

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

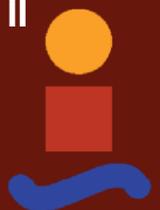
**Análisis y diagnóstico en planta refinadora de aceite de
orujo mediante el uso de herramientas de Lean
Manufacturing**

Autor/es: Francisco de Borja Candau Otero

Tutor/a: Guillermo Montero Fernández - Vivancos

**Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Análisis y diagnóstico en planta refinadora de aceite de orujo mediante el uso de herramientas de Lean Manufacturing

Autor:

Francisco de Borja Candau Otero

Tutor:

Guillermo Montero Fernández - Vivancos

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Análisis y diagnóstico en planta refinadora de aceite de orujo
mediante el uso de herramientas de Lean Manufacturing

Autor: Francisco de Borja Candau Otero

Tutor: Guillermo Montero Fernández - Vivancos

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los
siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor en este Trabajo de Fin de Grado, don Guillermo Montero Fernández - Vivancos, su disposición y entusiasmo para dirigir este proyecto desde el inicio. Gracias por su tiempo, colaboración y entrega.

Agradecer también a Actividades Oleícolas S.A. (ACOLSA) por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto, ofreciéndome todos los datos e información necesaria para la ejecución de este. Espero que este documento sea de utilidad en el futuro.

A mis amigos más cercanos, que siempre supieron encontrar las palabras adecuadas con las que motivarme.

A mis compañeros de carrera, a los que considero amigos míos, y que han convertido estos años en inolvidables.

A mi familia, la cual siempre me ha escuchado y comprendido, guiándome y aconsejándome de forma honesta, y a la que debo todo.

Pero quiero mencionar de forma especial a mi padre, mi referente, quien me recuerda cada día la importancia de vivir la vida con una sonrisa. Gracias por tu motivación y dedicación en este proyecto, el cual no hubiera sido posible sin ti.

A todos, gracias de corazón.

Borja Candau Otero

Sevilla, 2023.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado realiza un estudio sólido y fiel a la realidad de la situación actual de la refinería sevillana de Actividades Oleícolas S.A. (ACOLSA). El estudio analiza y evalúa los procesos y sus eficiencias, para más tarde visualizar todo el contexto que engloba el funcionamiento de la planta, destacando puntos de optimización que permitan trazar planes de acción en el futuro.

Para realizar dicho estudio, se recurre al movimiento *Lean Manufacturing*, que permite entender los beneficios de un sistema productivo integrado y sincronizado. Se utilizan varios conceptos *Lean*, como el *OEE (Overall Equipment Efficiency)*, o la técnica *VSM (Value Stream Mapping)*, para la interpretación de los resultados obtenidos a lo largo del proyecto.

Este Trabajo de Fin de Grado no recoge la implementación de técnicas que optimicen el funcionamiento de la entidad, aunque si que supone la base y revela los puntos de actuación para futuros proyectos que busquen la optimización del sistema. En este sentido, este documento es un diagnóstico preciso de todo el sistema productivo del proceso de refinación del aceite de orujo de oliva.

Abstract

This Final Degree Project conducts a solid and realistic study of the current situation at the Sevillian refinery of Actividades Oleícolas S.A. (ACOLSA). The study analyzes and evaluates processes and their efficiencies, enabling the visualization of the entire context surrounding the plant's operations. Emphasis is placed on identifying optimization points that will facilitate the outlining of action plans in the future.

To carry out this study, the Lean Manufacturing approach is employed, enabling an understanding of the benefits derived from an integrated and synchronized production system. Various Lean concepts, such as Overall Equipment Efficiency (OEE) and Value Stream Mapping (VSM), are utilized for interpreting the project's obtained results.

This Final Degree Project does not encompass the implementation of techniques to optimize the entity's operations. However, it serves as a foundational base and reveals areas for action in future projects seeking system optimization. In this regard, this document presents a precise diagnosis of the entire production system involved in the olive pomace oil refining process.

Índice de Contenido

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice de Contenido	13
Índice de ilustraciones	15
Índice de gráficas	16
Índice de tablas	17
1 Objetivos y Alcance	1
2 Metodología Lean Manufacturing	3
2.1 <i>¿Qué es Lean Manufacturing?</i>	3
2.2 <i>Origen y evolución histórica</i>	4
2.3 <i>Claves del movimiento</i>	5
2.4 <i>Concepto y caracterización de despilfarro</i>	7
2.5 <i>Estructura del Templo Lean</i>	10
3 Descripción de la empresa	14
3.1 <i>Actividades Oleícolas S.A.</i>	14
3.2 <i>Proceso de refinado del aceite de orujo crudo</i>	17
3.2.1 Descarga de crudo.....	17
3.2.2 Depuración-Lavado	19
3.2.3 Neutralización	21
3.2.4 Winterización	23
3.2.5 Decoloración	26
3.2.6 Desodorización.....	28
3.2.7 Carga de refinado.....	30
3.3 <i>Organigrama actual</i>	31
3.4 <i>Disposición de la planta</i>	34
3.4.1 Sector 1 – Nave fabricación.....	34
3.4.2 Sector 2 – Parque de depósitos	34
3.4.3 Sector 3 – Oficinas.....	34
3.4.4 Sector 4 – Torre de neutralización y depósitos.....	35
3.4.5 Sector 5 – Decoloración	35
3.4.6 Parcela restante	35

4	Análisis y Evaluación de la Eficiencia de la línea de producción mediante el OEE.....	37
4.1	Definición de OEE.....	38
4.2	Disponibilidad.....	40
4.3	Rendimiento.....	43
4.4	Calculación de las eficiencias de los procesos (OEE).....	45
4.5	Análisis e interpretación de los resultados.....	49
4.5.1	Descarga de crudo.....	51
4.5.2	Depuración.....	51
4.5.3	Neutralización.....	52
4.5.4	Winterización.....	53
4.5.5	Decoloración.....	54
4.5.6	Desodorización.....	54
4.5.7	Carga de refinado.....	55
5	Aplicación de la técnica Value Stream Mapping (VSM).....	57
5.1	Definición de VSM.....	57
5.2	Procedimiento general para la construcción de un VSM.....	58
5.3	Construcción del VSM de la refinería.....	59
5.3.1	Selección de la información.....	60
5.3.2	Recolección de la información elegida.....	61
5.3.3	Cálculo del Takt-Time.....	63
5.3.4	Determinación del Lead Time y del Tiempo de Valor Añadido.....	64
5.3.5	Construcción del VSM.....	65
5.4	Interpretación del VSM actual.....	68
5.4.1	Análisis y evaluación del Takt-Time (TT).....	70
5.4.2	Estudio de la sincronización entre los procesos.....	73
5.4.3	Lectura del Lead Time (LT) y del Tiempo de Valor Añadido (TVA).....	75
6	Diagnóstico y proyección para el futuro.....	79
7	Conclusiones.....	84
	Referencias.....	87
	Anexo.....	88

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Ideas fundamentales del Lean Manufacturing	4
Ilustración 2: Templo Lean	10
Ilustración 3: Proceso de Extracción	15
Ilustración 4: Diagrama de flujo del proceso de descarga de crudo	18
Ilustración 5: Esquema del proceso de depuración.....	20
Ilustración 6: Esquema del proceso de neutralización	22
Ilustración 7: Torre del proceso neutralización.....	22
Ilustración 8: Esquema del proceso de winterización.....	24
Ilustración 9: Segundo lavado - winterización	25
Ilustración 10: Esquema del proceso de decoloración.....	27
Ilustración 11: Esquema del proceso de desodorización.....	29
Ilustración 12: Esquema del proceso de carga de refinado.....	30
Ilustración 13: Organigrama	32
Ilustración 14: Plano general de la planta.....	36
Ilustración 15: Etapas en el cálculo del OEE.....	37
Ilustración 16: Tiempos cuantificables en los procesos productivos	38
Ilustración 17: Paradas cuantificables en los procesos productivos.....	41
Ilustración 18: VSM de la situación actual.....	67

Índice de gráficas

Gráfica 1: Paradas en cada proceso.....	42
Gráfica 2: Relación de entradas y salidas en los procesos	45
Gráfica 3: Comparación entre la disponibilidad y el rendimiento de los procesos	49
Gráfica 4: Eficiencia global de los procesos	49
Gráfica 5: Visualización mediante radar del OEE	50
Gráfica 6: Descomposición de la eficiencia en la descarga	51
Gráfica 7: Descomposición de la eficiencia en la depuración	52
Gráfica 8: Descomposición de la eficiencia en la neutralización.....	53
Gráfica 9: Descomposición de la eficiencia en la winterización	53
Gráfica 10: Descomposición de la eficiencia en la decoloración	54
Gráfica 11: Descomposición de la eficiencia en la desodorización	55
Gráfica 12: Descomposición de la eficiencia en la carga.....	55
Gráfica 13: Descomposición de la eficiencia en todos los procesos.....	56
Gráfica 14: Takt-Time vs Caudal nominal de producción de los procesos	72
Gráfica 15: Comparación entre el tiempo de valor añadido (TVA) y el tiempo de no-valor añadido (TNVA)	76
Gráfica 16: Descomposición del Lead Time según los porcentajes representativos de sus elementos.....	77
Gráfica 17: Nivelación de la producción entre los procesos	80
Gráfica 18: Desglose en días del lead time	81

Índice de tablas

Tabla 1: Causas y efectos de los despilfarros	9
Tabla 2: Paradas en cada proceso	42
Tabla 3: Resultados obtenidos para el OEE	48
Tabla 4: Procedimiento general para la construcción de un VSM	59
Tabla 5: Organización de los turnos de los procesos	62
Tabla 6: Recopilación de la información presentada en el VSM.....	63
Tabla 7: Takt-Time de los procesos	70
Tabla 8: Capacidad de almacenamiento de los procesos	74
Tabla 9: Calculo del tiempo total, tiempo planificado de operación, tiempo de operación, y tiempo útil productivo	89
Tabla 10: Tiempos de paradas en el proceso de descarga.....	90
Tabla 11: Tiempos de paradas en el proceso de depuración.....	91
Tabla 12: Tiempos de paradas en el proceso de neutralización	92
Tabla 13: Tiempos de paradas en el proceso de winterización.....	93
Tabla 14: Tiempos de paradas en el proceso de decoloración	94
Tabla 15: Tiempos de paradas en el proceso de desodorización.....	95
Tabla 16: Tiempos de proceso en el proceso de carga	96
Tabla 17: Productividad del año 2023 (I).....	97
Tabla 18: Productividad del año 2023 (II)	98
Tabla 19: Calculo del Takt-Time de los procesos	99
Tabla 20: Calculo del Tiempo de Valor Añadido y del Tiempo de No- Valor Añadido	100

1 Objetivos y Alcance

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es analizar y evaluar el sistema actual de producción que presenta la planta, con la intención de brindar una base de datos sólida y fundamentada que permita la implementación de técnicas y herramientas que optimicen la línea de producción en futuros proyectos. En ningún caso se pretende la optimización directa del sistema, pues este documento se centra en la realización de un diagnóstico completo y fiable de todo lo que engloba a la producción del aceite refinado de orujo de oliva.

La motivación para la realización de este proyecto radica en el reto que supone el estudio de un proceso, complejo técnicamente, en un campo tan interesante como es la producción de aceite refinado. El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado ofrece la oportunidad de aplicar muchos de los conceptos vistos en los dos años de especialización, y sirve como indicador para descubrir qué sector dentro del mundo ingenieril mejor se complementa con mi vocación profesional.

Este proyecto puede ser dividido en cuatro grandes bloques, y son los siguientes:

1. Descripción detallada de los procesos de la refinación del aceite de orujo, así como de la empresa objeto, comentando la estructura y disposición en planta de los recursos, humanos y técnicos, disponibles.
2. Determinación de las eficiencias globales de los siete procesos principales de la planta. Esta estimación hace uso del concepto *Lean: Overall Equipment Efficiency (OEE)*, el cual permite entender el modo de operación y funcionamiento que presentan los procesos a día de hoy.
3. Aplicación de la técnica *Lean: Value Stream Mapping (VSM)* para la visualización de todo el sistema productivo mediante la inclusión y determinación de la información más relevante. Este esquema ofrece un resumen visual que sirve de base de actuación para futuras aplicaciones de técnicas que busquen la optimización del sistema.
4. Diagnóstico final de la situación de la planta, destacando los puntos más relevantes que presenta el sistema. Este diagnóstico revela los puntos de optimización y las fuentes de

despilfarro que presenta la línea productiva, los cuales deben ser el punto de partida de futuros planes de actuación.

Este Trabajo de Fin de Grado recurre al movimiento conocido como *Lean Manufacturing* para realizar dicho diagnóstico. El siguiente capítulo se centra en la exposición y explicación de los conceptos claves que introduce esta filosofía de trabajo, lo que permite entender el desarrollo y el razonamiento seguido a lo largo de este documento.

2 Metodología Lean Manufacturing

El objetivo de este proyecto es el análisis y la evaluación de la situación actual y del modo de funcionamiento y gestión que presenta ACOLSA. Para ello, se recurre al movimiento Lean, conocido como *Lean Manufacturing*, para poder hacer un estudio sólido y eficaz que permita dibujar conclusiones reales y útiles en el día de mañana.

Este capítulo introduce de forma general los pilares de este movimiento dentro del mundo empresarial, además de repasar sus orígenes y la evolución a lo largo de los años y décadas para obtener la importancia, relevancia y reconocimiento que tienen estas aplicaciones a día de hoy.

Para ello, se expondrán las características fundamentales de esta filosofía, los conceptos e ideas de mayor peso, los pilares sobre los que se sustentan, y algunas herramientas y técnicas que se utilizan en numerosas entidades empresariales a lo largo de todo el mundo para poder contextualizar lo realizado en este proyecto.

2.1 ¿Qué es Lean Manufacturing?

El *Lean Manufacturing*, o *Lean Production*, se define como una cultura de gestión empresarial centrada en la constante eliminación del despilfarro, teniendo como referencia la certeza de que siempre existe la oportunidad de mejorar lo existente. Esta ambición de búsqueda activa de puntos de optimización de los procesos productivos es lo que se conoce como *Kaizen* – mejora continua.

La filosofía *Lean* se compone de una serie de actividades, conceptos y procedimientos que estandarizan y optimizan los procesos, estableciendo un sistema productivo eficiente. La aplicación de técnicas *Lean* se traduce en una reducción de costes, una mejoría significativa de los resultados, y en la creación de valor para la empresa.

Es importante entender que *Lean Manufacturing* no es simplemente una colección de herramientas y técnicas que optimizan el canal productivo, si no que se trata de una nueva forma de pensar, actuar y observar que deben adoptar los miembros de la entidad. Es una nueva filosofía, una forma de entender el mundo empresarial, sustentada en tres ideas:



Ilustración 1: Ideas fundamentales del Lean Manufacturing

Al implementar esta metodología, la cultura del cambio y de mejora continua, sumado a la mentalidad que adoptan sus practicantes de aversión al despilfarro, estimulan a los trabajadores, en todos los niveles de la empresa, para seguir un comportamiento adecuado y sintonizado, donde todos aportan y participan en las distintas fases de producción.

Las técnicas *Lean* se centran en el valor añadido, la eliminación del despilfarro y la reducción del tiempo de ciclo, entre otros puntos. Para ello, cada proceso es analizado, estandarizado, y evaluado de forma individual y continua, identificando puntos de optimización e implementando distintas herramientas que permiten la eliminación total de las fuentes de despilfarro.

El resultado de todo lo anterior se resume en una mayor satisfacción de los clientes y en una mayor productividad del sistema productivo.

2.2 Origen y evolución histórica

El *Lean Manufacturing* emerge como un paradigma revolucionario en la gestión empresarial, arraigado en los principios del Sistema de Producción Toyota (TPS). Este enfoque innovador tiene sus orígenes en Japón, específicamente en Toyota, en un contexto de posguerra y escasez de recursos que desafió a los ingenieros a buscar soluciones creativas para maximizar la eficiencia y la productividad.

El ingeniero Taiichi Ohno, considerado uno de los mentores fundamentales del *Lean Manufacturing*, se vio enfrentado a limitaciones de espacio, materiales y capital durante la década de 1950. En un intento por superar estas restricciones, Ohno y su equipo se sumergieron en un proceso de reestructuración radical de los métodos de producción. Esta situación adversa se convirtió en el catalizador de un enfoque revolucionario que transformaría la forma en que se gestionan las operaciones industriales.

El TPS, cuyos pilares fundamentales son el *Just-in-Time (JIT)* y el *Jidoka*, se convirtió en la piedra angular del *Lean Manufacturing*. El JIT buscaba minimizar el inventario manteniendo la producción sincronizada con la demanda real del mercado. Por otro lado, el *Jidoka* introducía la idea de la automatización con inteligencia, permitiendo a las máquinas detenerse automáticamente cuando se detectaba un problema, garantizando así la calidad del producto y evitando la producción de artículos defectuosos.

La década de 1960 marcó una etapa crucial para el desarrollo del TPS, donde Toyota refinó y perfeccionó sus procesos, continuamente adaptándose para optimizar la eficiencia y la calidad. Sin embargo, no fue hasta la década de 1980 cuando el *Lean Manufacturing* comenzó a ganar atención a nivel mundial.

El libro "La Máquina que Cambió el Mundo", publicado en 1990, sirvió como un punto de inflexión para la difusión global del *Lean Manufacturing*. Esta obra presentaba los principios y prácticas del TPS y su aplicación en Toyota, revelando un nuevo paradigma en la fabricación que enfatizaba la eliminación del desperdicio, la mejora continua y la maximización del valor para el cliente.

Este reconocimiento global condujo a la adopción del *Lean Manufacturing* en diversos sectores industriales fuera de la industria automotriz. Empresas de todo el mundo empezaron a implementar sus principios y herramientas para optimizar sus procesos, reducir costos y mejorar la calidad de sus productos y servicios.

La evolución del *Lean Manufacturing* ha sido constante, adaptándose a distintos entornos empresariales y expandiéndose más allá de la fabricación para abarcar áreas como los servicios, la salud y la tecnología. Se ha convertido en una filosofía empresarial que abraza la mejora continua, el compromiso con la calidad y la maximización del valor para el cliente como principios fundamentales.

2.3 Claves del movimiento

El objetivo principal del *Lean Manufacturing* es el establecimiento de una nueva cultura de gestión, trabajo y comunicación dentro de cualquier ámbito empresarial, lo que lo convierte en un reto a la hora de su implementación.

Presenta dos características fundamentales: la mejora continua y el respeto a las personas. La metodología Lean entiende la necesidad de una búsqueda activa y constante de puntos de mejora, dando plena prioridad a los productos y servicios que aportan valor real, y persiguiendo el trabajo en flujo continuo. Para ello, es esencial estimular el crecimiento personal y profesional de los

trabajadores de la empresa, de forma que sientan que los cambios introducidos por este movimiento son iniciativa suya, persiguiendo así una búsqueda infinita de nuevas aplicaciones.

Las claves principales del *Lean Manufacturing* se pueden agrupar en los siguientes puntos:

- Visión: establecer una cultura de trabajo con una perspectiva holística, estandarizando y sincronizando los procesos productivos de tal forma que el sistema de trabajo sea eficiente. Además, es el cliente quien determina el valor de nuestro producto, por lo que se persigue alcanzar el mayor grado de satisfacción de estos, integrando los clientes como parte del sistema productivo.
- Objetivo: identificar y eliminar todas aquellas actividades, rutinas, y secuencias que no aportan valor real al producto mediante la erradicación de las fuentes de despilfarro. Se persigue el trabajo en flujo continuo de forma que sea el cliente quien especifique las cantidades y los tiempos de producción.
- Enfoque: sincronizar todos los procesos productivos, así como sus recursos y responsables, de forma que se trabaje en flujo continuo. De esta forma, se minimizan los desperdicios presentes en el sistema, y se evitan de forma significativa la producción de productos defectuosos o no deseados.
- Norma: instalar un sistema de trabajo tipo *pull*, donde se produce en función de la demanda. Así, se fabrican únicamente los artículos necesarios, en las cantidades requeridas y en los instantes precisos, evitando el número de productos almacenados y el número de retrabajos, y aumentando la satisfacción y fidelidad de los clientes.
- Filosofía: buscar siempre la mejora continua, explorando nuevas aplicaciones y estableciendo rutinas de trabajo compatibles y eficaces. Como dijo Albert Einstein: “si hacemos lo que siempre hemos hecho, no llegaremos más allá de donde siempre hemos llegado.”

Uno de los conceptos más interesantes que introduce este movimiento, y el cual refleja de forma conjunta las claves mencionadas, es el término *Genchi Genbutsu*. Este término japonés hace referencia a la necesidad de acudir personalmente a la fuente de los problemas, lo que permite entender completamente las causas y motivos del problema enfrentado. Esta práctica permite minimizar numerosos contratiempos como consecuencias de fallo en la comunicación, lo que desemboca en la desaparición de despilfarros y la optimización del sistema.

2.4 Concepto y caracterización de despilfarro

Uno de los grandes objetivos ya mencionados de la metodología *Lean* es la identificación y eliminación de fuentes de despilfarro, pero ¿qué es un despilfarro?

El concepto de despilfarro se define como todo aquello que no añade valor al producto, o que no es absolutamente esencial para su fabricación. El valor del producto se entiende como la transformación del estado y de las propiedades físicas o químicas de la materia prima o de un producto en fase de producción en un artículo deseado por el cliente. En este sentido, el despilfarro constituye todo aquello que se realiza en un proceso productivo y que no modifica ni altera las propiedades físicas o químicas del producto final, y es prescindible de realizar.

La existencia de despilfarros o desperdicios supone un descenso en el rendimiento y calidad de los procesos de producción. Esta situación se manifiesta a menudo en un incremento de costes, en aumentos de tiempos - no solo productivos, sino también en tiempos influyentes en la satisfacción de los clientes - o en sobreesfuerzos por parte del equipo operacional. El objetivo para la caracterización de los desperdicios presentes en cualquier ámbito del proceso de fabricación es su completa erradicación.

La filosofía *Lean* interpreta los desperdicios como una oportunidad de mejora, un punto de partida sobre el que construir un plan de acción para alcanzar la optimización de la manufacturación de un producto. La identificación de fuentes de despilfarro conlleva la búsqueda activa de soluciones y alternativas para su eliminación, por lo que es un incentivo sólido para la motivación de optimizar cualquier sector dentro de la organización. Esto se alcanza con la implementación de la metodología *Lean* a través de distintas técnicas reconocidas conocidas como *herramientas Lean*, que se detallarán en el próximo subapartado.

Los despilfarros pueden manifestarse en cualquier ámbito de la organización, y pueden ser divididos en 7 grandes grupos:

- **Sobreproducción:** entendido como el más perjudicial dentro de la empresa, se produce cuando existe un exceso de productos fabricados frente a productos demandados. Una nivelación ineficiente entre el plan de producción y la demanda de clientes se traduce en pérdidas económicas y acumulación de inventario. Se considera el despilfarro más negativo ya que supone la aparición de despilfarros consecuentes de la situación.
- **Tiempos de espera o tiempos vacío:** períodos de tiempos de inactividad, ya sea de operarios o de maquinaria, donde los recursos están ociosos, desaprovechando tiempo productivo y reduciendo así la capacidad de producción del proceso. Pueden aparecer por retrasos (en la entrega de materiales, instrucciones...), por mantenimiento o precaución, o por tiempos muertos dentro del sistema productivo.

- Transporte: movimientos innecesarios, de productos o materiales, que no agregan valor al producto final y ralentizan el tiempo de ciclo del proceso.
- Movimientos innecesarios: desplazamientos de operarios ineficientes, fácilmente prescindibles, que se producen en el proceso de fabricación. Este despilfarro incluye aquellos movimientos poco ergonómicos que perjudican la integridad del trabajador.
- Sobrepceso: entendido como la existencia de operaciones innecesarias o cuyo propósito de realización tiene un reconocimiento nulo por parte del cliente, por lo que no añaden valor. Suele manifestarse mediante pasos adicionales eliminables o en una complejidad excesiva del sistema de fabricación.
- Exceso de inventario: acumulación de inventario no demandado por el cliente o no utilizado en estaciones siguientes (*WIP – Work in Progress*). Conlleva la deteriorización de estos productos, así como el gasto económico asociado al almacenamiento y a la pérdida de valor de estos artículos. Se considera despilfarro por exceso de inventario cuando se ocupa más espacio del requerido.
- Defectos: producción de piezas y productos defectuosos que no cumplen con las expectativas de calidad impuestas por el cliente. La aparición de productos defectuosos manifiesta un error en el proceso, y requiere de retrabajos y reparaciones, que se traducen en un gasto de recursos innecesario.

Existe una octava fuente de desperdicio, y hace referencia al factor humano. Se entiende como despilfarro humano a la infrutilización de las personas y sus capacidades. En numerosas ocasiones, el potencial de los empleados es desaprovechado debido a la falta de comunicación entre empleadores y empleados o a la participación casi nula de los trabajadores en el sistema productivo. Todo esto deriva en una desmotivación de los trabajadores que se traduce en rendimientos más bajos, en accidentes y contratiempos, y en un aumento de tiempos y costes.

La tabla a continuación recoge algunas de las posibles causas y consecuencias de cada despilfarro:

DESPILFARRO	CAUSAS	EFFECTOS
Sobreproducción	Sistema de trabajo tipo Push, y no Pull Lotes de grande dimensiones	Uso desproporcionado o no necesario de recursos Aumento de costes y gastos no planeados Aumento del nivel de inventario
Tiempos de espera	Plan de producción ineficiente Ruptura y paradas del rproceso Operarios y proveedores poco flexibles y fiables	Interrupción del flujo continuo Aumento del Lead Time Retrase de tiempos de entrega
Transporte	Flujos de materiales complejos Diseño de puestos de trabajo ineficiente	Auemento del tiempo de producción Incremento del riesgo laboral para el producto y de riesgos laborales Consumo de recursos innecesarios
Movimientos innecesarios	Layout inadecuado o complejo Falta de estandarización del orden de tareas Falta de seguimiento de herramientas y útiles	Aumento del riesgo laboral Incremento del tiempo de producción Interrupción del flujo continuo
Sobreproceso	Estándares de actuación no actualizados Falta de comprensión del proceso	Consumo de recurso innecesarios Aumenta el tiempo de producción
Exceso de inventario	Desnivelación de la producción Previsión de demanda errónea Lotes de grandes dimensiones	Ocultas defectos y problemas Necesidad de más espacio y recursos Deterioración y productos obsoletos
Defectos	Diseño impreciso Fiabilidad de las máquinas Falta de formación y entrenamiento de operarios	Incremento de costes de producción Afecta a la fiabilidad del cliente
Factor humano	Falta de formación y entrenamiento de operarios Falta de comunicación entre los distintos niveles Poca integración de trabajadores en el sistema productivo	Aumento del riesgo laboral Desmotivación de los empleados Aumento de tiempos de entrega

Tabla 1: Causas y efectos de los despilfarros

2.5 Estructura del Templo Lean

El templo *Lean* es una analogía que recoge los pilares fundamentales sobre los que se sustenta este movimiento de forma visual y esquemática. Sirve para visualizar un espacio de trabajo donde se enfatiza la importancia de la eficiencia, la eliminación de desperdicios, la mejora continua, y el compromiso de todos los empleados hacia la calidad y la excelencia operativa.

