte en binario. Por lo tanto, cuando un producto sea aprobado (sin defectos), se le calificará con un 1, mientras que cuando se declare no conforme, se le otorgará un 0.

2.2.3.2 Calidad para Empacados

Para las líneas de empacado la calidad se define de la siguiente forma:

$$Calidad = \frac{Uds_{Buenas\ Empacadas}}{Uds_{Totales\ Empacadas}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Y las unidades totales empacadas se definen como se especificó en la **Ecuación 10**.

Tanto la disponibilidad, como el rendimiento y la calidad son valores entre 0 y 1, por lo tanto, el OEE también se encuentra en ese rango [0; 1] pero se suele expresar en porcentaje. El valor obtenido del OEE tiene un significado y refleja un calificativo para la maquinaria, lo cual permite clasificar una o más líneas de producción, o toda una planta, con respecto a las mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia. En general, este indicador se clasifica en cinco rangos como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1
Clasificación del OEE.

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

Fuente. (Cruelles, 2010).

Es importante tener en cuenta que estas clasificaciones son solo una guía general y pueden variar según las especificaciones y objetivos de cada empresa. Además, el OEE no debe ser el único indicador utilizado para evaluar la eficiencia de una línea de producción, sino que debe ser considerado en conjunto con otros factores relevantes, como el costo, la capacidad y la demanda del mercado.

2.3 Prueba t-student para la actualización de los estándares

La prueba t-student es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de dos grupos de datos. Se basa en la diferencia entre las medias de los dos grupos, la desviación típica de cada grupo y el tamaño de la muestra de cada grupo para calcular un valor t. Este valor t se compara con un valor crítico basado en los grados de libertad y el nivel de significación elegido para la prueba (Mendenhall et al., 2013).

Si el valor t calculado es mayor que el valor crítico, se considera que la diferencia entre las medias de los dos grupos es estadísticamente significativa. Este resultado sugiere que la diferencia no se debe al azar y, por lo tanto, puede ser una verdadera diferencia entre los grupos (Mendenhall et al., 2013).

En resumen, la prueba t-student es una técnica estadística útil para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos de datos independientes. Al comparar el valor t calculado con un valor crítico basado en los grados de libertad y el nivel de significación elegido, se puede determinar si la diferencia es estadísticamente significativa o simplemente el resultado del azar.

La prueba t para muestras pareadas se define como (Mendenhall et al., 2013):

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- \bar{X} es la media aritmética de las diferencias entre las muestras.
- μ_0 es la diferencia hipotetizada entre las muestras.
- S es la desviación estándar de las diferencias entre las muestras.
- n es el tamaño de la muestra.

Finalmente, el propósito de utilizar esta distribución es obtener los intervalos de confianza para medir la muestra.

3 Metodología

Para lograr el desarrollo y cumplimiento de los objetivos establecidos en este trabajo, se llevaron a cabo las siguientes fases:

3.1 Fase 1. Reconocimiento de los procesos llevados a cabo en la planta y de los productos de la línea de Agroquímicos

Inicialmente, se debe realizar el reconocimiento de los procesos de fabricación que se llevan a cabo en la planta de Agroquímicos, así como sus equipos y elementos de control, es fundamental para conocer las líneas de fabricación y los productos involucrados en cada una. Además, es importante conocer la forma en que se registra la información de la fabricación de los productos en los históricos y en los aplicativos y sistemas de software utilizados en la planta.

3.2 Fase 2. Actualización de los tiempos estándar de las etapas de producción

Después de adquirir conocimientos generales sobre la línea de producción de agroquímicos, los equipos utilizados, los productos fabricados y las referencias de empaque, es esencial evaluar los tiempos estándar de las etapas de producción para reflejar la situación actual de la planta. Para lograr esto, se deben recopilar los datos de los tiempos de fabricación de cada etapa de producción registrados en los históricos de proceso del 2022 y en los reportes del DMS para cada producto. Se deben comparar los diferentes reportes para eliminar el ruido y/o identificar paradas por mantenimiento, capacitaciones, cambios de turno, etc. Para filtrar los datos atípicos se cuenta con la ayuda de un líder del proceso. Una vez recopilados los datos, se debe aplicar la prueba t-student para determinar los tiempos estándar.

Para el cálculo de los tiempos estándar, se utiliza una herramienta de Excel que automatiza el proceso de cálculo y evaluación (**Figura 1**). Dado que los tiempos estándar dependen del producto y el equipo de fabricación, se calculan los tiempos por producto, equipo y etapas. La herramienta de Excel somete los datos al tratamiento estadístico de la prueba de distribución t-student, por lo tanto, el tamaño de la muestra no debe exceder los 30 datos. Con el fin de que la

(unidades/minutos). La información se tomó de los históricos de proceso, en los cuales se reporta la cantidad de unidades descargadas, la hora de inicio, la hora de finalización de la descarga y la cantidad de operarios que participaron.

3.3 Fase 3. Planteamiento del sistema de cálculo del OEE por semana

Para plantear el modelo de cálculo de los componentes del OEE para la planta de agroquímicos, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva. Se tuvo en cuenta el funcionamiento de la línea de producción y empaçado, donde la planta fabrica sus productos por lote y los empaça mediante envasadoras semiautomáticas o manualmente.

Se diseñó una metodología de registro de datos semanal con el objetivo de identificar casos pudieran afectar el indicador y hacer seguimiento a los factores. Para el registro de datos de los gráneles, se utilizó la plantilla que se muestra en la **Figura 3** y **Figura 4**. Las celdas resaltadas en color amarillo indican la información que debe ser registrada a partir de los históricos de proceso. Debido a la confidencialidad de los datos, no se muestran los códigos de los productos ni sus nombres. El resto de la información se extrajo del plan de producción correspondiente a cada semana, como el equipo, código y descripción, los cuales se pegaron en una hoja denominada base de datos. Este plan de producción se obtiene del aplicativo del visor de reportes y se genera semanalmente.

Figura 3

Plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los gráneles.

Fecha	Op	Equipo	Código	Descripción	Cantidad Cargada	Cantidad Producida	Tiempo estandar [min]	Tiempo operación [min]	Tiempo real del lote [min]	Tiempo perdido [min]
24/02/2023	327360	M302			1776	1774	635.00	641	629	-6
24/02/2023	327362	M302			1771	1768	635.00	682	588	-47
24/02/2023	327364	R317			5126	5124	135.00	-12	282	147
24/02/2023	327380	R317			10177	10116	272.19	194.4	350	77.8

Figura 4

Continuación de la plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los gráneles.

Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE	Operario Asignado	Semana
100.00%	99.89%	100%	99.89%		9
100.00%	99.83%	100%	99.83%		9
0.00%	99.96%	100%	0.00%		9
71.41%	99.40%	100%	70.98%		9

Para llevar a cabo el registro de datos en el proceso de producción, se deben seguir los siguientes pasos de manera ordenada:

1. Se debe ingresar la fecha de fabricación del lote correspondiente.
2. A continuación, se ingresa la orden de producción asignada al lote.
3. Se registra la cantidad cargada, es decir, la cantidad de materia prima que se ha cargado en el proceso de producción.
4. Posteriormente, se registra la cantidad producida, es decir, la cantidad de producto final obtenida.
5. Se ingresa el tiempo real del lote, el cual se refiere al tiempo total que tomó producir el lote de manera efectiva. Es importante tener en cuenta que, en el caso de los gráneles, se debe hacer una comparación de los datos registrados en el DMS y los registrados en el histórico de proceso para obtener este tiempo real, ya que los tiempos de las etapas se registran manualmente por parte de los operarios. Esto se realiza para eliminar el ruido en la toma de datos.
6. Se ingresa el nombre del operario asignado a la fabricación del lote.
7. Finalmente, se ingresa la semana de producción correspondiente.

Es importante tener en cuenta que, para el cálculo de la disponibilidad, se deben seguir ciertas restricciones para evitar afectar el indicador. En este sentido, se le otorga una calificación del 100% cuando el tiempo perdido es menor a 0, y del 0% cuando el tiempo perdido es igual o mayor al tiempo estándar, para evitar valores por encima o por debajo de los límites [0,1]. En el caso de los gráneles, se utiliza la **Ecuación 2** para el cálculo de la disponibilidad. Los datos en los extremos [0;1] se tendrán en cuenta para la trazabilidad.

