



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSFORMACIÓN DE ARROZ

Marta Hidalgo Suárez

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid, 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño y optimización de una línea de transformación de arroz
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Marta Hidalgo Suarez

Fdo.: Marta Hidalgo Suárez

Fecha: ..2../ ..8../ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Antonio García de Garmendia

Fdo.: Dr. Antonio García de Garmendia. Fecha: 2 de Agosto, 2024



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSFORMACIÓN DE ARROZ

Marta Hidalgo Suárez

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid, 2024

Agradecimientos

Con la finalización y entrega de este Trabajo de Fin de Grado, concluye una etapa crucial en mi formación académica. Por ello, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a:

Mi padre por brindarme esta oportunidad y por estar siempre a mi lado, enseñándome, apoyándome y dándome la fuerza necesaria para culminar esta etapa. Gracias por ser un ejemplo constante a seguir.

A mis hermanas, mis familiares, Francisco y todos los que han seguido de cerca mi progreso académico, mostrando su interés y apoyo incondicional para que alcanzara el éxito en este proyecto. Sin ellos, este camino no habría sido el mismo, ya que conocen mejor que nadie cómo apoyarme en los momentos difíciles y hacerme reír cuando más lo necesito.

A todos los profesores que, a lo largo de mi trayectoria académica, han sabido motivarme y exigirme siempre dar lo mejor de mí.

A mi director de proyecto, Dr. Antonio García de Garmendia, por su dedicación y entrega en el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado. Por su constante disponibilidad y compromiso en cada fase del proyecto.

A todas las personas con las que he compartido este último año de formación. Gracias a mis compañeros y amigos de University of San Diego, personas de diferentes partes del mundo que han sido un apoyo constante durante todo este año. En especial, gracias al grupo de estudiantes internacionales españoles, con quienes he compartido esta experiencia única e irrepetible y que han sido un gran apoyo en los momentos difíciles.

Un agradecimiento especial a Arrozua y Agromay, por permitirme usar sus instalaciones y proporcionarme información de vital importancia para la culminación de mi proyecto.

¡MUCHÍSIMAS GRACIAS A TODOS!

DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSFORMACIÓN DE ARROZ

Autor: Hidalgo Suárez, Marta.

Director: García de Garmendia, Dr. Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como objetivo el diseño y la optimización de una línea de transformación de arroz, abarcando las etapas de recolección, secado, molienda, almacenamiento y envasado. Utilizando metodologías de diseño Lean y Kaizen. La selección de máquinas se basó en un análisis exhaustivo de patentes y tecnologías disponibles, asegurando la incorporación de las mejores soluciones. Las mejoras implementadas resultaron en una mayor eficiencia operativa, reducción de costos y mejora en la calidad del producto final. Finalmente, se realizó un análisis de coste y rentabilidad para evaluar el impacto económico de las mejoras.

Palabras clave: Arroz, molino, secado, rentabilidad.

La industria del arroz es crucial para satisfacer las necesidades alimentarias globales, especialmente en regiones en desarrollo. Sin embargo, enfrenta desafíos como la alta humedad en la recolección y la eficiencia en la transformación del grano. Este trabajo se centra en mejorar cada etapa del procesamiento del arroz mediante el uso de metodologías de diseño eficientes.

Para facilitar la comprensión y el análisis, el proceso de transformación del arroz se dividió en tres etapas principales: recolección, secado y molienda, las cuales se describen en detalle en la imagen adjunta. Dentro de la etapa de molienda, se incluyen subetapas críticas como el descascarillado, blanqueamiento y pulido, clasificación y almacenamiento, y envasado. Esta división permite una gestión más precisa y una optimización específica de cada fase. Aunque todas las etapas se abordan en este trabajo, se presta especial atención al secado y la molienda, ya que son las etapas que más contribuyen al diseño y ofrecen mayores oportunidades de mejora.

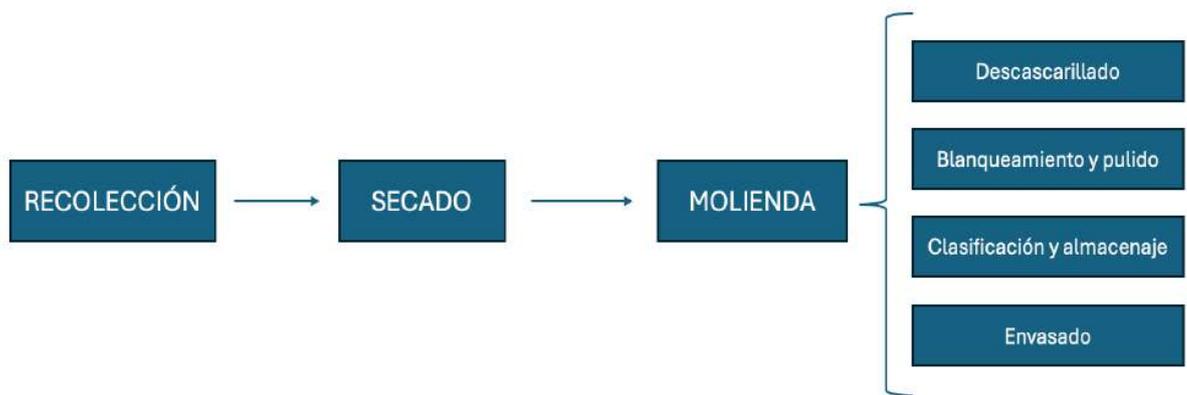


Figura 1. Esquema de etapas del proyecto. Elaboración propia (2024)

Se emplearon varias metodologías y herramientas para lograr los objetivos del proyecto. El método TRIZ (Teoría para Resolver Problemas de Inventiva) se utilizó para analizar y abordar problemas complejos de manera sistemática, utilizando soluciones innovadoras basadas en el conocimiento previo y las patentes existentes. Además, el diseño Lean y Kaizen se aplicaron para la mejora continua y la eliminación de desperdicios, promoviendo una cultura de optimización constante y eficiencia en todas las etapas del proceso.

En el estado de la cuestión, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de patentes y tecnologías disponibles para la selección de las máquinas adecuadas para cada etapa del proceso. Este análisis permitió identificar las soluciones más avanzadas y eficientes, garantizando la incorporación de tecnologías de vanguardia en el diseño de la línea de transformación.

En los cálculos técnicos de la línea de arroz se calcularon varios parámetros esenciales para optimizar el proceso. Estos parámetros incluyeron el flujo de masa, la merma de masa y el rendimiento, el tiempo de ciclo, los ciclos y la capacidad diaria de procesamiento, así como la potencia, el consumo eléctrico y la eficiencia energética. Además, se establecieron requisitos operativos previos que guiaron la selección de las máquinas adecuadas. Una vez seleccionadas las máquinas, se realizaron cálculos adicionales utilizando las especificaciones técnicas de cada una para garantizar un rendimiento óptimo. En la imagen adjunta se puede ver la distribución del molino justo después de la etapa de secado, ilustrando cómo se distribuyen las máquinas en el espacio determinado de esta etapa del proceso.

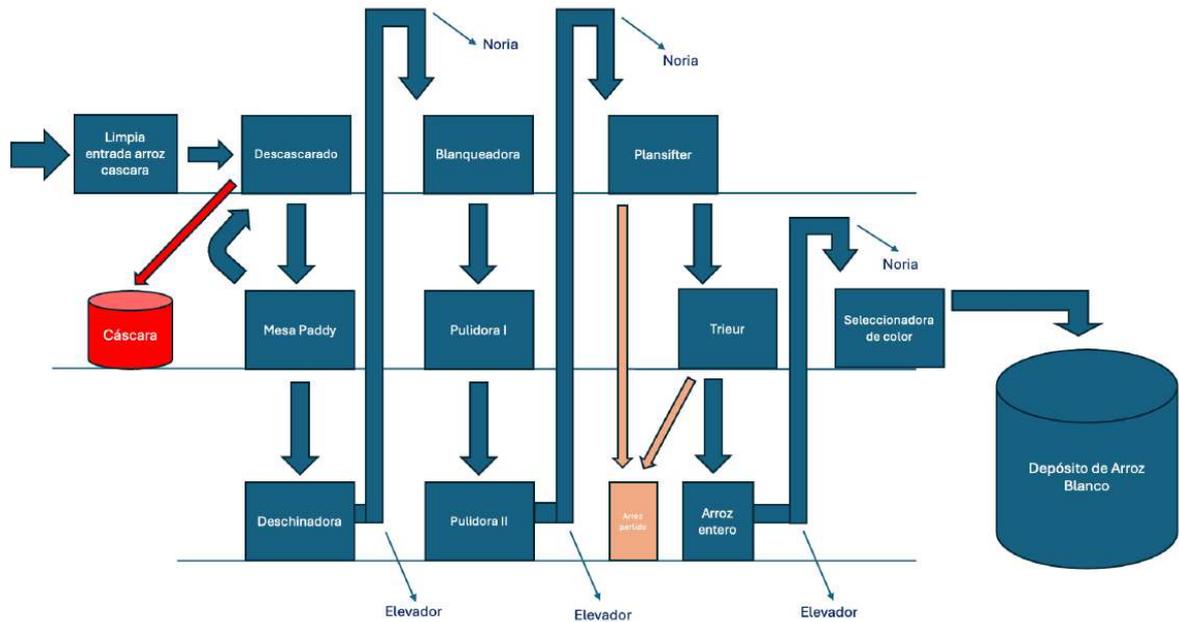


Figura 2. Esquema distribución final de máquinas del molino. Elaboración propia (2024)

El ciclo completo del procesamiento del arroz se tarda aproximadamente cinco días en completarse, desde la recolección hasta el empaquetado final. El rendimiento final del proceso es del 64%, lo que significa que, del peso total del arroz inicial, el 64% se convierte en arroz final sin defectos. Este rendimiento es típico en la industria del arroz, donde se espera que una parte significativa del peso inicial se pierda debido a la eliminación de cáscaras, salvado, impurezas, granos rotos y defectuosos. Un rendimiento del 64% indica un proceso eficiente y bien controlado, minimizando las pérdidas inevitables a través de cada etapa del procesamiento.

Al final del proceso, se realizó un análisis detallado de coste y rentabilidad. En este análisis económico de una línea de producción de arroz, se desglosan los costos involucrados en las diferentes etapas del proceso, desde la recolección hasta la molienda. El objetivo es evaluar la viabilidad y eficiencia del proyecto, considerando todos los gastos asociados con la implementación y operación de la línea de procesamiento de arroz. Se realizaron estimaciones precisas de costos de maquinaria, personal y suministros necesarios, con la información proporcionada por la empresa Agromay, especializada en equipos agrícolas, asegurando así una evaluación económica precisa y representativa.

La fase de recolección se aborda analizando las opciones de inversión en maquinaria propia frente a la contratación de servicios externos. Se concluyó que contratar una empresa especializada para la recolección de arroz resulta más rentable y eficiente, permitiendo

enfocar la inversión en las etapas de secado y molienda. Esta decisión se fundamenta en los altos costos de adquisición y operación de maquinaria, así como en la capacidad de las empresas especializadas para gestionar eficientemente los costos de mantenimiento y reparaciones.

En la etapa de secado, se evalúan los costos de la instalación de una torre de secado y un horno de biomasa, así como los gastos diarios en biomasa, electricidad y personal. Se calcula un costo operativo diario total de 406,56 euros, lo que permite obtener un costo por kilogramo de arroz secado de 0,005423 euros, excluyendo la inversión inicial. Este análisis destaca la importancia de considerar tanto los costos de inversión en maquinaria como los costos recurrentes diarios de operación para determinar la viabilidad económica de la línea de producción.

La etapa de molienda implica una considerable inversión en maquinaria y un consumo significativo de energía. Se detalla el costo diario de electricidad y se enumeran los precios individuales de las máquinas necesarias, resultando en una inversión total de aproximadamente 662.690,93 euros. Este análisis permite identificar las áreas de mayor inversión y planificar adecuadamente el presupuesto necesario para implementar la línea de producción de arroz, garantizando la eficiencia y seguridad del proceso.

Finalmente, se realiza un cálculo de la amortización de la línea de producción y se analiza la rentabilidad del proyecto. Con una producción anual estimada en 9.267.285 kg de arroz y un beneficio neto anual de 931.539,2 euros, se obtiene un retorno sobre la inversión (ROI) del 128%. Este ROI elevado indica una rentabilidad positiva significativa. Se adjunta una gráfica al final del análisis que ilustra los gastos e ingresos del proyecto, así como su rendimiento económico, proporcionando una visión clara y visual de la viabilidad financiera de la línea de producción de arroz.

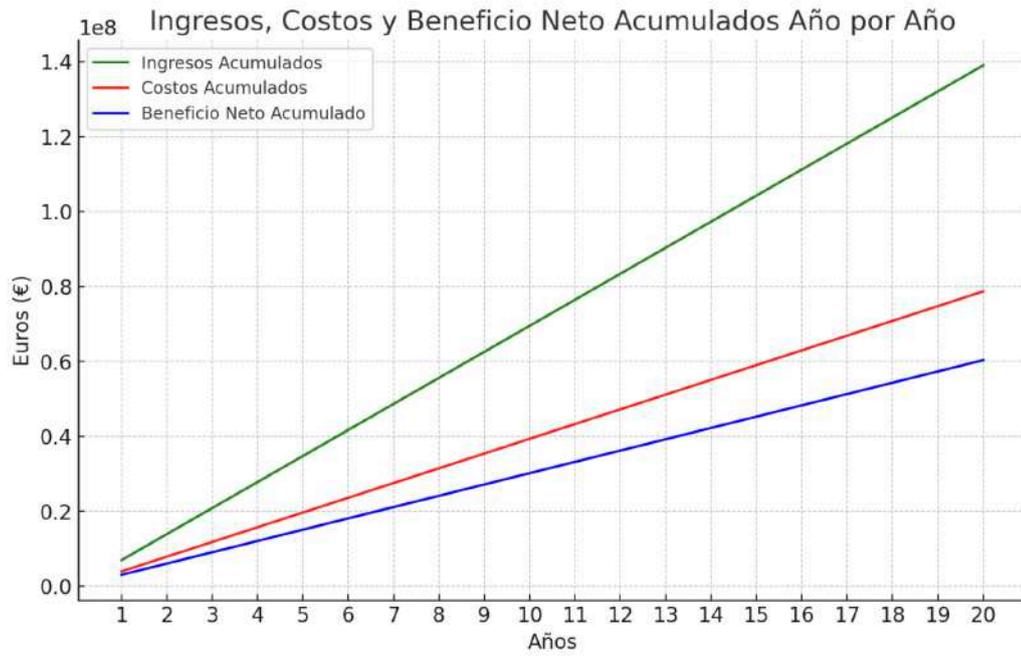


Figura 3. Ingresos, costos y beneficio neto acumulado cada año. Elaboración propia. (2024)

DESIGN AND OPTIMIZATION OF A RICE PROCESSING LINE

Author: Hidalgo Suárez, Marta.

Supervisor: García de Garmendia, Dr. Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The aim of this work is the design and optimization of a rice processing line, covering the stages of harvesting, drying, milling, storage and packaging. Using Lean and Kaizen design methodologies. Machine selection was based on an exhaustive analysis of patents and available technologies, ensuring the incorporation of the best solutions. The improvements implemented resulted in increased operational efficiency, cost reduction and improved quality of the final product. Finally, a cost-benefit analysis was performed to assess the economic impact of the improvements.

Keywords: Rice, milling, drying, profitability.

The rice industry is crucial to meeting global food needs, especially in developing regions. However, it faces challenges such as high moisture at harvest and efficiency in grain processing. This paper focuses on improving each stage of rice processing by using efficient design methodologies.

For ease of understanding and analysis, the rice processing process was divided into three main stages: harvesting, drying and milling, which are described in detail in the accompanying image. Within the milling stage, critical sub-steps such as hulling, whitening and polishing, grading and storage, and packaging are included. This division allows for a more precise management and specific optimization of each stage. Although all stages are addressed in this work, special attention is given to drying and milling, as these are the stages that contribute most to the design and offer the greatest opportunities for improvement.

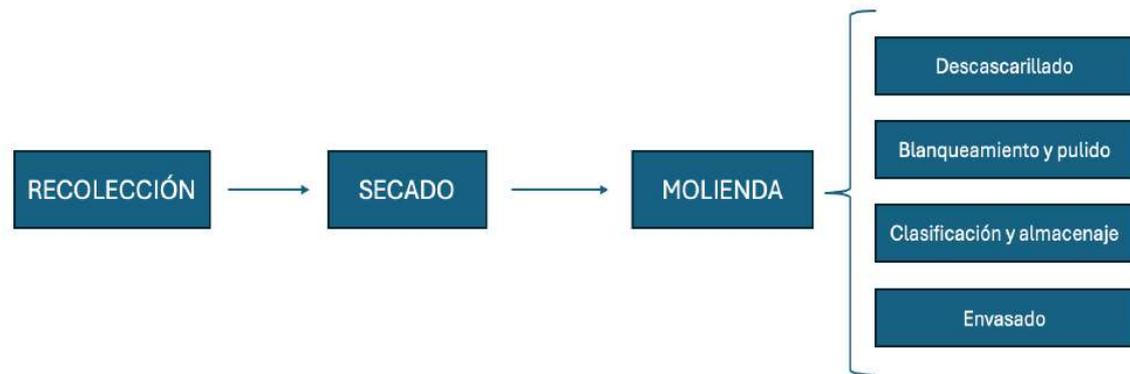


Figure 1. Diagram of project stages. Own elaboration (2024)

Several methodologies and tools were employed to achieve the project objectives. The TRIZ (Theory for Inventive Problem Solving) method was used to analyze and address complex problems in a systematic way, using innovative solutions based on previous knowledge and existing patents. In addition, Lean design and Kaizen were applied for continuous improvement and waste elimination, promoting a culture of constant optimization and efficiency at all stages of the process.