Según la fuente, puede variar de una forma u otra. Una representación de dicho esquema de forma simple y general es la siguiente:

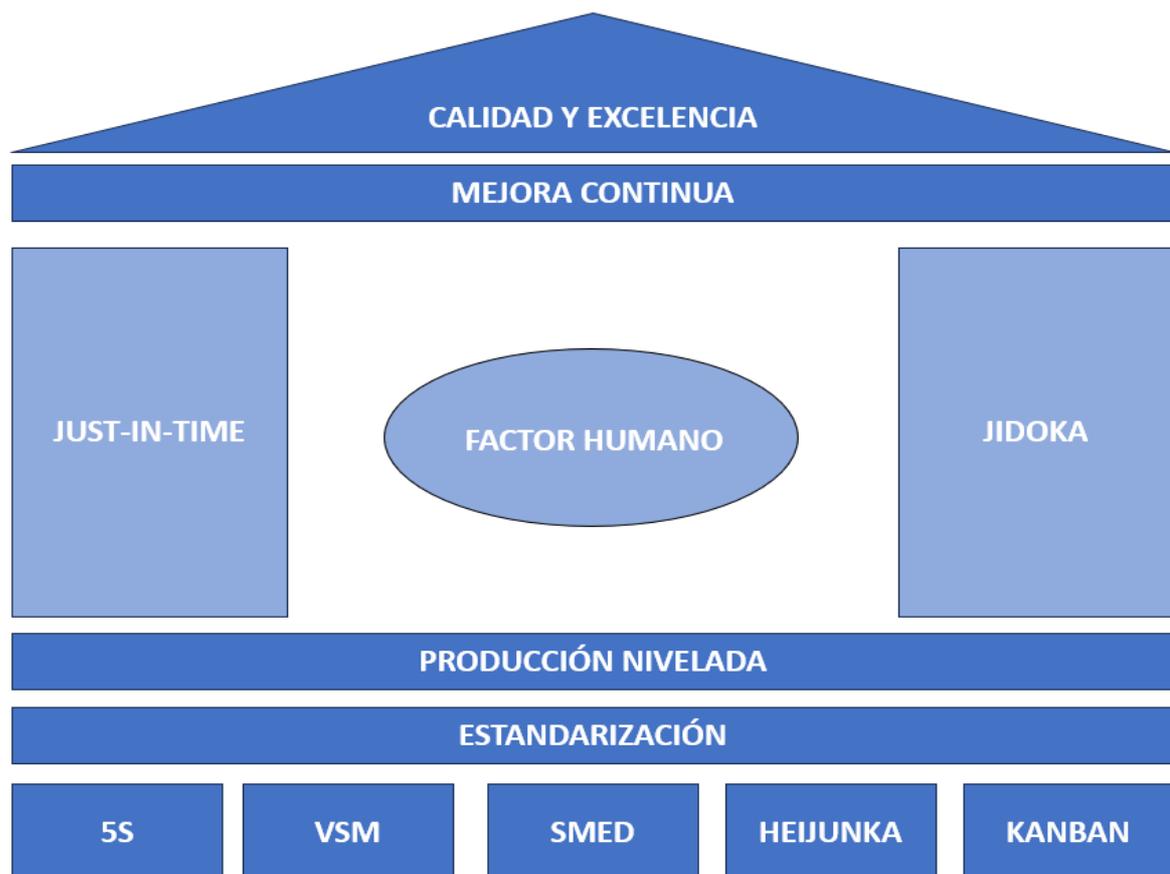


Ilustración 2: Templo Lean

Como se puede observar en la representación, el objetivo del *Lean Manufacturing* es alcanzar la calidad y la excelencia del producto o servicio. Para ello, se promueve de forma animada e intensa la búsqueda constante de puntos de desperdicio; la optimización de los procesos productivos es un procedimiento lento y continuo, donde cada mejora contribuye a la estandarización del sistema, por pequeña que esta pueda ser.

El movimiento *Lean* presenta dos pilares fundamentales en los que se apoya todos sus objetivos. Estos dos pilares se detallan a continuación.

JUST-IN-TIME:

Este concepto se centra en la idea de producir exactamente lo que se necesita, en los instantes y las cantidades que se requieren. Conlleva la implementación de un sistema tipo *pull*, que basan su producción en función de la demanda real, y no en función de previsiones o demandas previstas como es característico en sistemas de tipo *push*.

El *Just-In-Time (JIT)* busca la implementación de un sistema productivo idílico donde el instante en el que los materiales entran en una nueva estación de trabajo coincide exactamente con el instante en el que se requieren. De esta forma, no se producen tiempos de espera ni ralentizaciones del sistema. Esto se traduce en una reducción del *lead time*, concepto que se detallará más adelante en el documento.

Requiere de un sistema de producción estable con flujo continuo. La aplicación de JIT optimiza el aprovisionamiento de las estaciones, así como mejora la relación con proveedores y clientes y alcanza los niveles óptimos de inventario, reduciendo el coste de mantenimiento y el gasto asociado a la gestión del stock.

JIDOKA:

Jidoka se puede interpretar como “autonomización”, es decir, automatización con la mente humana. Busca garantizar la calidad total de producto a través de la integración de la calidad en las funciones diarias de todos los operarios. De esta forma, se persigue que los empleados sean capaces de reconocer anomalías o errores de producción de forma visual y rápida, teniendo la autoridad para poder parar la línea de producción en caso de ser necesario.

La garantía de la calidad total del producto se traduce en la satisfacción inmediata de las necesidades de clientes y empleados, reduciendo los costes de forma significativa. La calidad, por tanto, se entiende como sinónimo de eficiencia y flexibilidad. Esto conlleva una mejor imagen hacia el exterior que estimula la inversión de capital externo.

La herramienta más conocida que simboliza la cultura *Jidoka* es *Poka Yoke*. Esta herramienta persigue la eliminación total de los errores, independientemente de si son en máquinas o son errores humanos. Esta herramienta implementa mecanismos que evitan defectos en cualquier caso o situación.

La mejora continua que busca el movimiento Lean suele estar condicionada según el sistema productivo evaluado. Para ello, son esenciales dos conceptos:

- Producción nivelada, de forma que exista una sincronización eficaz entre los distintos procesos que eviten la sobreproducción, los tiempos de espera, o el exceso de inventario.
- Estandarización, que permita la prolongación en el tiempo de aquellas conductas y procesos que maximicen la productividad y el rendimiento del sistema.

La metodología *Lean* cuenta con distintas herramientas y técnicas que ayudan a alcanzar el estado óptimo de producción. Estas herramientas dependen de las características y circunstancias de cada proceso productivo, y suponen las bases de todo el movimiento.

Las herramientas más conocidas son las siguientes:

- 5S: conjunto de actividades y técnicas utilizadas para estructurar las áreas de trabajo de tal forma que se incrementa la eficiencia, la seguridad, y el ambiente de trabajo. El acrónimo 5S proviene de los siguientes cinco términos japoneses:
 1. *Seiri* (clasificar/eliminar), hace referencia a la necesidad de contar únicamente con los útiles verdaderamente necesarios en un área de trabajo.
 2. *Seiton* (organizar), busca que exista un lugar específico para cada artículo, así como un artículo específico en cada lugar de almacenamiento.
 3. *Seiso* (limpiar), establece una metodología de limpieza que evita que la estación de trabajo presente suciedad o elementos no deseados.
 4. *Seiketsu* (estandarizar), desarrolla las condiciones de trabajo de forma que no se pueda retroceder en las tres primeras 'S'.
 5. *Shitsuke* (disciplina), permite alcanzar el máximo nivel de calidad en todos los niveles de la empresa, ya sea a nivel individual como a nivel colectivo.
- VSM (*Value Stream Mapping*): representación esquemática de cualquier proceso productivo, logístico o administrativo que permite identificar las operaciones que aportan valor y se consideran mudas, la priorización de las acciones para la mejora continua y la visualización de los defectos y desperdicios presentes en el proceso productivo. Permite la visualización del flujo material y de información, y es utilizado como base para futuras aplicaciones de otras técnicas.
- SMED (*Single Minute Exchange of Die*): herramienta que agiliza y mejora los tiempos de cambio entre los procesos, identificando las tareas internas y externas de cada proceso. La aplicación de esta herramienta mejora la sincronización de los procesos, incrementando la calidad y la productividad de estos.
- *Heijunka*: metodología que sirve para planificar y nivelar la demanda de los clientes en volumen y variedad. El objetivo es eliminar la incertidumbre que presenta la demanda de los clientes de tal forma que las fluctuaciones no penetren dentro de la empresa. Su

aplicación se traduce en una mejor respuesta frente a clientes, en la reducción del stock, y en la estabilización de la producción y la plantilla.

- *Kanban*: técnica que sirve para señalar la necesidad de fabricar, simplificando tareas administrativas y de lanzamiento de órdenes, regulando y reduciendo el nivel de stock, y facilitando la detección de los cuellos de botellas, entre otras cosas. Es un sistema de control y programación basado en tarjetas, de forma que cada tarjeta indica la orden de producción o transporte de un producto.

Los capítulos siguientes se centran en la aplicación de los conceptos claves del movimiento Lean en la planta, analizando y evaluando así el sistema de producción actual y el potencial de optimización que presenta.

3 Descripción de la empresa

3.1 Actividades Oleícolas S.A.

El proyecto se desarrolla en la empresa sevillana Actividades Oleícolas S.A., (ACOLSA). Se trata de una refinería de aceite de orujo proveniente del alperujo de la oliva, el cual es sometido a las diferentes extracciones por medios mecánicos realizados en Almazaras y por medios químicos realizados en Extractoras.

Localizada en la Ctra. Nacional IV km 550,6, 41703 Dos Hermanas (SEVILLA), fue fundada en el año 1985 y actualmente son las segundas generaciones de las familias fundadoras quienes dirigen la actividad del negocio. Hoy en día, la empresa está sufriendo grandes cambios y mejoras sustanciales debido a la fuerte demanda del aceite refinado de orujo de oliva en el mercado, como alternativa al consumo de aceite de oliva, cuyo precio se ha visto incrementado a niveles poco asequibles para la ciudadanía debido a la inflación.

El aceite refinado de orujo de oliva es un producto cuyo reconocimiento social está todavía por debajo del rendimiento que ofrece, pues es poco conocido dentro de un mundo muy competitivo, como es el del aceite. Para entender mejor en qué consiste, consideramos los siguientes aspectos del **Aceite de Orujo de Oliva**:

- **Calidad**: el aceite de orujo de oliva procede del olivar, la mejor garantía de calidad, y convierte a España en el primer productor mundial
- **Salud**: el aceite de orujo de oliva se clasifica entre las llamadas “grasas buenas” o monoinsaturadas por lo que es ideal para una dieta equilibrada. Hasta un 80% de su composición es ácido oleico y tiene un 2% de componentes bioactivos de potencial saludable
- **Sabor**: el aceite de orujo de oliva es excelente en fritura por su resistencia, acabado y durabilidad, es versátil y de sabor suave
- **Rentabilidad**: el aceite de orujo de oliva es una elección más rentable ya que resiste un gran número de frituras. Un estudio del CSIC confirma que resiste más del doble de frituras que el aceite de girasol

- **Sostenibilidad:** el aceite de orujo de oliva hace sostenible toda la producción de aceite de oliva del país. El sector orujero valoriza el 100% de los subproductos procedentes del olivar (orujo graso húmedo, aceite de orujo, biomasa (hueso y orujillo), oleínas, ácidos grasos ...)

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del gobierno de España, España es el primer país productor de dicho aceite, responsable del 59% de la producción total, además de ser también el primer país exportador del aceite de orujo, pues realiza en torno al 71% de las actividades exportadoras de este producto, teniendo presencia en más de 130 países.

En este contexto, sus fundadores y actualmente, su equipo de dirección, han hecho realidad la misión estratégica de un mayor aprovechamiento del fruto del olivar, con una sólida apuesta por la calidad como factor clave de su producción.

La refinería ubicada en Dos Hermanas (Sevilla), y para la cual se realiza este Trabajo de Fin de Grado, tiene como objetivo el refinado de lo que se conoce como **aceite de orujo crudo**, obteniendo mediante una serie de procedimientos que se detallarán más adelante, el producto principal de Actividades Oleícolas S.A., que no es otro que el **aceite refinado de orujo de oliva**.

En la siguiente sección se explicarán de forma precisa y detallada los procesos de producción que tienen lugar en la refinería sevillana de ACOLSA.

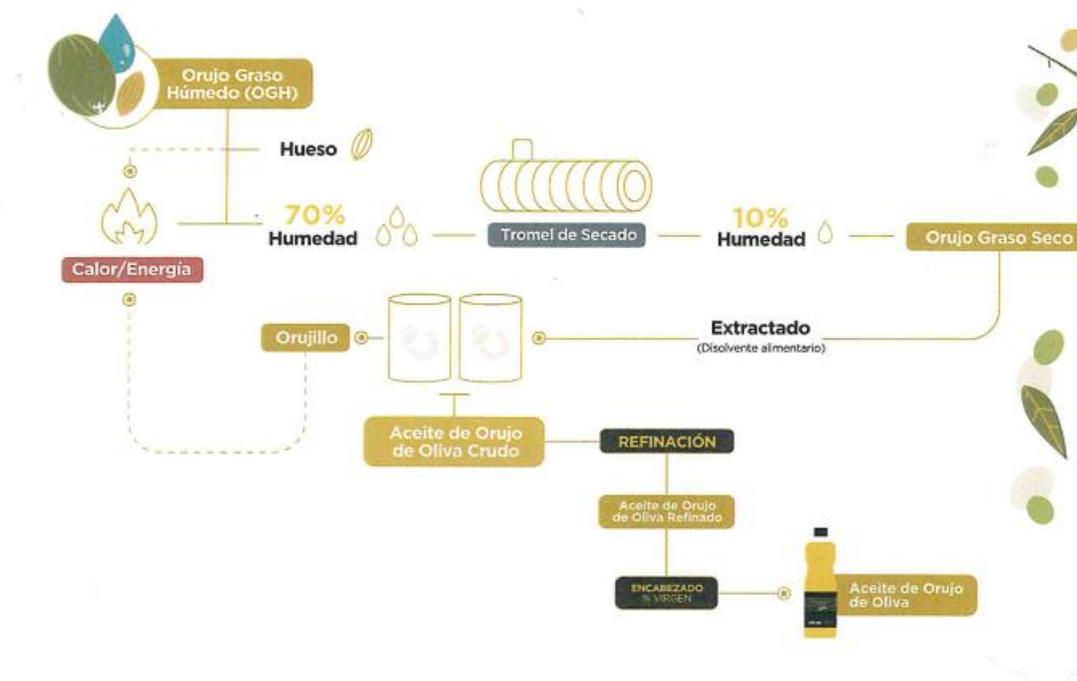


Ilustración 3: Proceso de Extracción

La situación actual de la empresa es de continuo crecimiento, llegando la producción anual de aceite refinado de orujo de oliva a los 50-60 millones de kilogramos. Esto es posible gracias a que, durante estos más de 30 años, el desarrollo como sociedad de esta empresa se ha basado en la innovación y la mejora continua de sus procesos de producción que, junto con la calidad de los productos y su vocación de servicio, les ha facilitado la apertura a nuevos mercados internacionales, consolidándose como una de las principales referencias en el sector. Además, su mentalidad innovadora, su espíritu de crecimiento y el fuerte compromiso adquirido con su entorno de producción, Andalucía (que es la región de Europa con mayor superficie agrícola destinada al olivo) permiten que la actividad de la empresa resista con cierto mérito las disminuciones de rendimiento en las últimas campañas de la aceituna del campo español como consecuencia de la sequía nacional.

El equipo de Dirección de ACOLSA ha definido unas líneas maestras de actuación dirigidas a la consecución de objetivos que aseguren el crecimiento sostenible de la compañía y su evolución, garantizando al mismo tiempo la completa satisfacción del cliente. Han entendido a la perfección la importancia del equilibrio entre los campos de innovación, calidad y servicio, pues el desarrollo de cualquiera de ellos tiene repercusiones en los otros. Esto significa que, para poder asegurar la felicidad del cliente, que se traduce en una fidelidad longeva, es determinante progresar en estos tres conceptos de forma parecida, cuando no idéntica.

En este sentido, el rumbo empresarial elegido, sustentado por el fuerte compromiso con clientes, proveedores, empleados y con la misma sociedad donde desarrollan su actividad empresarial está dirigido a:

- Garantizar la calidad de los productos.
- Satisfacer las exigencias de los clientes.
- Cumplir con los requisitos legales o reglamentarios, en especial todos los referentes a seguridad en el trabajo y protección del medio ambiente.
- Mejorar de forma continua los procesos, procedimientos y productos, como vía para crecer de forma sostenible.

Esta forma de entender el ámbito empresarial, así como los objetivos establecidos para crecer de forma sostenible y en consideración con el medio ambiente, refleja una visión integral y comprometida, demostrando una comprensión profunda de cómo estos aspectos influyen mutuamente y se reflejan en la experiencia del cliente.

Es la elección de este camino que hace tan atractivo y relevante el proyecto, pues las pautas marcadas por el consejo en los próximos años se pueden cumplir de forma más eficiente con la

aplicación de la filosofía y de técnicas *Lean*, que tienen como objeto principal la eliminación de todo aquello que no añade valor a la cadena de producto.

3.2 Proceso de refinado del aceite de orujo crudo

El aceite de orujo crudo es el resultado de la tercera y cuarta centrifugación a la que se somete el aceite de oliva virgen. También es posible obtener este tipo de aceite a partir del orujo de oliva graso húmedo (OGH), que es el subproducto de la centrifugación del aceite de oliva virgen. El orujo graso húmedo se somete entonces a un proceso de extracción, el cual se lleva a cabo en las plantas extractoras, obteniendo así aceite de orujo crudo.

El proceso de refinación del aceite de orujo crudo consta de una serie de métodos químicos y físico-mecánicos que se agrupan en los siguientes subprocesos:

1. Descarga de crudo
2. Depuración
3. Neutralización – física y química
4. Winterización
5. Decoloración
6. Desodorización
7. Carga de aceite refinado

De este modo, la aplicación de estos tratamientos de refinería permite la completa eliminación de restos de disolventes y de productos indeseados, así como el mal olor y sabor del aceite. El resultado del proceso completo es el **aceite refinado de orujo de oliva**, producto que comercializa, además de otros subproductos, nuestra empresa objeto.

3.2.1 Descarga de crudo

Todo comienza con la recepción del aceite de orujo crudo. El proceso de descarga consta de una serie de pasos estandarizados que certifican que el producto a descargar es el correcto, los cuales se deben cumplir de forma sistemática para autorizar la orden de descarga.

Toda la materia entrante en la fábrica llega en camiones cisterna, que suelen tener una capacidad de transporte de unos 25.000 kg como norma general. El horario de recepción de camiones es de **lunes a viernes de 7.00-23.00**, jornada laboral realizada en dos turnos.

Para poder autorizar su entrada en fábrica, es necesario presentar una serie de documentos, unas plantillas que se rellenan de forma sencilla y dinámica que serán revisadas y analizadas por el

técnico competente. Una vez comprobada la documentación, se procede al pesaje en báscula del camión. En caso de no cumplir con los requisitos mínimos que demuestren la autenticidad de la materia prima transportada, no se autoriza la entrada del camión hasta solucionar todos los problemas relacionados con la documentación.

Seguidamente, se toman una serie de muestras del producto entrante que serán analizadas y catalogadas en el laboratorio, comprobando el cumplimiento de todos los parámetros (acidez, índice de peróxidos, características organolépticas...) del aceite. Además, se toman unas muestras que serán lacradas y que serán entregadas al proveedor. Si el laboratorio confirma que la materia prima cumple con toda la normativa, se autoriza la descarga del camión en uno de los dos puntos de descarga que existen en la fábrica, además de asignar un depósito donde será almacenado. En

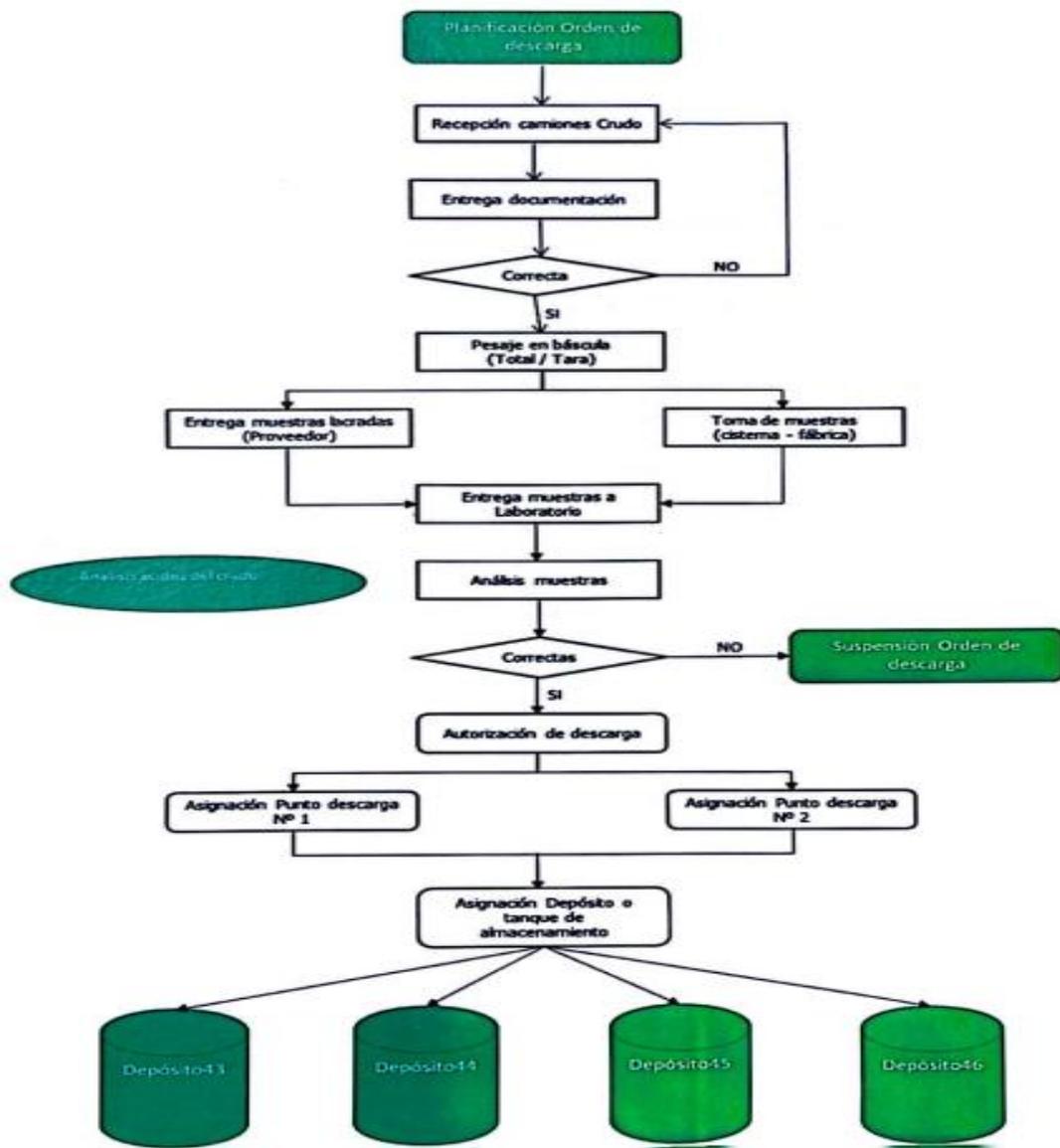


Ilustración 4: Diagrama de flujo del proceso de descarga de crudo

caso contrario, se suspende de forma inmediata la orden de descarga, denegando así la entrada del producto transportado en la fábrica.

Tiene una capacidad o, **caudal de producción nominal, de 50.000 kgs/hr** (cada una de las dos líneas de descarga), y requiere de la atención de un operario a turnos de lunes a Viernes, cuyos turnos de trabajo se reparten en dos turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00).

El diagrama de flujo en la página anterior muestra el proceso completo de forma visual.

3.2.2 Depuración-Lavado

La depuración se puede considerar la primera etapa del proceso de refinación del aceite de orujo crudo, pues es el inicio de las transformaciones químicas que sufrirá el aceite en este proceso. El objetivo principal es la eliminación de las impurezas y componentes no deseados presentes en el aceite crudo.

Puesto que la función de este subproceso es excluir del aceite aquellas impurezas indeseadas, la depuración consiste en una filtración exhaustiva, llegando incluso a eliminar compuestos deseables, como es el caso de las proteínas. De este modo, la depuración es la etapa del proceso de refinación del aceite de orujo crudo donde se filtran todo tipo de sustancias presentes - restos de piel, fragmentos de pulpa de aceituna o pequeñas partículas de tierra o arena frecuentes en el orujo crudo - que pueden haber sido arrastrados durante la extracción del aceite.

El proceso Depuración – Lavado consta de los siguientes pasos:

1. Se bombean los lotes de aceite (cada uno de 650tn) desde los depósitos de crudo (depósitos 43, 44, 45 y 46) hasta el inicio del circuito.
2. Se filtra el aceite en un filtro de cestilla duplicado en paralelo para no perjudicar el flujo continuo de crudo – mientras uno está en funcionamiento, el otro filtro se limpia.
3. El aceite se introduce en dos intercambiadores en serie: el primero es un intercambiador aceite-aceite, donde se incrementa la temperatura del aceite crudo mediante el intercambio de calor con el aceite depurado final (presenta una temperatura de 60º-80ºC), mientras que el segundo es un intercambiador aceite-vapor que aumenta la temperatura del crudo a los 70ºC.
4. Se añade ácido fosfórico (H_3PO_4) mediante una bomba dosificadora y se conduce el flujo a una mezcladora de cuchillas con la intención de mejorar su uniformidad.
5. El aceite llega a un reactor, donde se agita el aceite con el ácido para conseguir la homogenización de su mezcla. En el proceso de agitación se obtienen pastas-aguas, las

- cuales son bombeadas a los depósitos asignados para su posterior venta como subproducto.
6. Se eleva la temperatura de la mezcla a 80°C en una caldera.
 7. Se bombea el aceite (en función de la ocupación de la caldera anterior) hacia un separador centrífugo, donde se lava el aceite con un caudal de entrada de agua caliente de 250 l/hr.
 8. Se repite el proceso de agitación y lavado en otro reactor y en otra máquina centrífuga, obteniendo nuevas pastas-grasas que se almacenan junto a las otras.
 9. El flujo se dirige hacia el intercambiador aceite-aceite del principio, para reducir la temperatura del aceite depurado y aumentar la temperatura del aceite crudo.
 10. El aceite se considera depurado y lavado, y se impulsa hacia los depósitos 8,10, 11, 34, 35 y 36, donde esperaran para entrar en el siguiente proceso.

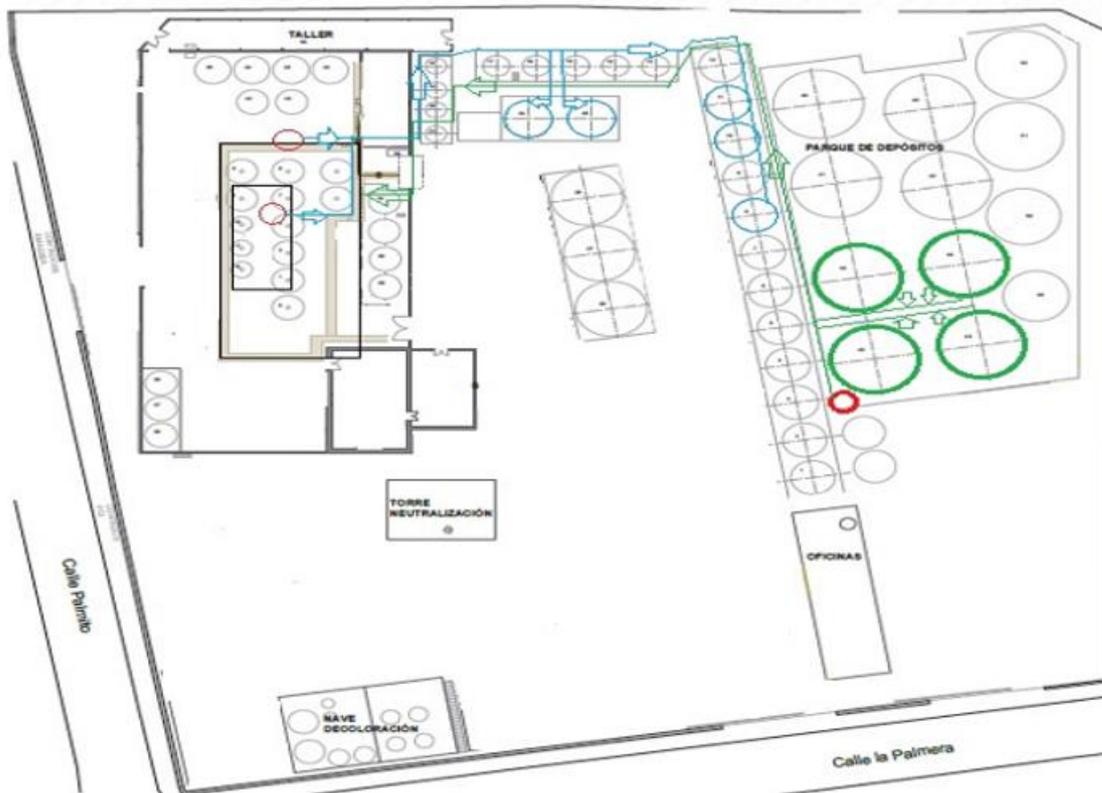


Ilustración 5: Esquema del proceso de depuración

Tiene una capacidad o, **caudal de producción nominal, de 15.000 kgs/hr**, y requiere de la atención de un operario a turnos de Lunes a Domingo, cuyos turnos de trabajo se reparten en tres turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00 / 23.00-7.00).