Por otro lado, el cálculo del rendimiento se hará de acuerdo con la **Ecuación 11** y la calidad se calificará con 1 o 0 dependiendo de si el producto es aprobado o declarado no conforme, respectivamente. Es importante llevar a cabo un registro adecuado y preciso de los datos para poder realizar estos cálculos de manera correcta y obtener una evaluación adecuada del proceso de producción.

Para el registro de datos de los empacados se utilizará la plantilla de la **Figura 5** y **Figura 6****Error! Reference source not found..**

Figura 5

Plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los empacados.

Fecha	Op	Equipo	Código	Descripción	Unds buenas	Unds dañadas	Unds totales	Tiempo real trabajado [min]	# Operarios
27/02/2023	327361	E306			1774	0	1774	256	3
27/02/2023	327363	E306			442	0	442	95	3
27/02/2023	327378	E306			3168	7	3175	321	4
27/02/2023	327378	E306			2736	10	2746	373	5

Figura 6

Continuación de la plantilla de registro de datos para el cálculo del OEE de los empacados.

Und/min reales	Und/min estandar	Tiempo estandar [min]	Tiempo operación [mi]	Tiempo perdido [min]	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE	Semana	Unidades teoricas	Unidades perdidas
6.93	9.17	193.53	131.05	62.47	67.72%	75.60%	100.00%	51.19%	9	2346.7	572.7
4.65	5.00	88.40	81.80	6.60	92.53%	93.05%	100.00%	86.11%	9	475.0	33.0
9.89	12.00	264.58	208.17	56.42	78.68%	82.24%	99.78%	64.56%	9	3852.0	684.0
7.36	12.00	228.83	84.67	144.17	37.00%	61.13%	99.64%	22.53%	9	4476.0	1740.0

Para llevar a cabo el registro de datos correspondientes al empacado, se deben seguir los siguientes pasos de manera ordenada:

1. Se debe ingresar la fecha de empacado del lote correspondiente.
2. A continuación, se debe ingresar la orden de producción asignada a la presentación del empacado.
3. Se registra la cantidad de unidades buenas que fueron empacadas por el grupo de descarga.
4. También se registra la cantidad de unidades dañadas que se hayan encontrado en el histórico de proceso.
5. Se ingresa el tiempo real trabajado por el grupo de descarga, el cual se encuentra registrado en el histórico de producción.
6. Se debe ingresar el número de operarios que participaron en la descarga.
7. Finalmente, se ingresa la semana de producción correspondiente.

Es importante tener en cuenta que tanto el cálculo de la disponibilidad como el del rendimiento se realizan bajo la misma restricción que la disponibilidad de los gráneles, es decir, se limitan los valores máximos y mínimos a 0 y 1 para evitar afectar el indicador. En este sentido, se utilizará la **Ecuación 6** para el cálculo de la disponibilidad y la **Ecuación 12** para el cálculo del rendimiento. Por otro lado, la calidad se calculará utilizando la **Ecuación 14**.

3.4 Fase 4. Recolección y procesamiento de datos

Se recopilan y procesan los datos de disponibilidad, rendimiento y calidad de las órdenes de producción semanales de todos los productos fabricados y empacados durante 6 semanas, llenando las plantillas diseñadas en la fase 2.

3.5 Fase 5. Seguimiento del OEE

Se calcula el OEE y se hace un informe de seguimiento semanal de los resultados por cada equipo para identificar la productividad de la planta y de esta forma, evaluar la existencia de mejoras potenciales.

Para observar el comportamiento por equipo durante cada semana de recolección de datos, se diseña una plantilla en base a las órdenes de producción asignadas a la semana de análisis, resume la información y la gráfica como se muestra en la **Figura 7**, **Figura 8**, **Figura 9** y **Figura 10**.

Figura 7

Plantilla de resumen del OEE semanal para los gráneles.

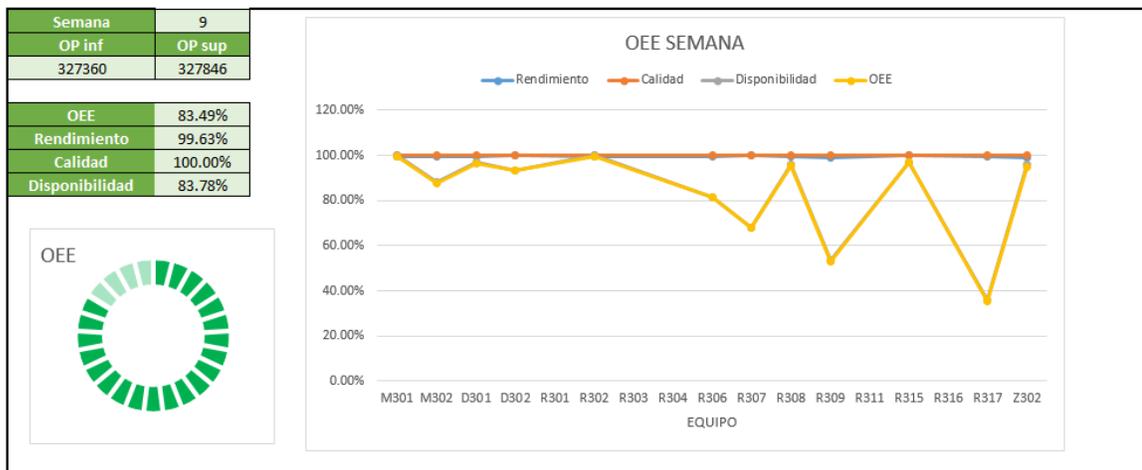


Figura 8

Plantilla de resumen del OEE semanal para los gráneles.

Equipo	Cantidad de OP's	Rendimiento	Calidad	Disponibilidad	OEE	Tiempo de operación Total (h)
M301	2	99.67%	100.00%	100.00%	99.67%	13.97
M302	4	99.57%	100.00%	87.91%	87.53%	38.93
D301	3	99.69%	100.00%	96.69%	96.39%	35.68
D302	4	99.90%	100.00%	93.15%	93.06%	29.67
R301	0					0.00
R302	1	99.77%	100.00%	100.00%	99.77%	1.50
R303	0					0.00
R304	0					0.00
R306	2	99.79%	100.00%	81.43%	81.26%	4.13
R307	2	99.97%	100.00%	68.14%	68.12%	6.50
R308	6	99.71%	100.00%	95.91%	95.62%	29.50
R309	1	98.80%	100.00%	53.33%	52.69%	2.93
R311	0					0.00
R315	2	99.97%	100.00%	97.17%	97.14%	10.28
R316	0					0.00
R317	2	99.68%	100.00%	35.71%	35.59%	10.53
Z302	3	99.03%	100.00%	95.96%	95.04%	46.82
Total	32	99.63%	100.00%	83.78%	83.49%	230.45

Figura 9

Plantilla de resumen del OEE semanal para los empacados.

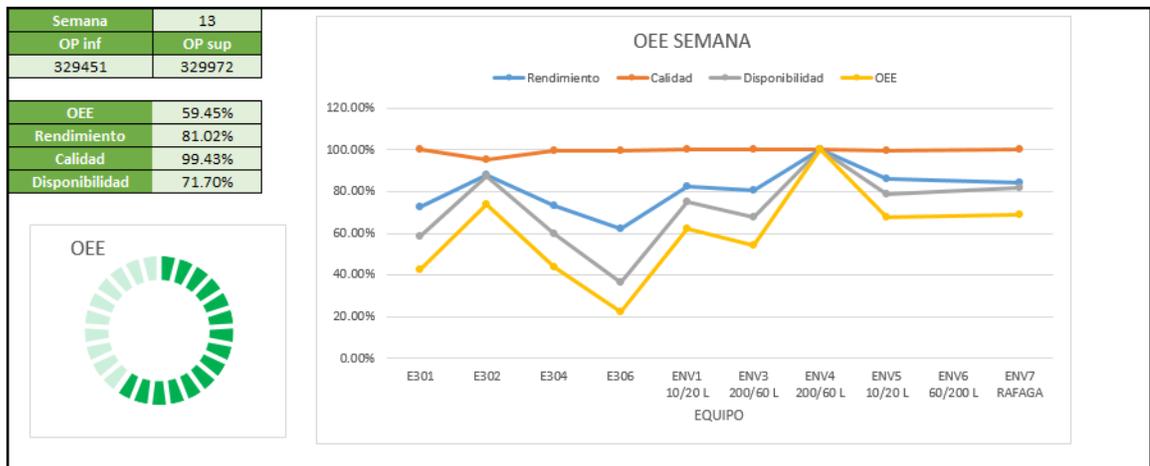


Figura 10

Plantilla de resumen del OEE semanal para los empacados.