In the state of the art, a comprehensive analysis of available patents and technologies was carried out for the selection of the right machines for each stage of the process. This analysis made it possible to identify the most advanced and efficient solutions, ensuring the incorporation of state-of-the-art technologies in the design of the processing line.

In the technical calculations of the rice line, several essential parameters were calculated to optimize the process. These parameters included mass flow, mass loss and throughput, cycle time, cycles and daily processing capacity, as well as power, electricity consumption and energy efficiency. In addition, operational prerequisites were established to guide the selection of suitable machines. Once the machines were selected, additional calculations were performed using the technical specifications of each machine to ensure optimal performance. The attached picture shows the mill layout just after the drying stage, illustrating how the machines are distributed in the given space of this process stage.

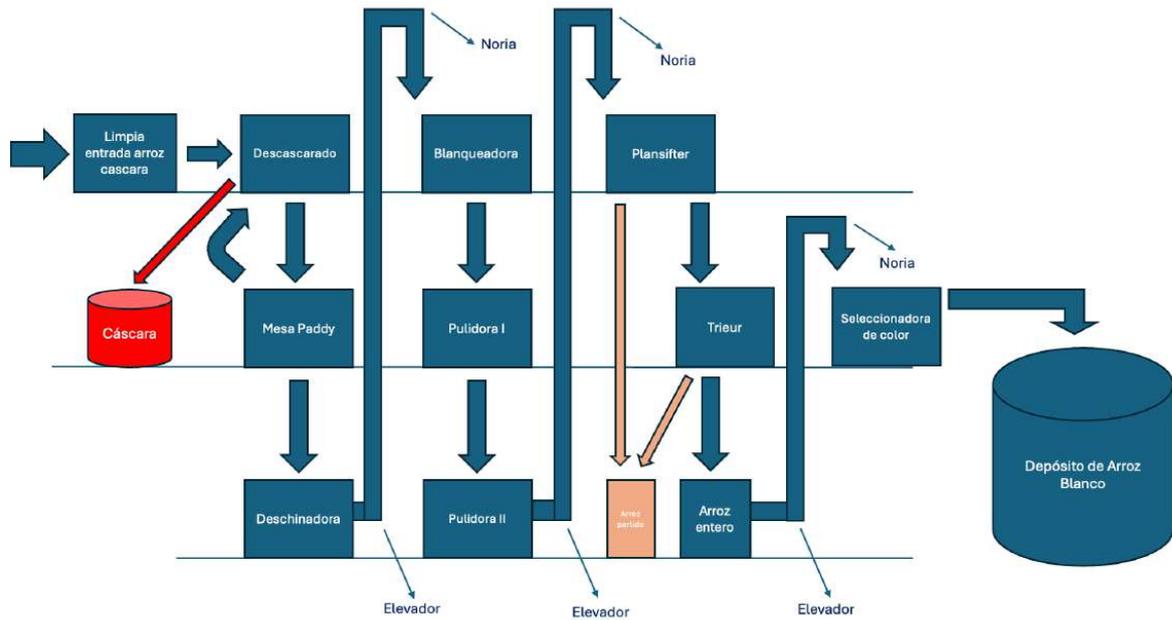


Figure 2. Diagram of the final distribution of the mill's machines. Own elaboration (2024)

The entire rice processing cycle takes approximately five days to complete, from harvesting to final packaging. The final yield of the process is 64%, which means that, of the total weight of the initial rice, 64% is converted into final rice without defects. This yield is typical in the rice industry, where it is expected that a significant part of the initial weight is lost due to the removal of husks, bran, impurities, broken and defective grains. A yield of 64% indicates an efficient and well-controlled process, minimizing unavoidable losses through each stage of processing.

At the end of the process, a detailed cost and profitability analysis was carried out. This analysis included the assessment of implementation costs, which covered the initial investment in the purchase and installation of the new machines; operating costs, which assessed energy consumption, maintenance and labor; return on investment (ROI) calculation, determining the time required to recoup the initial investment through savings generated by efficiency improvements and waste reduction; and long-term profitability, considering increases in production capacity and product quality.

At the end of the process, a detailed cost and profitability analysis was conducted. In this economic analysis of a rice production line, the costs involved in the various stages of the process, from harvesting to milling, are broken down. The objective is to evaluate the project's feasibility and efficiency by considering all expenses associated with the

implementation and operation of the rice processing line. Precise estimates of costs for machinery, personnel, and necessary supplies were made, with information provided by Agromay, a company specialized in agricultural equipment, ensuring an accurate and representative economic evaluation.

The harvesting phase is addressed by analyzing the options of investing in own machinery versus outsourcing to specialized service providers. It was concluded that hiring a specialized company for rice harvesting is more profitable and efficient, allowing investment to be focused on the drying and milling stages. This decision is based on the high acquisition and operational costs of machinery, as well as the specialized companies' ability to efficiently manage maintenance and repair costs.

In the drying stage, the costs of installing a drying tower and a biomass furnace, as well as the daily expenses for biomass, electricity, and personnel, are evaluated. A total daily operating cost of 406.56 euros is calculated, allowing for a cost per kilogram of dried rice of 0.005423 euros, excluding the initial investment. This analysis highlights the importance of considering both the investment costs in machinery and the recurring daily operating costs to determine the economic viability of the production line.

The milling stage involves a considerable investment in machinery and significant energy consumption. The daily electricity cost is detailed, and the individual prices of the necessary machines are listed, resulting in a total investment of approximately 662,690.93 euros. This analysis helps identify the areas of greatest investment and adequately plan the total budget required to implement the rice production line, ensuring the efficiency and safety of the process.

Finally, a calculation of the depreciation of the production line is performed, and the project's profitability is analyzed. With an estimated annual production of 9,267,285 kg of rice and an annual net profit of 931,539.2 euros, a return on investment (ROI) of 128% is obtained. This high ROI indicates a significantly positive profitability. A graph is attached at the end of the analysis, illustrating the project's expenses and revenues, as well as its economic performance, providing a clear and visual insight into the financial viability of the rice production line.

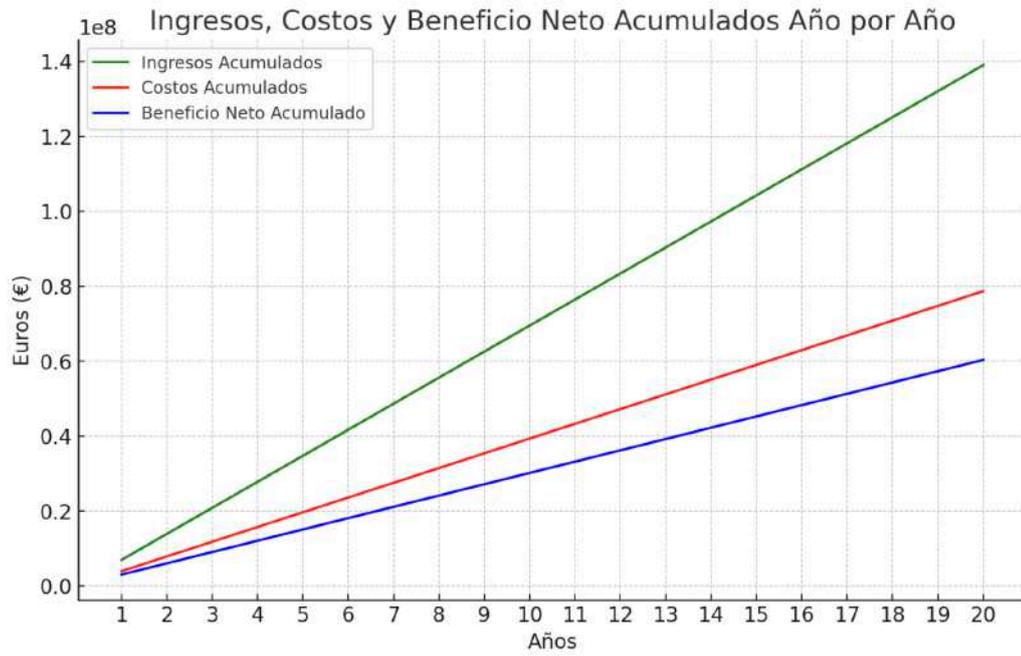


Figura 3. Income, costs, and accumulated net profit each year. Own elaboration. (2024)

Índice de la memoria

1. Introducción	22
1.1 Contexto y relevancia del arroz	23
1.2 Producción mundial y local de arroz	25
1.3 Características del arroz como cultivo	30
1.4 Objetivos de desarrollo sostenible	32
2. Estado de la Cuestión	33
2.1 Metodologías de diseño y optimización en la línea.....	33
2.1.1 Diseño Lean y Kaizen para la Eficiencia y Mejora Continua.....	33
2.1.2 Diseño Centrado en el Usuario (User-Centered Design, UCD).....	34
2.1.3 Simulación de procesos: Modelado y Análisis de Escenarios.	35
2.2 Propiedades industriales.....	36
2.2.1 Maquinarias referentes a la recolecta del arroz o cosecha.....	37
2.2.2 Maquinarias referentes al secado del arroz.	43
2.2.3 Maquinarias referentes a la molienda.....	50
3. Diseño conceptual de la línea de arroz.....	61
3.1 Teoría para resolver problemas de inventiva.....	61
3.2 Puesta en práctica de la teoría para resolver problemas de inventiva	64
3.2.1 Análisis de mejoras necesarias en cada proceso	64
3.2.2 Principio de segmentación.....	66
3.2.3 Ciclo PDCS (plan-do-check-act).....	67
3.3 Propuesta básica de disposición y orden de las maquinaria seleccionadas para la línea de procesamiento de arroz.....	70
3.3.1 Maquinaria y organización de la línea de producción de arroz	72
3.4 Conclusiones del capítulo.....	77

4.	<i>Cálculos técnicos de la línea de arroz: Recolecta y secado</i>	78
4.1	Fundamentos teóricos y fórmulas	81
4.1.1	Flujo de masa	81
4.1.2	Merma de masa y rendimiento	81
4.1.3	Tiempo de ciclo, ciclos diarios y capacidad diaria de procesamiento.....	82
4.1.4	Potencia, consumo eléctrico y eficiencia energética	83
4.2	Requisitos operativos previos	83
4.3	Proceso de recolección	85
4.3.1	Recolecta	85
4.4	Proceso de secado	88
4.4.1	Secadora	88
4.4.2.	Limpia entrada	97
4.4.3.	Silo de reposo.....	100
5.	<i>Cálculos técnicos de la línea de arroz: molienda</i>	103
5.1.	Requisitos operativos previos generales en molienda	104
5.2.	Descascaradora y cámara separadora de cascarilla.....	104
5.3.	Mesa paddy	109
5.4.	Deschinadora	112
5.5.	Blanqueadora.....	115
5.6.	Pulidoras	119
5.7.	Plansifter	122
5.8.	Trieur	126
5.9.	Seleccionadora de color.....	130
5.10.	Ciclo final de almacenamiento.....	134
5.11.	Ciclo de envasado	136
5.12.	Elevador de cangilones	139
6.	<i>Análisis de resultados de la línea de arroz</i>	143
6.1.	Resumen potencias. Consumo eléctrico. Eficiencia energética y Horas de funcionamiento	143
6.2.	Rendimiento total. Diagrama de Sankey	145

6.3.	Diagrama de Gantt. Tiempo total de procesamiento	146
6.4.	Prueba de laboratorio	147
7.	<i>Análisis económico de la línea de arroz: planificación y estimación económica ...</i>	152
7.1.	Análisis económico de la recolección.....	153
7.2.	Análisis económico del secado	154
7.3.	Análisis económico de la molienda.....	156
7.4.	Amortización de la línea.....	159
7.5.	Cálculo de la rentabilidad del proyecto	160
8.	<i>Conclusiones y trabajos futuros</i>	165
9.	<i>Bibliografía</i>	170

1. Introducción

La industria alimentaria desempeña un papel clave a la hora de satisfacer las necesidades nutricionales de la población mundial. Entre los numerosos alimentos de importancia mundial, el arroz (*Oryza sativa* y *Oryza glaberrima*) destaca como uno de los cultivos más consumidos y cultivados en el mundo, siendo el cereal que más se consume después del trigo¹, debido a su versatilidad valor nutricional y presencia en diversas culturas. Convirtiéndolo en un básico en la dieta de más de la mitad de la población mundial, especialmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Este Trabajo de Fin de Grado se centrará en el diseño y optimización de una línea completa de procesamiento integral para la transformación del arroz desde el momento de la recolecta hasta la distribución final del producto. Para ello se realizará una investigación del estado de la técnica para cada actividad del proceso y una descripción de esta, con el objetivo de identificar áreas de mejora, cuellos de botella y oportunidades para el diseño, rendimiento y eficacia de la línea de procesamiento.

Un factor crucial a tener en cuenta a lo largo de todo este trabajo es el impacto de las severas sequías que han afectado a la región de España en los últimos años. Estas condiciones climáticas adversas han reducido significativamente la superficie de cultivo disponible para el arroz, afectando tanto a la producción como a la planificación agrícola. Por esta razón, se usará a lo largo de este trabajo los datos correspondientes al año 2020, ya que este fue el último año que se logró sembrar el 100 % de las tierras destinadas al arroz. Este enfoque permitirá una evaluación más precisa de la capacidad productiva proporcionando un marco de referencia más adecuado para el desarrollo del proyecto.

¹ Jiménez (2021)

1.1 CONTEXTO Y RELEVANCIA DEL ARROZ

En primer lugar, contextualizando la historia del arroz, es un cereal que se cultiva hace miles de años, su origen se sitúa en Asia, probablemente en India hace más de 10.000 años. Sin embargo, fue en China donde comenzó su cultivo y domesticación.

Los primeros cultivos que se conocen tienen origen en Tailandia y China entre los años 5.000 y 4.500 a.C, y posteriormente se extenderían a otros países asiáticos como son Corea, Japón, Indonesia y Filipinas. En India, existía el arroz silvestre, pero este se convirtió en un cultivo fundamental después del S.XV a.C, cuando se extendió por los asentamientos hasta llegar a río Ganges.

Alrededor del año 800 a.C empezó a llegar a Europa oriental y en el aproximadamente sobre el año 700 d.C llegó a España².

En segundo lugar, valorando la dimensión socioeconómica del arroz, a nivel mundial este ocupa una extensión de 165 millones de hectáreas³. En términos más concretos, en España este cultivo ocupa una extensión entorno a las 100.000 hectáreas con un gran reflejo en la actividad económica del sector agrario como en la industria derivada y en su comercialización⁴.

El valor económico de la producción de arroz en España es alrededor de los 257,37 millones de euros, lo cual supone un 0,49 % de la Producción de la Rama Agraria (PRA) de España y el 0,83 % de la Producción Vegetal (PV)⁵.

Las explotaciones agrícolas que siguen la Orientación Técnico Económicas (OTE) en el cultivo de este proyecto suman un total de 108.181 hectáreas. Del total de esta superficie el 78 %, equivalente a 84,395 hectáreas, se dedica exclusivamente al cultivo del arroz. Esto

² “Historia y Curiosidades Sobre el Arroz”, (2022)

³ “El Sector del Arroz En España”, (2024)

⁴ Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, (2022)

⁵ Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, (s.f.)

indica una alta especialización de este cultivo dentro de estas explotaciones mencionadas, siendo en la mayoría de los casos el único cultivo practicado en estas áreas⁶.

Las industrias arroceras están muy vinculadas a las áreas donde están establecidas, las cuales dependen de la cantidad de arroz que se produce en las fincas cercanas. Esto significa que la industria y la producción del arroz están estrechamente relacionadas, lo que hace que se genere una economía importante alrededor de este cultivo en las zonas rurales donde se encuentra, creando a su vez una gran cantidad de trabajos indirectos necesarios para la economía local. En 2018, este sector represento el 2,3 % de las cooperativas en España y el 0,9 % de sus ingresos totales⁷.

En Sevilla, escenario de este trabajo de fin de grado, el arroz emplea al 1,9 % de los trabajadores (5.037 personas) y representa el 4,8 % de las remuneraciones de los empleados asalariados (103 millones de euros) en el sector de Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca en Andalucía. Simplemente la industria principal equivale a aproximadamente 4.237 puestos de trabajo. Obtiene ingresos anuales superiores a los 680 millones de euros y aporta 38 millones a las finanzas públicas. Sevilla lidera en la producción total de arroz en España, con 36.500 hectáreas de cultivo. En cuanto a la variedad índica, los campos de arroz en las marismas del Guadalquivir contribuyen a casi el 50% de la producción en España y más del 15% en Europa. Andalucía destaca como la región líder en la producción de arroz en España, abarcando el 33% de la superficie destinada a este cultivo⁸.

⁶ Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, (2020)

⁷ Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, (s.f.)

⁸ Caja Rural del Sur, (2021)

1.2 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y LOCAL DE ARROZ

Como se ha mencionado anteriormente, el arroz es el tercer cereal más producido en el planeta después del maíz y el trigo (tabla 1). Sin embargo, cabe destacar que es el primero en términos de consumo humano, debido a que la mayoría de este cereal que se produce se destina al consumo directo. No obstante, el caso de otros como el maíz es utilizado en la alimentación animal, biocombustibles, etc.