3.2.3 Neutralización

Este proceso tiene como objeto reducir la acidez del aceite. Esto se puede conseguir mediante dos alternativas:

3.2.3.1 Neutralización Física

Es la alternativa más empleada, pues consigue reducir la acidez del aceite unos 10^º - el aceite de entrada presenta una acidez de 8-10^º mientras que la acidez del aceite saliente ronda los 1-1, 5^º.

La neutralización se produce de forma física, y tiene lugar en la torre de destilación de procesado, la cual presenta una altura de 75 metros. En este proceso se reducen de forma considerable los residuos resultantes del proceso y se obtiene una gran cantidad de ácidos grasos, uno de los subproductos comercializados por la fábrica que serán almacenados en los depósitos correspondientes.

El proceso de neutralización física es el siguiente:

1. Se bombea el aceite desde los depósitos de depurado (depósitos 8,10, 11, 34, 35 y 36) hasta la entrada en el circuito.
2. Se eleva la temperatura del lote de aceite pasando por dos intercambiadores en serie: el primero es un intercambiador aceite-aceite, donde se emplea el aceite de salida de este proceso, el aceite neutralizado, para intercambiar calor con el aceite de entrada para aumentar su temperatura, mientras que el segundo es un intercambiador aceite-vapor, en el que se emplea vapor para seguir aumentando la temperatura del aceite depurado.
3. El aceite sigue hacia un deshidratador que trabaja a una presión de 40mbar eliminando el hexano (C₆H₁₄) y los restos de agua.
4. Se recalienta el aceite en un segundo intercambiador aceite-aceite (vuelve a emplear el aceite de salida como flujo de calor).
5. Se tratan los éteres del aceite y se evaporan los ácidos grasos en un evaporador que trabaja a una presión de 0,27mbar y a una temperatura de 180^ºC.
6. El aceite se considera ya neutralizado, y pasa por el intercambiador aceite-aceite del comienzo del proceso y por un intercambiador aceite-agua para disminuir su temperatura.
7. El aceite neutralizado se almacena en los depósitos de neutralizado (depósitos 50, 51 y 52).

3.2.3.2 Neutralización Química

Opción que requiere de cambios en los procesos de depurado y lavado, pues la neutralización química se puede considerar como un subproceso dentro del proceso conjunto de Depurado – Neutralizado – Lavado.

La neutralización química consigue la eliminación casi total de la acidez del aceite, pues consigue un aceite neutralizado con una acidez en torno a 0,6 – 0,8º. Esto se debe al efecto que produce la adición de sosa (NaOH), que consigue separar los ácidos grasos del aceite. A pesar de presentar un resultado con menor acidez que la neutralización física, esta alternativa es menos empleada debido a los cambios que se deben realizar en el proceso.

Los cambios que se deben implementar en el proceso de Depurado – Lavado para conseguir una neutralización química del aceite son los siguientes (consultar el proceso Depurado – Lavado para ubicar cada uno de los cambios dentro del proceso):

- Una vez la mezcla homogénea de aceite y ácido fosfórico (H_3PO_4) sale del reactor, se añade sosa (NaOH), agua (H_2O) y salmuera antes de entrar en la caldera, donde se unifica la mezcla y se calienta hasta una temperatura de 90°C.
- El aceite se dirige entonces hacia el separador centrífugo, en el que se lava el aceite de forma análoga a como se explicó en el proceso de Depurado – Lavado, con la diferencia de que el agua caliente es impulsada con un caudal de 800-1000 l/hr – en el proceso individual, la cantidad de agua con la que se lavaba el aceite era de 250 l/hr. En el proceso de lavado se siguen obteniendo pastas, las cuales se almacenan en los depósitos 5, 6, y 7 para venderlas como subproductos. El proceso termina una vez el lote de aceite llega a los depósitos de neutralizado (depósitos 50, 51 y 52).

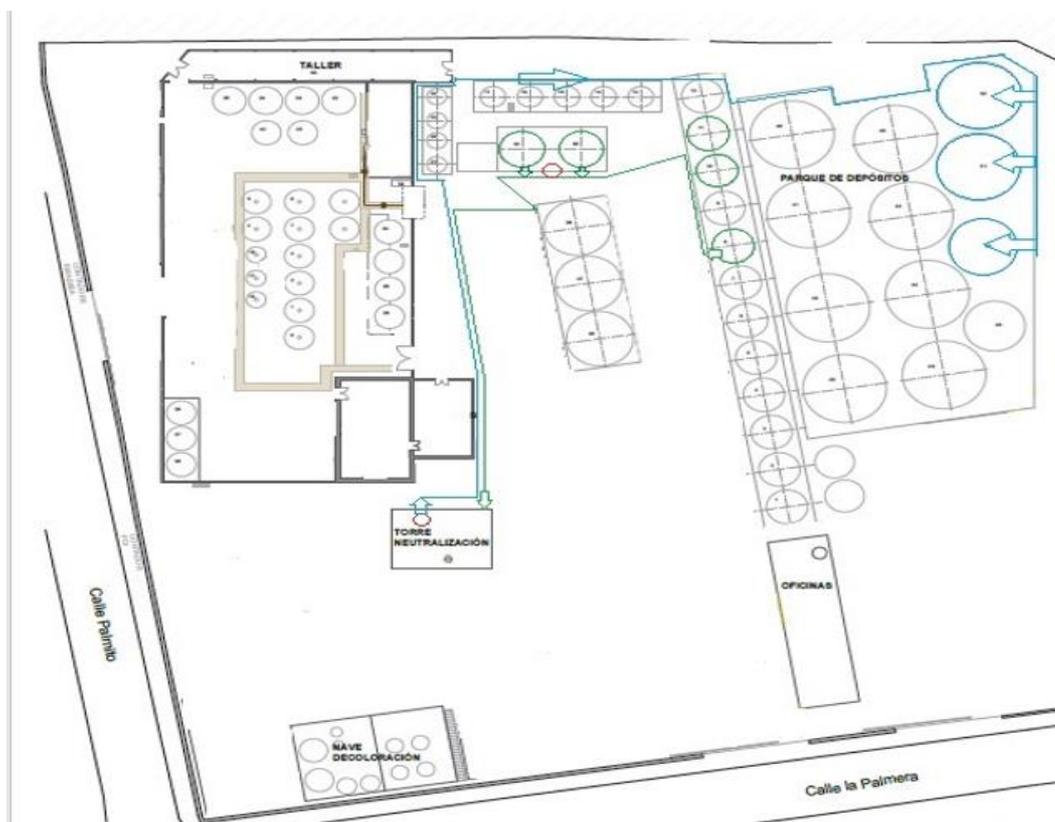


Ilustración 6: Esquema del proceso de neutralización

El proceso de neutralización, independientemente de la opción utilizada, tiene una capacidad, o **caudal de producción nominal, de 8.500 kgs/hr**, y requiere de la atención de dos operarios a turnos de Lunes a Domingo, cuyos turnos de trabajo se reparten en dos turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00 / 23.00 – 07.00).

3.2.4 Winterización

El aceite de orujo de oliva contiene compuestos como triglicéridos y ceras (alcoholes grasos de cadena larga) que tienen un alto punto de fusión. Estos componentes tienden a cristalizarse a temperaturas bajas, lo que resulta en la opacidad del aceite. Para eliminar estos elementos no deseados, se lleva a cabo el proceso de winterización.

La winterización es un método de cristalización fraccionada en el que la temperatura, el tiempo y la agitación desempeñan un papel crucial en la naturaleza y la formación de los cristales. Estos cristales se separan luego mediante un proceso de centrifugación. Para lograr esto, el aceite se enfría utilizando agua y glicol, lo que provoca que los triglicéridos se solidifiquen y puedan ser separados.

Es esencial tener un control adecuado de los jabones que se forman durante el proceso y de la cantidad de sosa añadida. Esto se logra mediante una proporción precisa de sosa cáustica, agua y ácido fosfórico, lo que determina las características del aceite procesado.

El proceso de winterización es el más extenso, y se puede definir de la siguiente forma:

1. Se bombea el aceite desde los depósitos de neutralizado (depósitos 50, 51 Y 52) hasta la entrada en el circuito.
2. El aceite pasa por un intercambiador aceite-agua y se almacena en un depósito intermedio antes de ser impulsado a un intercambiador aceite-glicol que, a diferencia de los otros intercambiadores, consigue reducir la temperatura del aceite a los 8º-9ºC, para posteriormente ser de nuevo almacenado en otro depósito intermedio. Cabe destacar la sensibilidad del intercambiador aceite-glicol a atascarse, por lo que dispone de una entrada de vapor para su limpieza.
3. El óleo se dirige a cuatro calderas en serie a través de vasos comunicantes por rebose, siendo el caudal controlado por una bomba en función de la altura de la última caldera. Es en esta cuarta caldera donde se añade sosa cáustica (NaOH).
4. El producto se bombea hacia una quinta caldera donde se añade agua (H₂O), y se manda a un intercambiador aceite-agua, donde el agua utilizada ha sido calentada en un intercambiador agua-vapor.

5. El aceite entra en una máquina centrífuga donde el caudal de entrada del agua es de 1250 l/hr. De aquí se obtiene de nuevo pastas, que serán almacenadas para su posterior venta como subproducto.
6. El proceso continúa en otra caldera donde se añade agua a una frecuencia de 600 l/hr, antes de pasar por un intercambiador aceite-agua.
7. El aceite pasa por dos intercambiadores en serie: el primero es un intercambiador aceite-aceite, donde se emplea el aceite no centrifugado, y el segundo es un intercambiador aceite-vapor, que eleva la temperatura del aceite a los 72°C.
8. Se añade agua (H₂O) y ácido fosfórico (H₃PO₄) para entrar en la siguiente máquina centrífuga.
9. Se impulsa el aceite a un intercambiador aceite-aceite, que regula su temperatura.
10. El aceite se considera winterizado y presenta una acidez de 0, 13^o-0, 19^o. Se almacena en los depósitos 37, 38, 39, 40, 41 y 42.

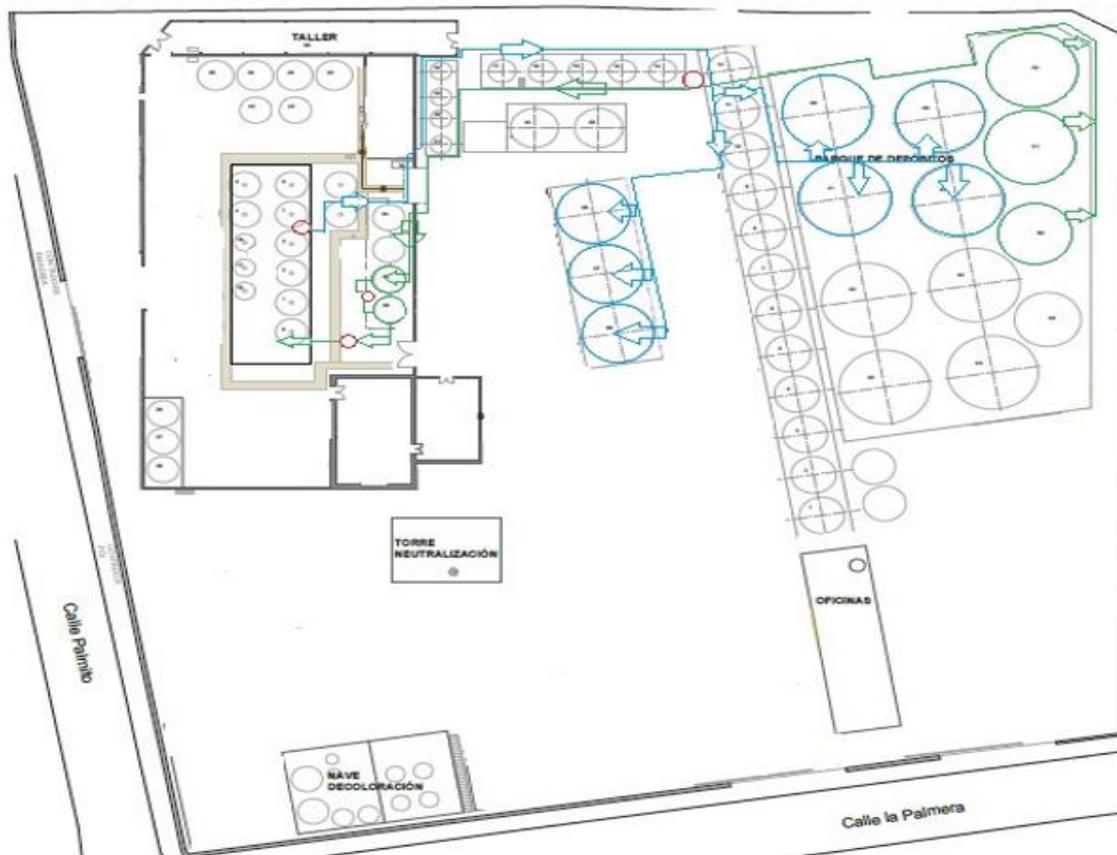


Ilustración 8: Esquema del proceso de winterización

A pesar de que el aceite se considera winterizado, este proceso incluye un segundo lavado a continuación. Este proceso de lavado consiste en:

1. Impulsar el aceite desde los depósitos 37, 38, 39, 40, 41 y 42 hasta dos intercambiadores en serie. El primero es un intercambiador aceite-aceite, donde el aceite winterizado se atempera gracias al intercambio de calor que se produce con el aceite procedente de la línea de desodorización, mientras que el segundo es un intercambiador aceite-vapor, que eleva la temperatura del aceite a los 110°C.
2. Se añade ácido fosfórico (H_3PO_4) y agua mediante dos bombas que se regulan de forma manual en función de las necesidades del aceite tratado.
3. Se mezcla todo en una máquina centrífuga.
4. Se dirige el aceite mezclado a un intercambiador aceite-vapor para elevar su temperatura a los 105°C.
5. El flujo es deshidratado en un secador para eliminar los restos de humedad originados en los intercambiadores con vapor.
6. El aceite ya es winterizado y está lavado, por lo que se procede a su almacenamiento en los depósitos 16 y 17.



Ilustración 9: Segundo lavado - winterización

Este aceite winterizado y que será bombeado a la línea de decoloración, presenta una mayor acidez que el winterizado intermedio (0, 3^o-0, 4^o) debido a la adición de ácido fosfórico durante el segundo lavado.

Tiene una capacidad, o **caudal de producción nominal, de 9.000 kgs/hr**, y requiere de la atención de un operario a turnos de Lunes a Domingo, cuyos turnos de trabajo se reparten en dos turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00 / 23.00 – 07.00).

3.2.5 Decoloración

La clorofila y los carotenos son los compuestos responsables de la coloración del aceite de orujo de oliva, por lo que el proceso de decoloración tiene como objetivo su eliminación. Se trata de un proceso de absorción con tierras decolorantes (en su mayoría arcilla) a unos 100°C y carbón activo que, a través del filtrado del aceite, se obtienen los tonos requeridos y característicos de cada aceite.

En este proceso se llevan a cabo los pasos conocidos como *paso atrás* y *paso adelante* a la hora del filtrado del aceite. Estos pasos se definen como:

- Paso atrás: el aceite sin decolorar se cuela por un filtro usado previamente para filtrar aceite decolorado (deja restos de tierras presentes en el filtro) con la intención de aprovechar la máxima capacidad del filtro y eliminar algunas impurezas del aceite.
- Paso adelante: el aceite decolorado se cuela por un filtro nuevo una vez superado todo el proceso de decoloración, quitando así los restos de tierra que existan en el aceite como consecuencia del uso de estas tierras durante el proceso.

Con estos dos conceptos definidos, el proceso de decoloración completo sigue el siguiente orden:

1. Se bombea el aceite winterizado-lavado desde los depósitos 16 y 17 hasta el inicio del circuito.
2. El aceite llega a un intercambiador aceite-vapor, que eleva la temperatura del flujo a los 90°C.
3. El flujo se dirige a los filtros donde se realizan las operaciones de paso atrás y paso adelante previamente explicados.
4. El proceso de decoloración en sí comienza con el almacenaje del óleo en unos depósitos, antes de ser bombeados a un intercambiador aceite-vapor, que eleva su temperatura a los 105°C.

5. El aceite entra en el proceso de decoloración, compuesto por tres decoloradoras en serie. En ellas se añade la dosis de carbón y tierra necesarias según el aceite mediante unas tolvas.
6. El tiempo de reacción del aceite es de una hora aproximadamente, por lo que se deja reposar.
7. El proceso continúa filtrando nuevamente el aceite decolorado mediante el paso adelante, por lo que el filtro usado no ha sido utilizado todavía.
8. Se filtra una última vez este aceite en el filtro conocido como aluvión.
9. El aceite se considera decolorado y se bombea a los depósitos 26, 27 y 28 para su almacenamiento.

Las distintas tonalidades que presenta el aceite decolorado se corresponden con los distintos resultados que se pueden alcanzar en este proceso. Las cantidades de tierra y carbón suministradas en las decoloradoras dependen de las características del aceite que se pretende producir, así como de las distintas directrices del jefe de producción.

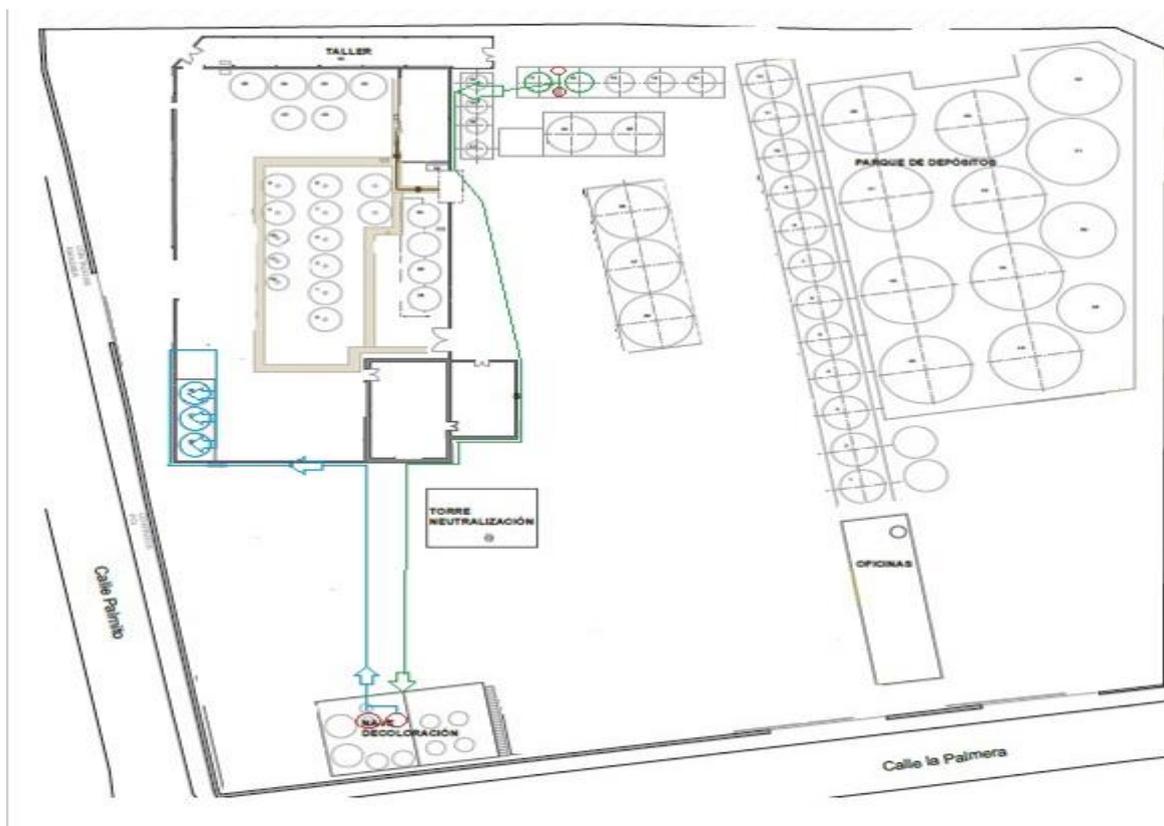


Ilustración 10: Esquema del proceso de decoloración

Tiene una capacidad, o **caudal de producción nominal, de 10.000 kgs/hr**, y requiere de la atención de dos operarios a turnos de lunes a Domingo, cuyos turnos de trabajo se reparten en dos turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00 / 23.00 – 07.00).

3.2.6 Desodorización

La desodorización se encarga de la extracción de ácidos grasos libres y sustancias presentes en el aceite decolorado que dan olor y sabor al óleo. El proceso consiste en la inyección de vapor seco a contracorriente, en condiciones de alto vacío y a unas temperaturas que alcanzan los 200º-250ºC.

El proceso de desodorización consta de los siguientes pasos:

1. Se impulsa el aceite decolorado almacenado en los depósitos 26, 27 y 28 hasta la entrada del circuito.
2. Se atempera la temperatura de este aceite con un intercambiador aceite-vapor.
3. Se reduce la humedad del aceite con la entrada de este en un desgasificador (secador).
4. El aceite llega al post-desodorizador, que actúa como un intercambiador aceite-aceite utilizando el aceite desodorizado final como fuente de calor.
5. Se conduce el aceite al pre-desodorizador, donde se aumenta su temperatura de forma considerable ya que intercambia calor con aceite térmico.
6. El flujo caliente se bombea hacia el desodorizador, donde alcanza temperaturas en torno a los 280ºC y ocurre el proceso de desodorización por rebose dentro de las placas de la máquina.
7. Se añade ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) y nitrógeno (N_2).
8. Se conduce la mezcla a dos intercambiadores, uno aceite-aceite y otro aceite-agua, con el fin de disminuir la temperatura del flujo.
9. Se cuele el flujo en un filtro de condón duplicado en paralelo para evitar posibles atascos.
10. Existe la posibilidad de bombear el aceite a un intercambiador aceite-glicol para reducir su temperatura a los 24º-26ºC – opción que se utiliza cuando el cliente demanda el aceite para envasado directamente.
11. El aceite se considera aceite refinado de orujo de oliva y se almacena en los depósitos 2, 3, 4, 12, 22, 23, 24, 25, 47, 48 y 49 para su futura comercialización.



Ilustración 11: Esquema del proceso de desodorización

El proceso de desodorización produce ácidos grasos que serán almacenados para su posterior venta como subproducto. Estos ácidos se extraen durante los subprocesos de pre-desodorizador, desodorizador y post-desodorizador como consecuencia de las altas temperaturas que se alcanzan. Los ácidos grasos extraídos se purifican en un lavador de grasos (se eliminan los restos de humedad).

Tiene una capacidad, o **caudal de producción nominal, de 6.500 kgs/hr**, y requiere de la atención de dos operarios a turnos de lunes a Domingo, cuyos turnos de trabajo se reparten en tres turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00 / 23.00 – 07.00).

3.2.7 Carga de refinado

El último paso del proceso productivo del aceite refinado de orujo de oliva es la carga de este en los camiones cisterna, que pondrán rumbo a las instalaciones de los clientes de ACOLSA.

El proceso en sí consta de los siguientes pasos:

1. Subir al camión para inspeccionarlo y comprobar que está apto para su carga.
2. Antes de subir al camión es obligatorio enganchar el arnés de seguridad al retráctil instalado a tal fin, tanto para personal propio como transportistas.
3. Revisión de colector del camión.
4. Colocación de mangueras de carga en soportes (nunca se deberán depositar en el suelo).
5. Una vez cargado el camión, se deberá muestrear la carga con el útil destinado a tal fin (sable).
6. Una vez finalizada la carga es obligatorio la colocación de los tapones en las mangueras.
7. En la última carga del día, los tapones de las mangueras serán precintados.



Ilustración 12: Esquema del proceso de carga de refinado

El proceso de carga tiene una capacidad, o **caudal de producción nominal, de 35.000 kgs/hr**, y requiere de la atención de un operario a turnos de lunes a Viernes, cuyos turnos de trabajo se reparten en dos turnos de 8 horas (7.00-15.00 / 15.00-23.00).

3.3 Organigrama actual

Se muestra a continuación el organigrama que define la estructura y el modo de funcionamiento de la empresa. Se trata de un organigrama integral y vertical representado en forma esquemática.

En el esquema se observan los niveles de jerarquía y responsabilidad, los departamentos existentes que conviven e interactúan, los puestos de trabajo, las tareas de las empresas externas... En definitiva, se trata de una captura de la parte administrativa de todo el recinto, y será de gran utilidad para entender el funcionamiento y el modo de gestión con el que se rige la planta.

Un entendimiento sólido y completo del organigrama y de la estructura administrativa permite que el campo de análisis este mejor fundamentado, y no se limite únicamente al estudio de la disposición de los equipos técnicos.

En consecuencia, el estudio y la evaluación de la eficiencia de los procesos productivos, así como la determinación de posibles aplicaciones Lean dentro de la refinería, están fuertemente vinculados a la necesidad de comprender y visualizar el reparto y la distribución de los recursos humanos disponibles.

La página a continuación muestra el organigrama completo que mencionamos.

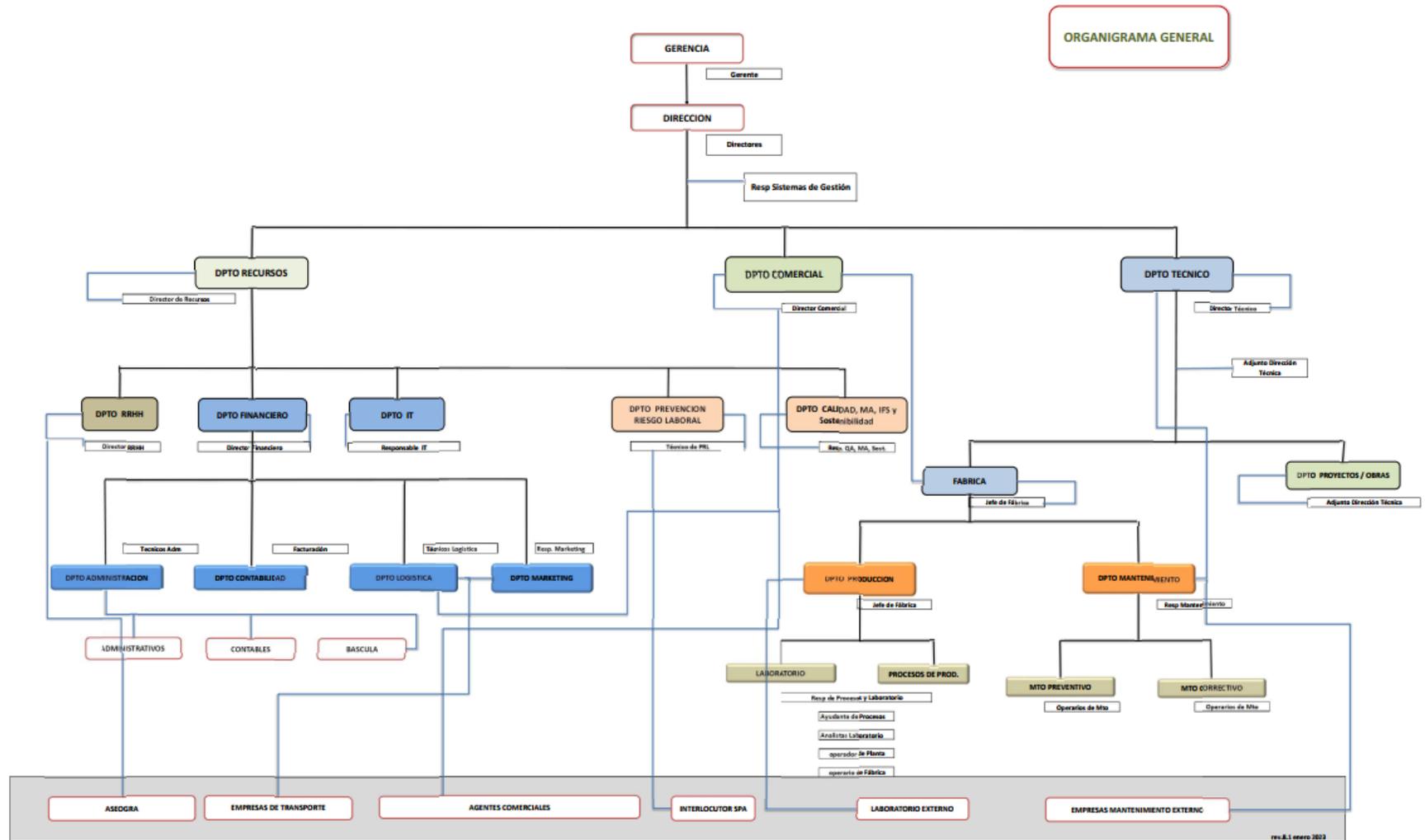


Ilustración 13: Organigrama

La distribución y el orden de jerarquías existente en la fábrica se pueden observar claramente en el organigrama presentado. Con la intención de resumir toda la información contenida en dicho esquema, podemos destacar los siguientes puntos:

- El consejo de Dirección, responsable de establecer la visión y misión de la empresa, así como de los objetivos y la planificación en el largo plazo, responde directamente a la figura del *gerente*.
- Existen tres grandes departamentos: el *departamento de recursos*, el *departamento comercial*, y el *departamento técnico*.
- El departamento de recursos es el departamento más amplio de los tres y, por consiguiente, es el departamento que más personal necesita.
- Cada departamento está liderado por la figura del *director*, a excepción del departamento técnico, que cuenta además con el liderazgo de la figura de *adjunto dirección técnica*.
- El departamento comercial es el departamento menos extenso de los tres departamentos, y está compuesto por agentes comerciales subcontratados de segundas empresas que responden a la figura del director.
- El departamento técnico es el encargado de la gestión de operaciones dentro de la fábrica, así como de los proyectos y obras que se lleven a cabo, por lo que será en su mayoría nuestro foco de estudio. Están incluidos dentro de este producción, mantenimiento y laboratorio.
- Existen numerosas empresas subcontratadas por ACOLSA para llevar a cabo distintas tareas y responsabilidades, como la comunicación con el interlocutor de las SPA (Servicios de Prevención Ajenos) o las tareas de manutención de los equipos y maquinaria (mantenimiento preventivo).