Equipo	Cantidad de OP's	Rendimiento	Calidad	Disponibilidad	OEE
E301	27	72.71%	99.93%	58.44%	42.46%
E302	6	88.18%	95.40%	87.53%	73.63%
E304	11	72.91%	99.82%	59.90%	43.59%
E306	41	62.09%	99.87%	36.26%	22.49%
ENV1 10/20 L	22	82.28%	99.98%	75.22%	61.88%
ENV3 200/60 L	2	80.30%	100.00%	67.50%	54.20%
ENV4 200/60 L	2	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ENV5 10/20 L	11	86.18%	99.88%	78.76%	67.79%
ENV6 60/200 L	0				
ENV7 RAFAGA	1	84.51%	100.00%	81.67%	69.01%
Total	123	81.02%	99.43%	71.70%	59.45%

3.6 Fase 6. Identificación de factores que afectan el OEE y propuestas de mejora

Se identifican los valores atípicos que se den semanalmente y las causas de las pérdidas de acuerdo con los resultados obtenidos, identificando propuestas de mejora acorde a la situación para diseñar planes de acción.

4 Resultados

A continuación, se describirán los resultados obtenidos en este trabajo siguiendo las fases descritas en la metodología, con el fin de cumplir los objetivos planteados para este proyecto.

4.1 Fase 1. Resultados del reconocimiento de los procesos llevados a cabo en la planta y de los productos de la línea de Agroquímicos

En el marco teórico se explica de manera general el resultado del reconocimiento de los productos, procesos de producción y empaquetado de la planta de producción de agroquímicos (numeral 2.1 Proceso de producción de la planta de Agroquímicos). A partir de este conocimiento, se dio seguimiento a la fase 2 de este proyecto.

4.2 Fase 2. Resultados de la actualización de los tiempos estándar de las etapas de producción

Se actualizaron los tiempos estándar de las etapas de producción de los productos en cada equipo, lo que permitió actualizar un total de 121 estándares de productos finales e intermedios en sus respectivos equipos (se actualizaron las actividades principales), por otra parte, se actualizaron las velocidades estándar de empaquetado de 191 referencias incluyendo las maquilas.

Es importante destacar que durante la actualización de los tiempos se identificaron etapas que en realidad no se estaban midiendo, lo que generaba ruido y afectaba la calidad de los datos. Estas etapas no dependían de los operarios y a menudo eran pasadas por alto, como las tomas de muestras² y los análisis de laboratorio. Específicamente, las etapas de análisis de laboratorio dependen de la disponibilidad del laboratorio de calidad, el cual se encarga de realizar las diversas pruebas para la certificación de los productos. Al medir el tiempo de estas etapas, se obtenían datos muy dispersos y que además no estaban dentro del alcance del área de producción para hacer un seguimiento efectivo.

² Las tomas de muestras se refieren a la actividad en la que el operario obtiene una muestra del lote para llevarla al laboratorio de calidad, esta actividad puede tomar entre 5 y 15 minutos.

Los estándares actualizados fueron utilizados para medir la disponibilidad de los equipos. Durante la evaluación de los datos, se pudo determinar la precisión de estos estándares para los productos que se fabrican con mayor frecuencia.

4.2 Fase 3. Resultados del planteamiento del sistema de cálculo del OEE por semana

En el marco teórico, en el numeral 2.2 Contextualización y modelo de cálculo del indicador OEE, se encuentra una descripción detallada del modelo de cálculo utilizado para determinar el OEE tanto de gráneles como de empacados. Este modelo considera que la planta funciona por lotes y que cuenta con máquinas de empacado semiautomáticas y también con empacados manuales.

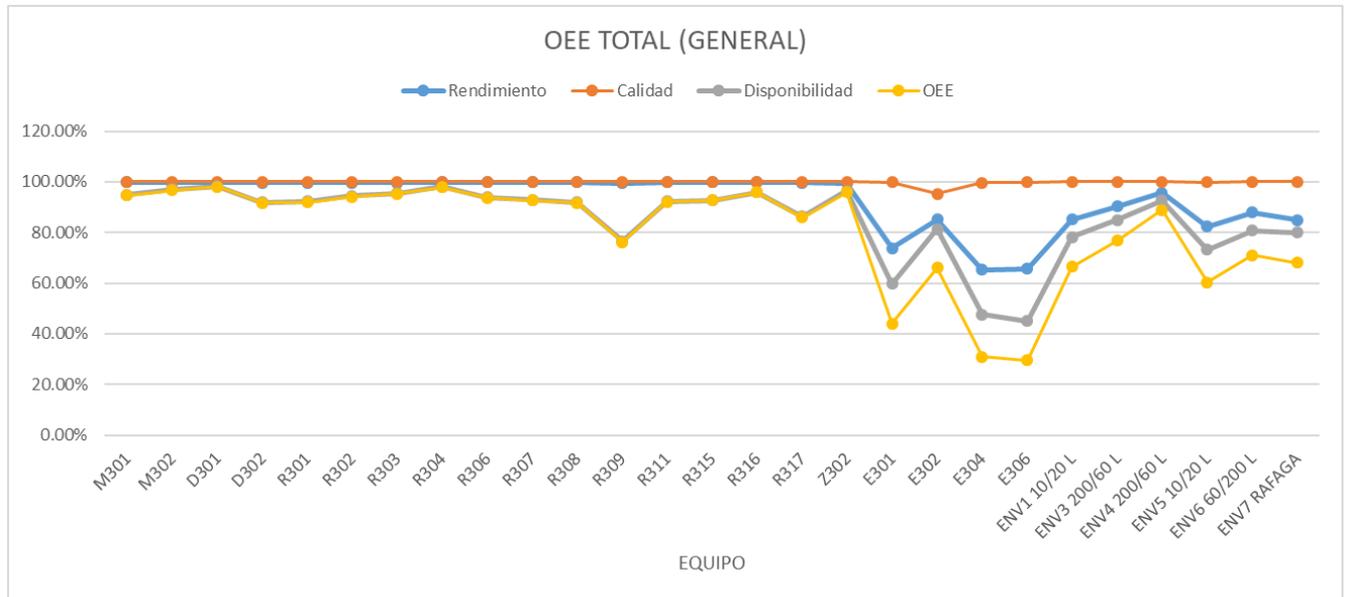
4.3 Fase 4. Resultados de la recolección y procesamiento de datos

Durante un periodo de 6 semanas de producción (desde la semana 9 hasta la semana 14 de producción) se recolectó información y se registró en una plantilla de Excel, como se puede observar en las *Figura 3* hasta la *Figura 6*. Dada la falta de especificidad en la medición de tiempos de las etapas de las maquilas se decidió no incluirlas en el análisis de disponibilidad de equipos.

Se logró registrar aproximadamente el 93% de las órdenes de producción de gráneles planificadas, las cuales corresponden a 243 de las 285 órdenes programadas. En cuanto a los empacados, se registró la información de 583 registros de descargas (no se dispone del porcentaje aproximado de órdenes de descarga analizadas debido a la dificultad para calcular el total de las descargas). En total, se recolectó información de 826 registros, tal como se muestra en la *Tabla 2*, el comportamiento de dichos datos se graficó en la *Figura 11*.

Los equipos utilizados para la fabricación de gráneles se denominan de acuerdo con su función: los que empiezan con la letra R son reactores, los que empiezan con M son molinos, los que empiezan con D son dispersores y los que empiezan con Z son mezcladores tipo V. Por otro lado, los equipos que comienzan con la letra E son envasadoras semiautomáticas y aquellos que llevan las letras ENV son envasados manuales.

Figura 11
OEE por equipos total.



De la **Figura 11** se puede observar a simple vista que en los envasados es donde se observa una mayor variabilidad en los resultados, presentando visiblemente bastante ruido en los datos.

Tabla 2
Calculo del OEE por equipos (Total).