En la tabla adjunta, se puede observar la producción en millones de toneladas y el área en millones de hectáreas a nivel mundial en 2019. Y, además, el porcentaje de ambas con respecto al total

Cereal	Producción	%	Área	%
Maíz	1.112	38	194	27
Arroz	756	26	163	23
Trigo	762	26	215	30
Otros cereales	310	11	142	20
Total	2.940	100	174	100

Tabla 1. Tabla de datos de producción y área a nivel mundial en 2019. Elaboración Propia. Fuente: FAO (2020) y USDA FAS (2020)

La producción mundial de arroz se ha mantenido relativamente estable en los últimos años. La superficie dedicada al cultivo de arroz a nivel mundial fluctuó ligeramente desde 2015 hasta 2022, manteniéndose en un rango de aproximadamente 160 a 166 millones de hectáreas. La producción, por otro lado, ha mostrado un incremento más constante (figura 1).

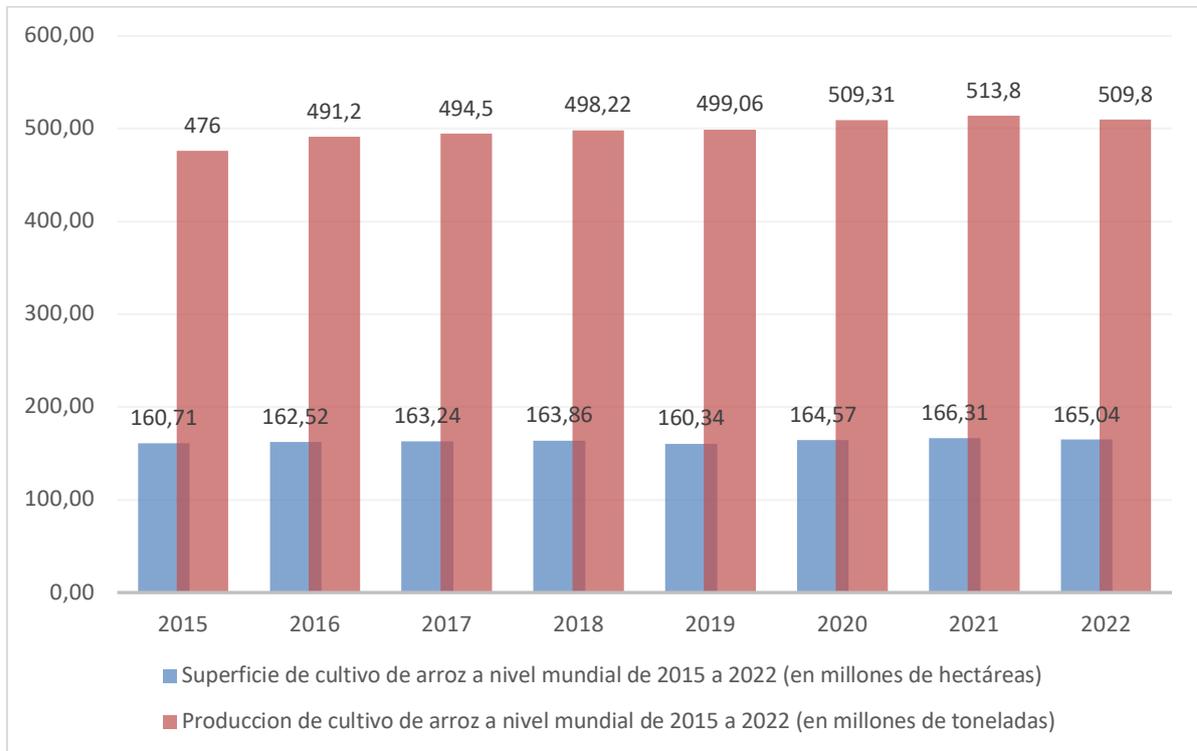


Figura 1. Superficie y producción de cultivo de arroz a nivel mundial de 2015-2022. Elaboración propia. Fuente: Statista.

En el gráfico mostrado anteriormente cabe destacar que, a pesar de las fluctuaciones en la superficie cultivada, la producción de arroz ha experimentado un aumento constante, lo que indica mejoras en los rendimientos y en las técnicas agrícolas. Este aumento en la producción es esencial para satisfacer la demanda de una población mundial en crecimiento y para asegurar la disponibilidad de este alimento básico en diversas regiones del mundo.

Finalmente, dentro del ámbito global, la producción de arroz está liderada por unos pocos países que contribuyen significativamente a la oferta global. En 2020, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, China es el mayor productor de arroz del mundo con 148 millones de toneladas. A continuación, se situaría India con 120 millones de toneladas y, en tercer lugar, Bangladesh con 35 millones de toneladas, a continuación de

estos se pueden encontrar Indonesia, Tailandia, Vietnam, Myanmar, Filipinas, Camboya y Pakistán⁹.

En la Unión Europea, la producción es de 1.974.000 toneladas. En España se cultivan unas 720.000 toneladas a lo largo de las 100.000 hectáreas mencionadas anteriormente, un 35% de todo lo que se cultiva en Europa. Dentro del ranking de países, a nivel mundial España se situaría en el número 41 y dentro del ranking europeo se sitúa en el segundo puesto detrás de Italia.

Teniendo en cuenta el territorio español, la mayor producción se encuentra en el Guadalquivir en Andalucía (figura 2). Sin embargo, este cultivo también se puede encontrar en el Delta del Ebro en Cataluña, el Parque Natural de la Albufera en la Comunidad Valenciana, las Vegas del Guadiana en Extremadura y de una manera más minoritaria en Aragón, Navarra, Murcia, Castilla La Mancha y Baleares.

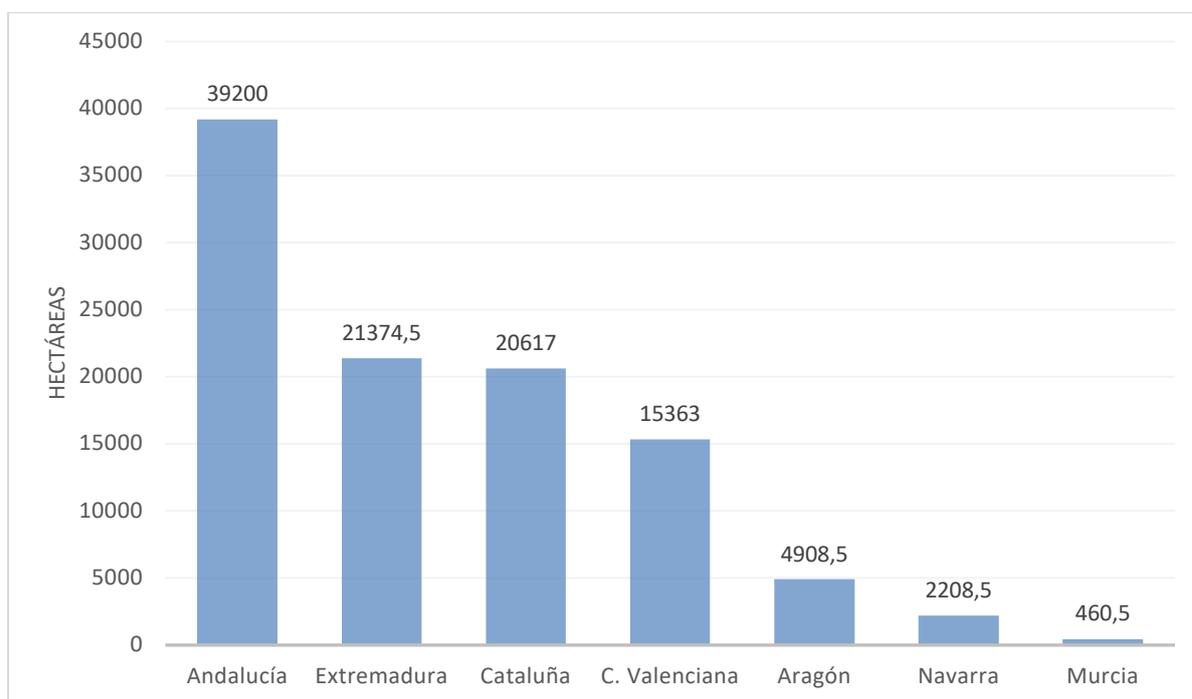


Figura 2. Superficie datos PAC arroz cáscara España. Elaboración propia. Fuente: Cooperativas agroalimentarias de España

⁹ González, (2022)

En la figura anterior podemos encontrar la superficie media de los años 2019-2020 de arroz cascara en hectáreas por comunidad autónoma española¹⁰.

En Andalucía en concreto, lugar donde se va a desarrollar este proyecto, hay unas 40.000 hectáreas cultivadas, el 33 % de la superficie sembrada de este cereal de la península. La mayoría de estas tierras (37.481 hectáreas exactamente) se encuentran en Las Marismas del Guadalquivir (Sevilla) y en La Janda (Cádiz). Además, es en esta comunidad donde se obtienen los mayores rendimientos del cultivo. Pudiéndose llegar a alcanzar un rendimiento máximo de 13.257 kg/ha en años favorables. Serán los rendimientos de Andalucía (figura 3) los que serán usados para los cálculos necesarios a la hora del desarrollo de este proyecto¹¹.

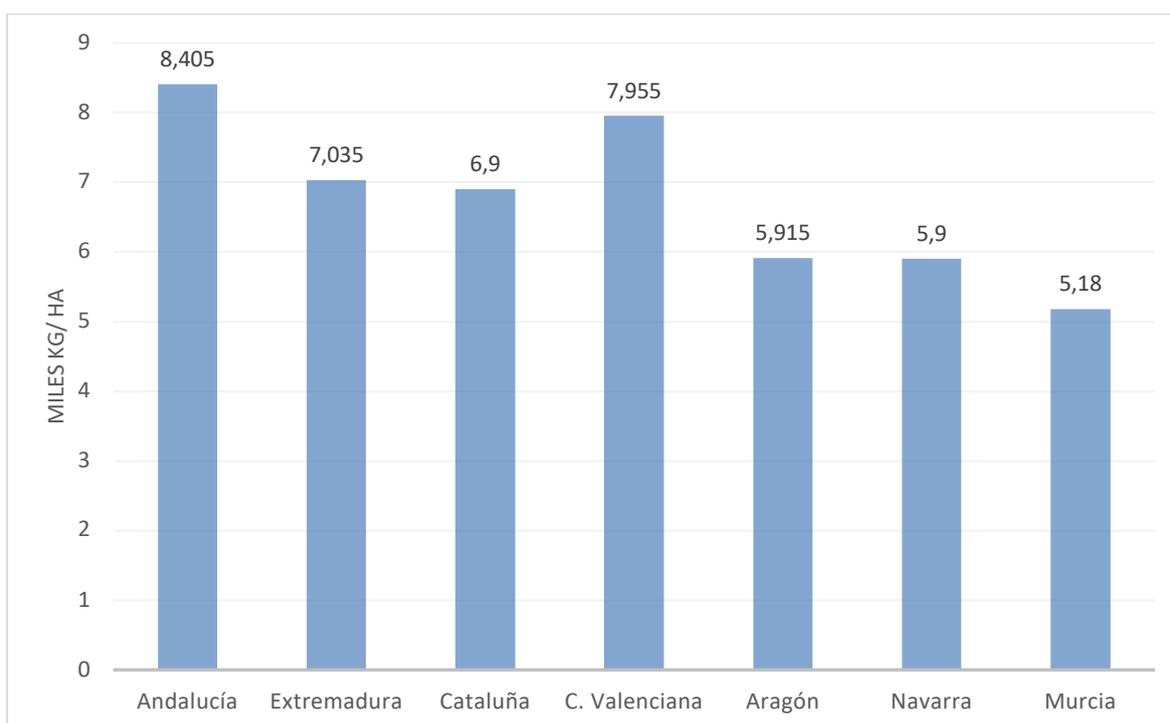


Figura 3. Rendimiento de arroz cascara en España. Elaboración propia. Fuente: Cooperativas agroalimentarias de España

¹⁰ “Datos de Producción Campaña 2019/2020”, (2019)

¹¹ Regla Benitez, (2018)

En la figura anterior podemos encontrar el rendimiento medio de los años 2019-2020 de arroz cascara en miles de kg por comunidad autónoma española¹².

Finalmente, más en específico, este proyecto se va a desarrollar en el pueblo de Isla Mayor, el cual forma parte de la provincia de Sevilla y de las marismas del Guadalquivir. La superficie total de cultivo de este municipio es de 12.000 hectáreas de arroz¹³.

España se convirtió en el decimosexto mayor exportador de arroz del mundo en 2022, exportando aproximadamente 239 millones de euros. El producto número 294 más exportado de España ese año fue el arroz. Bélgica (50,5 millones de euros), Reino Unido (34,8 millones de euros), Francia (31,2 millones de euros), Portugal (28,1 millones de euros) y Estados Unidos (17,4 millones de euros) fueron los destinos principales de las exportaciones de arroz de España. Francia (13,1 millones de euros), Portugal (12 millones de euros) y Alemania (6,7 millones de euros) fueron los mercados de exportación de arroz español que experimentaron el mayor crecimiento entre 2021 y 2022¹⁴.

En cuanto a las importaciones, España se convirtió en el trigésimo noveno mayor importador de arroz del mundo en 2022 por un valor de alrededor de 261 millones de euros. En España, ese año, el arroz fue el producto número 301 más importado. Las principales naciones que importaron arroz a España fueron Birmania (57,2 millones de euros), Pakistán (43,8 millones de euros), Argentina (38 millones de euros), Italia (14,6 millones de euros) y Tailandia (14,1 millones de euros)¹⁵.

¹² “Datos de Producción Campaña 2019/2020”, (2019)

¹³ Ameneiro, (2024)

¹⁴ “Arroz en España”, (s.f.)

¹⁵ “Arroz en España”, (s.f.)

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ COMO CULTIVO

El arroz es una planta anual, monocotiledónea y su ciclo biológico, siendo este los días desde la siembra hasta la cosecha, varía desde los 95 días (variedades muy tempranas) hasta casi los 250 días (variedades muy tardías). Siendo las variedades de maduración medias cosechadas entre los 120-150 días después de la siembra.

De todos los cereales cultivados, la característica principal del arroz es que es semiacuático, es decir, requiere la inundación completa de los campos. Este cultivo está extendido por regiones de climas templados cálidos y tropicales, condicionados a la presencia de un grado suficiente de humedad.¹⁶

El arroz se cultiva principalmente en zonas con elevada salinidad e importantes restricciones medioambientales, como deltas o marismas pertenecientes o próximas a parques naturales, y con suelos que sufren problemas de encharcamiento¹⁷.

La primera fase de este proceso es un proceso meticuloso que aprovecha suelos inundados. El ciclo agrícola comienza en la primavera con la preparación del terreno, que incluye nivelar y arar para facilitar un drenaje adecuado y preparar el terreno para la inundación. Durante esta etapa inicial, se calcula la cantidad de agua necesaria para cubrir completamente los campos; generalmente, esta cantidad es suficiente para mantener los tallos de arroz sumergidos durante la mayor parte del ciclo de crecimiento.

Se mantiene un seguimiento constante del nivel de agua en los campos durante el verano, que es crucial para el crecimiento del arroz. Según las necesidades específicas de las plantas en cada etapa de crecimiento, los sistemas de irrigación pueden incluir canales y compuertas para controlar el flujo hídrico y mantener niveles adecuados.

¹⁶ Enciclopedia Britannica, (s.f.)

¹⁷ Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, (2022)

Es crucial monitorear y controlar las enfermedades fúngicas comunes en entornos húmedos, como la piriculariosis, que pueden afectar el cultivo de arroz. Para proteger las plantas y reducir las pérdidas por enfermedades, los agricultores suelen tomar medidas preventivas y curativas, como tratamientos fungicidas.

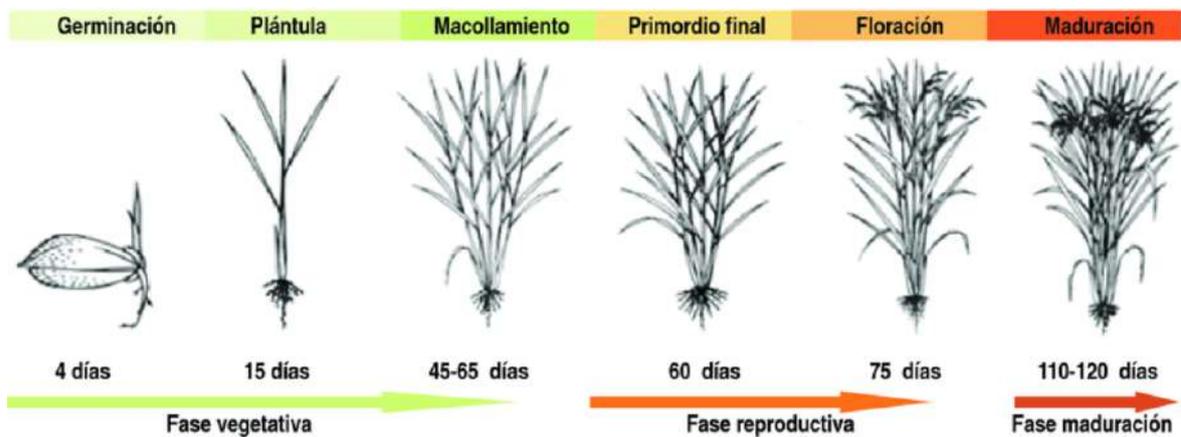


Figura 4. Etapas del crecimiento y desarrollo de la planta de arroz. Fuente: Bruno Zachrisson (2014).

Los agricultores preparan los campos para la cosecha hacia finales del verano y principios del otoño, drenando cuidadosamente el agua para permitir que las plantas maduren completamente y que el grano se seque naturalmente. En esta etapa es cuando se utilizan cosechadoras mecánicas o máquinas segadoras para cortar los tallos de arroz de manera efectiva.