Dentro del organigrama presentado, se pueden observar distintos perfiles de operarios y trabajadores con los que cuenta la planta actualmente. Todos estos perfiles de trabajadores desempeñan distintas responsabilidades en su día a día. No obstante, de entre todas estas figuras, son de gran interés las figuras de operador de planta y operador de fábrica, pues son los recursos humanos destinados a los procesos de producción, los cuales serán en gran medida parte de nuestro estudio.

El operador de planta es el encargado de la monitorización mediante SCADA de los procesos de neutralización, decoloración y desodorización, evaluando y comprobando que el proceso sigue el funcionamiento deseado. Desde estas pantallas se gestiona todo el flujo de aceite en cada uno de los procesos, lo que permite realizar un seguimiento a tiempo real del lote tratado. El operador de planta, además, tiene bajo su responsabilidad al operario auxiliar, que desempeña distintas tareas, según vaya demandando la situación, por todo el recinto.

El operador de fábrica, por otro lado, es el encargado de la monitorización mediante SCADA de los procesos de depuración y winterización, evaluando y comprobando que el proceso sigue el funcionamiento deseado. Además, desempeña tareas en campo debido a la necesidad de funcionamiento de los equipos en estos dos procesos.

3.4 Disposición de la planta

La división y distribución de la parcela para una mejor contextualización de toda la planta es la siguiente:

3.4.1 Sector 1 – Nave fabricación

El primer sector se corresponde con la nave de fabricación, espacio donde tiene lugar la mayor parte del proceso productivo. Tiene una extensión de 1.517,60 m², e incluye las zonas de control, las oficinas de producción, las salas de calderas y el laboratorio. La nave es de una sola planta en su mayoría, aunque las oficinas de producción se encuentran encima del laboratorio.

Aquí se llevan a cabo los procesos de depuración, winterización y desodorización. En su interior dispone de un total de 9 depósitos (los depósitos 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30) siendo el resto de las máquinas reactores y calderas. La sala de comedor, los vestuarios, y la zona de lavado de material no se incluyen dentro de este sector al carecer de relevancia en el proceso productivo.

3.4.2 Sector 2 – Parque de depósitos

Este sector conforma gran parte de la zona exterior dentro del recinto de la fábrica. Este espacio es ocupado por depósitos (en total 34 depósitos), ya sean para almacenar aceite de orujo crudo, aceite refinado de orujo, pastas-grasas o agua, como para servir de trasiego entre los procesos. Tiene una superficie total de 2.060,00 m², y el tránsito de personas en este espacio es escaso, pues todo transcurre a través de tuberías y no se requiere la atención de personal.

3.4.3 Sector 3 – Oficinas

La oficina central se encuentra en la entrada principal de la fábrica y enfrente de la báscula, pues es aquí donde se autoriza la entrada y descarga de los camiones que traen la materia prima. El edificio ocupa una superficie de 125,00 m², y tiene dos plantas. Aquí se encuentran los despachos de gerencia, las salas de conferencia del consejo de dirección, y los puestos de todos aquellos trabajadores con labores administrativas – contables, administrativos, recursos humanos, etc.

3.4.4 Sector 4 – Torre de neutralización y depósitos

El cuarto sector se caracteriza por la presencia de la torre de neutralización, imagen característica de la fábrica. La neutralización es de aquellos procesos que ocurren fuera de la nave, y dispone de una torre de 75 metros de altura para el proceso completo, dividida en tres plantas y ocupando un espacio de 74,85 m².

Este sector está compuesto también por aquellos depósitos destinados a compuestos químicos necesarios en los procesos durante la refinación del aceite, como son el ácido fosfórico (depuración), la sosa cáustica y el agua. Además, se incluye también la zona de carga de pastas (subproducto de la fábrica). En total, suma un terreno de ocupación de 173,89 m².

3.4.5 Sector 5 – Decoloración

El último sector es el destinado al proceso de la decoloración, otro de los procesos que no tiene lugar dentro de la nave industrial. El espacio destinado para ello es de 148,46 m². Este proceso requiere una nave propia, donde se encuentran los filtros que permiten la entrada de arena en el aceite para obtener el color deseado, así como de una nave contigua destinada al almacén de dicha arena. También se incluyen los aseos destinados al uso de los trabajadores encargados de esta parte del proceso productivo.

3.4.6 Parcela restante

En esta sección se recoge toda la parte de la parcela que no se ha incluido dentro de ninguno de los cinco sectores principales. Destaca la zona de carga de aceite refinado, la descarga de aceite de orujo crudo, la zona de parking, la báscula, los depósitos de nitrógeno y de sosa, y el depósito de reserva PCI y la sala de máquinas PCI. Esta zona es, en su mayoría, la zona por donde transitan los camiones dentro de la fábrica, como era fácil de predecir. Por tanto, no es extraño que sea la zona más extensa de las mencionadas, llegando a ocupar una superficie total de 6.195,96 m².

La siguiente página contiene un plano general de toda la planta, separando por colores los distintos sectores establecidos en este trabajo.

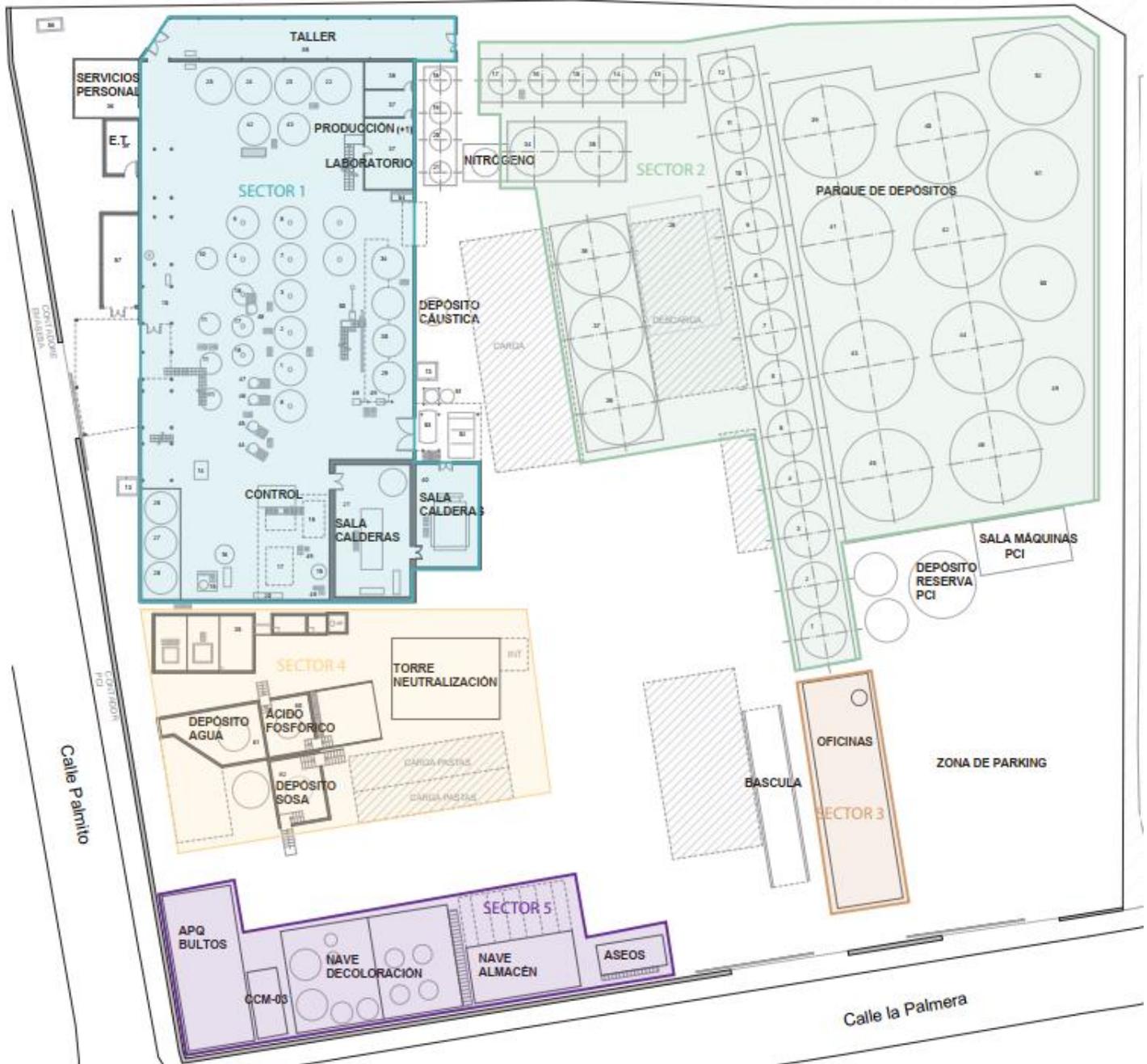


Ilustración 14: Plano general de la planta

4 Análisis y Evaluación de la Eficiencia de la línea de producción mediante el OEE

Este capítulo se centra en determinar la eficiencia de la línea de producción en la refinería, analizando y evaluando los siete procesos principales: la descarga de crudo, la depuración, la neutralización, la winterización, la decoloración, la desodorización y la carga de refinado.

Para ello, se utiliza el concepto de *OEE* como indicador de la eficiencia de los procesos. Este concepto es muy reconocido dentro del movimiento *Lean*, y presenta numerosas ventajas para la empresa. No obstante, el cálculo del *OEE* requiere de un conocimiento profundo del funcionamiento de los procesos, y requiere estudiar qué paradas se llevan a cabo en una jornada de trabajo, es decir, que tiempo es improductivo y a qué debe su causa dentro del tiempo disponible de trabajo.

El procedimiento seguido para el cálculo del *OEE* de los distintos procesos es el siguiente:



Ilustración 15: Etapas en el cálculo del OEE

Se detalla a continuación este concepto nuevo y se procede a calcular la eficiencia de los procesos mencionados.

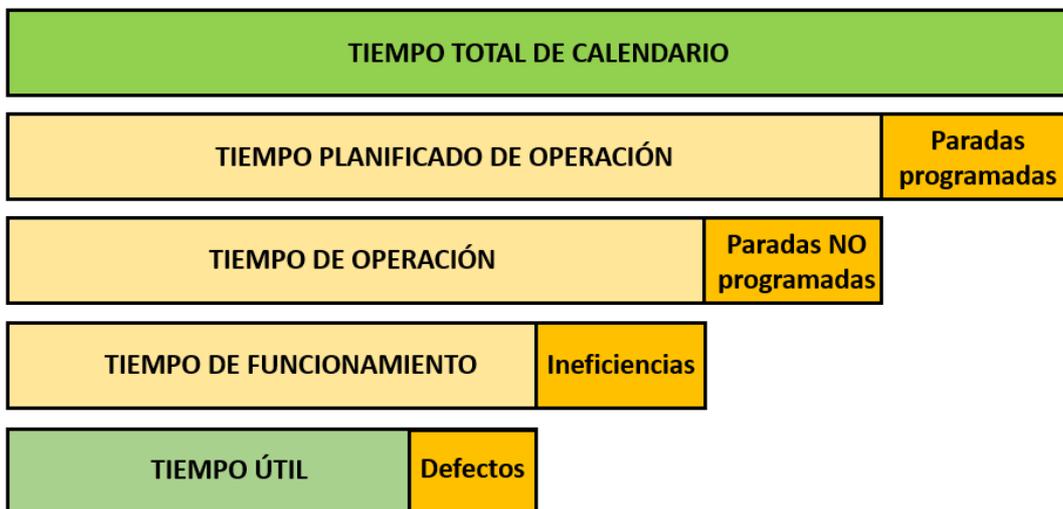
4.1 Definición de OEE

El acrónimo *OEE* proviene del término inglés *Overall Equipment Efficiency*, que significa *Eficiencia Global de los Equipos*. Este concepto actúa como un indicador de la eficiencia de los procesos productivos dentro de la industria.

El *OEE* es considerado como una de las herramientas más útiles dentro del movimiento de mejora continua gracias a su capacidad de cuantificación de la productividad y eficacia de los procesos industriales. La cuantificación de la productividad permite establecer planes de producción que se ajusten a los objetivos marcados por la entidad, pues únicamente lo medible es fácilmente gestionable y mejorable, y de ahí su importancia. Es por ello que este indicador es frecuentemente utilizado como herramienta para identificar ineficiencias y despilfarros dentro del sistema productivo.

Para entender el concepto de *OEE*, es necesario conocer que existen seis grandes pérdidas de tiempo dentro de un proceso productivo (averías/paradas, configuración y ajustes, paradas menores, reducción de la velocidad, defectos y retrabajos, y defectos en el arranque) que permiten diferenciar tres conceptos claves: **disponibilidad, rendimiento y calidad**.

Estos tres conceptos son función de los distintos tiempos cuantificables en cualquier proceso. Estos tiempos son los siguientes:



El

Ilustración 16: Tiempos cuantificables en los procesos productivos

concepto *OEE* es la multiplicación directa de la disponibilidad que presenten los procesos, el rendimiento de funcionamiento y la calidad que ofrecen:

$$OEE = D \cdot R \cdot Q \quad (1)$$

Se detalla a continuación estas tres ideas:

DISPONIBILIDAD: la disponibilidad se define como el tiempo de funcionamiento real de las máquinas dentro de los procesos, o lo que es lo mismo, el tiempo disponible real del que se dispone para la producción. Se puede calcular como:

$$\text{Disponibilidad } (D) = \frac{\text{Tiempo de Operación}}{\text{Tiempo Planificado de Operación}} \quad (2)$$

RENDIMIENTO: el rendimiento de un proceso productivo se define como la cantidad producida – en este caso, cuantos kilogramos produce cada proceso dentro de un tiempo determinado – frente a la cantidad máxima teórica que podría producir. Se puede expresar en función del tiempo de funcionamiento como:

$$\text{Rendimiento } (R) = \frac{\text{Tiempo de Funcionamiento}}{\text{Tiempo de Operación}} \quad (3)$$

o en función de la cantidad producida, de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento } (R) = \frac{\text{Kgs producidos}}{\text{Kgs teóricos producidos} \cdot \text{Tiempo de Operación}} \quad (4)$$

CALIDAD: la calidad mide el porcentaje del producto producido dentro de los estándares y objetivos de calidad impuestos por la entidad frente a la cantidad total de producto producida. Al igual que la disponibilidad y el rendimiento, se puede obtener mediante el estudio de tiempos, y su expresión es la siguiente:

$$\text{Calidad } (Q) = \frac{\text{Tiempo Efectivo}}{\text{Tiempo de Funcionamiento}} \quad (5)$$

No obstante, debido a que el proceso de la refinación del aceite es un proceso continuo donde se hace un uso constante de aceite ya procesado (por ejemplo, en la decoloración) que sirve para un intercambio térmico entre el aceite entrante y saliente del proceso, se omite el concepto de calidad, pues no existe forma alguna de cuantificar este concepto.

Estos tres conceptos dependen directamente de las pérdidas de tiempo que presente la línea productiva. Estos seis grandes desperdicios de tiempo se pueden agrupar dentro de los siguientes campos:

- Paradas programadas: interrupciones planificadas deliberadamente para realizar mantenimiento, ajustes o cambios en los equipos y maquinaria, con el fin de optimizar su funcionamiento y prevenir posibles problemas o averías.
- Paradas NO programadas: detenciones no planificadas necesarias para que el proceso pueda continuar funcionando de forma correcta. Se incluyen las paradas registradas, los tiempos de cambio y las averías.
- Ineficiencias: desperdicios de tiempo, como las micro paradas y las ralentizaciones, que impiden que el proceso productivo alcance su máxima capacidad productora.
- Defectos: producto que no cumple los estándares de calidad impuestos por el proceso, como son los retrabajos. Este concepto pierde relevancia en la refinería de aceite pues no existe la posibilidad de que el aceite refinado final no cumpla los mínimos de calidad.
- Tiempo útil: parámetro introducido que refleja el tiempo productivo real de nuestra línea de producción considerando todas las paradas de tiempo mencionadas anteriormente.

La identificación y definición de las paradas realizadas en los distintos procesos permitirá una estimación del *OEE* más precisa y concisa. Cabe recordar que el concepto de *calidad* no dispone de datos y material suficiente como para poder hacer una estimación coherente. En este sentido, la eficiencia calculada para cada uno de los procesos en la refinación del aceite de orujo crudo es la multiplicación directa de los conceptos de *disponibilidad* y *rendimiento*. La *disponibilidad* se ha calculado en función de los tiempos de las paradas programadas y no programadas, mientras que el *rendimiento* se ha determinado en función de las cantidades producidas en el último año.

4.2 Disponibilidad

Para poder cuantificar la disponibilidad de un proceso industrial, es necesario realizar un análisis profundo de cada uno de los procesos que componen el sistema productivo. La intención de este análisis es entender con claridad todas aquellas operaciones que se realizan durante los turnos de trabajo, ya sean programadas o no, para poder dimensionar el proceso a través de un estudio de tiempos.

Para ello, se han observado las operaciones realizadas en cada uno de los procesos en el periodo de un mes, cronometrándolas o estimando un tiempo medio en caso de ser necesario. De esta manera, la caracterización de las tareas efectuadas por medio de tiempos permite un análisis fiable y sólido de la eficacia de cada uno de los procesos.

Las tareas para las que se han tomado los tiempos de operación, que suponen una parada del proceso productivo, para calcular el *OEE* en cada uno de los procesos son las siguientes tareas:

PARADAS PROGRAMADAS	
PARADAS REGISTRADAS TIEMPOS DE CAMBIO AVERÍAS	PARADAS NO PROGRAMADAS
MICROPAROS RALENTIZACIONES	INEFICIENCIAS
RETRABAJOS DEFECTOS	CALIDAD
TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO	

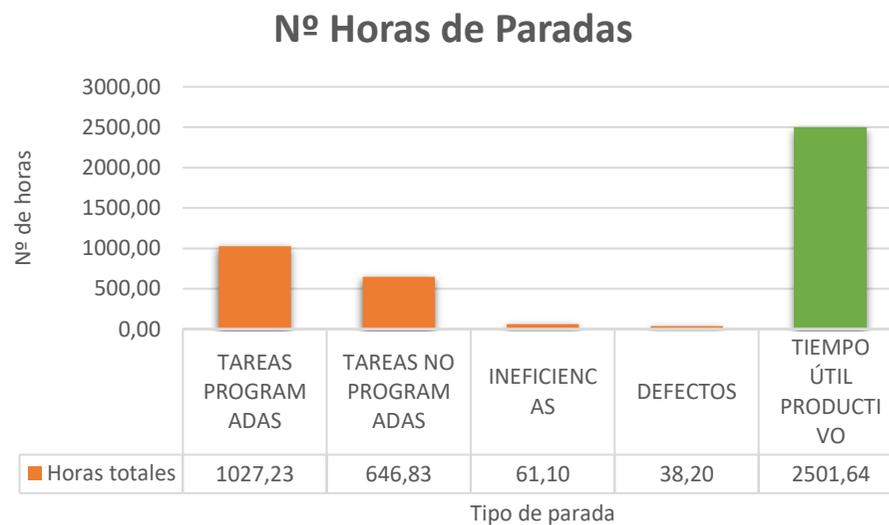
Ilustración 17: Paradas cuantificables en los procesos productivos

Todas las operaciones realizadas en los procesos de descarga, depuración, neutralización, winterización, decoloración, desodorización y carga de refinado han sido catalogadas dentro de una de las categorías ilustradas en el esquema anterior. En numerosos casos, las operaciones realizadas no estaban nítidamente definidas dentro de una categoría, pues no existe un concepto claro y universal, dentro del recinto, de cada uno de los tipos de paradas que se realizan. Las tareas que se presentan son las tareas de los siete procesos principales en un único mes de producción, siendo una base de datos lo suficientemente amplia para poder llevar a cabo un análisis efectivo.

Se presenta a continuación una tabla y una gráfica a modo de resumen de los tiempos que ocupan los distintos tipos de paradas en los siete procesos principales de la fábrica. En ella se puede observar la duración total, en horas, de las tareas realizadas en cada uno de los procesos.

TIPO DE PARADA	Nº TOTAL DE HORAS							TOTAL
	DESCARGA DE CRUDO	DEPURACIÓN	NEUTRALIZACIÓN	WINTERIZACIÓN	DECOLORACIÓN	DESODORIZACIÓN	CARGA DE REFINADO	
TAREAS PROGRAMADAS	95,40	177,50	162,50	158,00	307,50	60,00	66,33	1027,23
TAREAS NO PROGRAMADAS	124,00	105,50	156,00	89,33	72,00	53,00	47,00	646,83
INEFICIENCIAS	0,86	6,35	24,67	7,43	9,10	12,10	0,60	61,10
DEFECTOS	7,20	8,45	1,47	6,63	1,25	5,86	7,33	38,20
TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO	95,55	422,20	375,37	458,61	330,15	589,04	230,73	2501,64

Tabla 2: Paradas en cada proceso



Gráfica 1: Paradas en cada proceso

Se ha decidido incluir el cálculo del tiempo productivo útil de cada proceso junto a las horas pérdidas totales por las distintas paradas necesarias realizadas. Este dato simplemente cumple una función informativa, y permite entender que, a pesar de que el período de tiempo improductivo de los siete procesos como consecuencias de retenciones del proceso es un período de tiempo voluminoso, la suma del tiempo efectivo, o tiempo útil productivo, es mayor. Esto indica que, a pesar de que existen numerosos puntos y oportunidades de mejora, la situación actual no es del todo ineficiente.

Todos los datos numéricos que aparecen en la tabla presentada pueden ser consultados en las siguientes tablas:

- Tabla 10: Tiempos de paradas en el proceso de descarga
- Tabla 11: Tiempos de paradas en el proceso de depuración
- Tabla 12: Tiempos de paradas en el proceso de neutralización
- Tabla 13: Tiempos de paradas en el proceso de winterización
- Tabla 14: Tiempos de paradas en el proceso de decoloración
- Tabla 15: Tiempos de paradas en el proceso de desodorización
- Tabla 16: Tiempos de proceso en el proceso de carga.

4.3 Rendimiento

Se expuso anteriormente que el rendimiento tiene dos expresiones matemáticas: una en función de los tiempos y otra en función de la productividad. Se ha decidido estimar el rendimiento mediante la productividad de los procesos, de forma que el campo de análisis incluye tanto paradas técnicas como ratios de producción.

El campo de datos utilizado para analizar el rendimiento de los siete procesos incluye toda la producción del año 2023 de cada uno de los procesos. Así pues, se han recogido todos los datos de entrada y salida de materia en los distintos procesos, los cuales se recogen en la Tabla 17: Productividad del año 2023 (I) y la Tabla 18: Productividad del año 2023 (II).

El rendimiento se ha aproximado como el porcentaje que supone la cantidad de materia saliente del proceso en relación con la cantidad de materia que entró en él a lo largo de todo el año. Para una mayor simplificación y comprensión de los datos, se han tomado los datos de entrada y salida en ambas quincenas de cada mes, pudiendo así observar de manera más precisa la evolución de la producción de cada uno de los procesos.

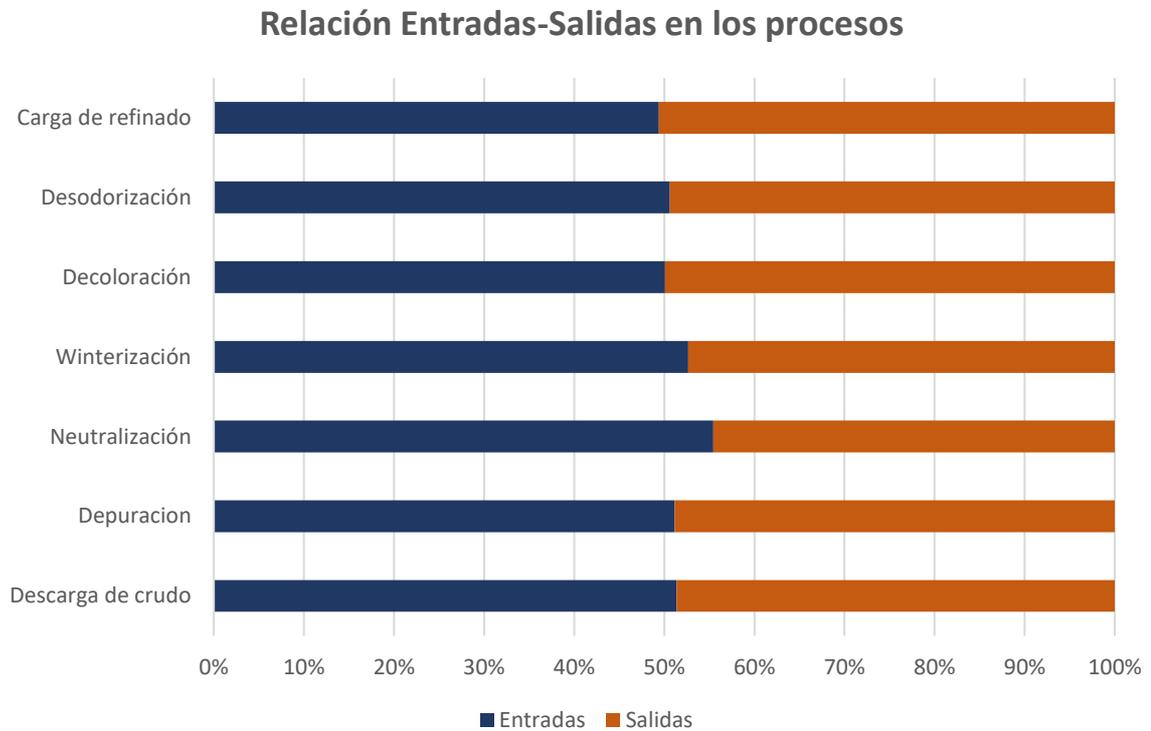
En las tablas mencionadas anteriormente, se pueden observar periodos donde la productividad de un mismo proceso varía de forma considerable de un mes a otro, como ocurre por ejemplo en la primera quincena de agosto. Esto puede tener diferentes causas, como puede ser una menor demanda en ese periodo crítico, la existencia de alguna avería mayor que perjudicara la producción de toda una quincena, o la necesidad de realizar una parada significativa por motivos de mantenimiento e inspección. De un modo u otro, estas diferencias de producción no alteran nuestro análisis.