Equipo	Cantidad de Descargas u OP's	Rendimiento	Calidad	Disponibilidad	OEE
M301	12	99.78%	100.00%	94.91%	94.70%
M302	36	99.67%	100.00%	97.00%	96.68%
D301	17	99.73%	100.00%	98.27%	98.01%
D302	16	99.71%	100.00%	91.95%	91.69%
R301	5	99.60%	100.00%	92.24%	91.87%
R302	3	99.66%	100.00%	94.44%	94.12%
R303	7	99.63%	100.00%	95.58%	95.23%
R304	13	99.81%	100.00%	98.07%	97.88%
R306	6	99.89%	100.00%	93.81%	93.70%
R307	14	99.77%	100.00%	92.89%	92.67%
R308	33	99.88%	100.00%	91.88%	91.77%
R309	2	99.40%	100.00%	76.67%	76.21%
R311	20	99.88%	100.00%	92.26%	92.15%
R315	16	99.91%	100.00%	92.71%	92.62%
R316	3	99.93%	100.00%	95.94%	95.87%
R317	14	99.73%	100.00%	86.26%	86.03%
Z302	26	99.38%	100.00%	96.57%	95.97%
E301	140	73.78%	99.88%	59.67%	43.97%
E302	33	85.13%	95.38%	81.35%	66.05%
E304	46	65.26%	99.60%	47.61%	30.95%
E306	204	65.69%	99.88%	44.94%	29.49%
ENV1 10/20 L	90	85.17%	99.97%	78.17%	66.55%
ENV3 200/60 L	16	90.32%	100.00%	84.99%	76.76%
ENV4 200/60 L	10	95.74%	100.00%	92.80%	88.85%
ENV5 10/20 L	38	82.38%	99.91%	73.29%	60.32%
ENV6 60/200 L	3	87.84%	100.00%	80.86%	71.03%
ENV7 RAFAGA	3	85.03%	100.00%	80.00%	68.03%
Total	826	93.03%	99.80%	85.38%	79.26%

Es importante señalar que la información recolectada para gráneles y empacados presenta una naturaleza diferente. Mientras que los datos de gráneles se registraron en función de las órdenes de producción, los datos de empacados se registraron para cada grupo de descarga, dado que una

orden de producción de empacados puede tener entre 1 y 7 grupos de descarga, dependiendo de la disponibilidad de los equipos, el tamaño del lote y la presentación de empaado.

Como se observa el OEE general de la planta es 79.26%, donde el rendimiento promedio es del 93.03%, la disponibilidad de 85.38% y la calidad del 99.8%.

Con el fin de observar cómo se comportan por separado las áreas de la planta en la

Tabla 3 se muestran los resultados de los gráneles y de los empacados por separado.

Tabla 3

Resultados del OEE para Graneles y Empacados

	Gráneles	Empacado	Total
Op's o descargas	243	583	826
Rendimiento	99.75%	81.63%	93.03%
Calidad	100.00%	99.46%	99.80%
Disponibilidad	93.03%	72.37%	85.38%
OEE	92.77%	60.20%	79.26%

En total, los gráneles tienen un OEE del 92.18% y los empacados de 58.76%. Además, cabe resaltar que los gráneles representan un 29.41% de los datos mientras que los empacados corresponden a un 70.58% de la información.

Dado que los empacados se separan a su vez por envasadoras semiautomáticas para presentaciones de 100 cm³, 250 cm³, 1 y 4 litros y manuales para presentaciones de 10, 20, 60 y 200 litros se evaluó su participación en el porcentaje total de empacados en la **Tabla 4**.

Tabla 4

OEE para envasadoras semiautomáticas y manuales.

Tipo de envasadora	Cantidad de Descargas	Rendimiento	Calidad	Disponibilidad	OEE
Semiautomáticas	423	72.46%	98.68%	58.39%	42.61%
Manuales	160	87.75%	99.98%	81.69%	71.92%
Total	583	81.63%	99.46%	72.37%	60.20%

Las envasadoras semiautomáticas (E) y envasados manuales (ENV), tuvieron un OEE promedio del 42.61% y 71.92% respectivamente (**Tabla 4**).

4.4 Fase 5

Dado el volumen de datos recolectado se hizo el seguimiento de la información de 2 formas:

4.4.1 Resultados del seguimiento del OEE por equipo semanalmente

En la **Tabla 5** se puede observar el comportamiento del OEE durante cada semana de análisis y el OEE total como un promedio de los resultados semanales.

Tabla 5
Resultados del OEE por semana.

Semana	Cantidad de Op's y descargas	Rendimiento	Calidad	Disponibilidad	OEE
9	116	92.42%	99.38%	78.43%	73.65%
10	137	92.53%	99.67%	85.74%	80.91%
11	170	91.12%	99.88%	83.41%	78.66%
12	145	94.22%	99.99%	89.17%	85.81%
13	178	92.40%	99.78%	85.24%	80.28%
14	80	90.96%	99.76%	82.28%	77.30%
Total	826	93.03%	99.80%	85.38%	79.26%

Con el fin de conocer la procedencia de los datos se grafican los resultados del OEE para cada equipo por cada semana de análisis.

Figura 12
Resultados del OEE por equipo para la semana 9 de producción.

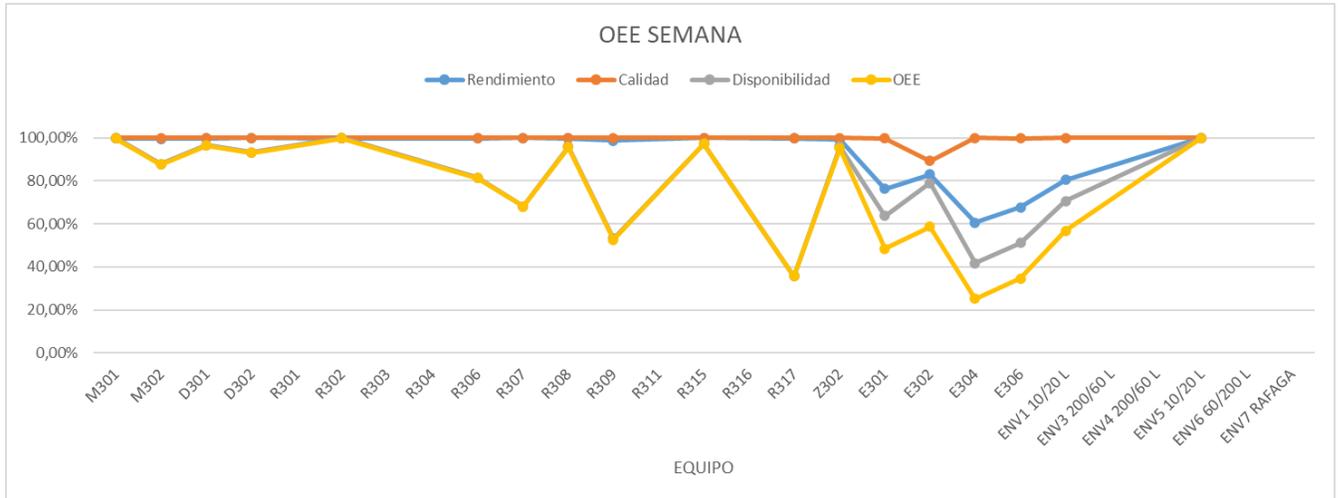


Figura 13
Resultados del OEE por equipo para la semana 10 de producción.