1.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible¹⁸, el diseño y la optimización de una línea de transformación de arroz tienen un impacto importante en varios de estos objetivos. En primer lugar, contribuye al Objetivo 2: Hambre Cero al aumentar la disponibilidad de alimentos básicos. Mejorando la eficiencia en el procesamiento del arroz, se facilita una mayor producción y distribución de este alimento esencial, lo que ayuda a reducir el hambre y a mejorar la seguridad alimentaria en diversas comunidades.

Asimismo, este proyecto apoya el Objetivo 12: Producción y Consumo Responsable al minimizar los residuos en la cadena de producción. Al optimizar los procesos, se mejora la gestión de recursos y se reduce la generación de desechos, promoviendo una producción más sostenible y responsable.

En conjunto, estas acciones muestran cómo la optimización de la línea de transformación de arroz no solo mejora la eficiencia y productividad, sino que también avanza hacia un futuro más sostenible y justo, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En mi Trabajo de Fin de Grado (TFG), me centraré específicamente en los procesos posteriores a la recolección del arroz, como el secado y la molienda, los cuales serán explicados con mayor detalle en el siguiente capítulo. Estos procesos son fundamentales para la transformación del grano de arroz en un producto final listo para su distribución y consumo, asegurando así la calidad y la eficiencia en la cadena de producción.

¹⁸ Naciones Unidas (2023)

2. Estado de la Cuestión

En este capítulo se analizarán los distintos elementos ya propuestos en la literatura existente y tras realizar un estudio de cada una de ellas será seleccionada la más conveniente al proyecto descrito. Se hará una recolección de la teoría más relevante, incluyendo en estos casos de aplicación, máquinas concretas, procesos y metodologías de diseño.

2.1 METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN EN LA LÍNEA.

Para el diseño y optimización de la línea se pueden usar diversas herramientas de investigación operativa. Las opciones que tienen una mayor utilidad en el caso estudiado son el Diseño Centrado en el Usuario (Used-Centered Design-UCD), Diseño Lean, Diseño Kaizen y Simulación de Procesos.

2.1.1 DISEÑO LEAN Y KAIZEN PARA LA EFICIENCIA Y MEJORA CONTINUA.

Con respecto a los métodos anteriores, el Diseño Kaizen, intrínsecamente relacionado con el Diseño Lean, es esencial para la mejora continua en las operaciones de procesamiento, y en este caso en particular del diseño y optimización de una línea de transformación de arroz, la combinación de ambas puede ser especialmente útil en el desarrollo de este trabajo. Según Baca-Nomberto¹⁹, la implementación de Lean mediante las herramientas de Kaizen pueden conducir a la optimización del rendimiento de la cadena de este cereal desde la recolección a la distribución final antes de la venta.

Como define el Diseño Kaizen²⁰, centrado en las mejoras incrementales, se aplica directamente a las máquinas y al flujo del proceso en general, buscando no solo la eficiencia en el uso de cada equipo si no también la minimización de los tiempos muertos y la

¹⁹ Baca-Nomberto et al. (2020)

²⁰ Kiran (2020)

optimización en la cadena de producción. Este enfoque se complementa con el Diseño Lean²¹, que se enfoca en crear más valor con menos recursos, identificando y eliminando las actividades que no agreguen valor al proceso de transformación de arroz, minimizando los residuos y desperdicios, buscando la mejora continua y la máxima eficiencia operativa. La combinación de Kaizen y Lean impulsa un proceso de producción más ágil, eficiente y óptimo, donde el diseño del proceso y el uso de las máquinas se optimizan continuamente para satisfacer las demandas del mercado con la mayor calidad y el menor costo posible.

2.1.2 DISEÑO CENTRADO EN EL USUARIO (USER-CENTERED DESIGN, UCD)

El Diseño Centrado en el Usuario²² (UCD), es una metodología que pone en el centro del proceso de diseño y desarrollo las necesidades, deseos y limitaciones de los usuarios finales. En el diseño de una línea de procesamiento de arroz en un espacio concreto, UCD se enfoca en optimizar el flujo de trabajo para reducir los errores y aumentar la eficiencia operativa. Se puede crear interfaces y procesos que sean intuitivos y fáciles de usar al comprender las tareas y desafíos que enfrentan los trabajadores. La disposición ergonómica de los controles de las máquinas y la incorporación de señales visuales claras pueden reducir la fatiga y los errores, mejorando la productividad y la seguridad.

El uso de UCD en el diseño de la línea de procesamiento también implica iterar sobre prototipos y obtener comentarios constantes de los usuarios finales. Antes de la implementación completa, se pueden realizar pruebas de usabilidad en un entorno simulado. Además, el UCD fomenta la adaptabilidad al permitir ajustes continuos en función del feedback. Esto es particularmente importante en un almacén donde las condiciones de trabajo pueden cambiar con el tiempo y es esencial que los sistemas que se han diseñado puedan adaptarse para mantener su eficacia. La aplicación de UCD puede mejorar la experiencia del usuario y reducir los costos a largo plazo²³.

²¹ Deshmukh, Patil, & Deshmukh, (2017)

²² Canal, (2023)

²³ Dalia, (2024)

2.1.3 SIMULACIÓN DE PROCESOS: MODELADO Y ANÁLISIS DE ESCENARIOS.

La simulación de procesos²⁴ es una herramienta para el diseño y optimización de líneas de procesamiento, en el caso de este proyecto, de arroz, permitiendo modelar y analizar diferentes escenarios de operación sin necesidad de realizar cambios físicos costosos. Mediante software de simulación, se pueden crear modelos virtuales de la línea de procesamiento que representan fielmente la disposición del almacén, los flujos de trabajo y las interacciones entre máquinas y operarios. Esto facilita la identificación de cuellos de botella, la evaluación de diferentes configuraciones de maquinaria y diseño de estas, y la optimización de los tiempos de procesamiento. En el diseño de una línea de procesamiento integral, la simulación de procesos puede ser utilizada para evaluar el impacto de diversas variables, como la velocidad de las cintas transportadoras, la capacidad de los secadores y molinos, los tiempos de mantenimiento de las máquinas y de proceso, el flujo posible de cada máquina, etc.

Al ejecutar múltiples escenarios, se puede determinar la configuración óptima que maximice la eficiencia y minimice los costos operativos. Alquraish²⁵ destaca la relevancia de tecnologías como los gemelos digitales, que representan modelos virtuales de procesos físicos. En el caso de este trabajo, forma más útil de realizar esto es basándose en balances de masa, energía y flujos que deben ser validados con datos reales para garantizar su precisión. Esto permite monitorear el rendimiento del proceso, prever parámetros no medibles, y diagnosticar problemas operativos y de equipo. Además, la simulación dinámica facilita la evaluación de escenarios "qué pasaría si", siendo crucial para el análisis de riesgos y la optimización del diseño y operación de equipos²⁶.

²⁴ Ruiz Romero, (2017)

²⁵ Alquraish, (2022)

²⁶ Edwards, (2013)

2.2 PROPIEDADES INDUSTRIALES.

Lo siguiente que se usará para abordar este problema será analizar las propiedades industriales de las diferentes máquinas y procesos que constituye cada etapa del procesamiento del arroz desde la recolecta hasta la distribución final del producto. Con el fin de conocer la evolución de los problemas que este tipo de patentes han resuelto a lo largo de los años. A continuación, se describe lo que ya se ha encontrado de las tres etapas definidas anteriormente y que constituyen el proceso de transformación del arroz.

Primeramente, para realizar estas búsquedas se explicarán que tipo de patentes son las que se van a analizar. Se usará la Clasificación Internacional de Patentes²⁷ (CIP) que es un sistema jerárquico de clasificación de patentes, el cual no dependerá de idioma alguno y es usado a nivel internacional para organizar y buscar documentos de propiedades industriales con mayor facilidad dependiendo de los diferentes campos tecnológicos. Para entenderlo con mayor facilidad se usará el siguiente gráfico que explica cuáles son los códigos usados a lo largo de este proyecto.

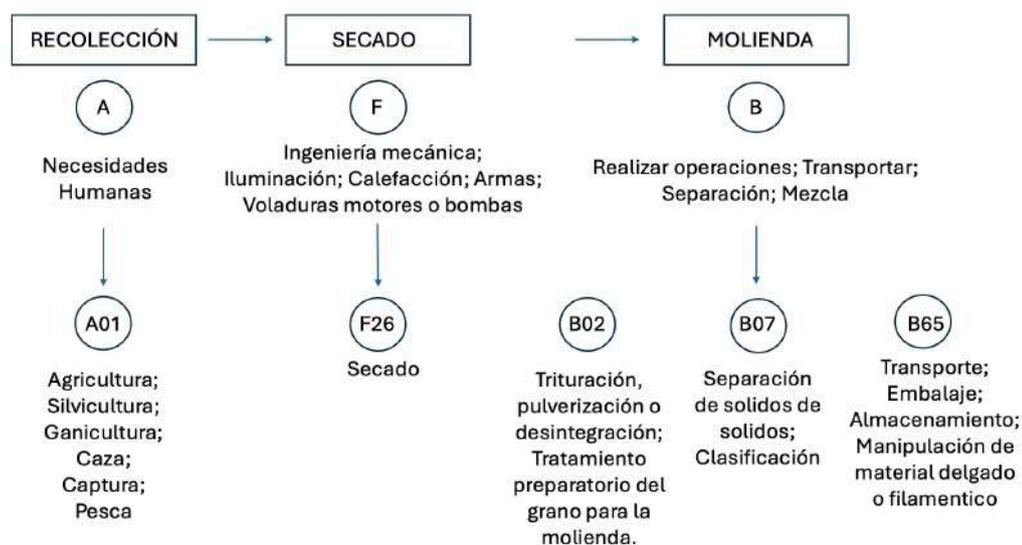


Figura 4. Esquema descriptivo CIP para la línea de transformación de arroz. Elaboración propia. (2024)

²⁷ Clasificación Internacional de Patentes, (s.f.)

La gráfica muestra la clasificación internacional de patentes (CIP) para una línea de transformación de arroz, dividiendo el proceso en tres etapas principales: recolección, secado y molienda. La etapa de recolección (A) se asocia con necesidades humanas y actividades como agricultura y pesca, clasificada bajo A01. La etapa de secado (F) está relacionada con ingeniería mecánica y calefacción, específicamente en el secado del arroz, clasificada bajo F26. La etapa de molienda (B) involucra operaciones de trituración y separación, con categorías B02 para la preparación del grano y B07 para la clasificación de sólidos. Además, el transporte y almacenamiento se incluyen en B65, que abarca la manipulación de materiales.

2.2.1 MAQUINARIAS REFERENTES A LA RECOLECTA DEL ARROZ O COSECHA.

En primera etapa, la etapa de recolección se han investigado una serie de patentes dentro de las más relevantes que se irán resumiendo a continuación, destacando un resumen de ellas y cuál es el punto innovador por el cual se consiguió obtener dicha propiedad industrial. Cabe destacar que las que se han considerado más relevantes dentro de esta etapa son todas asociadas con compañías chinas. Al final de este desarrollo se adjuntará una tabla donde quedaran resumidas todas las patentes con su número de publicación, inventores, solicitantes y fecha de publicación.

La primera, es un dispositivo cosechador de arroz²⁸ que incorpora un mecanismo de recolección con dientes de corte precisos, un sistema de transporte mejorado y una estructura de soporte reforzada para un manejo más eficiente. La innovación principal es el sistema de ajuste automático de altura y velocidad del corte, que optimiza la recolección en diferentes condiciones de campo, minimizando el daño al grano y ajustándose a la longitud de la planta.

²⁸ Tang Haibin, Wang Fei, Wu Erfeng, (2021)

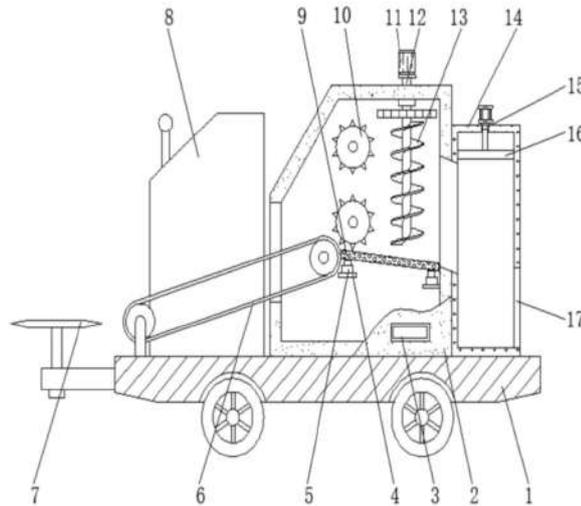


Figura 5. Rice harvest device (CN214228933U). Fuente: Tang Haibin, Wang Fei, Wu Erfeng, (2021)

Teniendo en cuenta las posibles dificultades que se pueden encontrar en condiciones de campo, se encuentra una cosechadora de arroz diseñada para operar en terrenos montañosos y campos pequeños²⁹, siendo una máquina compacta y eficiente que permite operar en áreas donde máquinas cosechadoras más grandes no serían prácticas. Es compacta y eficiente, con un sistema de tracción con orugas que mejora la estabilidad y maniobrabilidad. La innovación clave es su diseño compacto y la adaptabilidad a terrenos difíciles, lo que permite su uso en áreas donde las máquinas más grandes no serían prácticas.

Igualmente, en esta línea de maquinaria con posibilidad de funcionamiento en diferentes terrenos de arroz, se puede encontrar esta cosechadora ilustrada a continuación, ligera y diseñada para terrenos montañosos³⁰, esta cosechadora es de tamaño pequeño, comparada con otras que se verán, fácil de transportar y con posibilidad de operar en pendientes y terrenos irregulares. La principal innovación es su diseño ligero y adaptable, que permite una recolección eficiente en condiciones montañosas y difíciles, sin embargo, al ser manual destaca la lentitud del proceso, siendo solo útil en cosechas de pocas hectáreas.

²⁹ Pang Renyong, (2021)

³⁰ Zhang Jianong, Zeng Zhaohua, (2017)

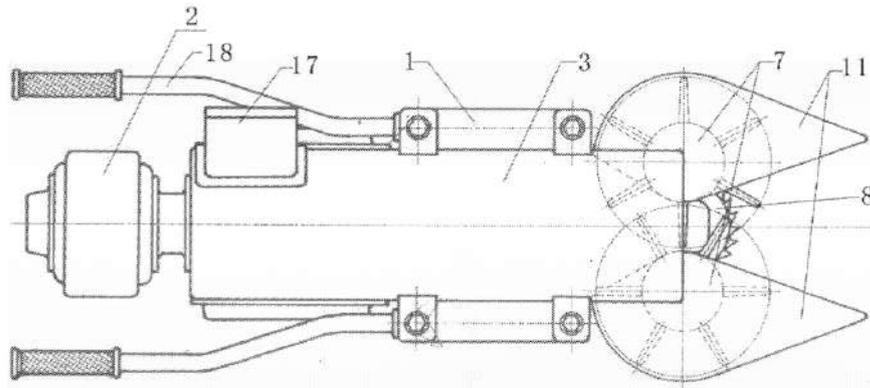


Figura 6. Paddy rice harvester (CN107278507A). Fuente: Zhang Jianqing, Zeng Zhaohua, (2017)

La diferencia entre las dos máquinas anteriores es, que a pesar de ambas estar diseñadas para terrenos difíciles, la primera descrita es para terrenos montañosos y pequeños campos con un diseño compacto y sistema de tracción con orugas, mientras que la segunda es una cosechadora ligera específicamente para montañas. Ambas son para poca cantidad de tierras, siendo manuales y con un lento proceso y alta necesidad de mano de obra.

Teniendo ahora en cuenta algunas más generales, se destaca esta cosechadora con un dispositivo de secado integrado³¹ que permite secar el arroz inmediatamente después de la cosecha, mejorando la calidad y previniendo el moho. El dispositivo integrado en la cosechadora utiliza un cuerpo cilíndrico, un dispositivo de agitación y un dispositivo de calefacción. Esto no solo previene el moho, sino que también mejora la calidad general del arroz, permitiendo un almacenamiento y transporte más seguros y eficientes. La innovación principal es el sistema de secado integrado, que representa una mejora significativa sobre las técnicas tradicionales de secado, al permitir un procesamiento más rápido y eficiente del arroz en el campo y pudiéndose ahorrar este proceso en el molino, además, al finalizar todo el proceso descrito se lleva a cabo el embolsado dentro de la misma máquina.

³¹ Liu Aiyang, Liu Jinyue, (2019)

La cosechadora de arroz multifuncional³² incluye un cuerpo con un marco, cabina, dispositivo de cosecha, tubería de transporte de arroz, dispositivo de trilla, caja de secado circulante y agitador de paja como se puede observar en la figura que continúa este párrafo. La caja de secado contiene una jaula de agitación y una segunda placa de calentamiento, conectada con un cilindro de descarga de granos. La parte superior del marco tiene un panel solar y la parte inferior incluye mecanismos para caminar tanto en el campo como en la carretera. El mecanismo de campo tiene un motor hidráulico rotativo, un motor hidráulico de caminata y una rueda de oruga, mientras que el mecanismo de carretera incluye una varilla telescópica hidráulica y una rueda de goma. Además, la parte trasera tiene un dispositivo anti-hundimiento. Lo innovador de esta patente es que la cosechadora es energéticamente eficiente y respetuosa con el medio ambiente, con una estructura de cuatro ruedas motrices que permite una rotación de 360 grados en el campo. Integra funciones de cosecha, trilla, secado y prevención de hundimientos. Siendo esta una de las cosechadoras más completas que se pueden encontrar hoy en día en este sector. Sin embargo, puede ser cuestionable su eficiencia costo con los métodos tradicionales.