También es necesario establecer cómo se ha calculado el rendimiento de cada proceso, pues existe una pequeña particularidad en cuanto al proceso de descarga de crudo y carga de refinado. El rendimiento de los procesos de depuración, neutralización, winterización, decoloración y desodorización siguen el siguiente razonamiento:

$$\text{Rendimiento (R)} = \frac{\text{salidas (kgs)}}{\text{entradas (kgs)}} \cdot 100 \quad (6)$$

Los procesos de descarga de crudo y carga de refinado siguen el mismo razonamiento, aunque como se puede observar en la Tabla 17: Productividad del año 2023 (I) y Tabla 18: Productividad del año 2023 (II), los valores de las salidas (en el proceso de descarga) y las entradas (en el proceso de carga) hay que tomarlas del proceso posterior y anterior respectivamente. De esta manera, las salidas del proceso de descarga de crudo son las entradas en el proceso de depuración, y las entradas en el proceso de carga de refinado son las salidas del proceso de desodorización.

La gráfica a continuación recoge de forma visual todos los datos usados para calcular el rendimiento de los procesos:



Gráfica 2: Relación de entradas y salidas en los procesos

El motivo para la inclusión de esta gráfica es otorgar la oportunidad para predecir los valores que se pueden esperar del rendimiento. Al definir el rendimiento como la relación entre la cantidad (en kilogramos) de materia que sale de cada proceso frente a la cantidad (en kilogramos) de materia que entra en el proceso, y al ser estas cantidades similares en los siete procesos, los valores de los rendimientos de los procesos van a ser elevados. En otras palabras, es correcto afirmar que se espera un funcionamiento correcto y eficaz de los procesos.

Las tablas de los anexos mencionados recogen todos los valores numéricos utilizados para la determinación de los rendimientos de los procesos.

4.4 Cálculación de las eficiencias de los procesos (OEE)

Una vez identificados y determinados todos aquellos valores útiles para obtener el OEE de los procesos, y una vez comprendido y analizado estos datos y sus naturalezas, se procede a determinar la Eficiencia Global de los Equipos.

Como se adelantó al comienzo de este capítulo, el proceso de refinación de aceite de orujo requiere en diversos momentos la reutilización de aceite ya procesado para el intercambio de calor con el

aceite no procesado, por lo que el concepto de *OEE* es independiente de lo que definimos como *calidad*. En este sentido, se muestra el razonamiento seguido para cuantificar las ideas de *disponibilidad (D)* y *rendimiento (R)*.

La *disponibilidad* se ha estimado a través de la evaluación de las paradas realizadas en cada proceso, determinando la categoría de tareas a la que pertenecen para poder estimar este concepto mediante distintos tiempos.

El procedimiento utilizado es el siguiente:

1. Determinar el Tiempo Total de Calendario de cada proceso: se define como el tiempo máximo disponible del que se dispone para cualquier proceso o tarea, sin tener en cuenta ninguna parada a realizar, ya sea necesaria o espontánea. Se calcula como:

$$\text{Tiempo Total de Calendario} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \cdot \frac{N^{\circ} \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{N^{\circ} \text{ días disponibles}}{1 \text{ mes}} \quad (7)$$

2. Calcular el Tiempo Planificado de Operación de cada proceso: el tiempo disponible real para realizar una operación teniendo en cuenta las paradas programadas necesarias para su realización, como puede ser tareas de mantenimiento o de limpieza, se conoce como el Tiempo Planificado de Operación. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Planificado de Operación} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) = & \quad (8) \\ \text{Tiempo Total de Calendario} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) - \text{Paradas Programadas} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) \end{aligned}$$

3. Establecer el Tiempo de Operación: se conoce como Tiempo de Operación al período de tiempo en el que el proceso está en funcionamiento, por lo que depende de las averías y paradas no programadas que se realicen. Se aproxima de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de Operación} \left(\frac{\text{hr}}{\text{mes}} \right) & \quad (9) \\ = \text{Tiempo Planificado de Operación} \left(\frac{\text{hr}}{\text{mes}} \right) \\ - \text{Paradas NO programadas} \left(\frac{\text{hr}}{\text{mes}} \right) \end{aligned}$$

4. Calcular la disponibilidad de cada proceso: finalmente, se calcula la disponibilidad de los procesos como:

$$Disponibilidad (D) = \frac{\text{Tiempo de Operación} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}}\right)}{\text{Tiempo Planificado de Operación} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}}\right)} \cdot 100 \quad (10)$$

El resto de los tiempos de paradas que se muestran en las tablas, como el tiempo útil productivo, no se han empleado para el cálculo de la disponibilidad. Sin embargo, es conveniente disponer de un análisis completo que incluya todos los tiempos cuantificables en cualquier proceso, para así poder alcanzar un mejor grado de conocimiento del proceso general.

Por otro lado, el *rendimiento* se ha estimado en función de las cantidades de materia que salen y entran en los distintos procesos. Para ello, se han tomado los datos de producción de los procesos durante el año 2023 con el fin de una mejor aproximación de este concepto.

Como se muestra en la Gráfica 2: Relación de entradas y salidas en los procesos la cantidad de materia entrante es similar a la cantidad de materia saliente en los siete procesos. Esto se traduce como un rendimiento, o grado de funcionamiento, elevado en los procesos, como podremos comprobar a continuación.

Comprendido el procedimiento seguido, así como el origen de los datos utilizados, el *OEE* de los siete procesos principales de la refinería es el que se muestra en la siguiente página.

Los valores de los tiempos empleados para el cálculo de la *disponibilidad* han sido obtenidos realizando un estudio de tiempos y una descomposición de los procesos en tareas que provocan paradas necesarias. Todos los tiempos usados en cada proceso pueden consultarse en la Tabla 9: Cálculo del tiempo total, tiempo planificado de operación, tiempo de operación, y tiempo útil productivo. Una vez definido la base de datos, se calculó el *Tiempo Planificado de Operación*, el *Tiempo de Operación*, y la *Disponibilidad*. El *Tiempo Útil Productivo* puede ser consultado también en esta tabla.

La tabla a continuación recoge todos estos datos y cálculos:

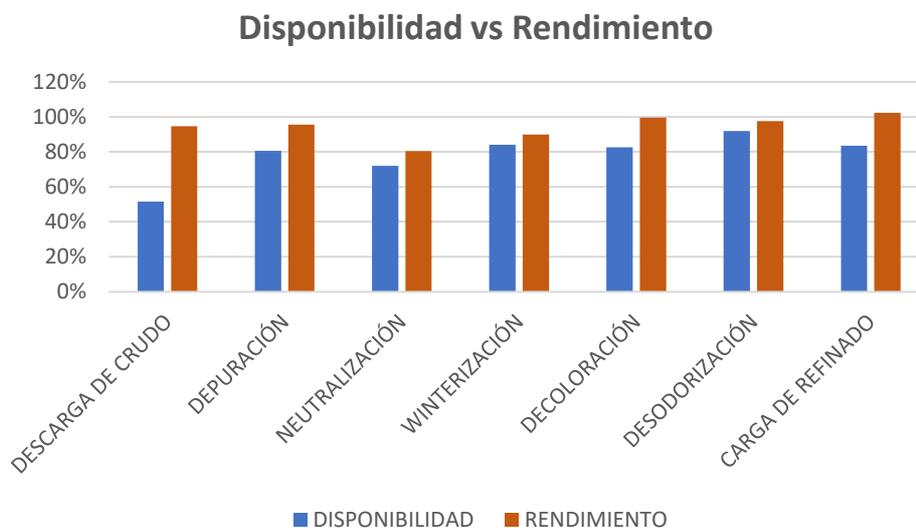
	DESCARGA DE CRUDO	DEPURACIÓN	NEUTRALIZACIÓN	WINTERIZACIÓN	DECOLORACIÓN	DESODORIZACIÓN	CARGA DE REFINADO
Tiempo Total de calendario (horas)	352,0	720,0	720,0	720,0	720,0	720,0	352,0
Tiempo Planificado de Operación (horas)	256,6	542,5	557,5	562,0	412,5	660,0	285,7
Tiempo de Operación (horas)	132,6	437,0	401,5	472,7	340,5	607,0	238,7
DISPONIBILIDAD (%)	51,676	80,553	72,018	84,104	82,545	91,970	83,547
Entradas (kgs/mes)	61.441.729	58.132.612	52.884.128	50.782.918	42.526.028	42.442.910	41.409.972
Salidas (kgs/mes)	58.132.612	55.502.642	42.480.278	45.677.442	42.370.374	41.409.972	42.383.190
RENDIMIENTO (%)	94,614	95,476	80,327	89,946	99,634	97,566	102,350
OEE (%)	48,893	76,909	57,850	75,649	82,243	89,731	85,511

Tabla 3: Resultados obtenidos para el OEE

4.5 Análisis e interpretación de los resultados

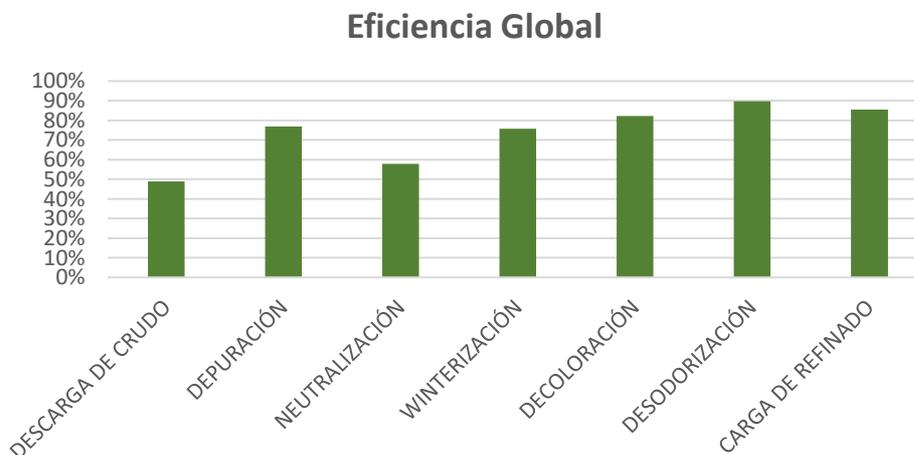
Se definió el concepto de *OEE* como la *Eficiencia Global de los Equipos* productivos, o en este caso, de los procesos participantes en el sistema productivo de la refinería sevillana. Los resultados mostrados pueden conducir a conclusiones erróneas si no se analizan las posibles causas que determinan las eficiencias obtenidas.

Como se puede observar a continuación, es el concepto de *disponibilidad* el que limita el crecimiento de la eficiencia de los siete procesos, pues el *rendimiento* que presentan estos procesos es bastante elevado. Se pueden observar de forma visual los resultados obtenidos de la siguiente manera:



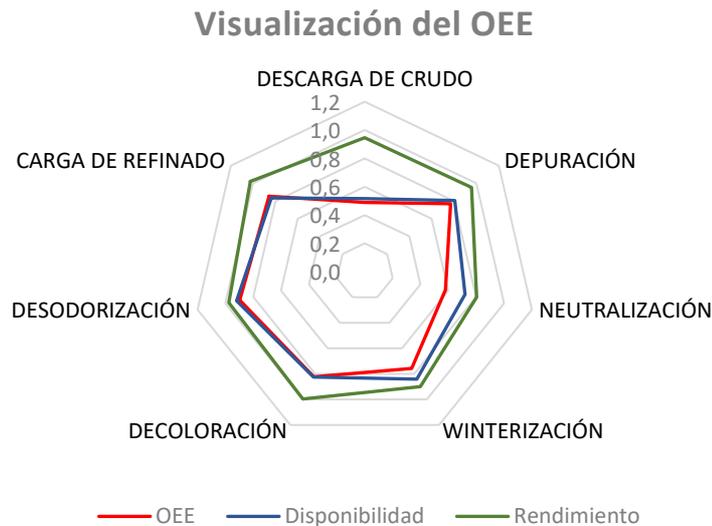
Gráfica 3: Comparación entre la disponibilidad y el rendimiento de los procesos

Utilizando estos valores calculados, la eficiencia global de cada proceso, o *OEE*, se puede observar en la siguiente gráfica:



Gráfica 4: Eficiencia global de los procesos

Es inmediato observar que existe oportunidad de mejora en todos los procesos, pues la eficiencia obtenida final aún tiene margen de crecimiento. Los gráficos radar, como el que se muestra a continuación, son útiles para ayudar a comprender el potencial de crecimiento que aún pueden desarrollar los procesos. No obstante, es necesario entender plenamente los motivos y las causas que provocan que los procesos actuales no presenten una eficiencia del 100% (situación utópica que aun así debe ser siempre nuestro objetivo). El gráfico radar a continuación revela esta situación:



Gráfica 5: Visualización mediante radar del OEE

Analizando ya las eficiencias calculadas de los siete procesos principales de la fábrica, existen varios puntos que deben ser resaltados y analizados con el objetivo de entender el por qué de estas situaciones, y determinar si es posible optimizar estos puntos.

El proceso que presenta una menor eficiencia, incluso no llegando al 50%, es el proceso de descarga de crudo. Una eficiencia menor del 50% es inaceptable en cualquier industria o entidad, y debe ser foco de estudio para implementar posibles mejoras. Una calificación tan baja se traduce en la aparición constante de despilfarros, en un desaprovechamiento de los recursos, tiempo, materia e investigación invertidos en el proceso, y en grandes y prolongadas pérdidas económicas, ya sea como consecuencia del capital invertido desaprovechado como por las ventas pérdidas por no haber generado lo máximo posible.

Por el contrario, el proceso más eficiente es el proceso de la desodorización, cuya producción final es el aceite refinado de orujo de oliva, producto que comercializa nuestra empresa objeto.

Se procede a evaluar brevemente la eficiencia de los siete procesos por separado, evaluando y comentando las razones por las que presentan dichos resultados.

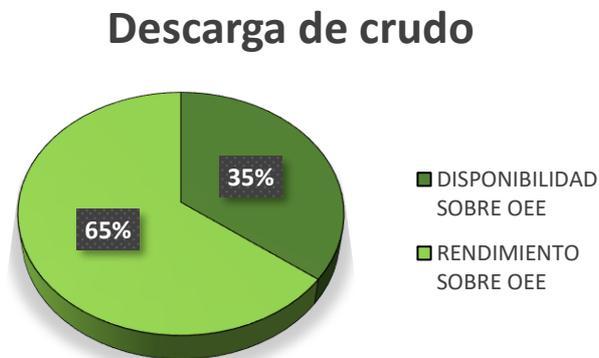
4.5.1 Descarga de crudo

La descarga de crudo es el proceso menos eficiente con los siguientes resultados:

- eficiencia global: **48,893%**
- disponibilidad: **51,676%**
- rendimiento: **94,614%**

Aunque parezca ilógico, este resultado no es tan sorprendente, pues el proceso de descarga requiere de varios pasos antes de empezar la descarga directa de las cisternas (consultar descripción del proceso) que provocan ralentizaciones y tiempos de espera, como pueden ser el tiempo de espera de autorización de pesaje en báscula, el tiempo muerto existente mientras se analizan muestras en el laboratorio, o posibles esperas como consecuencia del tráfico y maniobras de camiones dentro del recinto. Todo ello conduce a una mala gestión del tiempo, y limita mucho la capacidad de producción del proceso.

Para poder optimizar este proceso, se debe estudiar los pasos a seguir antes de la descarga de las cisternas, con el objetivo de identificar posibles puntos de mejora que reduzcan el despilfarro presente de los tiempos de espera.



Gráfica 6: Descomposición de la eficiencia en la descarga

4.5.2 Depuración

La depuración presenta los siguientes valores:

- eficiencia global: **76,909%**
- disponibilidad: **80,553%**
- rendimiento: **95,476%**

Destaca dentro de la depuración el tiempo útil productivo, que alcanza la cifra de 422.2 horas al mes, así como el tiempo perdido por defectos, ya sean fallos o retrabajos, el cual asciende hasta las 8,45 horas al mes, siendo el proceso que más tiempo pierde por esta categoría.

En este sentido, la optimización de este proceso se debe centrar en la erradicación de los fallos humanos y los retrabajos, aumentando así el tiempo útil productivo y, por consecuencia, la eficiencia global de la depuración.



Gráfica 7: Descomposición de la eficiencia en la depuración

4.5.3 Neutralización

La neutralización es el segundo proceso menos eficiente con los siguientes resultados:

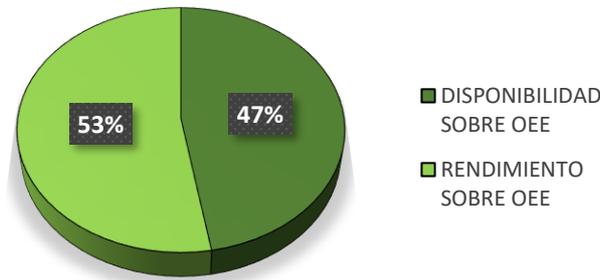
- eficiencia global: **57,850%**
- disponibilidad: **72,018%**
- rendimiento: **80,327%**

Una de las razones que explican la ineficiencia de este proceso se debe a la sensibilidad de este frente a cualquier parada repentina, como pueden ser micro cortes de tensión o cortes de luz, que provocan la necesidad de re arranque de todo el proceso. La complejidad de los equipos y la dependencia que presentan unos con otros originan uno de los mayores tiempos de espera de todos los procesos, que es el tiempo necesario de re arranque del proceso de neutralización, el cual es de unas 8 horas por micro corte.

Por otro lado, es el proceso que más averías presenta, con una media de unas 81 horas al mes, por lo que el tiempo de parada de tareas no programadas es demasiado elevado. Esta diferencia con respecto a los demás procesos limita en exceso la capacidad de producción de aceite neutralizado.

La optimización de este proceso pasa por el estudio y evaluación de las tareas no programadas, intentando situar el origen de estas pérdidas y eliminándolo del proceso.

Neutralización



Gráfica 8: Descomposición de la eficiencia en la neutralización

4.5.4 Winterización

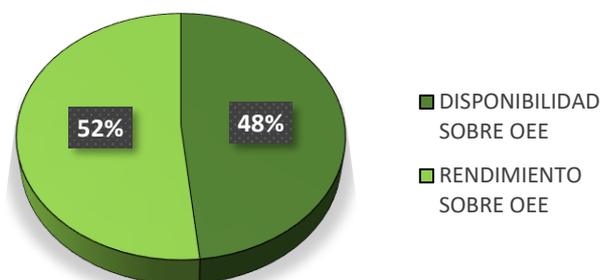
La winterización presenta los siguientes valores:

- eficiencia global: **75,469%**
- disponibilidad: **84,104%**
- rendimiento: **89,946%**,

Estos números no son muy llamativos, aunque existe bastante margen de mejora. No obstante, el punto de actuación dentro del proceso de Winterización no es tan visible como en otros procesos, por lo que es conveniente una mayor profundización en este proceso para entender completamente el por qué no presenta una eficiencia más alta.

Hay que destacar que presenta la segunda cifra más alta del tiempo útil productivo, con un tiempo de 458,610 horas de winterización real.

Winterización



Gráfica 9: Descomposición de la eficiencia en la winterización

4.5.5 Decoloración

La decoloración es el segundo proceso con mejor eficiencia, y presenta los siguientes valores:

- eficiencia global: **82,243%**
- disponibilidad: **82,545%**
- rendimiento: **99,634%**

Dentro del proceso de decoloración destaca el tiempo destinado a la limpieza de la zona, pues se dedican unas 232,5 horas al mes (equivalente a 9,68 días) a la recogida y extracción de restos de tierras activas y carbón derramados en los filtros. Estas tareas de limpieza son esenciales para la continuidad del proceso, pues la suciedad provoca fallos en el rendimiento de los equipos, así como una mayor deterioración de estos.



Gráfica 10: Descomposición de la eficiencia en la decoloración

4.5.6 Desodorización

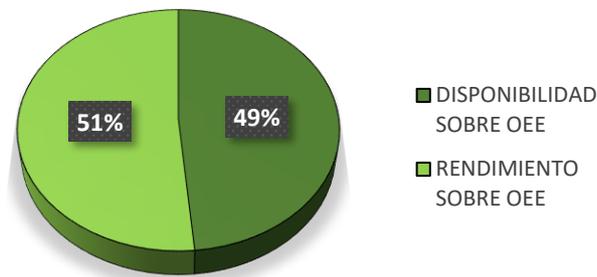
La desodorización es el proceso más eficiente, y presenta los siguientes valores:

- eficiencia global: **89,731%**
- disponibilidad: **91,970%**
- rendimiento: **97,566%**

Estos números son la consecuencia de la buena gestión del tiempo que presenta el proceso de desodorización, teniendo un total de 589,04 horas al mes de tiempo útil efectivo de las 720 horas disponibles. De esta forma, el funcionamiento del proceso de desodorización es casi continuo las 24 horas del día, aumentando lo máximo posible la producción de aceite refinado.

No obstante, se debe siempre intentar aplicar la filosofía *Lean* buscando la mejora continua. En este sentido, el proceso de desodorización presenta posibles puntos de mejora que eleven aún más la eficiencia global de todo.

Desodorización



Gráfica 11: Descomposición de la eficiencia en la desodorización

4.5.7 Carga de refinado

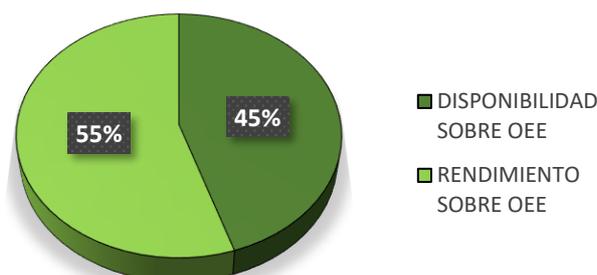
La carga de refinado presenta los siguientes valores:

- eficiencia global: **85,511%**
- disponibilidad: **83,547%**
- rendimiento: **102,350%**

El motivo por el que el rendimiento supera el 100% se debe a la existencia de inventario terminado, aceite refinado de orujo de oliva, que se almacena durante un tiempo en la refinería antes de su carga. Esto quiere decir que el lote saliente del proceso de desodorización no se carga directamente en las cisternas, si no que se almacena en distintos depósitos hasta la orden de carga.

Es posible pensar que el proceso de descarga de crudo y carga de refinado presentarían valores similares de eficiencia. No obstante, mientras que la descarga de crudo es el proceso más ineficiente, el proceso de carga asciende hasta el tercer puesto de eficiencia. La razón que explica estas diferencias es la ausencia de tareas previas a la carga que suponen tiempos de espera, como ocurre en la descarga de crudo. En el proceso de carga, la carga del camión está programada para una hora determinada, por lo que el camión llega y carga directamente.

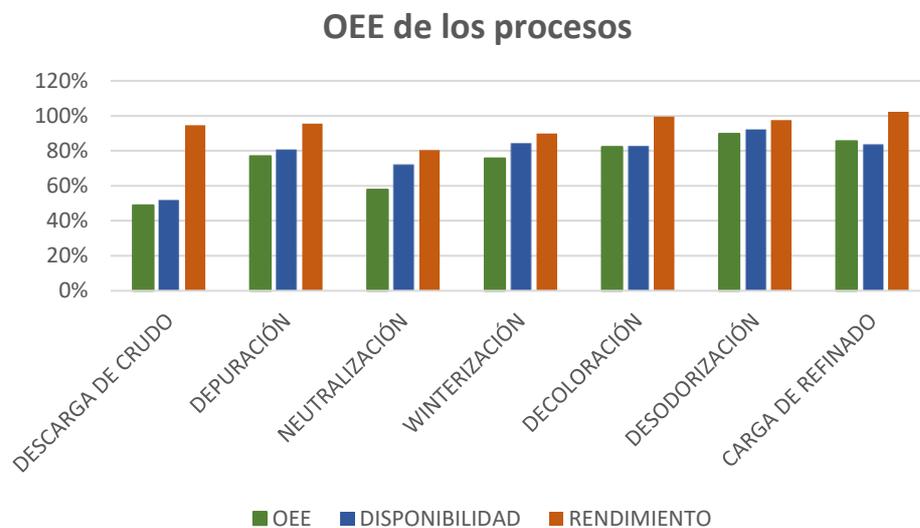
Carga de refinado



Gráfica 12: Descomposición de la eficiencia en la carga

Una vez comprendidas las causas que motivan los valores alcanzados de eficiencia de los procesos, así como una vez evaluado cada proceso de forma individual, se puede afirmar, a modo de una breve conclusión, que existen puntos de despilfarro que impiden la máxima eficiencia de los procesos.

A modo de resumen de todo lo comentado en cuanto al OEE de los distintos procesos, y como cierre de este primer capítulo de análisis de la eficiencia del sistema productivo, así como del potencial de implementación de la filosofía *Lean* dentro de la planta, se muestra un gráfico resumen donde se visualiza el *OEE* actual de cada uno de los siete procesos frente a los valores obtenidos de los conceptos de *disponibilidad* y *rendimiento*.



Gráfica 13: Descomposición de la eficiencia en todos los procesos

El siguiente capítulo hará uso de todo lo estudiado hasta el momento para poder ofrecer una visualización, detallada y general, de todo el sistema productivo. Una vez comprendido cómo funciona la planta, se procede al dibujo de un diagnóstico final que permita trazar los puntos de optimización sobre los cuales se deberá actuar a la hora de buscar la optimización de la línea productiva.

5 Aplicación de la técnica Value Stream Mapping (VSM)

Este capítulo estudia el estado actual de ACOLSA haciendo uso de la herramienta *VSM*, que es una herramienta de control y seguimiento que permite identificar posibles puntos de mejora donde actuar.

Tras el análisis de la eficiencia de los procesos principales de la refinería, es interesante evaluar todo el sistema productivo, desde la nivelación de la producción hasta la sincronización entre los distintos procesos y departamentos. El esquema *VSM* permite visualizar la actividad de la empresa de forma conjunta y sencilla, lo que permite realizar un estudio completo que revele posibles puntos de optimización.

Las eficiencias previamente calculadas son una buena referencia de cómo funcionan los procesos. No obstante, el objetivo de este capítulo es evaluar la interconexión que existe entre ellos, analizando y comentando todo lo relativo a ellos: recursos destinados, tiempo de valor añadido, ritmo de producción, etc.

En el caso de ACOLSA, la realización del *VSM* permite revelar aquellas conductas que aportan valor real al producto final, destacando qué tiempo efectivo de producción es el que existe en toda la cadena de producción. Al mismo modo, el *VSM* muestra los puntos y las fuentes de despilfarro que existen en el sistema productivo, lo que permite localizar aspectos muy importantes que serán el foco de nuestro estudio, como son los cuellos de botella y el *lead time*.

5.1 Definición de VSM

Las siglas *VSM* significan *Value Stream Mapping*, o mapa de flujo de valor. Se trata de una representación esquemática, similar a un diagrama de flujo, de un proceso productivo, logístico o administrativo, ofreciendo una visualización general de toda la empresa y actuando como base para futuros programas de actuación que se deseen implementar.

Los objetivos que persigue esta metodología son:

- La identificación de operaciones que aportan valor y se consideran “mudas”.
- La priorización de las acciones de mejora continua.
- La revelación de dificultades y despilfarros en la cadena de valor del producto

La aplicación de esta herramienta permite visualizar el mapa de la cadena de valor, enfocándose tanto en el flujo material como en la cadena de información y comunicación. En este sentido, actúa como guía para futuras aplicaciones de técnicas *Lean*, pues es responsable de la detección de puntos de despilfarro y desperdicio donde se aplicarán las demás técnicas. El *VSM* muestra la realidad de todo el proceso productivo, así como la coordinación y sincronización de los procesos constituyentes de este.

Los esquemas *VSM* muestran una serie de datos claves para el entendimiento del proceso productivo. Estos datos pueden ser el número de operarios por estación, el tiempo de ciclo de un proceso, la capacidad máxima de ese proceso, etc. La dependencia que tengan los datos ilustrados en el *VSM* entre sí y su influencia en el proceso productivo determinarán los focos de implementación de herramientas *Lean*.