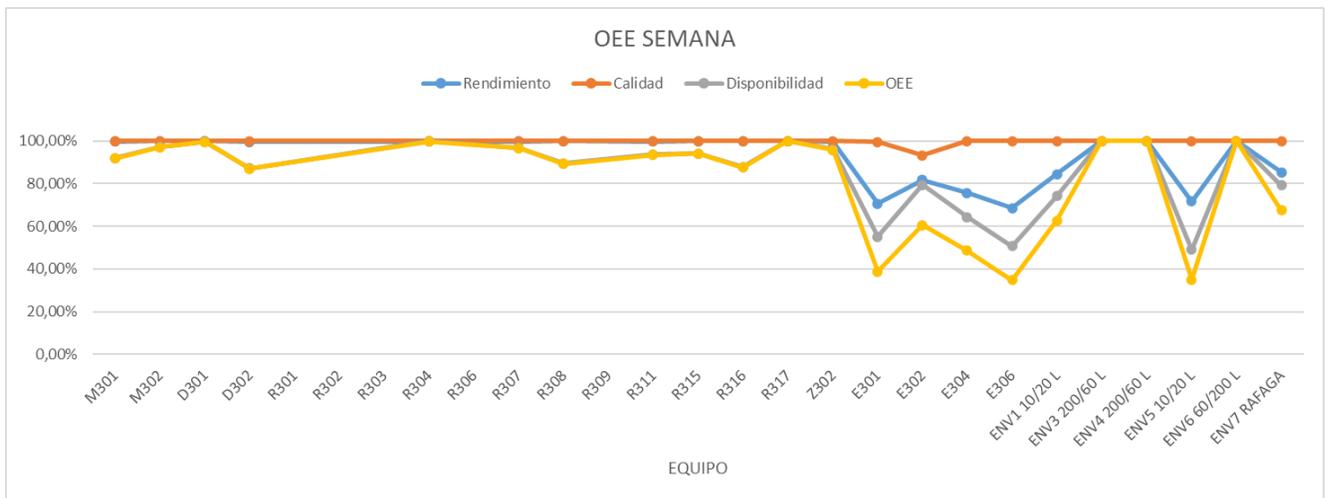


Figura 14
Resultados del OEE por equipo para la semana 11 de producción.

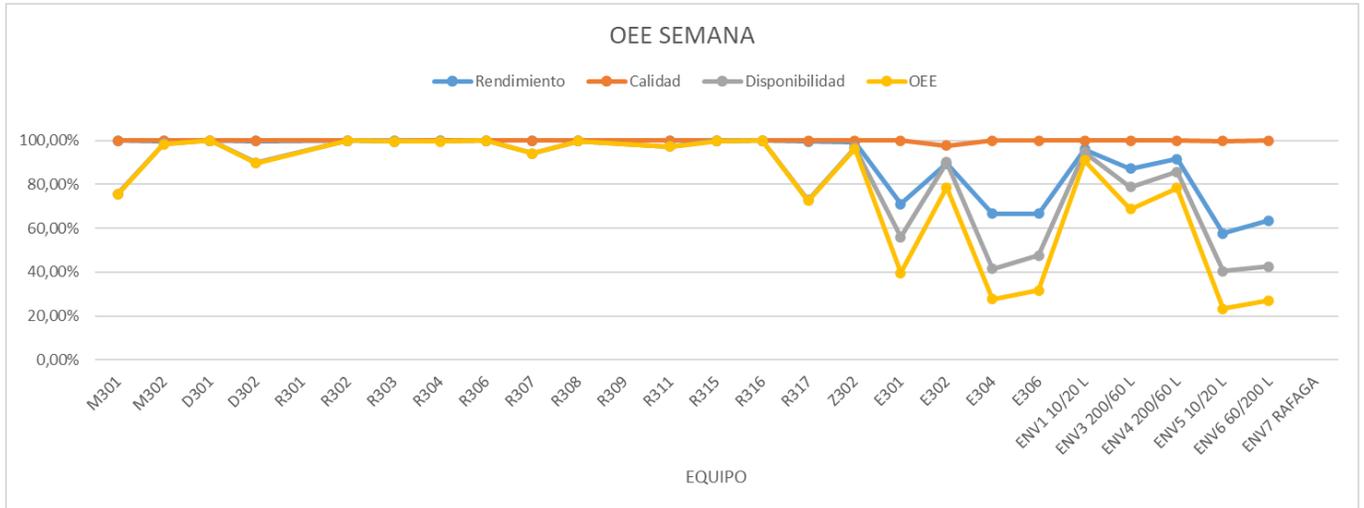


Figura 15
Resultados del OEE por equipo para la semana 12 de producción.

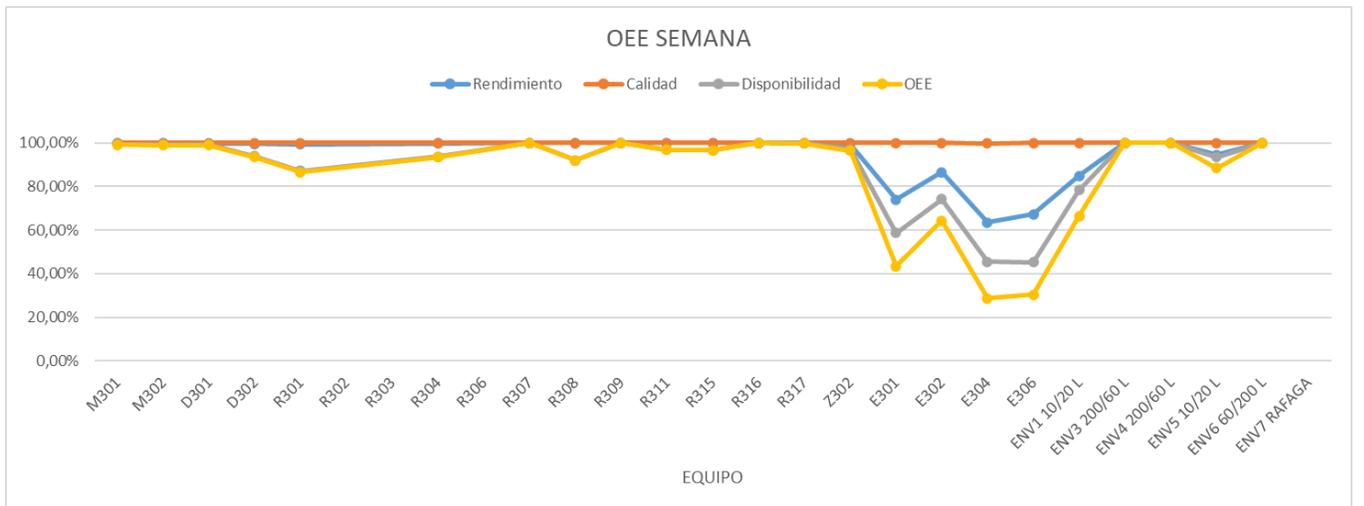


Figura 16
Resultados del OEE por equipo para la semana 13 de producción.

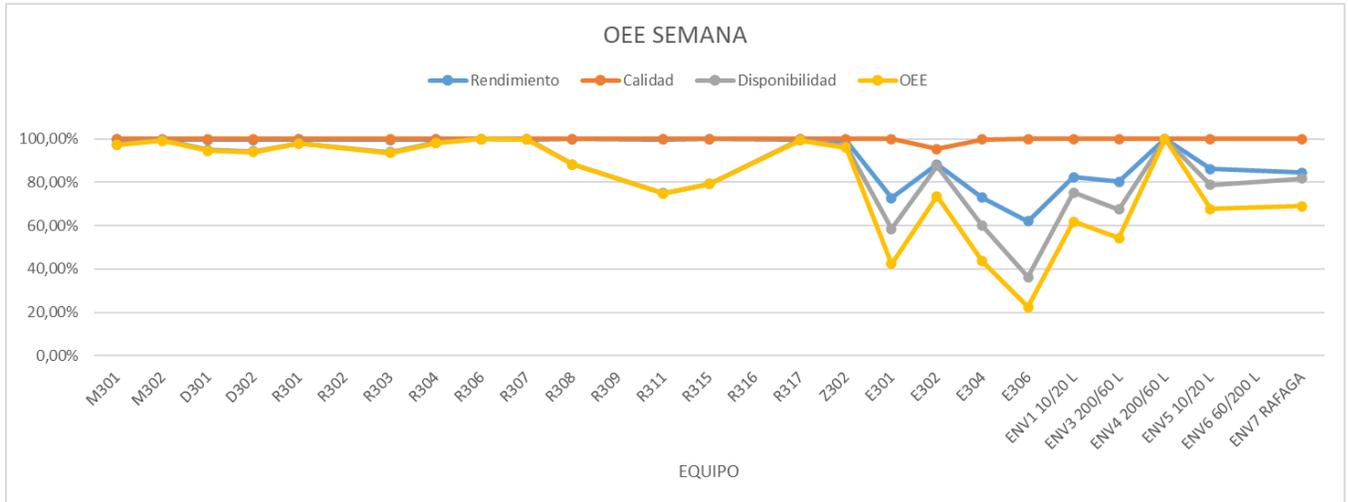
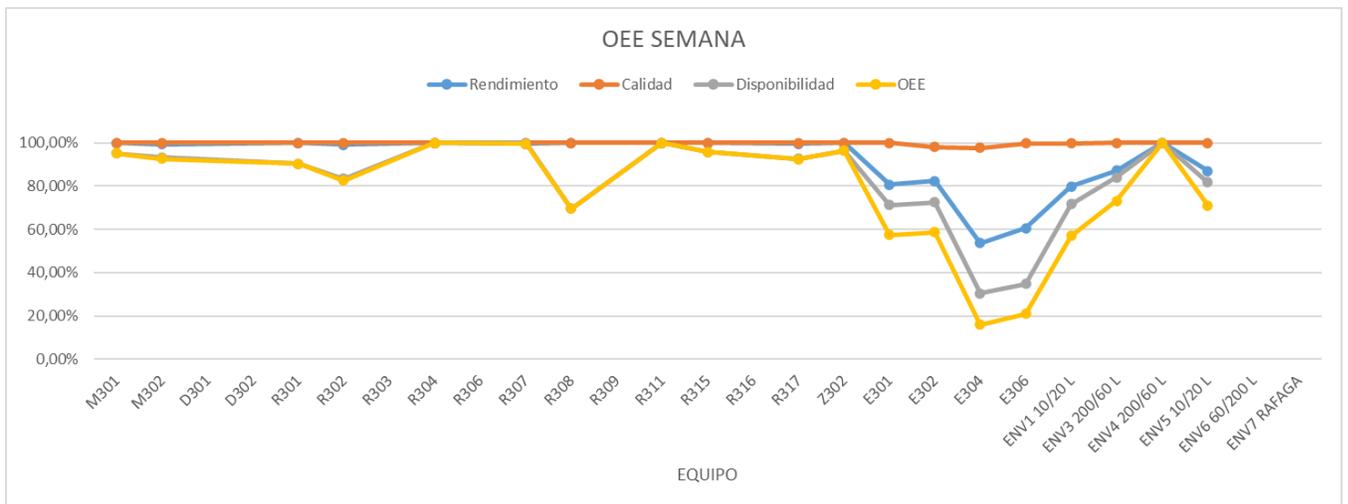