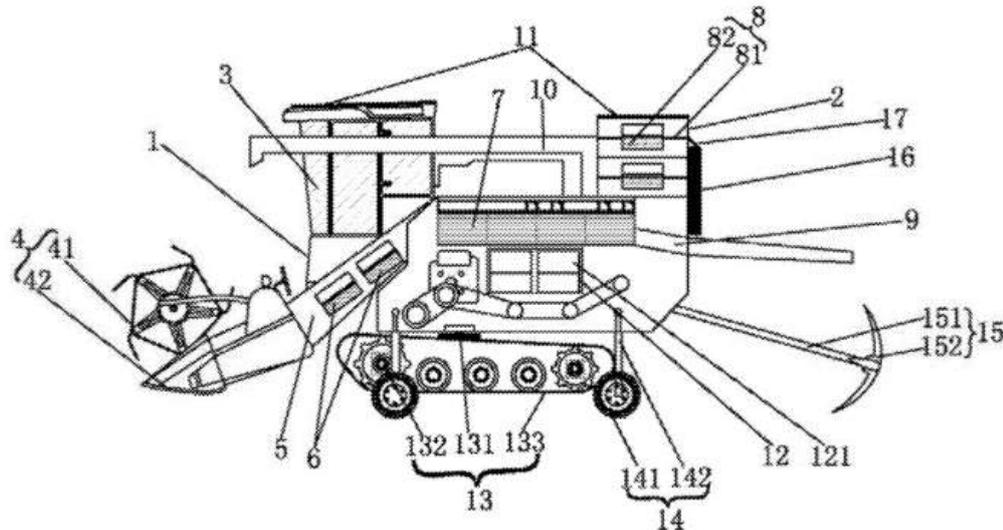


Figura 7. Multifunctional rice harvester (CN109769460A). Fuente: Zhang Jiangnian, (2019)

³² Zhang Jiangnian, (2019)

La diferencia entre las dos máquinas anteriores es que la cosechadora de arroz con secado integral se centra en secar el arroz inmediatamente después de la cosecha y embolsarlo. En cambio, la cosechadora multifuncional además de secar, como máquina es más completa, teniendo un punto clave como es la prevención de hundimientos en los campos de arroz que suelen estar cubiertos de agua y son terrenos fangosos. Además de todo lo anterior, es energéticamente eficiente con mecanismos para desplazarse en campo y carretera.

Analizando en este caso un método para el corte en múltiples capas de cosechadora³³, está diseñado para cortar y procesar el arroz en varias etapas, optimizando la recolección y minimizando el daño al grano. La innovación clave es la técnica de corte en múltiples capas, que permite una recolección más eficiente y cuidadosa del arroz, reduciendo el desperdicio.

En el caso de los cultivos que dan más de una cosecha en un mismo año está la cosechadora de arroz regenerado³⁴, la cual está adaptada para manejar arroz regenerado, permitiendo múltiples cosechas en una temporada. La innovación principal es su sistema que facilita el manejo del ciclo de crecimiento continuo del arroz, optimizando la recolección continua y mejorando la eficiencia. El caso de esta cosechadora no es de especial utilidad en las zonas donde se desarrolla este proyecto debido a que en España todo el arroz que se cultiva solo da una recolección al año, por tanto, la innovación y complicación de esta cosechadora no sería rentable en el proyecto descrito.

Analizando la eficiencia y la similitud en la forma de cosecha de estos dos cultivos, se encuentra la cosechadora conjunta para arroz y trigo³⁵ que cuenta con sistemas intercambiables que permiten recolectar ambos tipos de cultivos eficientemente. En el caso de esta cosechadora solo se cosecha las orejas de arroz o de trigo, el rastrojo restante se queda en el suelo y se aplasta o mezcla con la tierra restante posteriormente a la siega. La

³³ Huang Jinbiao, Huang Yuda, Huang Yufeng, (2017)

³⁴ Zhu Chuyang, Zhu Dongliang, Zhu Ailiang, (2019)

³⁵ Zhu Hongjian, (2019)

innovación clave es su diseño intercambiable, que proporciona flexibilidad y eficiencia en la recolección de múltiples cultivos.

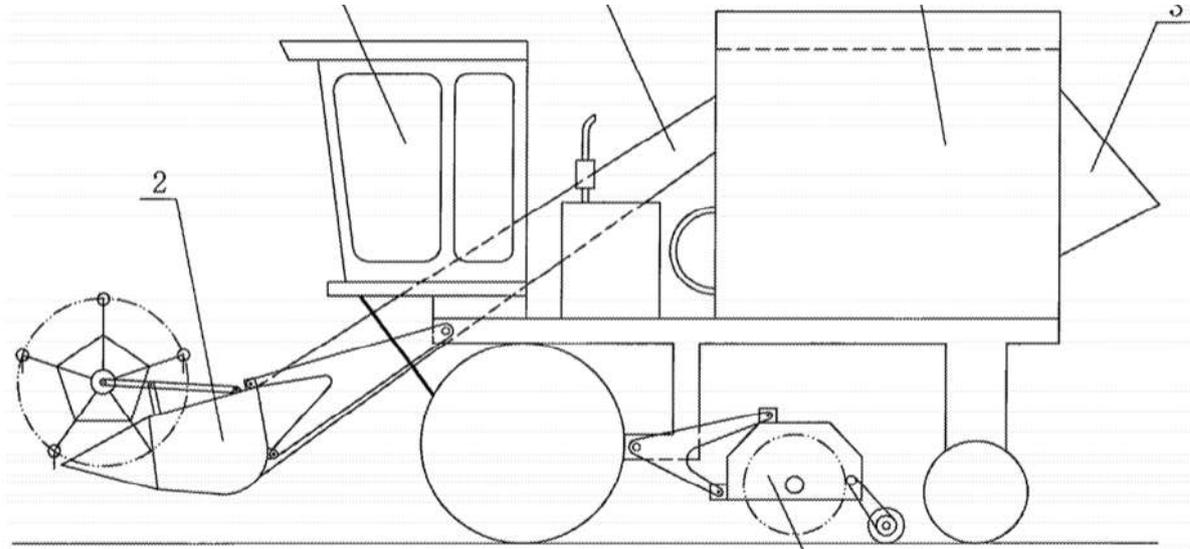


Figura 8. Rice-wheat joint harvester (CN109804772A) Fuente: Zhu Hongjian, (2019)

Finalmente, en este punto, destaca la cosechadora de arroz de alimentación completa³⁶ que incluye una caja de separación de granos e impurezas situada en la parte trasera. Un componente de soporte con marco y deflector que sostiene una pantalla de filtro móvil, la cual se mueve para filtrar las impurezas acumuladas, para evitar la obstrucción de las mallas. La innovación es el sistema de separación que evita la obstrucción de la pantalla de filtro y mejora la eficiencia de la cosecha mediante la filtración continua de impurezas.

Title	Inventors	Applicants	Publication number	Publication date
Rice harvester device	TANG HAIBIN WANG FEI WU ERFENG	GUIYANG YOULE RICE PLANTING PROFESSIONAL COOP	CN214228933U	2021-09-21
Rice harvester	PANG RENYONG	PANG RENYONG	CN112640652A	2021-04-13

³⁶ Meng Zhaozheng, He Chen, (2022)

Title	Inventors	Applicants	Publication number	Publication date
Paddy rice harvester	ZHANG JIANPING ZENG ZHAOHUA	SICHUAN PROVINCE JINGYAN COUNTY LIANYI MACHINE FACTORY	CN107278507A	2017-10-24
Small rice harvester	LIU AIYING LIU JINYUE	LIU AIYING	CN209824443U	2019-12-24
Multifunctional rice harvester	ZHANG JIANGJIAN	FUJIAN GUIXINLONG ELECTRIC CO LTD	CN109769460A	2019-05-21
Method for multilayer cutting of harvester	HUANG JINBIAO HUANG YUDA HUANG YUFENG	KOU SHENG FENG CO LTD	CN103782719A	2017-10-24
Regenerated rice harvester	ZHU CHUYANG ZHU DONGLIANG ZHU AILIANG	ZHU CHUYANG	CN209002371U	2019-06-21
Rice-wheat joint harvester	ZHU HONGJIAN	ZHU HONGJIAN	CN109804772A	2019-05-22
Full-feeding type rice harvester	MENG ZHAOZHENG HE CHEN	YITONG MANCHU AUTONOMOUS COUNTY YONGCHUN RICE IND CO LTD	CN217850241U	2022-11-22

Tabla 2. Tabla resumen patentes de la etapa de cosecha. Elaboración propia. (2024)

2.2.2 MAQUINARIAS REFERENTES AL SECADO DEL ARROZ.

En esta segunda etapa, también se han analizado diversas patentes y las más relevantes se irán resumiendo y destacando los puntos innovadores de alguna de ellas como anteriormente. De nuevo, todas las patentes destacadas son de compañías chinas. Al final de este desarrollo se adjuntará la tabla donde quedaran resumidas todas las patentes de esta sección con su número de publicación, inventores, solicitantes y fecha de publicación.

En primer lugar, un dispositivo volteador y de secado³⁷ que está formado por un compresor de aire, un marco de soporte y un tambor giratorio. El compresor se une a un calentador de aire que produce aire caliente con el que se seca el arroz. Los cilindros y rodamientos ayudan a girar el cereal de forma uniforme en el interior del tambor, y hace el secado más eficaz sin quemar los granos. La novedad de este aparato radica en que la mezcla de soportes y rodillos junto al tambor en movimiento mejora la eficacia y homogeneidad del proceso de secado en contraste con los métodos tradicionales de placa giratoria y cinta transportadora.

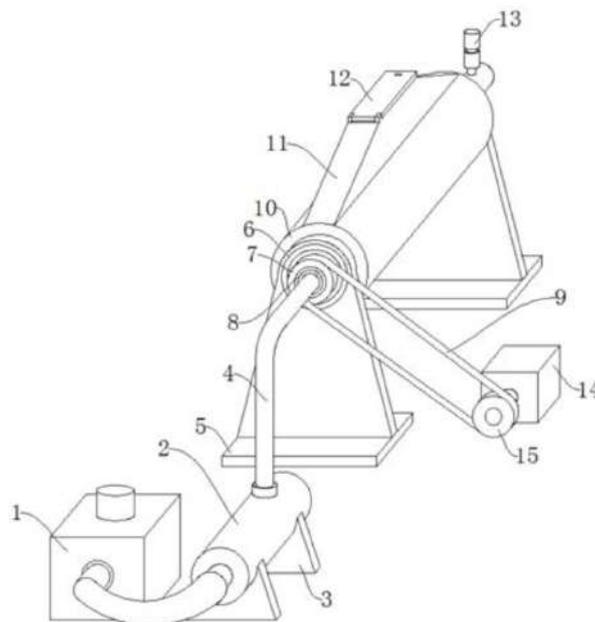


Figura 9. Rice turning and drying device (CN210242243U). Fuente: Fan Xun, (2020)

Dentro de estos secadores de arroz mediante transporte y calentamiento se encuentra uno que está formado por una caja de secado y unas varillas³⁸. Un motor mezcla el arroz con dichas varillas que tienen partículas conductoras de calor para garantizar que se caliente de manera uniforme. Incluye, además, un filtro interno en forma de cilindro junto con tubos de entrada y salida de aire para mejorar la circulación y eliminar la humedad. Como novedad,

³⁷ Fan Xun, (2020)

³⁸ Ren Xianlong, (2017)

se incluye el empleo de estas partículas conductoras de calor y el sistema optimizado de circulación de aire.

A continuación, existe un dispositivo encargado de secar arroz incluye una base con un cilindro de secado el cual está montado horizontalmente³⁹. El cilindro tiene orificios para la ventilación y un transportador en forma de tornillo interno para mover el arroz mientras se seca con calentadores situados a los alrededores del cilindro. Lo novedoso de este dispositivo es su estructura simple y el uso de un transportador de tornillo proporcionan un buen efecto de secado del arroz, mejorando la uniformidad del calentamiento.

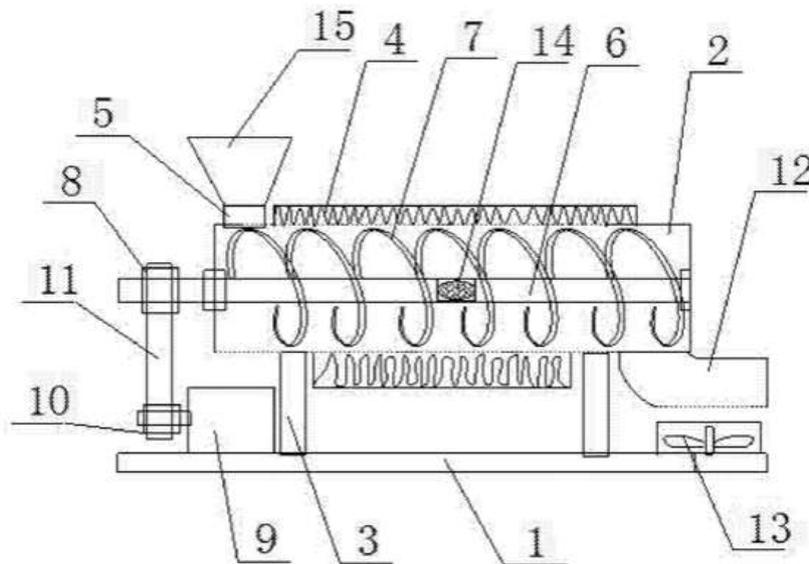


Figura 10. Rice drying device (CN106804702A). Fuente: Ren Xianlong, (2017)

Un dispositivo de procesamiento y secado de arroz⁴⁰ que incluye una caja de secado con estantes móviles y un mecanismo de descarga de arroz es también una invención que destacar en este ámbito. Utiliza una varilla hidráulica para mover el arroz por los estantes móviles, mejorando la uniformidad del secado y facilitando su recolección mediante una tolva de salida y una bolsa recolectora. La innovación referente de este dispositivo es la varilla

³⁹ Ren Xianlong, (2017)

⁴⁰ Qian Lei, Qian Xuelong, (2023)

hidráulica, siendo esta una barra de metal que está conectada a un pistón y se utiliza para transferir la fuerza generada por el fluido presurizado dentro del cilindro para movilizar el arroz.

Otro dispositivo de secado de arroz incluye un cuerpo de máquina con una tolva de alimentación y un calentador eléctrico⁴¹. Utiliza componentes de control con forma de rueda que se usa para mover el arroz ordenadamente y evitar que se peguen debido a la humedad que aun contiene y además evitando el apilamiento, acabando finalmente en un compartimento el arroz seco.

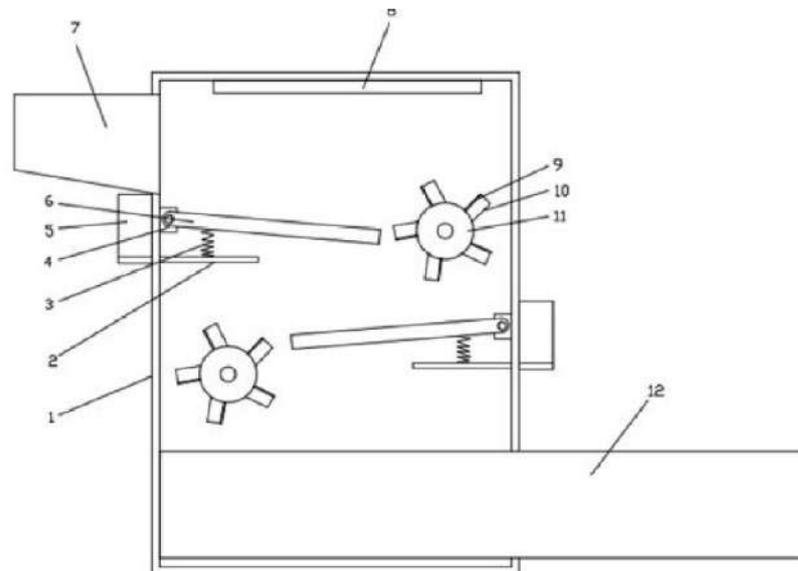


Figura 11. Rice drying device (CN112268447A). Fuente: Feng Jianzhi, (2021)

Todas las patentes descritas anteriormente comparten en común el rasgo de que el secado se realiza mediante el mecanismo de transporte y calentamiento.

Analizando otro mecanismo, el cual combina múltiples procesos en un solo dispositivo, se encuentra una máquina de secado compuesto por dos secadoras de arroz de tipo continuo a baja temperatura⁴² el cual utiliza una máquina de carga de carbón, ventiladores de aire

⁴¹ Feng Jianzhi, (2021)

⁴² Zhang Cong, (2017)

caliente y un elevador que traslada y seca el arroz a baja temperatura. El sistema cuenta con dos ventiladores, uno primero el cual enfría y un ventilador segundo de escape de humo para regular la temperatura. La invención de este secador radica en la preservación de los nutrientes del arroz con un secado a temperatura baja, reduciendo la tasa de explosión. Este sistema es de los más utilizados en las cooperativas de arroz de España y donde está desarrollado este proyecto.