Destaca el hecho de que la aplicación del *VSM* no conlleva ningún tipo de mejora directa, pues no tiene como objetivo la eliminación de despilfarro. Simplemente se trata de una herramienta gráfica que revela la situación de la empresa, sus puntos fuertes y sus conductas débiles, las operaciones que intervienen en el proceso productivo, la coordinación entre los distintos departamentos, y las dificultades existentes que impiden satisfacer la demanda, para poder establecer una hoja de ruta con acciones y técnicas a aplicar que consigan la optimización de todo el proceso.

5.2 Procedimiento general para la construcción de un VSM

La construcción del esquema *VSM* requiere de una serie de pasos que permitan entender de forma completa el modo de funcionamiento actual de la empresa objeto. Tal y como se mencionó anteriormente, el *VSM* se centra tanto en el flujo de material como en el flujo y el canal de información.

Es esencial disponer de una idea actualizada y real de cómo funciona la entidad para poder construir un *VSM* eficaz. Para ello, es importante comprender plenamente el funcionamiento de los procesos y los equipos, así como saber los recursos, humanos y materiales, que se destinan en cada zona de la cadena productiva.

Para la realización del *VSM* de ACOLSA, esta idea cobra más importancia debido a la complejidad de los procesos. Por esta razón, se decidió analizar y evaluar primeramente la eficiencia de los

procesos, describiendo y entendiendo el camino de bombas y máquinas que recorre el aceite crudo hasta su refinación completa, para ahora poder aplicar este conocimiento en el esquema general.

El procedimiento general para la construcción de un *VSM* es el siguiente:

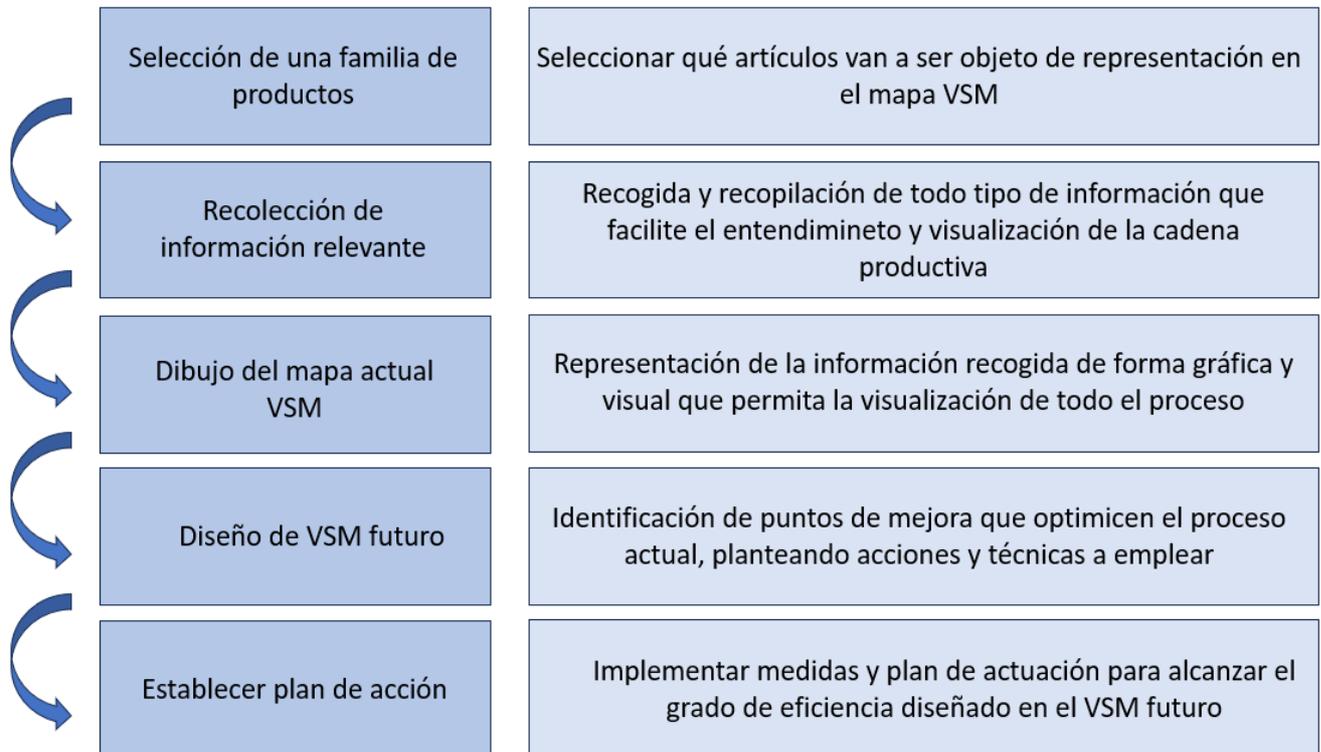


Tabla 4: Procedimiento general para la construcción de un *VSM*

Este esquema representa de forma general los pasos que hay que seguir para la elaboración de un esquema *VSM*. No obstante, es adaptable a las singularidades de cada entidad y organización, pues el procedimiento es algo superficial, y no recoge con suficiente detalle las acciones a realizar en cada uno de los pasos.

Los pasos seguidos para la elaboración del *VSM* difieren un poco con lo mostrado, aunque el trasfondo de ambos procedimientos es el mismo.

A continuación, se detalla el proceso realizado, con todos los parámetros introducidos bien documentados y justificados, para la aplicación de la herramienta *VSM* en la refinería.

5.3 Construcción del *VSM* de la refinería

El primer paso en la construcción de un mapa *VSM* es la selección de una familia de productos. Ciertamente, ACOLSA no solo comercializa aceite refinado de orujo de oliva, sino que existen varios

subproductos del proceso productivo que presentan rentabilidad en el mercado. Un ejemplo de estos subproductos son las pastas o los ácidos grasos.

Sin embargo, el esquema *VSM* realizado contempla exclusivamente el proceso productivo del aceite refinado de orujo. El motivo principal de esta primera decisión se basa en el hecho de que los subproductos del proceso de refinación del aceite de orujo son consecuencia del mismo proceso principal, lo que significa que, visualizando el proceso productivo mencionado, es posible observar también qué procesos participan en la generación de esos subproductos.

En este sentido, se ha desestimado el estudio de los subprocesos, centrando este capítulo en la producción de aceite refinado de orujo.

El resto de los pasos seguidos para la construcción del esquema se presentan de forma detallada en las siguientes páginas. Debido a la simplicidad de este primer paso, se elimina esta elección como parte del procedimiento seguido.

5.3.1 Selección de la información

Para una representación precisa y exacta del esquema *VSM*, es necesaria la selección de la información que se desea visualizar con el fin de entender la composición de los procesos que forman parte de la cadena de valor de la refinación del aceite de orujo.

La cadena de valor tiene dos componentes. Por un lado, el flujo de material representa el inventario intermedio, de carácter físico, que atraviesa el proceso productivo, por lo que es necesario conocer con profundidad todo lo relativo al proceso general: orden de subprocesos, compatibilidades e incompatibilidades entre procesos, tiempos, composición (operarios y maquinaria), etc. Por el otro, el flujo de información simboliza la comunicación y el canal de comunicación empleado entre los distintos departamentos y personas partícipes en el proceso.

La información recogida en el esquema puede variar según los intereses y necesidades de cada organización. Teniendo en consideración lo ejecutado en capítulos anteriores, la información que se ha decidido reflejar en el *VSM* es la siguiente:

- Caudal nominal de producción: caudal de trabajo que suelen presentar los procesos en función de las capacidades de los equipos técnicos para garantizar su correcto funcionamiento y su duración en el tiempo.
- Takt-Time: significa ritmo, y hace referencia al ritmo que debe seguir un proceso de producción para satisfacer la demanda de los clientes.
- Número de turnos: ofrece el tiempo total de calendario de cada proceso.

- Número de operarios: con la singularidad de que un mismo operario es responsable de más de un proceso, como se detallará más adelante.
- OEE (Overall Equipment Efficiency): calculado en el capítulo anterior, es un indicador que mide la eficiencia de los procesos industriales
- Tiempo de Valor Añadido (TVA): tiempo de trabajo de cada proceso, donde se añade valor real al producto final. Puede coincidir con el tiempo de ciclo de los procesos.
- Tiempo de No-Valor Añadido (TNVA): tiempo entre los distintos procesos donde existe inventario intermedio almacenado y, por tanto, no añade valor real al producto.
- Lead Time (LT): tiempo que transcurre desde que se recibe un pedido hasta que el cliente recibe la mercancía.

5.3.2 Recolección de la información elegida

Una vez seleccionada la información que se ha determinado como importante para poder ofrecer una instantánea completa de la planta, se procede a la recolección de dicha información. Para ello, se ofrece un breve resumen de la información seleccionada donde se comentan las razones que justifican su inclusión dentro del esquema.

CAUDAL NOMINAL DE PRODUCCIÓN: la visualización de la capacidad máxima que presentan los procesos permite determinar si el ritmo de producción establecido es adecuado para satisfacer la demanda en el modelo de flujo continuo. Estas capacidades delimitan lo que se considera adecuado desde el punto de vista de las bombas de recirculación, aunque se pueden sobredimensionar según la demanda del momento.

NÚMERO DE TURNOS: es importante conocer la organización de los recursos humanos en cada proceso para poder realizar un análisis completo. Teniendo en consideración que la mayoría de los procesos trabajan ininterrumpidamente a lo largo del año, las jornadas de trabajo se dividen en turnos de ocho horas. El número de turnos permite observar el tiempo de funcionamiento disponible (lo que en el capítulo Análisis y Evaluación de la Eficiencia de la línea de producción mediante el OEE se denominó tiempo total de calendario), lo que ofrece más consistencia al campo de análisis. Se recuerdan los días de funcionamiento de cada proceso:

	Días de operación	Turnos
Descarga de crudo	Lunes - Viernes	7:00-15:00 / 15:00-23:00
Depuración	Lunes - Domingo	7:00-15:00 / 15:00-23:00 / 23:00-7:00
Neutralización	Lunes - Domingo	7:00-15:00 / 15:00-23:00 / 23:00-7:00
Winterización	Lunes - Domingo	7:00-15:00 / 15:00-23:00 / 23:00-7:00
Decoloración	Lunes - Domingo	7:00-15:00 / 15:00-23:00 / 23:00-7:00
Desodorización	Lunes - Domingo	7:00-15:00 / 15:00-23:00 / 23:00-7:00
Carga de refinado	Lunes - Viernes	7:00-15:00 / 15:00-23:00

Tabla 5: Organización de los turnos de los procesos

NÚMERO DE OPERARIOS: siguiendo el mismo razonamiento que el número de turnos, conocer el número de operarios destinados a cada proceso permite dimensionar estos procesos. Sin embargo, existen procesos cuya responsabilidad y seguimiento residen en el mismo trabajador. Estos casos son los siguientes:

- Los procesos de depuración y winterización (incluyendo los dos subprocesos de lavado I y lavado II) son responsabilidad del mismo recurso, siendo este un operario de fábrica.
- Los procesos de neutralización, decoloración y desodorización son responsabilidad de dos recursos que se encargan de los tres procesos a la vez. Se trata de un operador de planta y de un operario auxiliar.
- Los procesos de descarga de crudo y carga de refinado son los únicos dos procesos que disponen de un recurso exclusivo, siendo este un operario de descarga y un operario de carga respectivamente.

OEE – EFICIENCIA GLOBAL: muestran las eficiencias globales de los procesos calculados en el capítulo anterior. De esta forma, se puede observar de forma directa las diferencias de eficiencia que existen entre los procesos. Observar estas diferencias en un mapa común puede revelar algunos de los orígenes que suponen las ineficiencias presentes en la cadena productiva.

La tabla a continuación recoge toda la información detallada hasta el momento:

	Descarga de crudo	Depuración	Neutralización	Winterización	Decoloración	Desodorización	Carga de refinado
Caudal óptimo de producción	50.000 kgs/hora (cada una de las dos líneas de descarga)	15.000 kgs/hora	8.500 kgs/hora	9.000 kgs/hora	10.000 kgs/hora	6.500 kgs/hora	35.000 kgs/hora
Número de turnos	2 turnos de 8 horas	3 turnos de 8 horas	3 turnos de 8 horas	3 turnos de 8 horas	3 turnos de 8 horas	3 turnos de 8 horas	2 turnos de 8 horas
Recurso	Recurso 1	Recurso 2	Recurso 3 Recurso 4	Recurso 2	Recurso 3 Recurso 4	Recurso 3 Recurso 4	Recurso 5
Tipo	Operario de descarga	Operario de fábrica	Operador de planta Operario auxiliar	Operario de fábrica	Operador de planta Operario auxiliar	Operador de planta Operario auxiliar	Operario de carga
OEE (%)	48,893	76,909	57,850	75,649	82,243	89,731	85,511

Tabla 6: Recopilación de la información presentada en el VSM

5.3.3 Cálculo del Takt-Time

La tercera etapa de este procedimiento consiste en la determinación del *takt-time*, o lo que es lo mismo, del ritmo de producción en caso de flujo continuo.

Para establecer qué ritmo de producción deben presentar cada uno de los procesos, es necesario determinar la demanda de los clientes. En este caso, la demanda de los clientes se determina de la siguiente manera:

$$D_{diaria} \left(\frac{Tn}{día} \right) = \frac{n^{\circ} \text{ de cisternas cargadas}}{1 \text{ mes}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{22 \text{ días laborables}} \cdot \frac{25.000 \text{ kgs}}{1 \text{ cisterna}} \cdot \frac{1 Tn}{1000 \text{ kgs}} \quad (11)$$

La empresa ha facilitado el número medio de camiones cargados de aceite refinado de orujo al mes en el año 2023, el cual es de **150 cisternas**. Por tanto, sustituyendo en la ecuación (11), podemos afirmar que la demanda diaria es de:

$$D_{diaria} = 170,45 Tn/día$$

Una vez establecida la demanda, el procedimiento seguido para determinar el *takt-time* de los siete procesos es el siguiente:

1. Determinar el Tiempo Útil Productivo (TUP) de cada proceso en horas al día a partir del tiempo útil productivo (horas/mes), calculado en la Tabla 9: Calculo del tiempo total, tiempo planificado de operación, tiempo de operación, y tiempo útil productivo, y de los días disponibles de cada proceso.

$$TUP \left(\frac{\text{horas}}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Tiempo útil productivo} \left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right)}{\text{Días disponibles} \left(\frac{\text{días}}{\text{mes}} \right)} \quad (12)$$

2. Calcular el *Takt-Time* relacionando el tiempo útil productivo y la demanda diaria que presenta la empresa a través de la siguiente expresión:

$$TT = \frac{\text{Tiempo útil productivo} \left(\frac{\text{horas}}{\text{día}} \right)}{\text{demanda diaria} \left(\frac{Tn}{\text{día}} \right)} \cdot \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 Tn} \quad (13)$$

Los cálculos de este apartado pueden ser consultados en la Tabla 9: Calculo del tiempo total, tiempo planificado de operación, tiempo de operación, y tiempo útil productivo.

5.3.4 Determinación del Lead Time y del Tiempo de Valor Añadido

El próximo paso es calcular el *Lead Time* (LT) y el Tiempo de Valor Añadido (TVA) de la línea de producción. La finalidad con estos cálculos es poder visualizar el tiempo donde realmente se añade valor al producto frente al tiempo total que el producto permanece en la refinería.

En este caso, se entiende el Tiempo de Valor Añadido (TVA) como la suma de tiempo donde realmente se produce la refinación del aceite de orujo crudo mediante los distintos procesos, por lo que se desestiman los procesos de descarga de crudo y carga de refinado.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para el cálculo de dichos conceptos:

1. Cálculo de la demanda diaria: realizado en el apartado anterior.
2. Estimación del inventario de cada proceso: se estima el inventario medio existente en cada proceso en función de las capacidades de los depósitos correspondientes.
3. Determinación del Tiempo de Valor Añadido (TVA) de cada proceso: este tiempo se determina a partir del lote de trabajo admisible en cada proceso y el caudal de trabajo de dichos procesos mediante la siguiente relación:

$$TVA = \frac{\text{Tamaño del lote} (Tn)}{\text{Caudal de trabajo} \left(\frac{Tn}{\text{horas}} \right)} \quad (14)$$

4. Determinación del Tiempo de No-Valor Añadido (TNVA) de cada proceso: relacionando el inventario medio de cada proceso con la demanda diaria se puede calcular el TNVA de la siguiente manera:

$$TNVA = \frac{\text{inventario en cada proceso } (Tn)}{\text{demanda diaria } \left(\frac{Tn}{\text{día}}\right)} \quad (15)$$

5. Cálculo del *Lead Time* (LT): este concepto es la suma directa de los dos conceptos anteriores. Se puede formular mediante la siguiente expresión:

$$LT = TVA + TNVA \quad (16)$$

La Tabla 20: Calculo del Tiempo de Valor Añadido y del Tiempo de No- Valor Añadido recoge todos los cálculos relacionados con este apartado, así como las suposiciones realizadas para poder obtener los resultados finales.

5.3.5 Construcción del VSM

El siguiente paso es la construcción del mapa *VSM* utilizando todo lo anterior. Este tipo de esquemas utilizan un lenguaje de símbolos no normalizados, por lo que es posible que estos símbolos difieran según el usuario.

La siguiente página muestra el *VSM* actual de ACOLSA. Los siguientes comentarios deben ser considerados al observar el mapa *VSM*:

- Se muestran los procesos de Lavado I y Lavado II ya que forman parte del recorrido en la refinación del aceite de orujo. No obstante, pueden ser considerados subprocesos, ya que forman parte de procesos más importantes (depuración y winterización) y no añaden valor real al producto.
- El departamento comercial de ACOLSA es quien dictamina el plan de producción. Se programa de forma semanal en función de las demandas de los clientes.
- El proceso de winterización y decoloración requieren del almacenamiento del lote tratado en mitad del proceso, por lo que se añade el símbolo de Inventario dentro de ellos – consultar descripción de los procesos.

- El proceso de descarga de crudo dispone de dos líneas de descarga, aunque se presenta únicamente los datos relativos a una de ellas.

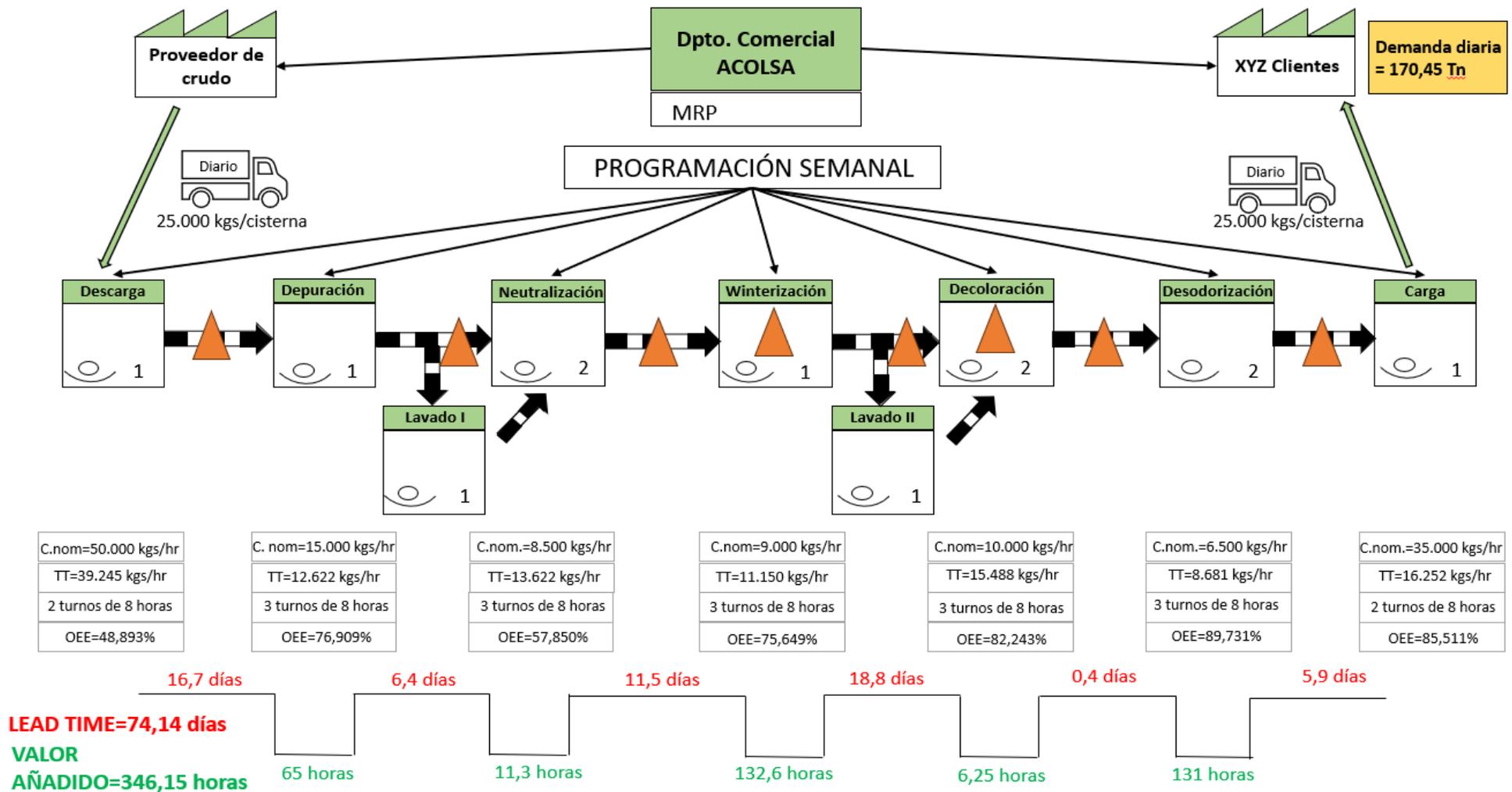


Ilustración 18: VSM de la situación actual

5.4 Interpretación del VSM actual

El esquema *VSM* presentado permite el análisis, la evaluación y la interpretación de la situación actual de ACOLSA. El objetivo de este estudio es ofrecer una visualización general de la actividad de la planta, entendiendo el sistema de producción como uno, que permita dibujar nuevos objetivos que optimicen el sistema actual.

Este tipo de representaciones ofrece la oportunidad de interrelacionar todos los aspectos de una línea de producción entre sí, lo que es fundamental para cimentar las bases de cualquier plan de acciones. Es preciso evaluar la producción actual y su gestión desde una perspectiva crítica que resalte de forma sincera y honesta aquellos puntos potenciales de optimización, así como que destaque las buenas conductas y rutinas que se llevan a cabo.

Antes de analizar los puntos más destacables que presenta el *VSM*, es necesario explicar el funcionamiento actual de gestión que existe en la refinería, para así poder comprender los resultados obtenidos. Por esta razón, se contextualiza la gestión actual de las comunicaciones y producciones para más tarde usar esta información en los análisis futuros.

PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN:

La programación de la producción es responsabilidad del Departamento Comercial, que es quien gestiona las relaciones con proveedores y clientes. La programación se realiza de forma semanal, una vez determinada la cantidad de aceite refinado demandada por los clientes. Cada semana los distintos clientes comunican la cantidad de refinado que necesitan.

Una vez determinado el plan de producción, se comunica al departamento técnico quien, a su vez, traslada las intenciones de producción al jefe de fábrica. El director técnico, junto con su adjunto, marcan los planes de producción de cada proceso para poder satisfacer lo requerido, siempre teniendo en cuenta el nivel de aceite almacenado en cada proceso.

El sistema de producción actual es de tipo *push*, pues a pesar de producir en función de lo que demandan los clientes por semanas, el proceso no presenta flujo continuo, por lo que las cantidades de cada uno de los procesos no está marcada por la demanda de los clientes. Este tipo de sistemas se caracteriza por la producción en función de una demanda estimada, produciendo grandes cantidades para la compra inmediata del producto. Este tipo de sistemas puede producir grandes pérdidas económicas si no se cumple la demanda prevista.

El sistema actual entra dentro de esta definición, y tiene varios motivos que explican su configuración. Por un lado, la situación es viable, en cuanto a producción se refiere, debido al alto

nivel de inventario almacenado existente. Por otro, la implementación de un sistema tipo *pull* con flujo continuo es todo un reto debido a los siguientes factores:

- La complejidad del proceso complica la sincronización de los subprocesos entre sí.
- Cualquier parada inesperada, como son los micro cortes de tensión (con una duración de dos a cinco segundos) conlleva la necesidad de rearrancar el proceso, lo que puede suponer un tiempo de espera de unas ocho horas.
- El aceite refinado es un producto con una demanda continua a lo largo del año, lo que impide poder realizar paradas para una reestructuración del sistema.

FLUJO DE INFORMACIÓN:

Todas las comunicaciones que se producen, ya sea entre personal de la empresa o con agentes externos, se realiza de forma manual por medios electrónicos, y es por eso que se dibuja todo el flujo de información con una flecha continua. Esto quiere decir que, pese a utilizar soportes digitales, como el correo electrónico, no existe una automatización de orden de pedidos ni de producción. Es algo que no llama la atención ya que el proceso productivo no presenta flujo continuo, por lo que es poco coherente asumir el esfuerzo económico y logístico para la implementación de un sistema similar al mencionado.

FLUJO MATERIAL:

El flujo material ha sido objeto del estudio y análisis desarrollados en el trabajo, por lo que no es necesario añadir más comentarios al respecto.

Comprendido ya la situación global de la planta, y cómo se gestionan las ordenes de pedido y de producción, se procede al análisis y evaluación de los puntos más significativos que presenta el *VSM* anterior.

La interpretación del *VSM* está compuesta por tres ramas de análisis principales:

1. Análisis y evaluación del *Takt-Time* (TT) en comparación al caudal nominal de producción.
2. Estudio de la sincronización de los procesos y su influencia en la eficiencia de los mismos.
3. Lectura del *Lead Time* (LT) y del Tiempo de Valor Añadido (TVA)

Estos tres campos se comentan en detalle a continuación por separado para una mayor simplificación del estudio.

5.4.1 Análisis y evaluación del Takt-Time (TT)

El *Takt-Time* hace referencia al ritmo de salida de los productos acabados que debe alcanzar la línea productiva para satisfacer la demanda de los clientes. Este concepto es básico para la implementación de un sistema tipo *pull* donde el flujo material sea continuo. De esta forma, se adopta la filosofía *Just-In-Time* (JIT) que es uno de los pilares sobre los que se sustentan el movimiento *Lean*.

El *Takt-Time* se determina a partir de la demanda diaria del producto. Por tanto, es un concepto estipulado por los propios clientes, y no la empresa. El *Takt-Time* es la base para el desarrollo de un modelo de flujo continuo, condicionando así todas las decisiones a nivel de producción.

Los ritmos de producción obtenidos para los siete procesos son los siguientes:

	Takt-Time (kgs/hora)
Descarga de crudo	39.245
Depuración	12.112
Neutralización	13.623
Winterización	11.150
Decoloración	15.488
Desodorización	8.681
Carga de refinado	16.252

Tabla 7: Takt-Time de los procesos

Un sistema de producción con capacidad suficiente para trabajar a estas velocidades puede satisfacer la demanda de **170,45 Tn al día** de forma que el flujo de aceite sea continuo. Esto quiere decir que si los ritmos de producción coinciden con el *Takt-Time* asignado en cada proceso, no existe la necesidad de almacenamiento intermedio, pues el proceso no se detiene hasta su completa finalización. Las consecuencias positivas de este supuesto son:

- Incremento de la productividad
- Incremento de la calidad, tanto del producto como del servicio
- Disminución del inventario intermedio (*WIP – Work in Progress*)
- Reducción de residuos y riesgo de obsolescencia

- Mayor rendimiento económico: reducción de costes asociados a inventario y a pérdidas de ventas
- Mejoría de la eficiencia de los procesos

No obstante, la implementación de un modelo continuo requiere del rediseño de toda la línea productiva, lo que supone una inversión económica importante. Además, se requiere de un estudio de las capacidades de producción de las bombas de recirculación, así como de las líneas o tuberías de comunicación entre procesos y depósitos, determinando qué porcentaje de los equipos técnicos es compatible con este modelo.