Figura 17
Resultados del OEE por equipo para la semana 14 de producción.



4.4.2 Resultados de seguimiento del OEE semanal para cada equipo

De acuerdo con los resultados semanales se graficó el comportamiento del OEE para cada equipo, de esta forma es posible hacerles trazabilidad a los datos más atípicos.

Figura 18

Resultados del OEE por semanalmente por cada equipo (parte 1).



Figura 19

Resultados del OEE por semanalmente por cada equipo (parte 2).



Figura 20

Resultados del OEE semanalmente por cada equipo (parte 3).



Figura 21
Resultados del OEE semanalmente por cada equipo de empaqueo (envasadoras semiautomáticas).



Figura 22

Resultados del OEE semanalmente por cada equipo de empaqueo (envasados manuales).



Como se puede evidenciar en las gráficas los envasados tienen mayor variación en el OEE en comparación con los gráneles teniendo valores del OEE de inclusive el 20%

5 Análisis

En este análisis se busca evaluar la eficiencia operativa de la planta de Agroquímicos de Invesa S.A a través del OEE, desglosando los datos por equipos y semanas de producción para identificar áreas de mejora y proponer recomendaciones para aumentar la eficacia de la planta.

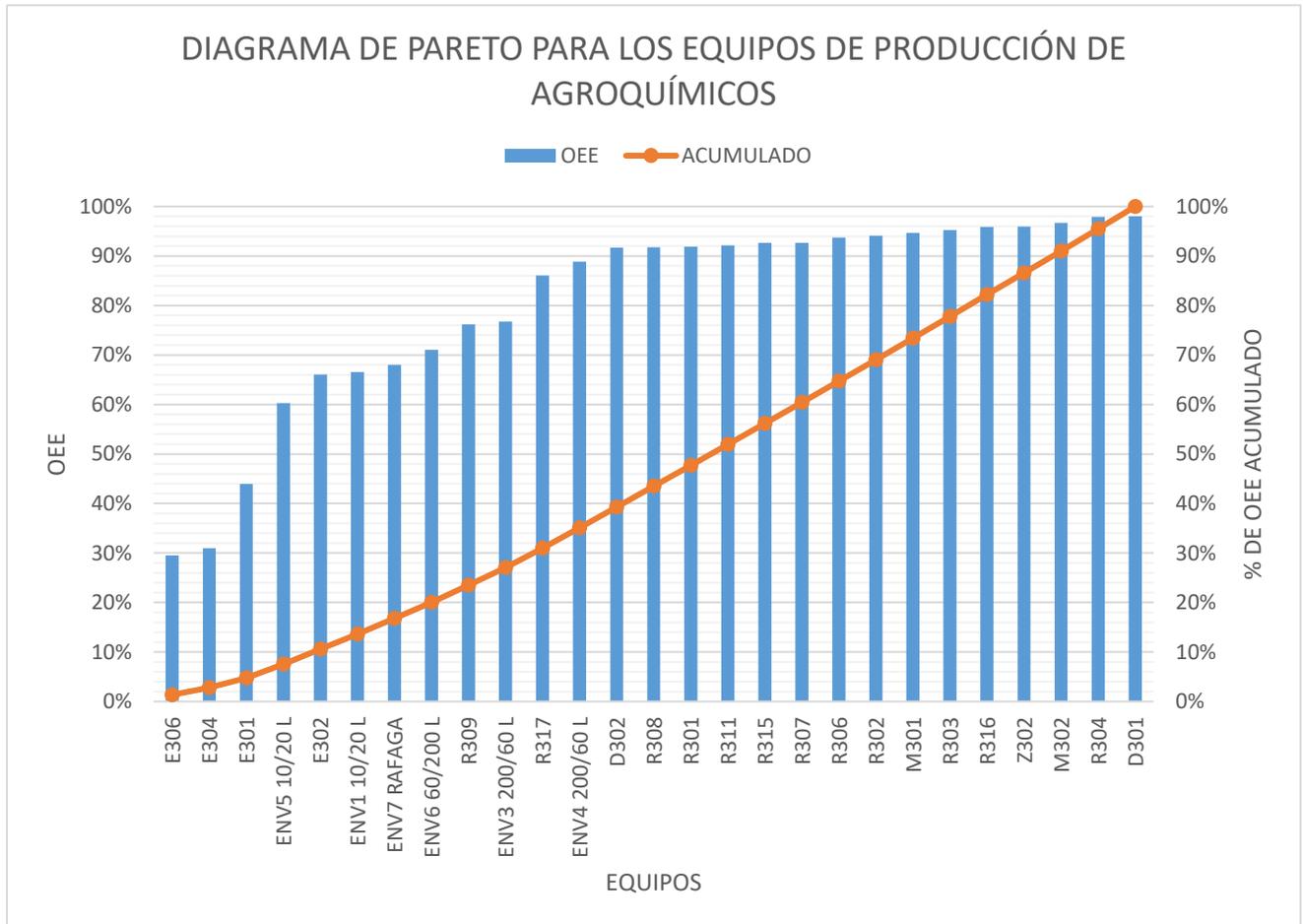
Los datos de producción y empaçado se recolectaron durante un periodo de 6 semanas (desde la semana 9 de producción hasta la semana 14), y el OEE promedio para este periodo fue de 79,26%, lo que indica de acuerdo con la **Tabla 1** que la planta de producción se valora como aceptable, es decir, que según Cruelles “debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Presenta ligeras pérdidas económicas y tiene una competitividad ligeramente baja”.

De acuerdo con la **Figura 11**, se puede observar que la disponibilidad es el factor que más influye en el OEE y, por lo tanto, en la eficiencia operativa, ya que en este factor se tienen en cuenta el tiempo real productivo y todos los eventos que detienen la producción planificada de acuerdo con un tiempo estándar. Por lo tanto, el OEE varía en función del resultado de la disponibilidad en primer lugar, seguido del rendimiento y finalmente la calidad.