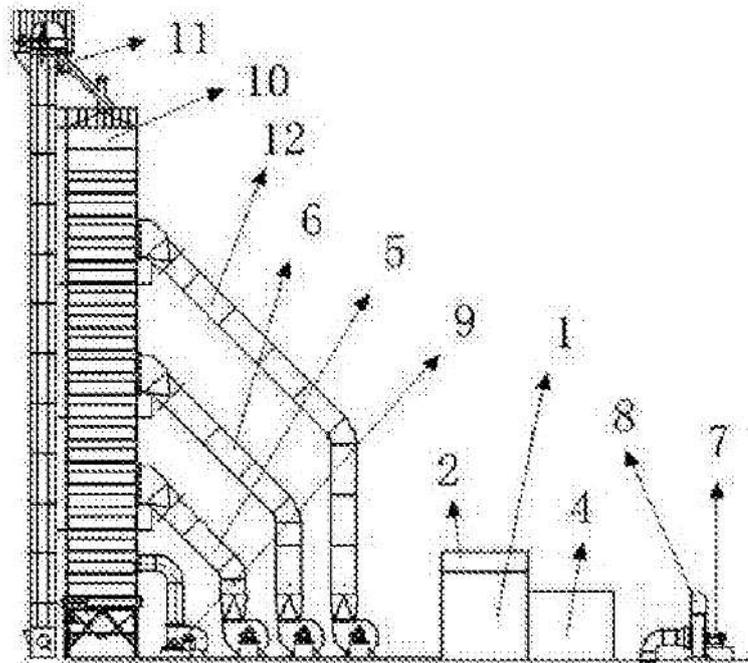


Figura 12. Two rice drying machines that promote of low temperature continuous type (CN205993505U).

Fuente: Zhang Cong, (2017)

Uno de los dispositivos más completos que se puede encontrar es un sistema de secado de arroz que usa un mecanismo de engranajes y ejes rotatorios⁴³ que hacen girar el arroz en un cilindro contenedor de almacenamiento, dentro del cual una barra agitadora y una cuchilla en forma de espiral remueven el arroz para garantizar que se seque de manera igualitaria con

⁴³ Qi Yang, (2021)

el uso de aire caliente. La originalidad se encuentra en que hay una interacción total entre el arroz y el aire caliente, mejorando la eficiencia y efectividad del secado.

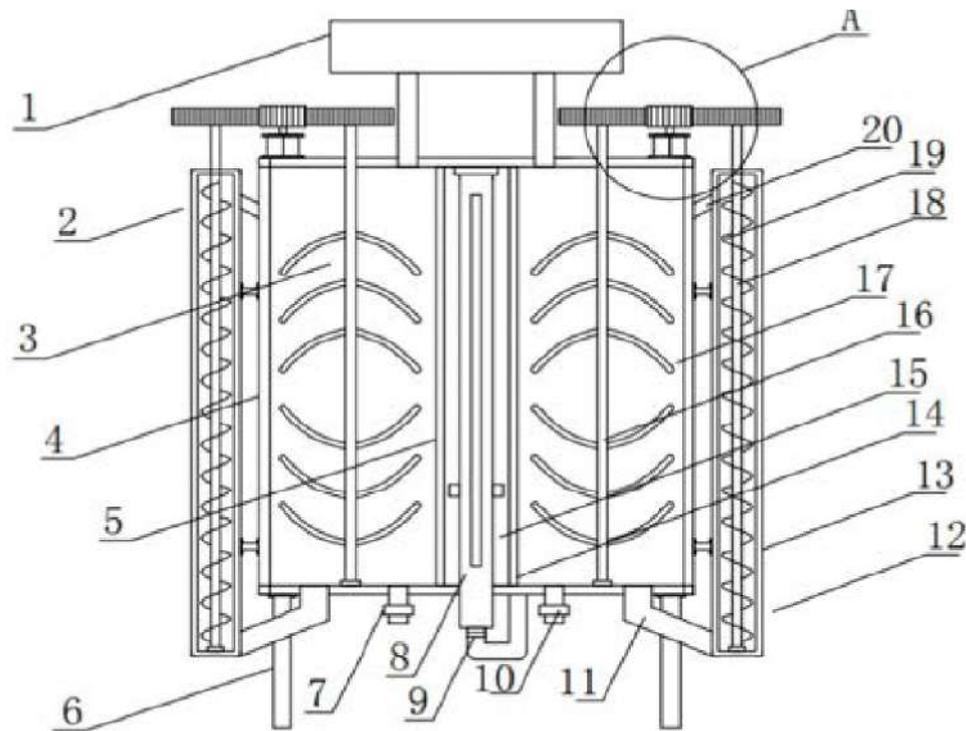


Figura 13. Rice drying device (CN112797762A). Fuente: Qi Yang, (2021)

En esta misma línea, se encuentra un equipo de secado que utiliza un barril de secado y un soplador de aire caliente⁴⁴. El primer dispositivo emplea un sistema de engranajes y ejes que agitan y elevan el arroz en un ciclo continuo dentro del cilindro. El segundo dispositivo, en cambio, utiliza una pieza de accionamiento que gira una parte de propulsión en espiral para empujar el arroz a través del barril de secado, complementado por una placa de calefacción auxiliar para evitar roturas por cambios de temperatura. Mientras que el primer dispositivo se enfoca en la rotación continua del arroz, el segundo añade una etapa de calentamiento auxiliar para mejorar el proceso.

⁴⁴ Xu Guowen, (2020)

Los dos dispositivos descritos anteriormente secan el arroz usando aire caliente y mecanismos para moverlo, asegurando un secado uniforme. El primer dispositivo utiliza engranajes y ejes para agitar y elevar el arroz continuamente dentro de un cilindro. El segunda emplea una propulsión en espiral y una placa de calefacción auxiliar para evitar roturas por cambios bruscos de temperatura.

Fuera de las que se han analizado hasta el momento, se encuentra un secador de arroz con forma de línea de transporte⁴⁵, este secador utiliza un mecanismo de transmisión con una cinta transportadora que moviliza el arroz a través de varios pasos de secado en forma de sala de forma consecutiva, haciendo que este proceso se haga paso a paso evitando el quemado y apelmazado.

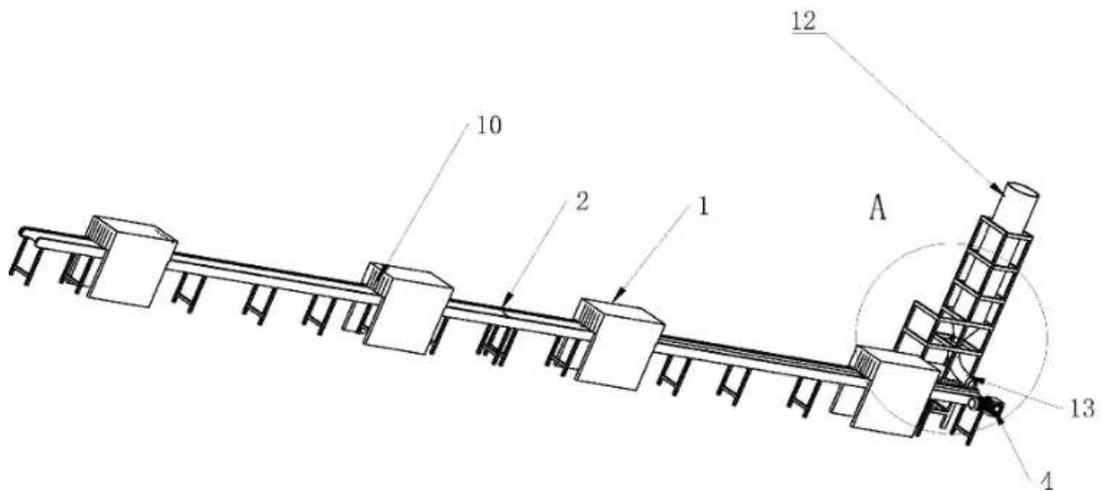


Figura 14. Rice drying machine (CN220135978U). Fuente: Wang Baisong, Zhao Tiancheng, (2023)

Finalmente se explica un mecanismo para secar y esterilizar el arroz⁴⁶ a la misma vez. Funciona almacenando el arroz en una cámara, donde se controla el flujo de material. Luego, el arroz pasa a través de un deflector a una cámara de limpieza, donde un ventilador y un calentador trabajan juntos para el secado y esterilizado. El arroz se transporta mediante un

⁴⁵ Wang Baisong, Zhao Tiancheng, (2023)

⁴⁶ Ren Xianlong, (2021)

sistema de barras de gatillo y un transportador. Este dispositivo se destaca por su simplicidad estructural y alta eficacia en la deshidratación y esterilización del arroz.

Title	Inventors	Applicants	Publication number	Publication date
Rice turning and drying device	FAN XUN	JIANGSU DAOPIAOXIANG RICE IND CO LTD	CN210242243U	2020-04-03
Rice drying box	REN XIANLONG	HUNAN JIAOSHAN RICE CO LTD	CN106804701A	2017-06-09
Rice drying device	REN XIANLONG	HUNAN JIAOSHAN RICE CO LTD	CN106804702A	2017-06-09
Rice processing and drying device	QIAN LEI QIAN XUELONG	WUWEI YOUWEI RICE IND CO LTD	CN219264842U	2023-06-27
Rice drying device	FENG JIANZHI	LANSHAN HENGHUA RICE IND CO LTD	CN112268447A	2021-01-26
Two rice drying machines low temperature continuous type	ZHANG CONG	KAIYUAN KAILONG DRYING EQUIPMENT CO LTD	CN205993505U	2017-03-08
Rice drying device	QI YANG	CHONGQING YUFENG RICE IND CO LTD	CN112797762A	2021-05-14
Novel rice drying equipment	XU GUOWEN	FUJIAN SHAXIAN HENGXING RICE IND CO LTD	CN211451771U	2020-09-08
Rice drying machine	WANG BAISONG ZHAO TIANCHENG	CHONGYANG YONGQIANG RICE IND CO LTD	CN220135978U	2023-12-05
Rice drying and sterilizing device	REN XIANLONG	HUNAN JIAOSHAN RICE CO LTD	CN106804703A	2017-06-09

Tabla 3. Tabla resumen patentes de la etapa de secado. Elaboración propia. (2024)

2.2.3 MAQUINARIAS REFERENTES A LA MOLIENDA.

En esta tercera y última etapa, se puede dividir en varias subetapas, la primera que sería el descascarillado, a continuación, pasaría al blanqueamiento y pulido para seguir a la clasificación y almacenamiento y finalmente el envasado. En cada una de ellas se van a volver a analizar diversas propiedades industriales por separado y en su conjunto y se resumirán y destacarán los puntos más innovadores. En este caso no todas las patentes son

de compañías chinas, también podemos encontrar algunas de compañías japonesas. Como en los puntos anteriores, al final del desarrollo se adjuntará la tabla donde quedaran resumidas todas las patentes de esta sección con su número de publicación, inventores, solicitantes y fecha de publicación.

En primer lugar, se analizarán las referentes al descascarillado:

En primer lugar, un dispositivo de descascarillado de arroz y sistema de control⁴⁷ en el cual se incluye un compartimento de descascarado con mecanismos de extrusión, secado y selección. Por una caja de alimentación se introduce el arroz la cual tiene un embudo anti-desbordamiento y un componente de control de flujo. De ahí pasa a la sección donde se encuentra el mecanismo de extrusión y es ahí donde se elimina la cascara del arroz, pudiendo ajustar la fuerza de este manualmente. Finalmente, el arroz se seca y se selecciona, separando el arroz descascarado del que aún tiene cascara y otras impurezas.

En este mismo tono, se destaca una máquina que es un dispositivo de cribado y descascarillado de arroz⁴⁸, que está compuesto también por un mecanismo de extrusión, que sirve para descascarillar, este mecanismo está localizado en el centro del gabinete e incluye componentes que ajustan la distancia entre los dos cilindros rotativos, permitiendo ajustar la fuerza según las necesidades, en este caso de manera automática. Dentro del gabinete también se encuentra un mecanismo de secado antiadherente para evitar que se pegue el arroz y finalmente un mecanismo de selección y separación una vez descascarado.

El mecanismo de extrusión es un mecanismo usado frecuentemente en estas máquinas, tanto de secado como de pelado, haciendo una pequeña aclaración de cómo funciona este mecanismo, se puede decir que el pelado del arroz por extrusión es un proceso en el que el arroz con cáscara se introduce en una máquina extrusora, donde es sometido a altas temperaturas y presiones. Esto no solo seca el arroz rápidamente, sino que también afloja y

⁴⁷ Koreda. Minoru, (2022)

⁴⁸ Sun Yongkang, Shi Qiuming, He Yujing, Liu Wanjiao, (2021)

elimina la cáscara externa. Al final del proceso, el arroz sale pelado y con una humedad reducida, se enfría rápidamente y se almacena adecuadamente.

Pudiendo parecer los dos dispositivos anteriores muy similares y operados por mecanismos de extrusión, la principal diferencia es que el primero se ajusta manualmente y en caso del segundo tiene más un enfoque automatizado con inspección y ajuste en tiempo real de la velocidad de descascarado. Además, a nivel visual también se aprecia bastante diferencia como puede observarse a continuación.

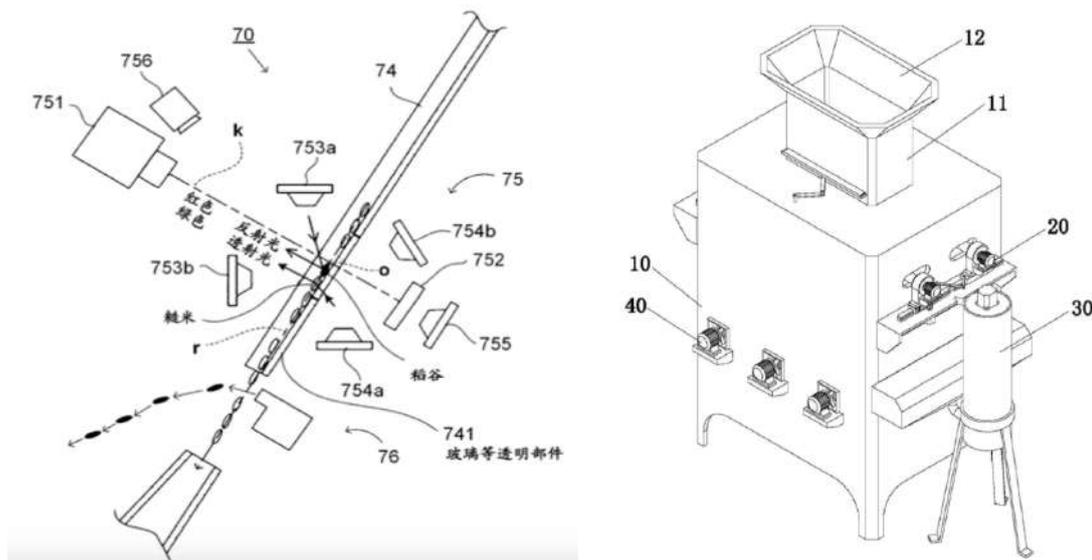


Figura 15. Rice husking device and rice husking control system (CN114514072A) and Rice screening and husking device (CN110152763B) Fuente: Koreda. Minoru, (2022) and Sun Yongkang, Shi Qiuming, He Yujing, Liu Wanjiao, (2021)

Optando por un método diferente a la extrusión y con ideas más tradicionales, existe este dispositivo para descascarar arroz⁴⁹ que incluye un tanque de molienda y otro de descascarado. El arroz se mueve por una cinta transportadora con placas deflectoras. Un riel deslizante con rodillos de compresión ajustados por cilindros de aire aplica presión al arroz

⁴⁹ Yu Mingong, (2018)

con cáscara. Luego, una placa guía dirige el arroz a los rodillos rotativos de descascarado, que quitan la cáscara del arroz con la ayuda de motores.

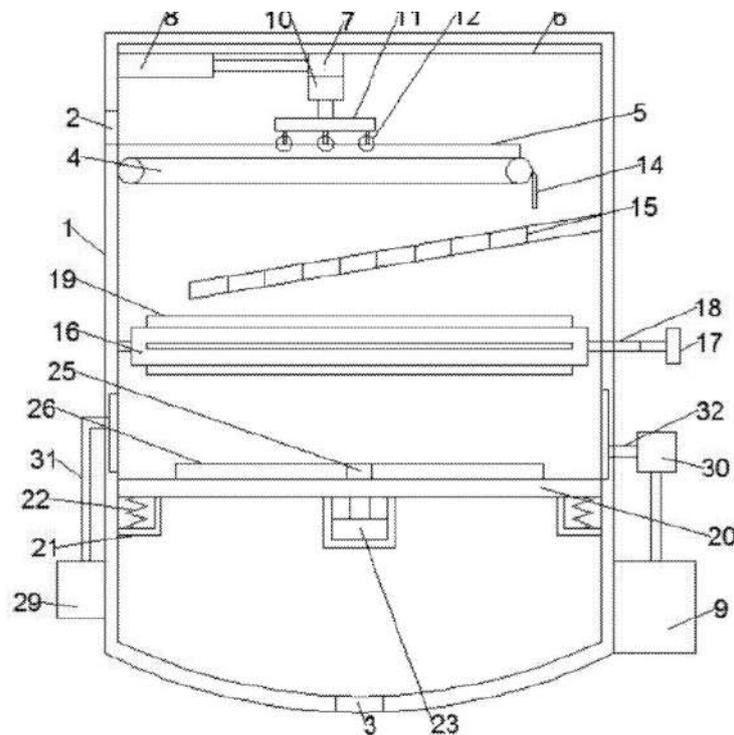


Figura 16. Rice husking device (CN109012803A). Fuente: Yu Mingong, (2018)

Dentro del pelado por colisiones controladas, pero en este caso con un formato distinto se encuentra este sistema que consta de una parte de suministro que descarga el arroz en dirección radial⁵⁰ y una parte de impulsor equipada con múltiples paletas. Estas paletas guían el arroz mediante rotación a la zona deseada para proceder a su pelado. Las zonas de descascarado, ubicadas en las partes radiales de las paletas, reciben el arroz y lo descascarán mediante colisiones controladas separando la cáscara del grano limpio de arroz.