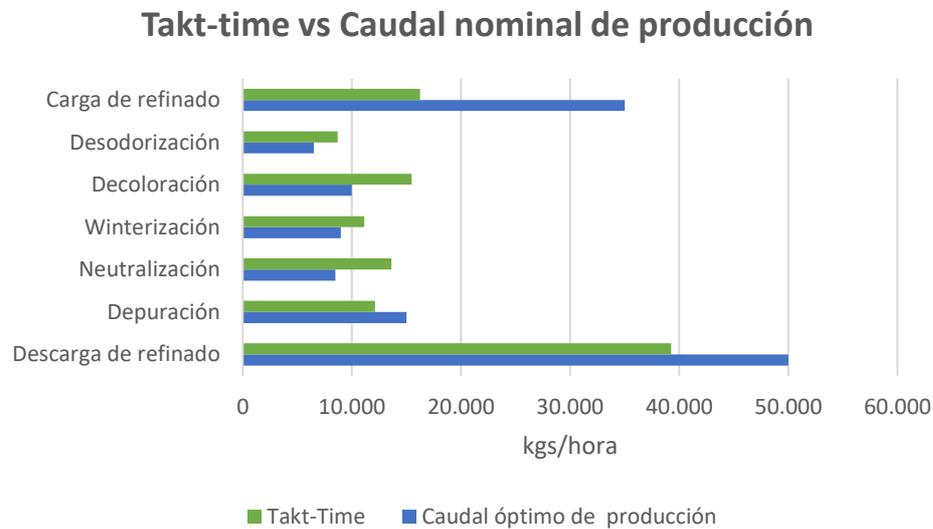
La calculación del *Takt-Time* persigue el objetivo de poder comparar los niveles de producción actuales de los procesos con el modelo de flujo continuo. De este modo, es posible cuantificar los equipos técnicos y las bombas que hacen falta para alcanzar dicha situación.

Cada proceso de la planta funciona a un ritmo determinado según las características del aceite deseado. Estos ritmos dependen de las bombas de recirculación y de las circunstancias del momento, como pueden ser paradas del proceso, disminución del caudal de trabajo por mantenimiento de parte del proceso, o la demanda semanal.

Se denomina *caudal nominal de producción* a la cadencia presentada por los procesos en situaciones ordinarias, cuando el funcionamiento de todo lo que interviene dentro del proceso es correcto. Este caudal de trabajo permite la producción necesaria para satisfacer la demanda actual de los clientes dentro del entorno de trabajo que sigue la empresa, y se ha establecido de forma que coincida con las capacidades de las bombas de recirculación, pues de ellas dependen todo el proceso.

Las bombas de recirculación, como se puede intuir, bombean el aceite por todo el recinto, permitiendo que el aceite recorra todo el circuito. Trabajan en el punto de funcionamiento caudal-presión adecuado en función del caudal que se quiera trasladar. De esta forma, es posible programar dichas bombas de forma que se adapten al lote entrante en cada proceso.

La siguiente gráfica muestra la comparación de los caudales nominales de cada proceso con el *Takt-Time* establecido para complacer la demanda.



Gráfica 14: Takt-Time vs Caudal nominal de producción de los procesos

Se observan las siguientes situaciones en dicha gráfica:

- La descarga de crudo, la depuración y la carga de refinado son los únicos procesos que presentan un *takt-time* compatible con el caudal nominal de producción.
- Los procesos de neutralización, winterización, decoloración y desodorización presentan un *takt-time* superior al caudal nominal de producción, por lo que no es posible, con las bombas actuales, la implementación del flujo continuo.

Por tanto, es posible afirmar que los equipos y las bombas actuales no alcanzan las capacidades necesarias para poder plantear el rediseño de la línea de acuerdo con el modelo de flujo continuo. Por esta razón, se entiende la gestión de la producción actual, pues existen límites de producción que impiden la aplicación de la metodología Lean de forma directa.

Las alternativas que se proponen para posibilitar la implantación de un modelo de flujo continuo son:

1. Aumento del número de bombas y líneas de comunicación con la misma capacidad de bombeo.
2. Inversión económica en nuevas bombas y líneas de comunicación con mayor capacidad.
3. Adaptar la demanda a las producciones nominales.

Estas alternativas no son aplicaciones que pertenezcan al movimiento *Lean Manufacturing*, y son propuestas sencillas y sin trasfondo. Es necesario dibujar el diagnóstico completo de la situación actual para poder recomendar iniciativas que representen una mejora significativa, en cualquier ámbito del sistema, mediante la metodología *Lean*. Las recomendaciones afines a esta filosofía se presentarán conforme se avanza en el desarrollo del capítulo, una vez se disponga de un conocimiento lo suficientemente sólido como para indicar planes de actuación.

5.4.2 Estudio de la sincronización entre los procesos

Un sistema de producción eficiente se caracteriza por la sincronización eficaz y vigorosa de los procesos entre los procesos que componen dicho sistema. Esto magnifica la producción de la línea, reduce el número de retrabajos y defectos, y supone una reducción en el costo total de operación.

La sincronización de los procesos estandariza de forma genérica el sistema completo, lo que asegura unos niveles canónicos de la calidad del producto. Además, es fundamental a la hora de establecer el modelo de flujo continuo. La metodología *Lean* interpreta los procesos dentro de un mismo sistema productivo, y no por separado, por lo que se centra en mejorar la comunicación y el modo de actuación que existe entre las distintas zonas de la línea de fabricación.

Se entiende por “relación entre procesos” el grado de dependencia que presentan los unos con los otros, y qué canales de comunicación se utilizan para transmitir la información de un proceso a otro. De este modo, el análisis de las relaciones entre los procesos de la planta hace referencia a la evaluación de la vinculación de los procesos entre sí, y cómo las ordenes de producción en uno de ellos altera y modifica los planes de actuación en otros.

Todos los procesos de la refinería son responsabilidad del departamento técnico, quien dirige los planes de acción en función de la producción deseada. Una vez definido los programas de actuación en cada uno de los procesos, se trasladan al jefe de fábrica para que este informe al resto del equipo.

La ausencia de un proceso global sincronizado de forma automática provoca la siguiente situación. Cada proceso produce en función del stock almacenado disponible en el momento, y de las posibilidades de producción que ofrece, produciendo en exceso para asegurar la disponibilidad de stock en caso de ser requerido. De esta forma, es improbable que no se cumpla con las expectativas de demanda, pues el nivel de inventario final es elevado, aunque es común la necesidad de detener algún proceso hasta que el proceso anterior finalice, pues existen desnivelaciones de producción.

Esta idea se puede entender observando el número de depósitos destinados a cada proceso. La siguiente tabla recoge dicha información:

Descarga de crudo		Depuración		Neutralización		Winterización		Decoloración		Desodorización/Carga	
Numero de depósito	Capacidad (Tn)	Numero de depósito	Capacidad (Tn)								
43	713	8	99	50	519	29	23	26	23	2	90
44	711	10	99	51	720	30	23	27	23	3	90
45	706	11	98	52	720	37	502	28	23	4	90
46	709	34	142	Total	1.959	38	504	Total	69	12	86
Total	2.839	35	142			39	696			22	45
		36	512			41	684			23	46
		Total	1.092			42	689			24	46
						16	44			25	46
						17	42			47	53
						Total	3.207			48	53
										49	363
										Total	1.008

Tabla 8: Capacidad de almacenamiento de los procesos

Se observa que la capacidad de almacenamiento disponible para aceite decolorado es drásticamente menor que las capacidades del resto de procesos. Esto debe su explicación a través de la introducción de un nuevo concepto clave: **el cuello de botella**.

Se denominan cuellos de botella (*bottlenecks*) a puntos de congestión presentes en la línea de fabricación que provocan la ralentización, e incluso detención, de todo el sistema. Su identificación es fundamental para la optimización del proceso.

La refinación del aceite de orujo en la planta presenta dos cuellos de botella:

- La winterización, con un tiempo de 132,6 horas de tiempo de valor añadido, lo que provoca la primera gran ralentización del sistema.
- La desodorización, con un tiempo de 131 horas de tiempo de valor añadido, que provoca la segunda gran ralentización del sistema.

Volviendo a la idea anterior, no es necesario almacenar una gran cantidad de aceite decolorado, pues la decoloración es el proceso más rápido, y es inmediatamente anterior al segundo cuello de botella. Por tanto, todo el aceite decolorado entra de forma casi inmediata en el proceso de desodorización para disminuir tiempos de producción, por lo que apenas existe inventario de aceite decolorado.

Esta situación se puede observar de forma directa en el esquema de *VSM*. Se puede observar que el Tiempo de No-Valor Añadido en el proceso de decoloración es el menor de todos, con un valor de 0,4 horas. Esto se traduce en lo comentado: casi toda la producción de aceite decolorado entra en el proceso de desodorización.

Sin duda, es el único punto de todo el sistema productivo donde se observa un comportamiento similar al modelo de flujo continuo. No obstante, es consecuencia de la configuración actual del proceso de desodorización, que por razones químicas conlleva un tiempo importante de procesamiento, y no de la configuración de la línea productiva.

En definitiva, no existe una sincronización global entre los procesos, lo que provoca sobreproducción en muchos casos. El resultado directo es un incremento en el coste de inventario, que se manifiesta en las tareas de mantenimiento, limpieza y gestión del stock acumulado. Además, la configuración actual de la línea es vulnerable frente a paradas o retenciones que condicionen la producción, apareciendo el despilfarro de tiempos de espera cuando el stock es mínimo.

La solución a esta alternativa es la nivelación de la producción, contribuyendo así a la implementación del modelo continuo. Esto se alcanza a través de la técnica *Lean Heijunka*.

5.4.3 Lectura del Lead Time (LT) y del Tiempo de Valor Añadido (TVA)

La tercera y última rama que completa el campo de análisis es la interpretación de los valores obtenidos en la calculación del *lead time* y del tiempo de valor añadido.

Se entiende por *lead time* el tiempo transcurrido necesario para transformar la materia prima – aceite de orujo crudo – en el producto final – aceite refinado de orujo de oliva. Suele asociarse al periodo de tiempo entre la recepción de un pedido hasta la entrega final de este.

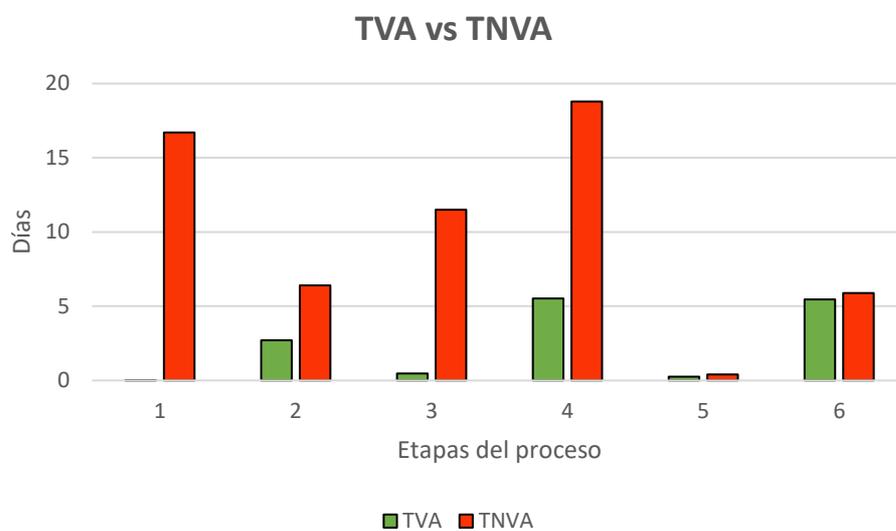
Este concepto permite cuantificar de forma global el tiempo que abarca el sistema productivo. Este intervalo recoge todo lo relativo al tiempo de operación de los procesos, por lo que está fuertemente condicionado por tiempos de espera, paradas producidas, retenciones obligadas, etc. En este sentido, el *lead time* mínimo de un proceso es el alcanzado por el sistema en flujo continuo, pues la duración del proceso en este modelo es exclusivamente dependiente del tiempo real necesario para la fabricación del producto.

La estimación de este concepto es la suma de los siguientes términos:

- Tiempo de Valor Añadido (TVA): es el tiempo donde se modifican las propiedades del producto con el objetivo de añadir valor a este. En este caso, es coincidente con el tiempo de ciclo de los procesos.
- Tiempo de No-Valor Añadido (TNVA): tiempo entre procesos donde no se altera las propiedades del producto, por lo que no se añade valor. Una buena aproximación es el tiempo almacenado entre procesos.

Existe un tercer elemento que se puede definir como defectos, el cual se ha desestimado ya que su relevancia en este contexto es mínima.

El lead time obtenido del sistema productivo es de **74,14 días**. La interpretación de este número es que transcurren 74,14 días desde que se descarga un lote de aceite crudo hasta su refinación. Este número se entiende mediante el estudio individual de cómo los procesos participan en la creación de valor, que es la refinación del aceite. Para ello, se compara el tiempo (en días) en ciertas etapas establecidas del proceso global, donde el producto está siendo tratado frente al tiempo que permanece almacenado. Esta comparativa se observa en la siguiente gráfica:



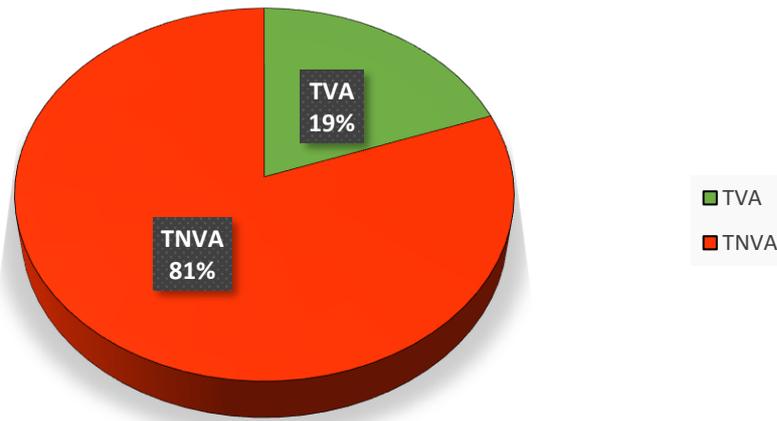
Gráfica 15: Comparación entre el tiempo de valor añadido (TVA) y el tiempo de no-valor añadido (TNVA)

Las barras rojas representan el tiempo donde el producto no es tratado, ya sea por razones de almacenamiento o de movimiento por el recinto, mientras que las barras verdes representan el tiempo donde realmente se añade valor al producto. Las seis etapas del proceso que se han contemplado son:

1. Período entre la descarga de las cisternas hasta la entrada del lote en la depuración.
2. Proceso de depuración y tiempo transcurrido hasta la entrada en el proceso de neutralización.
3. Proceso de neutralización y tiempo transcurrido hasta la entrada en el proceso de winterización.
4. Proceso de winterización y tiempo hasta la entrada en el proceso de decoloración.
5. Proceso de decoloración y tiempo hasta la entrada en el proceso de desodorización.
6. Proceso de desodorización y tiempo hasta la carga del refinado.

La única etapa de la cadena de producción que presenta unos valores similares entre el tiempo de valor añadido y el tiempo de no-valor añadido es la etapa 6. Esto provoca que el lead time este firmemente compuesto por tiempos ociosos.

Descomposición del Lead Time



Gráfica 16: Descomposición del Lead Time según los porcentajes representativos de sus elementos

De los 74,14 días empleados para la refinación del aceite de orujo crudo, **346,15 horas (14,42 días)** – en torno al 19% del tiempo total - son destinadas a la transformación del aceite en aceite refinado de orujo. El resto del tiempo se consume en depósitos donde se aguarda la entrada en los procesos.

Llama la atención que la etapa 4 (proceso de winterización y tiempo hasta la entrada en el proceso de decoloración) presente el mayor tiempo de no-valor añadido, pues como se observó en el análisis de la sincronización de los procesos, la winterización es el mayor cuello de botella presente en la línea productiva.

Este hecho no es responsabilidad del proceso de winterización, sino que debe su explicación a la baja capacidad de almacenamiento disponible para el aceite decolorado. Esto provoca que el aceite decolorado ingrese de forma casi inmediata en el proceso de desodorización, dando lugar a este tiempo de espera (de unos 18,8 días) hasta asegurar la continuidad entre los procesos de decoloración y desodorización. Esta singularidad es, por tanto, consecuencia de los procesos de decoloración y desodorización.

No obstante, al encontrarse esta situación en la salida de la winterización, y siendo este proceso el cuello de botella, es un buen lugar para ubicar las primeras medidas que se tomen para optimizar este procedimiento. La recomendación es estudiar de forma minuciosa el proceso de winterización, evaluando si existe la posibilidad de acortar el proceso, para más tarde sincronizar los procesos de

winterización, decoloración, y desodorización para disminuir este tiempo de espera. Se aconseja empezar cuantificando los tiempos perdidos en el subproceso de lavado II, y cómo influye la necesidad de almacenar parte del lote en mitad del proceso en la ralentización que presenta la winterización.

Por otro lado, es evidente la necesidad de reducir los tiempos de cambio entre los distintos procesos. Esto se puede alcanzar mediante la técnica *Lean SMED*.

6 Diagnóstico y proyección para el futuro

El capítulo final de este trabajo se centra en proyectar en el futuro todo el análisis realizado, detallando los puntos clave que recoge este proyecto, y estableciendo un diagnóstico final que permita determinar qué medidas se pueden tomar para cambiar el rumbo de la situación actual.

El estudio de la planta ha dejado varias cuestiones interesantes, pues los resultados numéricos alcanzados son coherentes y corresponden a la situación actual que presenta la refinería. En este sentido, este trabajo permite visualizar la gestión y la producción de la planta, y la información recogida es verídica y actual.

Se han detectado dos fuentes principales de despilfarro que generan una producción menor frente al potencial que presenta la refinería. Estas dos fuentes son:

- El tamaño de los lotes
- Tiempo de almacenamiento del inventario

Estas dos fuentes dan lugar a despilfarros que pueden reducirse, e incluso erradicarse, mediante la aplicación de metodologías Lean. Esta situación provoca que el *lead time* sea elevado, existiendo tiempos del proceso donde no se añade valor al producto e, incluso, se potencia el riesgo de mal funciones del sistema y situaciones adversas que suelen repercutir en el tema económico.

Es posible afirmar que la refinería de ACOLSA no presenta un modelo que siga los principales fundamentos del movimiento Lean, y su transformación requiere de un proceso lento y medido que comprenda las sensibilidades del sistema, así como sus puntos fuertes y sus puntos más débiles.

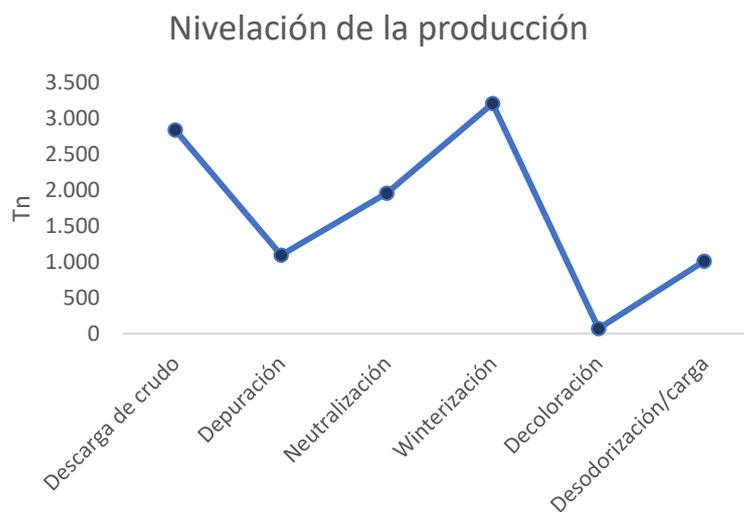
Además, la línea de producción presenta fuentes de despilfarros que suponen un descenso del rendimiento de la planta. Las influencias y repercusiones de ambas fuentes se detallan a continuación.

TAMAÑO DE LOS LOTES:

Se observa que existen procesos cuyos caudales de trabajo son demasiado voluminosos como para permitir un proceso eficiente en su totalidad. Esto propicia la aparición de los despilfarros de exceso de inventario y sobreproducción.

Tal y como se puede consultar en la Tabla 1: Causas y efectos de los despilfarros, la sobreproducción suele desembocar en un alto nivel de inventario, por lo que es común que este nivel sea desproporcionado a la demanda real, lo que genera inventario en exceso que se traduce en la necesidad de un consumo mayor de los recursos disponibles, incluyendo recursos logísticos y económicos.

La causa principal de esta serie es la desnivelación que presenta la producción. La siguiente gráfica muestra cómo evoluciona la producción según su avance en el proceso de refinación.



Gráfica 17: Nivelación de la producción entre los procesos

Es inmediato comprender que esta situación genera un exceso de inventario como consecuencia de la sobreproducción que se presenta en algunos de los procesos, como es el caso de la winterización. En consecuencia, es posible intuir que ACOLSA presenta pérdidas económicas como consecuencia del incremento de los costes asociados a la gestión y almacenamiento de todo el stock intermedio producido, así como de las ventas pérdidas por no contar con un sistema global que alcance los niveles máximos de producción.

Esto impide que el sistema actual pueda considerarse óptimo, por lo que es necesario la implementación de alguna técnica Lean que busque la nivelación de la producción, con el objetivo de solucionar este problema y eliminar la sobreproducción y el exceso de inventario.

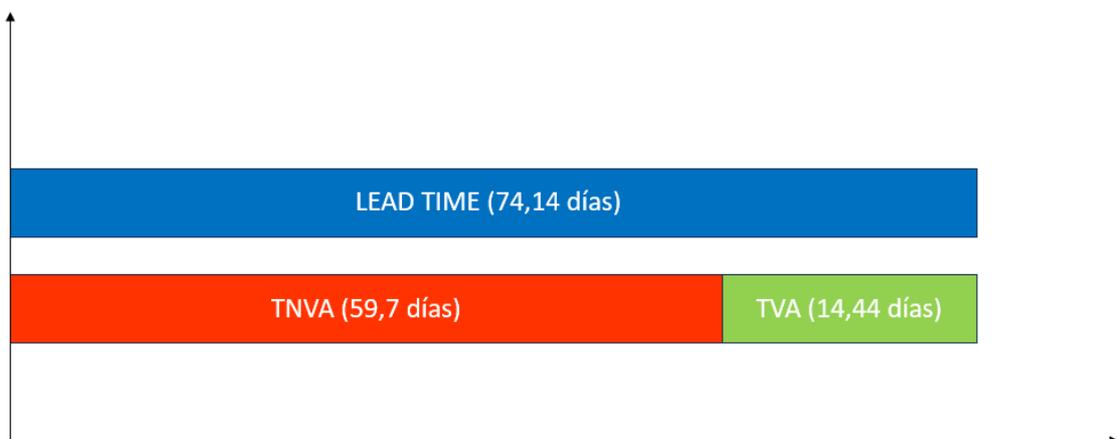
Se recomienda la implementación de la técnica *Lean Heijunka*.

TIEMPO DE ALMACENAMIENTO DEL STOCK:

No es casualidad que el valor del *lead time* obtenido (74,14 días) sea tan elevado, pues el tiempo de almacenamiento del stock intermedio, del *WIP*, es demasiado largo en algunos puntos del proceso. Esto provoca la aparición del despilfarro tiempos de espera.

La Gráfica 15: Comparación entre el tiempo de valor añadido (TVA) y el tiempo de no-valor añadido (TNVA) permite visualizar esta situación de forma clara y evidente. El tiempo de ciclo de los procesos, que se ha considerado como el tiempo de valor añadido, es significativamente menor que el tiempo de espera que debe realizar el stock para ingresar en los procesos siguientes. Esto es, entre otras razones, consecuencia de la desnivelación de la producción que se mencionó anteriormente.

A continuación, se puede observar una comparativa sencilla entre el tiempo donde realmente se produce la refinación del aceite de orujo frente al tiempo donde el stock permanece inmóvil en los depósitos.



Gráfica 18: Desglose en días del lead time

No obstante, esta situación no es solo consecuencia de la mala nivelación de la producción. Normalmente, son los tiempos de cambio entre los procesos los que agrandan el valor del *lead time*. Por esta razón, conviene realizar un estudio aparte de las operaciones a realizar para el cambio de procesos para concluir qué camino se debe elegir para reducir el *lead time* actual.

Se recomienda la implementación de la técnica *lean SMED*.

CONCLUSIÓN:

Una vez citados los despilfarros encontrados, así como haber realizado el análisis completo en el capítulo Interpretación del VSM actual, es posible dibujar un diagnóstico final que evidencie el funcionamiento actual de la refinería.

El diagnóstico se puede resumir en los siguientes comentarios:

- El modelo actual de producción no se rige por el modelo de flujo continuo, presentando un sistema tipo *push*, por lo que el sistema de producción no es óptimo.
- Existe una desnivelación en la producción que causa la aparición constante de despilfarros, como son la sobreproducción y el exceso de inventario.
- El tamaño de los lotes dificulta el tratamiento de estos, provocando que los tiempos de ciclo de algunos procesos sean demasiado elevados.
- La línea de producción presenta dos cuellos de botella: los procesos de winterización y de desodorización.
- El tiempo de almacenamiento del *WIP* explica que el *lead time* del proceso entero sea de dos meses y medio aproximadamente, lo que genera el desperdicio de tiempos de espera.
- Los procesos actúan de forma casi independiente, produciendo en función de las capacidades de producción del momento, y no en función de la demanda diaria real.
- La sobreproducción es lo que permite la satisfacción de la demanda, aunque conlleva la aparición de despilfarros, que presumiblemente, se traducen en pérdidas económicas.
- El proceso de descarga de crudo presenta una eficiencia global inaceptable, por lo que debe ser punto de estudio en futuros planes de actuación.
- El proceso de desodorización es el proceso más eficiente.
- El proceso de winterización, al ser el cuello de botella, debe ser objeto de estudio, evaluando qué puntos del proceso pueden ser eliminados para agilizar el procedimiento.
- La decoloración es el proceso que presenta un menor tiempo de ciclo, aunque también presenta la menor capacidad de almacenamiento, lo que provoca que dependa estrictamente del proceso de desodorización, que es el segundo cuello de botella.
- El primer plan de acción debe buscar la sincronización entre los procesos de winterización, decoloración y desodorización.
- Los únicos procesos con capacidad suficiente para producir al ritmo del *Takt-Time* son los procesos de descarga de crudo, depuración, y carga de refinado.

Este diagnóstico no contempla un estudio económico, por lo que no es posible cuantificar las pérdidas que se generan como consecuencia de la situación actual. Lo importante es comprender que, a pesar de que ACOLSA presenta unos niveles de producción sorprendentes, existe margen de

mejora que conlleva la optimización del proceso, incrementando así dicha producción y, por consiguiente, los ingresos económicos.

7 Conclusiones

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es el análisis y el estudio de la situación actual de la refinería de ACOLSA con la intención de entender el funcionamiento y rendimiento que presenta el sistema de producción.

El procedimiento seguido ha permitido evaluar los puntos críticos dentro de la planta, y los resultados obtenidos permiten trazar futuros planes de actuación para la optimización del sistema.

La optimización de los procesos productivos requiere de un conocimiento profundo de todo lo que interviene en ellos, determinando qué factores y aspectos suponen una amenaza para el correcto funcionamiento de estos. El procedimiento para la optimización de procesos productivos se puede resumir en los tres siguientes pasos:

1. Estudio y evaluación de la situación actual, estableciendo el grado de la eficiencia y eficacia según los intereses y requerimientos del momento.
2. Establecimiento de un plan de mejoras que permitan evolucionar el sistema hacia un nuevo grado de eficiencia y eficacia, de acuerdo con los objetivos de la empresa.
3. Implementación del plan de mejoras, estableciendo objetivos que se visualicen en el tiempo para observar la influencia, positiva o negativa, del plan de mejoras propuesto.

Este Trabajo de Fin de Grado se ha centrado exclusivamente en el primer punto, mostrando los aspectos fundamentales de la refinería y comentando sus influencias en la gestión y funcionamiento del sistema. Esto se ha realizado a través de dos conceptos *Lean*: el *OEE (Overall Efficiency of Equipment)* y el *VSM (Value Stream Mapping)*.

Este proyecto se puede dividir en tres grandes capítulos:

- Descripción de la empresa y sus procesos, e introducción al movimiento *Lean manufacturing*.
- Determinación de la eficiencia de los siete procesos principales de la planta.
- Evaluación de todo el sistema de fabricación de la refinería a través de la visualización entera de la fábrica gracias a la aplicación de la técnica *VSM*.