Al desglosar el análisis por equipos, se encontró que los gráneles tuvieron un OEE promedio del 92.18%, lo que indica una excelente eficiencia en esta área de la línea de producción. Por otro lado, el proceso de empaçado tuvo un OEE de 60.20% (**Tabla 3**), lo que indica una eficiencia deficiente de acuerdo con la clasificación establecida por Cruelles (**Tabla 1**). Es decir, los equipos de envasado tienen un OEE significativamente más bajo que los equipos de fabricación de gráneles. Esta diferencia en eficiencia se debe principalmente a los resultados obtenidos para la disponibilidad y rendimiento de los equipos de envasado. La disponibilidad de los equipos de envasados es de 72,37% lo que indica que estos equipos experimentan un mayor tiempo de inactividad debido a paradas no planificadas o programadas que no se reportan y el rendimiento, el cual es de 81,63% indica que los equipos de descarga trabajaron a una velocidad (unidades por minuto) menor a la velocidad estándar. Un ejemplo de paradas que no se reportan son los tiempos de descanso, capacitaciones, daños de equipos y puestas a punto o mantenimiento, en pocas palabras el ejercicio del empaçado tiene mayor variabilidad en el proceso y a su vez una menor automatización.

El diagrama de Pareto que se muestra en la **Figura 23** confirma que los envasados son los que tienen una menor eficiencia.

Figura 23
Diagrama de Pareto (OEE por equipo).



Los equipos E306, E304, E301, ENV5 10/20L, E302, ENV1 10/20L, ENV 7 RAFAGA y ENV 6 60/200 L son los que tienen valores de OEE significativamente más bajos que el resto de los equipos (valores inferiores al 72%), y representan el 20% del OEE total de equipos de la planta.

Al aplicar el análisis de Pareto, podemos identificar que los envasados son los que tienen un mayor impacto en la reducción de la eficiencia global de la planta, por lo cual se sugiere enfocar los esfuerzos en mejorar la eficiencia de producción.

Es importante destacar que existe un factor determinante que afecta la eficiencia del proceso de envasado, en el envasado es donde se inicia el entrenamiento del personal nuevo, por lo que se puede deducir que la técnica y experiencia de los operarios que trabajan en el área de envasado son factores clave en la reducción de la eficiencia. El equipo de producción ha propuesto una solución

para mejorar la eficiencia del proceso de envasado: la creación de un instructivo de envasado para las diferentes referencias empacadas en las maquinas o a manualmente. Este instructivo será de gran ayuda en la capacitación del personal nuevo y servirá como apoyo durante el proceso de envasado, lo que permitirá evitar errores y mejorar la eficiencia del proceso en general

En relación con las maquinas semiautomáticas es importante mencionar que durante el proceso de envasado se pueden presentar una variedad de paros. Estos pueden deberse a diversas causas, tales como la necesidad de calibración del equipo en pleno proceso (puesta a punto) o el reabastecimiento del material de empaque. Es importante que los paros que se den durante el proceso se reporten, ya que estos afectan el porcentaje de disponibilidad y de rendimiento del equipo, lo que a su vez genera un impacto negativo en el OEE de la planta.

Es relevante mencionar que durante la recolección de datos se observó la falta de un método adecuado para el reporte de calidad de los productos empacados, lo cual, se traduce en la falta de especificidad en los históricos de proceso acerca del grupo de descarga al que se le atribuyen las unidades dañadas (envases) y al requerir la reposición de los materiales dañados no se especifica la razón. Esta falta de claridad en la información puede impactar en la calidad y sobre todo en el seguimiento del proceso. Por tanto, se propone como un plan de mejora el implementar un método de reporte claro y preciso del material dañado para mejorar la trazabilidad de la calidad de los productos empacados.

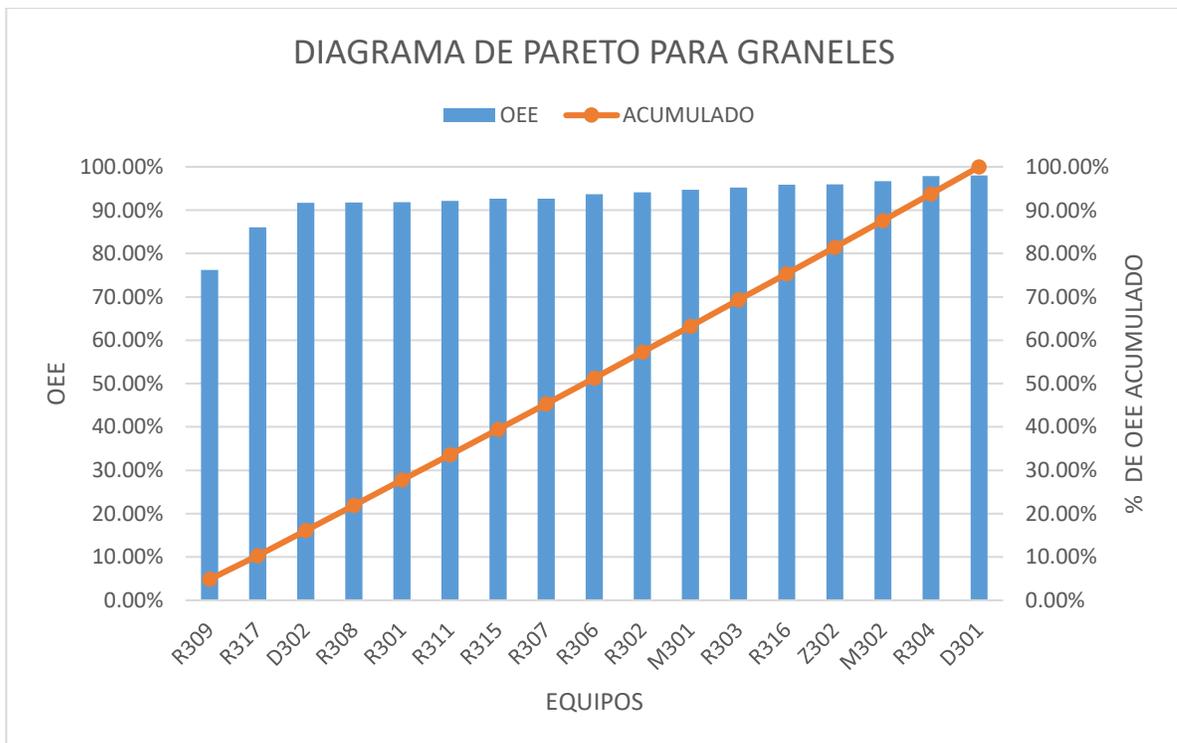
Continuando con el análisis de los datos presentados, en la **Tabla 4**, se puede observar una significativa diferencia en los resultados del OEE entre los equipos de envasado manuales y semiautomáticos. En concreto, los envasados manuales tienen un OEE promedio del 72.92%, mientras que los equipos semiautomáticos tienen un OEE promedio del 41.61%. Cabe destacar que la complejidad de los procesos es la principal causa de esta diferencia. En las envasadoras semiautomáticas se descargan referencias de menor volumen que van desde referencias de 100 cm³ hasta los 4 L. Este factor implica un aumento en el número de unidades empacadas por cada lote, lo que a su vez incrementa la complejidad de la operación de envasado y, por ende, reduce el OEE promedio.

Por otro lado, los equipos de fabricación de gráneles, en general, tienen un rendimiento y calidad muy altos. La disponibilidad es variable, pero es buena en comparación con los envasados. Aun así, es importante analizar a profundidad dicha información, en el diagrama de Pareto de la

Figura 24, donde se grafica exclusivamente el OEE de los equipos de fabricación de gránulos, se observa que los equipos R309, R317, D302 y R308 son los que tienen un OEE más bajo que el resto de los equipos, y estos representan el 21% del OEE total de los equipos de fabricación de la planta. Lo cual sugiere que estos equipos se deben analizar más de cerca para así identificar las oportunidades de mejora en términos de disponibilidad, rendimiento y calidad.

En la **Figura 12** hasta la **Figura 17** se grafica el comportamiento de los equipos de fabricación cada semana. A pesar de que la variación no es muy grande, se puede apreciar que los equipos con menor OEE son precisamente los que presentan una mayor variación en dichas gráficas.

Figura 24
Diagrama de Pareto para el OEE de los gránulos.



En relación con la **Figura 20**, se puede observar que el OEE del equipo R317 varía significativamente. Esto se debe principalmente a la metodología de fabricación que se utiliza en este equipo. Con el objetivo de optimizar el proceso, entre la planta y el laboratorio de calidad, se

unen dos órdenes de producción del producto que se fabricara. Es decir, aunque el equipo R317 tiene una capacidad máxima de 6000 L, se le asignan lotes de 10,200 L, los cuales se fabrican en 2 baches.