La principal diferencia entre los dos mecanismos mencionados anteriormente, siendo ambos de pelado por colisiones controladas, es que el primer mecanismo es más complejo y con circuito más largo, sin embargo, incluye secado y selección. El siguiente, tiene control

⁵⁰ Yasuhiro Nakazawa, Tomoaki Sakaue, (2016)

automatizado y se enfoca en la inspección dinámica, y finalmente, el último, utiliza un mecanismo innovador que impulsa radialmente y no tiene necesidad de automatización, sin embargo, puede ocasionar más granos rotos de arroz.

Por tanto, por cerrar un poco esta sección, se concluye que los dos métodos más usados para el descascarado del arroz son el mecanismo de extrusión y el pelado por colisiones controladas.

A continuación, se analizarán las propiedades industriales referentes al pulido y blanqueado:

La primera de ellas es una red de pulido para fresadora de arroz⁵¹, esta invención busca solucionar el problema de los granos de arroz roto durante el pulido, para ello se usan dos redes de pulido, una a la entrada y otra a la salida. En la red de entrada los agujeros son más grandes y tiene menor cantidad de ellos, sin embargo, en la red de salida es, al contrario, tiene más agujeros y más pequeños, con eso hace que sea la red más fuerte y menos propensa a romperse.

⁵¹ Fukunaga Daisaku, Kamo Yoshihiro, (2007)

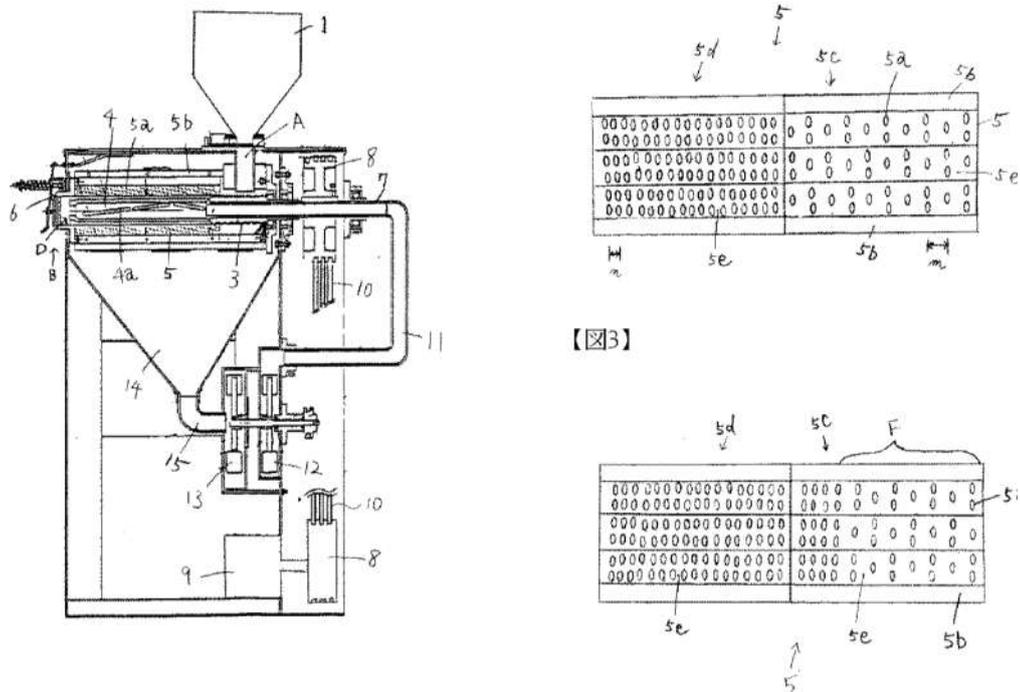


Figura 17. Polishing net for rice milling machine (JP3903583B2). Fuente: Fukunaga Daisaku, Kamo Yoshihiro, (2007)

Dentro de las pulidoras de arroz, se encuentra una invención que también se enfoca en solucionar un problema, en este caso el que las máquinas de pulidos sean tan anchas debido a la caja de salvado (el salvado es la parte exterior del grano de arroz, que se encuentra entre la cascara y el grano en sí, que se quita durante el pulido) evitando que este se disperse tanto durante este proceso. Para ello se propone una máquina de pulido más compacta que incluye tres partes principales⁵²: una tolva donde se coloca el arroz sin pulir, un medidor que controla la cantidad de arroz, y una caja pulidora donde se realiza el pulido. Junto a estas, hay una caja de salvado alineada con la tolva. Esta disposición evita que el salvado se esparza y hace que la máquina ocupe menos espacio.

Tras superar ese proceso, el arroz está preparado para el almacenamiento, donde caben destacar estas dos patentes:

⁵² Oishi Hiroaki, (2015)

El primer dispositivo de almacenamiento compuesto por múltiples carcasas conectadas entre sí⁵³, cada una de ellas equipada con una bolsa interna para almacenar arroz. En el fondo de cada carcasa tiene una salida de arroz y permite almacenar diferentes tipos de arroz por separado, facilitando la categorización y proporcionando un gran espacio de almacenamiento para mantener grandes cantidades de arroz durante un tiempo prolongado.

El segundo es un dispositivo de transporte y almacenamiento de arroz⁵⁴ el cual está compuesto por un soporte móvil con ruedas y un contenedor de almacenamiento. En un extremo, tiene un elevador hidráulico y en el otro, un cuerpo de caja con alimentación superior. A un lado del puerto hay un ventilador y al otro, una tubería de ventilación con salida de aire. Se lleva el arroz a una ranura de amortiguación con un bastidor y una conexión elástica, lo que reduce la velocidad de caída y disminuye la tasa de arroz roto.

La principal diferencia entre estos dispositivos es su función y diseño. El primero se enfoca en almacenar diferentes tipos de arroz de manera organizada y a largo plazo, mientras que el segundo facilita el transporte y reduce la tasa de arroz roto mediante un sistema de elevación y amortiguación. Se pueden observar visualmente a continuación:

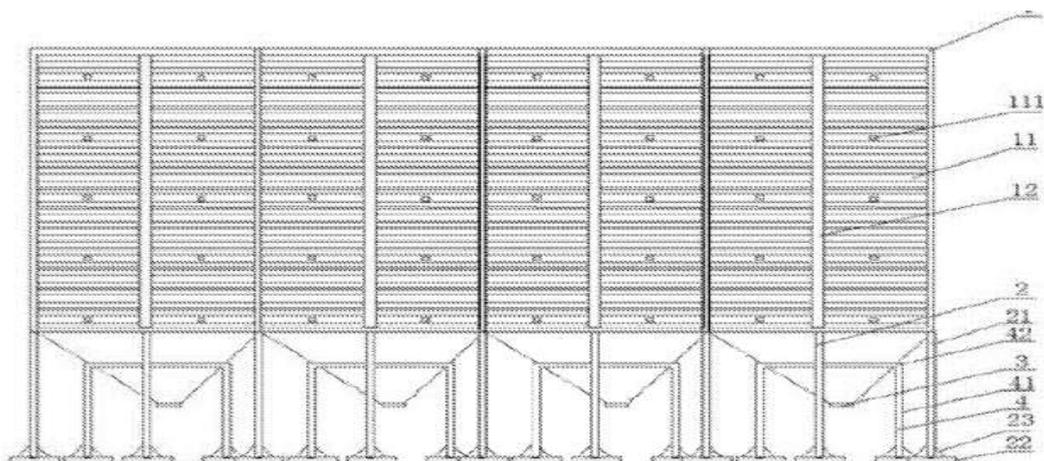


Figura 18. Rice storing device (CN204937967U). Fuente: eng Youlin, Tang Guian, Zhao Wenwu, (2016)

⁵³ Peng Youlin, Tang Guian, Zhao Wenwu, (2016)

⁵⁴ Zheng Biao, (2021)

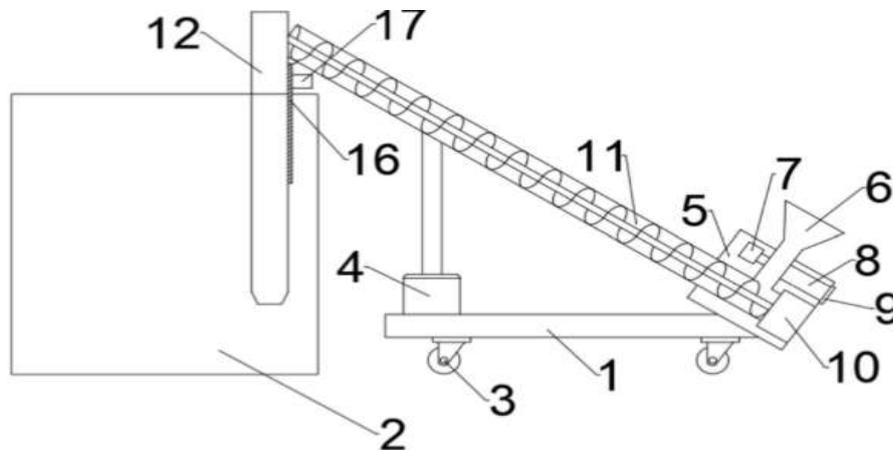


Figura 19. Rice conveying and storing device (CN213415351U). Fuente: Zheng Biao, (2021)

Por último, la fase final es el envasado del arroz, para ello destacan las siguientes patentes:

Primeramente, destaca una máquina envasadora de raciones de arroz con cascara⁵⁵ esta innovación tiene una balanza con un dosificador en un extremo y un interruptor de motor en el otro. Un cinturón conecta el motor con un soporte central, que tiene cubos de carga montados en ejes giratorios. Cada cubo tiene un resorte de retorno, permitiendo empaquetar rápidamente pequeñas cantidades de arroz en diferentes lugares.

Por otro lado, está un dispositivo automático de envasado de arroz⁵⁶ automático para empaquetar arroz elimina la necesidad de sostener manualmente la bolsa. Tiene un marco sólido con un puerto de alimentación en la parte superior, un empujador eléctrico en el centro del marco, y una placa circular con varios empujadores eléctricos. El puerto se conecta a un tubo de descarga telescópico, permitiendo empaquetar arroz automáticamente sin soporte manual, haciendo más eficiente y rápida esta labor.

La principal diferencia entre estos dos dispositivos es que la máquina de empaque de arroz primera se enfoca en el empaque rápido de pequeñas cantidades de arroz en diferentes

⁵⁵ Chen Feng; Liu Qihua; Ru Yi; Ma Jiaqing; Xu Jiandi; Zhu Wenyin; Zhou Xuebiao; Sun Gongchen; Zhao Qinglei; Gao Jie; Chen Bocong; Wang Yu, (2013)

⁵⁶ He Qiuping, (2021)

lugares, utilizando un sistema de balanza y dosificación. En contraste, el segundo dispositivo es automático y, además, está diseñado para automatizar completamente el proceso de empaque, eliminando la necesidad de soporte manual y reduciendo el consumo de mano de obra.

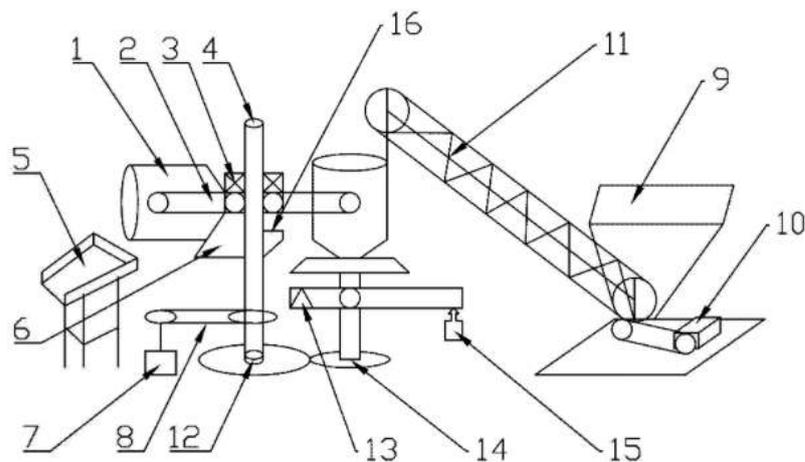


Figura 20. Paddy rice ration packing machine (CN103287599A). Fuente: Chen Feng; Liu Qihua; Ru Yi; Ma Jiaqing; Xu Jiandi; Zhu Wenyin; Zhou Xuebiao; Sun Gongchen; Zhao Qinglei; Gao Jie; Chen Bocong; Wang Yu, (2013)

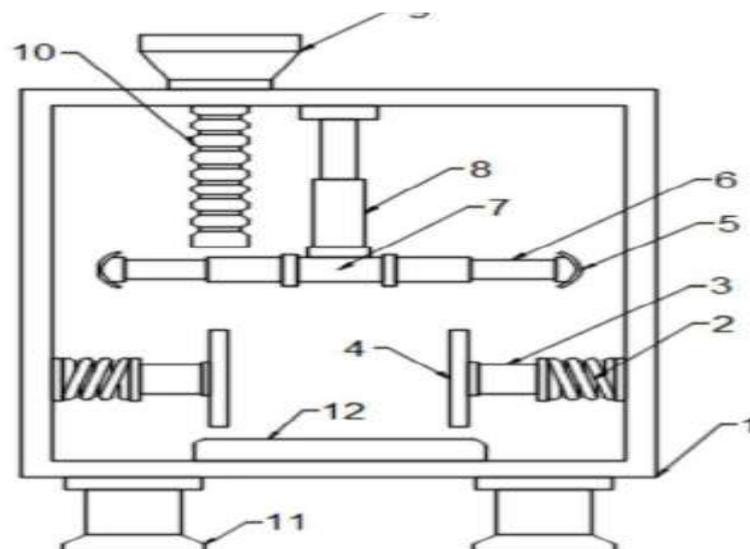


Figura 21. Automatic rice packing device (CN213800427U). Fuente: He Qiuping, (2021)

ESTADO DE LA CUESTIÓN

Title	Inventors	Applicants	Publication number	Publication date
Rice husking device and rice husking control system	KOREDA MINORU	JOINT STOCK AGENCY ASSISTANT BAMBOOS	CN114514072A	17/5/22
Rice screening and husking device	SUN YONGKANG; SHI QIUMING; HE YUJING; ZHAO WANQING; LIU WANJIAO; ZHU YINGZE	UNIV ANHUI CIENCIA Y TECNOLOGÍA	CN110152763B	27/7/21
Rice husking device	YU MINDONG	SUSONG DONGQUAN RICE IND CO LTD	CN109012803A	18/12/18
Rice husking device	YASUHIRO NAKAZAWA; TOMOAKI SAKAUE	KUBOTA KK	CN106076456A	9/11/16
Polishing net for rice milling machine	FUKUNAGA DAISAKU; KAMO YOSHIHIRO	ISEKI AGRICULT MACH	JP3903583B2	11/4/07
Rice-Polishing Machine	OISHI HIROAKI	AGRITECNO YAZAKI CO LTD	JP2015174050A	5/10/15
Rice storing device	PENG YOULIN; TANG GUIAN; ZHAO WENWU	YIYANG YOULIN RICE IND CO LTD	CN204937967U	6/1/16
Rice conveying and storing device	ZHENG BIAO	YINGSHANG ZHENGSHI RICE CO LTD	CN213415351U	11/6/21
Paddy rice ration packing machine	CHEN FENG; LIU QIHUA; RU YI; MA JIAQING; XU JIANDI; ZHU WENYIN; ZHOU XUEBIAO; SUN GONGCHEN; ZHAO QINGLEI; GAO JIE; CHEN BOCONG; WANG YU	SHANDONG RICE RES INST	CN103287599A	11/9/13
Automatic rice packing device	HE QIUPING	HUNAN SHENGPING RICE IND CO LTD	CN213800427U	27/7/21

Tabla 4. Tabla resumen patentes de la etapa de molienda. Elaboración propia. (2024)

Se han identificado y seleccionado las herramientas más adecuadas para el proyecto descrito después de un análisis exhaustivo de la literatura existente y una evaluación de las diferentes tecnologías y métodos utilizados en el procesamiento del arroz. Se ha demostrado que los métodos de diseño y optimización como la simulación de procesos, el diseño centrado en el usuario (UCD), el diseño Lean y el diseño Kaizen son muy efectivos para mejorar continuamente, aumentar la eficiencia operativa y satisfacer las necesidades de los usuarios finales. Estos métodos no solo permiten una mejor gestión de recursos y una reducción de residuos, sino que también optimizan el flujo de trabajo y hacen que el entorno de procesamiento sea más ergonómico.

Se han estudiado las propiedades industriales de los dispositivos más comunes y sofisticados en cada etapa de la transformación del arroz: recolección, secado y molienda. Las tecnologías actuales se destacan por su capacidad para mejorar la eficiencia, minimizar el daño al producto y optimizar la calidad y eficiencia del arroz procesado. Desarrollar una línea de transformación de arroz eficiente, sostenible y adaptable a las demandas del mercado será posible mediante el uso de estas tecnologías y una comprensión profunda de las propiedades industriales y las innovaciones más recientes. Este método completo se hará para mejorar el rendimiento y reducir los costes.

3. Diseño conceptual de la línea de arroz

En este capítulo se va a desarrollar el análisis del proceso creativo y el desarrollo de la invención que se va a llevar a cabo tras el estudio de todas las maquinarias y propiedades industriales descritos en el capítulo anterior.

El diseño de esta línea estará basado en la creatividad, adaptándose a las necesidades existentes en la actualidad, la cual tiene una necesidad evidente en la evolución y adaptación de los procesos y productos a las exigencias que la sociedad impone. Por tanto, se mejorará la productividad al máximo usando procesos continuos y de mejora permanente.