Es posible concluir que el estado actual de la planta puede ser optimizado mediante el uso futuro de herramientas *Lean*. Esto permitirá a la entidad la reducción de costes (en su mayoría los asociados a la gestión y almacenamiento de *WIP*), el incremento de la productividad, y la fidelidad de los clientes gracias a una mejor calidad de servicio como consecuencia de la reducción de tiempos.

En cuanto a las eficiencias obtenidas, los resultados dejan en evidencia aquellos puntos del sistema donde es posible actuar para mejorar la situación. Las eficiencias que presentan los procesos se corresponden directamente con el modo de gestión de estos. Por ejemplo, si consultamos el proceso de Descarga de crudo, la eficiencia obtenida es lógica, pues el proceso está en funcionamiento únicamente la mitad del tiempo disponible. Esto provoca que la eficiencia esté muy condicionada por los tiempos de espera, que es quizás el despilfarro, junto con la sobreproducción, más presente en la línea.

Otro de los factores que más afecta a la diferencia entre las eficiencias obtenidas en los procesos es la sensibilidad de estos frente a paradas inesperadas. Cada proceso requiere de unos tiempos específicos en función del origen de la parada, dependiendo estos tiempos de la complejidad de cada uno. Llama la atención la influencia que pueden tener paradas aparentemente inofensivas, como son las micro paradas por cortes de tensión o luz, y que, sin embargo, provocan una ralentización enorme de todo el proceso, como es el caso de la neutralización (consultar Tabla 12: Tiempos de paradas en el proceso de neutralización para entender la influencia).

En definitiva, se puede concluir que los resultados para las eficiencias de los procesos obtenidos son adecuados según el funcionamiento actual que presentan los procesos. La cuantificación de las eficiencias mediante valores numéricos permite la concienciación del consejo de dirección a tomar iniciativas que optimicen estos valores. Es común pensar que la eficiencia de los procesos es sinónimo del rendimiento de estos. No obstante, se ha podido comprobar que la eficiencia está condicionada además por la disponibilidad, por lo que es conveniente este tipo de análisis para situar de forma sincera la eficiencia de la planta.

La aplicación de la metodología *VSM* ha permitido implantar lo calculado en el capítulo Análisis y Evaluación de la Eficiencia de la línea de producción mediante el OEE, lo que, sumado al resto de información seleccionada, ha dibujado un esquema completo y sólido de toda la refinería. De esta forma, el diagnóstico final presentado es un resumen de todo lo que se puede observar en el *VSM*.

Es inmediato entender que el sistema actual es lejano al modelo de flujo continuo que propone el movimiento *Lean*. La implementación de este tipo de modelo supone un rediseño de la planta, estimando qué conductas son afines a la filosofía *Lean* y cuales, por el contrario, debemos mejorar para la optimización del proceso.

Se han recomendado de forma superficial y sin justificación las técnicas *Lean SMED* y *Heijunka*. Las razones de estas recomendaciones son:

- *SMED*: permite la agilización de los tiempos de cambio entre procesos, por lo que es una buena alternativa para mejorar los tiempos de espera que existen entre los procesos. Esta técnica requiere de un estudio detallado de todas las tareas que se realizan entre procesos, identificando qué tareas son internas y cuales son externas.
Un posible punto de implementación de *SMED* puede ser considerar el proceso de descarga como dos subprocesos independientes: uno es la tramitación de la documentación de los camiones cisterna que entran en la fábrica, y otro la descarga directa de las cisternas. *SMED* agilizaría los tiempos entre estos dos subprocesos, de forma que la disponibilidad aumenta, por lo que la eficiencia mejora.
- *Heijunka*: esta técnica tiene como objetivo la nivelación de la producción para evitar desperdicios como la sobreproducción, la cual está muy presente en ACOLSA. La aplicación de *Heijunka* conlleva la disminución del tamaño de los lotes, lo que puede reducir en gran medida la existencia de stock intermedio (*WIP*). De esta forma, se eliminan los despilfarros de sobreproducción y exceso de inventario, optimizando la sincronización de los procesos y aumentando la productividad de todo el sistema global.

Es necesario aclarar que el alcance de este proyecto es el análisis y estudio de la situación actual, y en ningún momento se ha planteado la realización de un estudio económico (no se ha tenido acceso a los mismos) ni la implementación de las técnicas mejoradas para comprobar la eficacia de estas.

Estos dos campos que no se han tratado pueden ser la motivación de proyectos futuros que tomen como base de datos este mismo Trabajo de Fin de Grado, aplicando de forma real todos los conocimientos teóricos expuestos en este documento. La situación actual de ACOLSA ofrece la oportunidad de la aplicación de estas nuevas técnicas que han revolucionado el mundo empresarial e industrial, y cuyos beneficios justifican todo el análisis e interpretación que requieren para su realización.

Referencias

- AC - MP. (s.f.). Obtenido de <https://acmplean.com/que-es-el-takt-time-y-por-que-es-util-conocerlo/>
- ACOLSA. (s.f.). Obtenido de <https://acolsa.es/>
- All Lean - Change for good. (s.f.). Obtenido de <https://www.all-lean.com>
- Asana. (s.f.). Obtenido de <https://asana.com/es/resources/what-is-a-bottleneck>
- Carreras, M. R. (s.f.). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad.*
- Díaz, G. E. (2021). *MEJORA DE LA EFICIENCIA DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UNA FÁBRICA DE RECICLADO DE PLÁSTICOS.* Sevilla.
- Escudero, A. (s.f.). *Apuntes de la asignatura Sistemas Integrados de Producción.* Sevilla.
- García, P. R. (2019). *Implementación de la Metodología Lean Manufacturing en la fábrica de Acesur.* Sevilla.
- Ingeniería de calidad. (s.f.). Obtenido de <https://www.ingenieriadecalidad.com>
- Jesús, S. H. (2023). *Aplicación de técnicas de Lean Manufacturing y SIG a una planta de producción del sector alimentario en Sevilla.* Sevilla.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). Obtenido de <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas>
- Pemán, P. d. (2022). *Certificado energético industrial de una fábrica de refinado de aceite de orujo de oliva.*
- Shook, M. R. (1999). *Observar para crear valor.*
- Sistemas OEE - Technology to improve. (s.f.). Obtenido de <https://www.sistemasoe.com/definicion-oe/>
- Tookane. (s.f.). Obtenido de <https://tookane.com/just-in-time-la-clave-de-la-logistica-mas-eficiente/>
- Universidad Pontificia de Comillas, I. (s.f.). *Apuntes de la asignatura Lean Manufacturing.*

Anexo

Las siguientes páginas contienen una serie de tablas donde se pueden observar los datos y los cálculos realizados para la obtención de los resultados presentados a lo largo del documento.

Proceso	Datos Iniciales		Paradas realizadas		Operaciones
DESCARGA DE CRUDO	Jornada laboral	8 horas	Programadas	95,40 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{2 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{22 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 352 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	2	No programadas	124,00 horas	$TPO = 352 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 95,4 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 256,6 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Viernes	Resto de paradas	8,06 horas	$TO = 256,6 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 124 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 132,6 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 352 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 95,4 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 124 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 8,06 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 95,55 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
DEPURACIÓN	Jornada laboral	8 horas	Programadas	177,50 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{3 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	3	No programadas	105,50 horas	$TPO = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 177,50 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 542,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Domingo	Resto de paradas	14,80 horas	$TO = 542,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 105,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 437 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 177,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 105,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 14,8 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 422,2 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
NEUTRALIZACIÓN	Jornada laboral	8 horas	Programadas	162,50 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{3 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	3	No programadas	156,00 horas	$TPO = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 162,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 557,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Domingo	Resto de paradas	26,13 horas	$TO = 557,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 156 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 401,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 162,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 156 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 26,13 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 375,37 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
WINTERIZACIÓN	Jornada laboral	8 horas	Programadas	158,00 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{3 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	3	No programadas	89,33 horas	$TPO = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 158 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 562 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Domingo	Resto de paradas	14,06 horas	$TO = 562 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 89,33 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 472,7 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 158 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 89,33 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 14,06 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 458,61 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
DECOLORACIÓN	Jornada laboral	8 horas	Programadas	307,50 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{3 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	3	No programadas	72,00 horas	$TPO = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 307,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 412,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Domingo	Resto de paradas	10,35 horas	$TO = 412,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 72 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 340,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 307,5 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 72 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 10,35 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 330,15 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
DESODORIZACIÓN	Jornada laboral	8 horas	Programadas	60,00 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{3 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	3	No programadas	53,00 horas	$TPO = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 60 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 660 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Domingo	Resto de paradas	17,96 horas	$TO = 660 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 53 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 607 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 720 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 60 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 53 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 17,96 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 589,04 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
CARGA DE REFINADO	Jornada laboral	8 horas	Programadas	66,33 horas	$TT = \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ turno}} \times \frac{2 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \times \frac{22 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 352 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Nº turnos/día	2	No programadas	47,00 horas	$TPO = 352 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 66,33 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 285,7 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
	Calendario	Lunes-Viernes	Resto de paradas	7,93 horas	$TO = 285,7 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 47 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 238,7 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$
					$TUP = 352 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 66,33 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 47 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 7,93 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 230,73 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$

Tabla 9: Cálculo del tiempo total, tiempo planificado de operación, tiempo de operación, y tiempo útil productivo

Proceso de DESCARGA CRUDO

Depósitos 43 - 44 - 45 - 46	Tamaño de los lotes	25 Tn
Se descargan aprox 184 cisternas mes (25.000 kg/cisterna)	Caudal de trabajo	50 Tn / h
	Tiempo de lote	0,51 horas

DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
		CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRAJOS	
30 min/turno	Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	22,00							
2 min	Verificar estado de la cisterna y habilitar la manguera	6,13							
4 min	Tomar muestras de cada boca (con sable) de la cisterna y entregar a laboratorio	12,27							
30 min / turno	Realización de trasiegos entre depósitos, otras cargas (pastas y ácidos grasos)			22,00					
35 min cada 11 horas	Recuperación de crudo en depósitos								25,67
120 min cada día	Tratamiento de recuperación de crudo y recuperación aceite								44,00
5 min	Sangrado de agua de totem de ácidos grasos								3,67
30 min	Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales			22,00					
10 min / día	Descargar totem de 1m3 en depósitos de aceite recuperado								3,67
3 horas/mes	Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)		3,00						
75 min/turno	Tareas de limpiezas de zonas asignadas	55							
0,1 horas/mes	Microcortes de tensión					0,10			
10 min/microcorte	Rearranque de proceso (3 veces)				0,50				
50% tiempo lote	Disminución caudal de trabajo por falta de estandarización de la materia prima				0,26				
5 horas/mes	Lotes defectuosos por selección inadecuada de depósitos						5,00		
3 min/turno	Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso							2,20	
TOTAL		95,40	124,00		0,86		7,20		95,55

Tabla 10: Tiempos de paradas en el proceso de descarga

Proceso de DEPURACIÓN

Depósitos Origen 43 - 44 - 45 - 46	Tamaño de los lotes	650 Tn
	Caudal de trabajo	10 Tn / h
Depósitos Destino 8 - 10 - 11 - 34 - 35	Tiempo de lote	65 horas

DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
		CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRABAJO	
30 min / turno Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	45								
20 min / turno Cambio de filtros de cestilla (paralelos) y limpieza de los mismos		30,00							
5 min / turno Revisión de ajustes en bombas de recirculación, ajustes de variadores de velocidad con potenciometros				7,50					
35 min cada 11 horas Vaciado y limpieza fondos de depósitos de depuración	35								
30 min / turno Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales		45,00							
23 horas / mes Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)			23,00						
65 min/turno Tareas de limpiezas de zonas asignadas	97,5								
0,1 horas/mes Microcortes de tensión						0,10			
60 min/microcorte Rearranque de proceso (3 veces)					3,00				
5% tiempo lote Disminución caudal de trabajo por falta de estandarización de la materia prima					3,25				
3% tiempo del lote Lotes defectuosos por selección inadecuada de depósitos							1,95		
10% tiempo de lote Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso								6,50	
TOTAL	177,50	105,50	105,50		6,35		8,45		422,20

Tabla 11: Tiempos de paradas en el proceso de depuración

Proceso de NEUTRALIZACIÓN

Depósitos Origen 8 -10 - 11 - 34 - 35	Tamaño de los lotes	90,4 Tn
	Caudal de trabajo	8 Tn / h
Depósitos Destino 50 - 51 - 52	Tiempo de lote	11,3 horas

DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
		CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRABAJO	
30 min / turno Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	45								
20 min / turno Cambio de filtros de cestilla (paralelos) y limpieza de los mismos		30,00							
240 min/2 semanas Limpieza química de intercambiadores	8								
3 veces al año (2 días) Limpieza de equipo de destilación condensador H6	12								
30 min/turno Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales		45,00							
81 horas / mes Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)			81,00						
65 min/turno Tareas de limpiezas de zonas asignadas	97,5								
0,1 horas/mes Microcortes de tensión						0,10			
8 horas Rearranques del proceso (3 veces)					24,00				
5% tiempo lote Disminución caudal de trabajo por falta de estandarización de la materia prima					0,57				
3% tiempo del lote Lotes defectuosos por selección inadecuada de depósitos							0,34		
10% tiempo de lote Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso								1,13	
TOTAL	162,50	156,00	156,00		24,67		1,47		375,37

Tabla 12: Tiempos de paradas en el proceso de neutralización

Proceso de WINTERIZACIÓN

Depósitos Origen 50 - 51 - 52	Tamaño de los lotes	663 Tn
	Caudal de trabajo	5 Tn / h
Depósitos Destino 36 - 37 - 38 - 39 - 41 - 42	Tiempo de lote	132,6 horas

	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
			CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRABAJO	
30 min/turno	Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	45,00								
5 min/turno	Revisión de ajustes en bombas de recirculación, ajustes de variadores de velocidad con potenciómetros				7,50					
50 min/mes	Inspección y limpieza de Intercambiadores de placas				0,83					
240 min/2 semanas	Limpieza química de intercambiadores	8								
30 min/turno	Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales		45,00							
36 horas / mes	Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)			36,00						
70 min/turno	Tareas de limpiezas de zonas asignadas	105								
0,1 horas/mes	Microcortes de tensión						0,10			
2 horas	Rearranques del proceso (3 veces)					6,00				
1% tiempo lote	Disminución caudal de trabajo por falta de estandarización de la materia prima					1,33				
3% tiempo del lote	Lotes defectuosos por selección inadecuada de depósitos							3,98		
2% tiempo de lote	Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso								2,65	
	TOTAL	158,00		89,33		7,43		6,63		458,61

Tabla 13: Tiempos de paradas en el proceso de winterización

Proceso de DECOLORACIÓN

Depósitos Origen 16 - 17	Tamaño de los lotes	50 Tn
	Caudal de trabajo	8 Tn / h
Depósitos Destino 26 - 27 - 28	Tiempo de lote	6,25 horas

DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
		CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRABAJO	
30 min / turno	Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	45							
20 min / turno	Adición de tierra activa y carbón y retirada de tierra agotada	30							
30 min/turno	Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales		45,00						
27 horas / mes	Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)			27,00					
155 min/turno	Tareas de limpiezas de zonas asignadas	232,5							
0,1 horas/mes	Microcortes de tensión					0,10			
3 horas	Rearranques del proceso (3 veces)				9,00				
0,05% tiempo lote	Disminución caudal de trabajo por falta de estandarización de la materia prima						0,31		
3% tiempo del lote	Lotes defectuosos por selección inadecuada de depósitos						0,19		
12% tiempo del lote	Lotes defectuosos por aporte inadecuado de tierras activa y carbón						0,75		
10% tiempo de lote	Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso							0,63	
TOTAL		307,50	72,00		9,10		1,25		330,15

Tabla 14: Tiempos de paradas en el proceso de decoloración

Proceso de DESODORIZACIÓN

Depósitos Origen 26 - 27 - 28	Tamaño de los lotes	550 Tn
	Caudal de trabajo	4,2 Tn / h
Depósitos Destino 2 - 3 - 4 - 12 - 22 - 23 - 24 - 25 - 47 - 48 - 49	Tiempo de lote	130,95 horas

DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
		CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRABAJOS	
30 min / turno Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	45								
30 min/turno Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales		45,00							
8 horas / mes Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)			8,00						
10 min/turno Tareas de limpiezas de zonas asignadas	15								
0,1 horas/mes Microcortes de tensión						0,10			
4 horas Rearranques del proceso (3 veces)					12,00				
1% tiempo lote Disminución caudal de trabajo por falta de estandarización de la materia prima							1,31		
3% tiempo del lote Lotes defectuosos por selección inadecuada de depósitos							3,93		
10% tiempo de lote Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso								0,63	
TOTAL	60,00	53,00	53,00		12,10		5,86		589,04

Tabla 15: Tiempos de paradas en el proceso de desodorización

Proceso de CARGA DE REFINADO

Depósitos Destino 2 - 3 - 4 - 12 - 22 - 23 - 24 - 25 - 47 - 48 - 49	Tamaño de los lotes	25,5 Tn
Se cargan aprox 150 cisternas mes (25.000 kg/cisterna)	Caudal de trabajo	31 Tn / h
	Tiempo de lote	0,82 horas

	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	TAREAS PROGRAMADAS (horas/mes)	TAREAS NO PROGRAMADAS (horas/mes)			INEFICIENCIAS (horas/mes)		DEFECTOS (horas/mes)		TIEMPO ÚTIL PRODUCTIVO (horas/mes)
			CAMBIOS	AVERÍAS	ESPERAS	RALENTIZACIONES	MICROPAROS	FALLOS	RETRABAJOS	
30 min/turno	Artículo 22 - Tiempos de descanso en jornada laboral	22,00								
2 min	Verificar estado de la cisterna y habilitar la manguera	5,00								
4 min	Tomar muestras de cada boca (con sable) de la cisterna y entregar a laboratorio	10,00								
30 min / turno	Realización de trasiegos entre depósitos, otras cargas (pastas y ácidos grasos)		22,00							
30 min/turno	Tareas encargadas a operario que no están dentro de sus funciones habituales		22,00							
3 horas/mes	Averías por fallos en equipos (desmontajes por fisuras, sustitución de valvulería, suciedad, reparaciones de equipos, ...)			3,00						
40 min/turno	Tareas de limpiezas de zonas asignadas	29,33								
0,1 horas/mes	Microcortes de tensión						0,10			
10 min/microco	Rearranque de proceso (3 veces)					0,50				
10 min/turno	Análisis en laboratorio de las tomas de muestras - resultado defectuoso							7,33		
TOTAL		66,33	47,00			0,60		7,33		230,73

Tabla 16: Tiempos de proceso en el proceso de carga

		ENERO (KG)		FEBRERO (KG)		MARZO (KG)		ABRIL (KG)		MAYO (KG)		JUNIO (KG)	
		PRIMERA QUINCENA	SEGUNDA QUINCENA										
DESCARGA DE CRUDO	ENTRADAS	893.600	4.898.160	5.698.884	1.367.180	2.162.940	2.653.730	962.600	1.362.380	2.814.010	2.884.610	2.898.510	2.424.650
	SALIDAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DESPURACIÓN	ENTRADAS	521.894	2.630.952	2.517.684	1.696.096	2.863.326	1.482.706	3.399.894	2.888.334	3.033.700	2.042.160	2.885.410	2.789.710
	SALIDAS	502.630	2.533.644	2.470.218	1.658.908	2.833.808	1.416.758	3.328.892	2.856.754	2.950.608	1.999.554	2.827.208	2.726.472
NEUTRALIZACIÓN	ENTRADAS	6.878	1.991.832	2.315.412	1.439.456	2.374.914	1.521.600	2.543.708	2.673.736	2.577.478	2.064.074	2.652.768	2.720.228
	SALIDAS	-	1.740.820	2.021.728	1.252.146	2.082.408	1.109.642	2.196.532	2.323.008	2.178.140	1.721.094	2.175.784	2.231.436
WINTERIZACIÓN	ENTRADAS	222.084	1.648.976	2.422.208	1.832.400	2.289.392	1.794.296	2.583.423	2.307.111	2.045.680	1.446.664	2.555.388	2.621.756
	SALIDAS	153.666	1.538.056	2.237.422	1.774.122	2.108.074	1.690.486	2.409.862	2.172.496	1.907.846	1.388.612	2.365.200	2.360.052
DECOLORACIÓN	ENTRADAS	-	414.602	2.306.414	1.473.850	1.800.470	1.919.226	2.421.708	2.450.454	1.751.530	1.825.860	2.399.074	2.516.832
	SALIDAS	30	434.988	2.265.860	1.478.190	1.805.996	1.924.118	2.391.516	2.435.586	1.723.368	1.833.206	2.415.352	2.501.382
DESODORIZACIÓN	ENTRADAS	-	391.000	2.309.340	2.112.500	1.784.610	1.806.960	2.462.330	2.319.510	812.180	209.950	2.395.580	4.866.310
	SALIDAS	-	328.354	2.223.929	2.033.018	1.731.092	1.784.465	2.340.682	2.342.449	796.193	198.358	2.376.032	4.812.764
CARGA DE REFINADO	ENTRADAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SALIDAS	60.165	219.680	1.609.957	1.476.417	1.887.634	1.889.930	2.213.014	2.472.108	1.592.911	2.249.418	2.393.541	2.350.924

Tabla 17: Productividad del año 2023 (I)

JULIO (KG)		AGOSTO (KG)		SEPTIEMBRE (KG)		OCTUBRE (KG)		NOVIEMBRE (KG)		DICIEMBRE (KG)		PRODUCCIÓN TOTAL
PRIMERA QUINCENA	SEGUNDA QUINCENA											
2.367.170	3.530.273	4.135.820	1.648.670	2.024.320	2.577.820	1.744.840	2.108.570	2.195.880	5.977.780	309.300	1.800.032	61.441.729
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.764.180	2.503.120	1.923.150	2.904.812	2.612.442	2.778.746	2.739.606	2.476.574	2.721.478	2.945.664	1.516.706	1.494.268	58.132.612
2.726.770	2.487.374	1.873.920	2.858.092	2.581.970	2.744.066	2.657.368	2.391.364	2.706.946	2.875.050	1.494.268	-	55.502.642
2.569.920	2.695.086	1.769.596	2.622.136	2.811.316	2.527.336	2.460.640	2.034.576	2.541.412	2.611.180	1.672.380	1.686.466	52.884.128
2.105.942	2.180.112	1.388.540	2.080.852	2.238.970	2.042.674	2.022.110	1.665.144	2.091.294	2.196.076	1.435.826	-	42.480.278
2.166.552	2.395.544	1.420.148	2.376.916	2.408.708	2.566.268	2.423.088	2.713.524	2.710.084	2.732.656	1.549.476	1.550.576	50.782.918
2.018.104	2.180.768	1.249.406	2.137.468	2.210.564	2.400.322	2.238.466	2.537.886	2.520.444	2.589.022	1.489.098	-	45.677.442
2.177.586	2.205.260	976.646	2.164.318	2.069.904	2.159.546	1.624.450	1.884.212	2.233.326	2.108.788	1.641.972	-	42.526.028
2.152.084	2.227.286	943.544	2.175.702	2.068.186	2.154.082	1.625.134	1.854.336	2.231.666	2.103.558	1.625.204	-	42.370.374
2.139.220	2.191.210	937.960	2.155.360	1.606.760	1.827.200	2.042.440	2.165.660	2.210.050	2.080.010	1.616.770	-	42.442.910
2.120.915	2.151.850	921.354	2.086.060	1.546.600	1.761.442	1.976.488	2.103.688	2.152.058	2.025.643	1.596.538	-	41.409.972
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.234.398	1.981.712	1.364.925	2.158.392	1.493.241	1.865.853	1.903.903	2.192.471	2.371.496	2.146.563	1.712.031	542.506	42.383.190

Tabla 18: Productividad del año 2023 (II)

	Tiempo Útil Productivo (horas/mes)	Días dispobles en un mes	Tiempo Útil Productivo (horas/día)	Takt-Time (kgs/hora)
Descarga de crudo	95,55	22	$TUP = \frac{95,55 \text{ horas/mes}}{22 \text{ días/mes}} = 4,34 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{4,34 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 39.245 \text{ kgs/hora}$
Depuración	422,20	30	$TUP = \frac{422,2 \text{ horas/mes}}{30 \text{ días/mes}} = 14,07 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{14,07 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 12.111 \text{ kgs/hora}$
Neutralización	375,37	30	$TUP = \frac{375,37 \text{ horas/mes}}{30 \text{ días/mes}} = 12,51 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{12,51 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 13.622 \text{ kgs/hora}$
Winterización	458,61	30	$TUP = \frac{458,61 \text{ horas/mes}}{30 \text{ días/mes}} = 15,29 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{15,29 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 11.150 \text{ kgs/hora}$
Decoloración	330,15	30	$TUP = \frac{330,15 \text{ horas/mes}}{30 \text{ días/mes}} = 11 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{11 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 15.488 \text{ kgs/hora}$
Desodorización	589,04	30	$TUP = \frac{589,04 \text{ horas/mes}}{30 \text{ días/mes}} = 19,63 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{19,63 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 8.681 \text{ kgs/hora}$
Carga de refinado	230,73	22	$TUP = \frac{230,73 \text{ horas/mes}}{22 \text{ días/mes}} = 10,49 \text{ horas/día}$	$TT = \frac{170 \text{ Tn/día}}{10,49 \text{ horas/día}} \times \frac{1.000 \text{ kgs}}{1 \text{ Tn}} = 16.252 \text{ kgs/hora}$

Tabla 19: Calculo del Takt-Time de los procesos

	Numero de depósito	Capacidad (Tn)	Datos iniciales	Tiempo de Valor Añadido (TVA)	Tiempo de No-Valor Añadido (TNVA)
Descarga de crudo	43	713	Tamaño del lote =25 Tn Caudal de trabajo = 50 Tn/horas	$TVA = \frac{25 Tn}{50 Tn/hora} = 0,5 \text{ horas}$	$TNVA = \frac{2.839 Tn}{170,45 Tn /día} = 16,7 \text{ días}$
	44	711			
	45	706			
	46	709			
	Total	2.839			
Depuración	8	99	Tamaño del lote =650 Tn Caudal de trabajo = 10 Tn/horas	$TVA = \frac{650 Tn}{10 Tn/hora} = 65 \text{ horas}$	$TNVA = \frac{1.092 Tn}{170,45 Tn /día} = 6,4 \text{ días}$
	10	99			
	11	98			
	34	142			
	35	142			
	36	512			
Total	1.092				
Neutralización	50	519	Tamaño del lote =90,4 Tn Caudal de trabajo = 8 Tn/horas	$TVA = \frac{90,4 Tn}{8 Tn/hora} = 11,3 \text{ horas}$	$TNVA = \frac{1.959 Tn}{170,45 Tn /día} = 11,5 \text{ días}$
	51	720			
	52	720			
	Total	1.959			
Winterización	29	23	Tamaño del lote =663 Tn Caudal de trabajo = 5 Tn/horas	$TVA = \frac{663 Tn}{5 Tn/hora} = 132,6 \text{ horas}$	$TNVA = \frac{3.207 Tn}{170,45 Tn /día} = 18,8 \text{ días}$
	30	23			
	37	502			
	38	504			
	39	696			
	41	684			
	42	689			
	16	44			
	17	42			
Total	3.207				
Decoloración	26	23	Tamaño del lote =50 Tn Caudal de trabajo = 8 Tn/horas	$TVA = \frac{50 Tn}{8 Tn/hora} = 6,25 \text{ horas}$	$TNVA = \frac{69 Tn}{170,45 Tn /día} = 0,4 \text{ días}$
	27	23			
	28	23			
	Total	69			
Desodorización	2	90	Tamaño del lote =550 Tn Caudal de trabajo = 4 Tn/horas	$TVA = \frac{550 Tn}{4,2 Tn/hora} = 131 \text{ horas}$	$TNVA = \frac{1.008 Tn}{170,45 Tn /día} = 5,9 \text{ días}$
	3	90			
	4	90			
	12	86			
	22	45			
	23	46			
	24	46			
	25	46			
	47	53			
	48	53			
	49	363			
Total	1.008				

Tabla 20: Calculo del Tiempo de Valor Añadido y del Tiempo de No- Valor Añadido