Es importante mencionar que los estándares de producción se asignan a un producto específico en un equipo determinado, de acuerdo con su capacidad máxima y las condiciones del equipo. Por lo tanto, al medir el OEE del equipo R317 cuando se fabricaban lotes de 10,200 L, la disponibilidad era de cero o muy bajo, como es de esperarse al duplicar el tamaño del lote, y exceder el tiempo estándar de fabricación en el doble de este.

Para mejorar la disponibilidad del equipo y para efectos de este trabajo, se sugirió establecer un nuevo tiempo estándar adecuado al tamaño del lote, pero en la realidad no es posible tener dos estándares diferentes para el mismo producto en el mismo equipo. Por lo tanto, se propone que para efectos de del manejo de los tiempos se manejen las ordenes de los lotes por separado, a la vez se debe hacer un seguimiento al tiempo estándar con la intención de adecuarlo a un tiempo estándar de producción de baches específicamente.

En la **Figura 18**, se puede observar que los datos del equipo D302 no presentan una gran variación. Sin embargo, después de analizar las órdenes de producción fabricadas en el equipo, se encontró que los tiempos perdidos indican que lo más probable es que se hayan dado malas marcaciones. Por lo tanto, se sugiere una revisión de los procesos de marcación para mejorar la precisión y evitar pérdidas de tiempo innecesarias.

En cuanto al equipo R308, la mayoría de Op producidas son del producto Panzer 480 SL. La disponibilidad de este producto en el equipo varía significativamente, con valores que oscilan entre el 30% y el 100%, debido a un tiempo perdido de 224 minutos sobre el estándar y 98 minutos por debajo del estándar respectivamente. Por lo tanto, es evidente que se necesita un seguimiento constante de la desviación de los tiempos reales de operación con respecto al estándar para monitorear si es necesario hacer ajustes en el estándar o si se debe a malas marcaciones, por lo cual es necesaria la capacitación de los operarios.

Adicionalmente en los graneles se identificó que se necesitaba una definición exacta del inicio y final de las actividades para que los operarios encargados de la fabricación fueran precisos en las marcaciones de tiempo.

También se identificó que es importante considerar el impacto del tiempo de lavado de tanques y tambores en la disponibilidad de las máquinas, dado que, tiempos de limpieza y preparación pueden afectar la disponibilidad de las máquinas y el rendimiento de los operarios.

Es importante destacar que durante el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta que podrían encontrarse desviaciones significativas, ya que en un inicio no se estaba realizando una medición rigurosa de las variables necesarias para construir el OEE de la planta. Por lo tanto, los datos presentados en este trabajo son el resultado de un proceso de estandarización continuo que debe seguirse trabajando para lograr un equilibrio adecuado entre los tiempos estándar, los métodos de trabajo y los registros de los operarios en los sistemas de información. Se debe tener en cuenta que el análisis de OEE es una herramienta dinámica que debe ser actualizada y perfeccionada de manera constante, con el fin de lograr una gestión eficiente de la producción en la planta.

En conclusión, en la planta se debe continuar perfeccionando el enfoque de mejora continua. Para lograrlo, es necesario continuar invirtiendo recursos y analizando la información generada en la planta para identificar oportunidades de mejora. Además, es importante llevar un seguimiento constante de la desviación de los tiempos estándar de producción, pero esto debe ir acompañado de una evaluación continua.

La cultura de mejora continua en la planta permitirá que los equipos de trabajo estén enfocados en identificar y solucionar problemas de manera constante, lo que a su vez generará un aumento en la eficiencia y la productividad de la planta. Es necesario asegurar que se estén implementando las mejores prácticas en cada etapa de los procesos de producción, con el fin de garantizar la calidad del producto final.

Para mantenerse al día en el mercado, es importante que la planta continúe innovando y mejorando sus procesos como lo está haciendo en estos momentos. Deben continuar con la capacitación constante del personal y la evaluación constante de los resultados obtenidos. En resumen, la mejora continua es un proceso constante que requiere dedicación y esfuerzo, pero es fundamental para garantizar la sostenibilidad y competitividad de la planta a largo plazo.

6 Conclusiones

La actualización de los tiempos estándar de fabricación y empaçado es una tarea importante para cualquier planta de producción, ya que permite optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa. De esta forma, mediante el seguimiento de los históricos de proceso del año 2022 de los productos fabricados y empaçados en la planta de agroquímicos, se actualizaron un total de 121 estándares de productos finales e intermedios en sus respectivos equipos y las velocidades estándar de empaçado de 191 referencias, incluyendo las maquilas.

Se ha desarrollado un modelo de cálculo del OEE para los procesos fabricados por batch en la planta de agroquímicos, así como un modelo para las líneas de empaçado semiautomáticas y manuales permitió el seguimiento y evaluación del OEE de la planta de agroquímicos de Invesa S.A, obteniendo un OEE global en el periodo evaluado de 79,26%. Estos modelos han permitido realizar un seguimiento y evaluación del OEE de la planta de agroquímicos de Invesa S.A, obteniéndose un OEE global del 79,26% en el periodo evaluado. Gracias a este seguimiento, se han identificado áreas de mejora y se han propuesto recomendaciones concretas para aumentar la eficacia operativa de la planta. Los resultados obtenidos indican que el OEE promedio de la planta es aceptable, pero que existen áreas de mejora específicas, como el bajo rendimiento y disponibilidad de los equipos de envasado en comparación con los equipos de fabricación de gráneles. Se ha evidenciado que la falta de reportes de paradas durante el proceso ha afectado estos factores, por lo que se sugiere enfocar los esfuerzos en mejorar la cultura de reporte de paradas, especialmente en las envasadoras semiautomáticas. Además, se destaca la importancia de la capacitación y entrenamiento continuo del personal para aumentar el OEE en el área de envasado y de implementar un método de reporte claro y preciso para mejorar el seguimiento de la calidad de los productos empaçados.

Por otro lado, es importante destacar que los equipos para la fabricación de gráneles en general tienen un rendimiento y calidad excelentes, aunque la disponibilidad puede ser variable. Por ello, se recomienda implementar un seguimiento riguroso de la desviación de los tiempos reales de producción con respecto a los tiempos estándar, con el fin de ajustar los estándares y así identificar de forma certera problemas en la disponibilidad.

Implementar estas acciones de mejora contribuirá de manera significativa a la mejora continua del proceso productivo en la planta de agroquímicos de Invesa S.A. Esto, a su vez, aumentará la rentabilidad y competitividad de la empresa.

En conclusión, es fundamental medir el OEE en las plantas de producción para alcanzar la mejora continua. A través de este proyecto se establecen métricas que permiten a la planta de producción de agroquímicos incrementar su competitividad. Es importante establecer metas cada vez más exigentes para impulsar una medición más rigurosa y obtener resultados cada vez mejores. De esta manera, la planta podrá avanzar en su camino hacia la excelencia operativa.

Referencias

- ¿Qué es el OEE? Cómo Calcular y Optimizar | Guía DEFINITVA 2023.* (s/f). <https://ibermaticaindustria.com/blog/oe-e-que-es-como-se-calcula-y-como-optimizarlo/>
- ¿Qué son los agroquímicos? | Pochteca Colombia.* (s/f). <https://colombia.pochteca.net/que-son-los-agroquimicosquimicos/>
- Badiger, A. S., & Gandhinathan, R. (2008). A proposal: evaluation of OEE and impact of six big losses on equipment earning capacity. En *Int. J. Process Management and Benchmarking* (Vol. 2, Número 3).
- Coadyuvantes.* (s/f). <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/coadyuvantes-y-reguladores-fisiologicos-1.aspx>
- Cruelles, J. A. (2010). *LA TEORÍA DE LA MEDICIÓN DEL DESPILFARRO.*
- Díaz-Contreras, C. A., Catari-Vargas, D. A., De, C., Murga-Villanueva, J., Díaz-Vidal, G. A., & Quezada-Lara, V. F. (2020). *COST ADJUSTED OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE)* (Vol. 45, Número 3).
- Invesa - La Compañía Amiga.* (s/f). <https://www.invesa.com/>
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2013). Introduction to probability & statistics. En *Brooks/Cole, Cengage Learning* (13a ed.). Cengage Learning .
- Seis Grandes Pérdidas en la Manufactura | OEE.* (s/f). <https://www.oe-e.com/oe-e-six-big-losses/>