En primer lugar, se usará la metodología TRIZ y se combinará con las herramientas de investigación operativas Lean y Kaizen, para ello se usarán los principios de segmentación y el ciclo PDCA respectivamente. Finalmente, se llegará a un diseño conceptual y completo de la línea de arroz, donde se podrá observar el orden y la disposición de las distintas máquinas que constituyen dicha línea.

Como se explica en el párrafo anterior, para el desarrollo del diseño de la línea y realización de este proyecto se usará el método TRIZ⁵⁷, en el cual se utilizan las soluciones de generadas por otros autores, las cuales hemos recogido en una base de datos, en este caso registrada en el capítulo anterior, para obtener inspiración y comenzar a generar nuevas ideas.

3.1 *TEORÍA PARA RESOLVER PROBLEMAS DE INVENTIVA*

El método seguido para desarrollar el proyecto del diseño de una línea de optimización de arroz será redactado a continuación.

⁵⁷ Coronado Maldonado, Oropeza Monterrubio, Rico Arzate, (2005)

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

TRIZ⁵⁸ es un método sistemático para incrementar la creatividad tecnológica, desarrollado por Genrich Altshuller, basado en el estudio de los modelos de evolución de patentes y en otros tipos de soluciones de problemas. Consiste en usar el máximo conocimiento posible en un área en concreto y proponer soluciones aplicadas previamente a problemas similares.

Esta teoría nació investigando millones de patentes, de las cuales se extraía lo más importante de las causas del problema y se analizaban las diferentes estrategias de solución. Los problemas que tienen soluciones conocidas pueden ser resueltos con información obtenida en los textos técnicos y en las publicaciones existentes. Todas estas soluciones siguen un patrón de resolución de problemas mostrado en la figura a continuación, donde el problema particular es elevado hacia un problema estándar de naturaleza análoga o similar.

Creatividad es innovación⁵⁹, por tanto, se tiene que entender que innovación es un proceso complejo de aprendizaje, el cual continua con la capacidad de crear conocimientos nuevos y aplicarlos a productos o procesos que se espera que sean valorados.

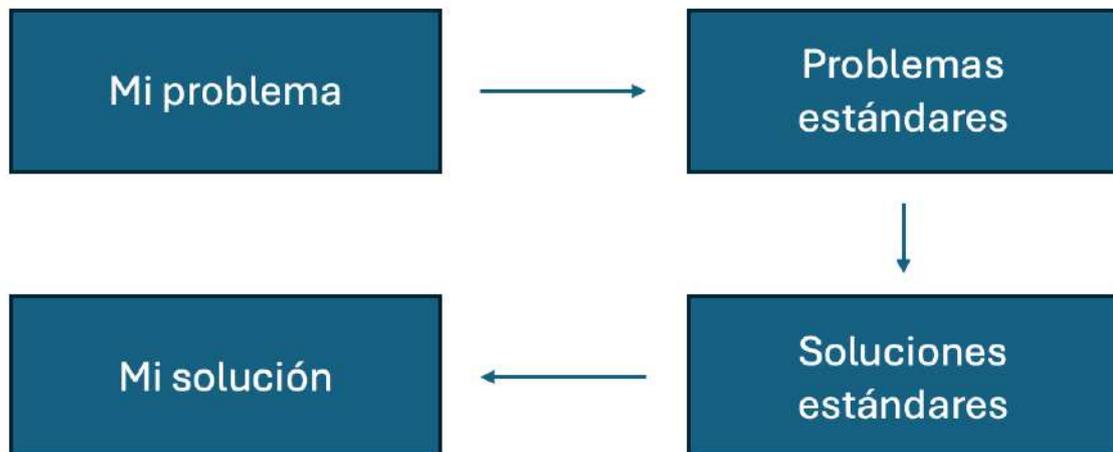


Figura 22. Estructura básica de TRIZ. Elaboración propia.

⁵⁸ Nishiyama, Zagorodnova, Requena, (2013)

⁵⁹ Rodríguez de Codes Zavala, (2014)

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Es por todo lo descrito anteriormente, que se usara TRIZ, el cual ofrece un conjunto de herramientas y principios que ayudan a resolver problemas de diseño de manera sistemática.

Como se ha comentado anteriormente también se utilizaran como metodologías de diseño las herramientas de investigación operativas Diseño Centrado en el Usuario (UCD), Diseño Lean y Diseño Kaizen. Por tanto, una vez introducido este método y sus principios fundamentales se va a explicar cómo se integra con estas otras metodologías.

En primer lugar, analizando el Diseño Centrado en el Usuario (UCD), este se centra en la creación de sistemas que satisfagan las necesidades de los usuarios finales. TRIZ complementa UCD proporcionando un marco que permite resolver problemas técnicos y desarrollar soluciones innovadoras para mejorar la usabilidad y la satisfacción del usuario. La retroalimentación, o “feedback” de los usuarios, ayuda a rediseñar equipos difíciles de usar y mejorar las interacciones mediante la automatización y la reducción de errores. Combinando ambos, se puede lograr un sistema más eficiente y orientado al usuario.

El diseño Lean se centra en eliminar desperdicios y optimizar los procesos, mientras que Kaizen promueve la mejora continua con la participación de todos los empleados. TRIZ se integra perfectamente con estos métodos para brindar soluciones innovadoras a problemas complejos que pueden no ser obvios a primera vista. Por ejemplo, la aplicación de los principios de segmentación⁶⁰ de TRIZ puede ayudar a rediseñar los procesos para reducir los tiempos de espera y mover el producto en la línea de producción de arroz más rápidamente. Lean y TRIZ trabajan juntos para fomentar una cultura de mejora continua.

Durante los eventos Kaizen, los equipos pueden utilizar los principios de TRIZ para resolver problemas complejos que requieren soluciones innovadoras. Esto significa que las actividades Kaizen se centran no sólo en mejoras incrementales, sino también en soluciones a problemas subyacentes. Además, TRIZ se puede integrar en el ciclo PDCA⁶¹ (Plan-Do-

⁶⁰ Códova Ames, (2008)

⁶¹ Do Nascimento, (2022)

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Check-Act) de Kaizen, asegurando que las soluciones innovadoras propuestas se evalúen y refinen continuamente utilizando el enfoque de mejora continua de Kaizen.

Tanto el principio de segmentación, como el ciclo PDCA serán explicados con detalle en el punto siguiente, junto con la relación que estos tienen con los principios Lean y Kaizen.

3.2 PUESTA EN PRÁCTICA DE LA TEORÍA PARA RESOLVER PROBLEMAS DE INVENTIVA

3.2.1 ANÁLISIS DE MEJORAS NECESARIAS EN CADA PROCESO

Para optimizar y diseñar esta línea de procesamiento de arroz desde la recolección hasta su venta empaquetada, es fundamental que se identifiquen y analicen las mejoras necesarias en cada fase del proceso. Con esto se pueden identificar ineficiencias y, además, cuellos de botella que pueden ayudar para la implementación de soluciones innovadoras y de máquinas que se adapten a las necesidades de los clientes. A continuación, se encuentra un gráfico detallado de las etapas que el arroz va recorriendo durante este periodo para facilitar la comprensión del capítulo.

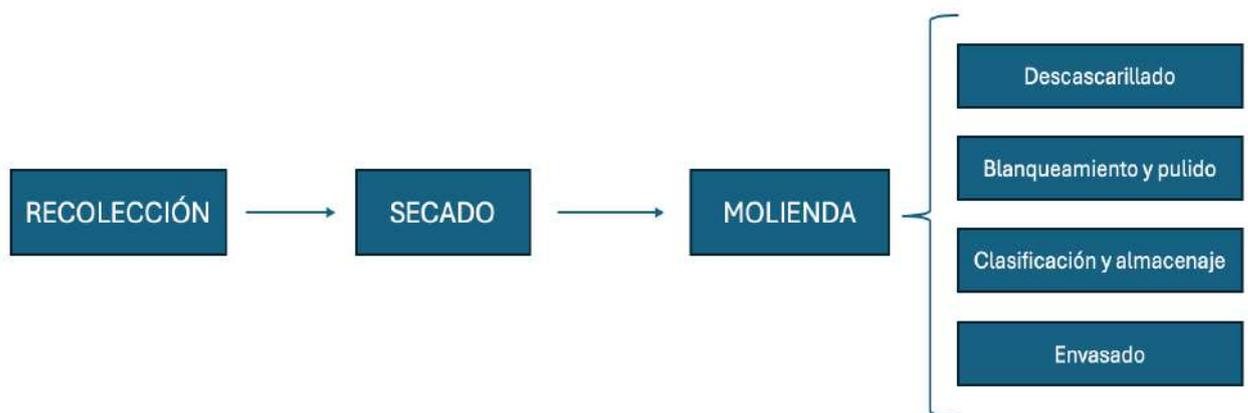


Figura 23. Diagrama de etapas de la línea de procesamiento de arroz. Elaboración propia (2024)

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

En primer lugar, en la recolección del arroz el principal problema, que no incapacita como tal la actividad, por tanto, podría denominarse obstáculo, es la gran humedad con la que se recolecta el arroz en ocasiones, la ineficiencia en la separación de las impurezas y los granos verdes que pueda haber.

A continuación, en la fase de secado, el problema más frecuente es la cristalización del grano, esto ocurre cuando hay una inconsistencia en la eliminación de la humedad, es decir, secar a una velocidad muy rápida y además a altas temperaturas que provoquen la cristalización y por consecuencia el deterioro completo del grano.

En la fase de molienda se identificarán los errores de cada una de las fases secundarias.

Primeramente, en el descascarillado, siendo esta la dificultad más difícil planteada en todo el proceso es regular la velocidad de aspiración de manera adecuada según el grano de arroz que se esté procesando para solo eliminar la cáscara, y no retirar el grano completo en el proceso de descascarillado, debido a un mal pelado del cereal.

En blanqueamiento y pulido, el inconveniente que más se afronta es la alta tasa de granos rotos durante el proceso si no se realiza con el cuidado necesario y se efectúa con mayor abrasamiento del que permite dicho grano de arroz.

En la clasificación y almacenamiento, el mayor contratiempo es las diferentes plagas que puede contraer el arroz en su etapa de almacenamiento, y por tanto hacer inválido una gran cantidad de este cereal, generando una gran cantidad de pérdidas de un arroz que ya ha sido procesado hasta el final, por tanto, son las pérdidas de arroz y además todas las pérdidas de procesamiento.

Por último, en la etapa de envasado no hay ningún contratiempo como tal, pero en aspectos de optimización y ahorro, aumentar la velocidad y precisión del envasado haría que esta etapa fuese lo más eficiente posible.

Por tanto, ahora para abordar las mejoras necesarias identificadas en este apartado, se implementarán dos principios fundamentales: el Principio de Segmentación y el Ciclo PDCA

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

(Plan-Do-Check-Act). Estos principios ayudarán a desglosar y abordar los problemas específicos de cada fase del proceso, asegurando una mejora continua y eficiente de la línea de procesamiento de arroz.

3.2.2 PRINCIPIO DE SEGMENTACIÓN

El principio de segmentación de TRIZ, como se ha explicado anteriormente, sugiere dividir un sistema o proceso en partes más manejables y especializadas para mejorar su funcionamiento y eficiencia. A continuación, se aplica este principio a cada fase del proceso descrito:

Fase	Problema	Aplicación de Segmentación
Recolección del arroz.	Alta humedad, ineficiencia en la separación de impurezas y granos verdes.	Utilizar máquinas que incluya algo de proceso de secado y cribado para eliminar impurezas antes de procesar.
Secado del arroz.	Cristalización del grano debido a secado inconsistente.	Encontrar la relación temperatura/tiempo adecuada y uniforme, realizada en fases controladas.
Molienda: Descascarillado.	Regular la velocidad de aspiración de manera adecuada según el grano de arroz	Implementar maquinaria ajustable que permita regular la velocidad de aspiración según el tipo de grano.
Molienda: Blanqueamiento y Pulido.	Alta tasa de granos rotos durante el proceso.	Dividir el proceso en etapas específicas con ajustes de abrasamiento.

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

Fase	Problema	Aplicación de Segmentación
Molienda: Clasificación y Almacenamiento.	Plagas durante el almacenamiento, causando grandes pérdidas	Aplicar almacenes controlados con condiciones óptimas para prevenir plagas con temperaturas reguladas.
Molienda: Envasado.	Necesidad de aumentar la velocidad y precisión del envasado	Implementar líneas de envasado separadas y automatizadas para diferentes tamaños de envase y tipos de arroz.

Tabla 5. Matriz del Principio de Segmentación. Elaboración propia (2024).

Estas mejoras propuestas están diseñadas para resolver problemas específicos y optimizar cada subetapa, asegurando una producción más consistente, óptima, rentable y de alta calidad.

3.2.3 CICLO PDCA (PLAN-DO-CHECK-ACT)

El ciclo PDCA, también descrito con anterioridad, es una herramienta de mejora continua que se puede aplicar a cada subetapa del proceso de este trabajo para asegurar que las mejoras se implementen de manera efectiva y se ajusten según sea necesario. A continuación, se aplica el ciclo PDCA a cada fase del proceso:

Fase	Problema
Recolección del arroz.	<ul style="list-style-type: none"> Plan: Identificar las ineficiencias en la separación de impurezas, alta humedad del grano y clasificación de granos verdes. Do: Utilizar maquinas que incluya algo de proceso de secado y cribado para eliminar impurezas antes de procesar.

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

Fase	Problema
	<ul style="list-style-type: none"> • Check: Monitorear el rendimiento y analizar el grado de humedad con el que se recolecta y con el que comienza el proceso. • Act: Contratar o comprar dichas maquinas descritas una vez analizado el rendimiento-coste de esta y la rentabilidad que aporta.
Secado del arroz.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan: Identificar a que temperatura y como el arroz cristaliza y por tanto evitar dicho proceso. • Do: Encontrar la relación temperatura/tiempo adecuada y uniforme, realizada en fases controladas. • Check: Evaluar la consistencia de la humedad en los granos después de cada fase de secado. • Act: Realizar ajustes en los métodos de secado para mejorar la uniformidad y evitar la cristalización.
Molienda: Descascarillado.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan: Identificar la velocidad de aspiración según el grano y además, identificar la situación del grano. • Do: Implementar maquinaria ajustable para minimizar la absorción de grano completos y solo aspirar la cáscara. • Check: Medir la tasa de granos completos que se han eliminado junto a la cáscara. • Act: Ajustar los parámetros de las máquinas según los resultados.
Molienda: Blanqueamiento y Pulido.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan: Identificar las causas de la rotura de granos. • Do: Implementar un proceso de pulido segmentado en etapas específicas., con distintos grados de abrasamiento.

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

Fase	Problema
	<ul style="list-style-type: none"> • Check: Medir la tasa de granos rotos después del blanqueamiento y pulido. • Act: Ajustar los parámetros del proceso de pulido para mejorar la consistencia y reducir la tasa de granos rotos.
Molienda: Clasificación y Almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan: Desarrollar criterios de almacenamiento para prevenir plagas. • Do: Implementar almacenes con control de plagas, como puede ser la temperatura controlada y que no supere un umbral que favorezca el nacimiento de plagas. • Check: Evaluar la eficiencia del sistema y las condiciones de almacenamiento. • Act: Ajustar las condiciones de almacenamiento según sea necesario.
Molienda: Envasado.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan: Identificar puntos débiles en el proceso de envasado. • Do: Implementar líneas de envasado automatizadas para diferentes tamaños y tipos de arroz. • Check: Monitorear la velocidad y precisión del envasado. • Act: Ajustar las máquinas de envasado para mejorar la eficiencia, precisión y velocidad.

Tabla 2. Matriz del Ciclo PDCA. Elaboración propia (2024).

El ciclo PDCA se ha utilizado para asegurar una mejora continua en cada fase del proceso. Este enfoque sistemático permite identificar problemas, implementar soluciones, monitorear resultados y ajustar parámetros según sea necesario.

3.3 PROPUESTA BÁSICA DE DISPOSICIÓN Y ORDEN DE LAS MAQUINARIA SELECCIONADAS PARA LA LÍNEA DE PROCESAMIENTO DE ARROZ

En este apartado, se presenta una propuesta básica para la disposición y selección de tipos de maquinaria en cada etapa del del procesamiento del arroz. No se seleccionarán máquinas específicas, sino que se describirá el tipo de maquinaria necesaria y se explicará de manera sencilla cómo se organizará la línea de producción, desde la recolección hasta el envasado final. Esta visión general permitirá entender la estructura y el flujo del proceso optimizado, más adelante, Más adelante, se abordará el diseño específico, seleccionando máquinas particulares y detallando sus características y especificaciones técnicas.

En la etapa de recolección o cosecha, se analizarán los problemas identificados en el apartado anterior y con ello se buscarán soluciones eficientes y rentables. Aunque la selección de la maquinaria en específico se abordará en el siguiente apartado. Basado en la literatura revisada en el capítulo previo se buscará una maquina segadora que no solo realice las labores de recolección, sino que además tenga algo de funciones de secado y trilla.

El objetivo es que esta máquina pueda reducir algo la humedad inicial del arroz y separar impurezas, como paja y otros restos del campo antes de que el arroz pase a la siguiente etapa. Esto ayudará a mejorar la calidad del grano recolectado y a preparar de manera óptima para las fases posteriores, asegurando un proceso más eficiente y eficaz desde el inicio.

A continuación, en la etapa de secado, se usará una secadora de baja temperatura constante y con recirculación para evitar la cristalización. Es decir, el arroz no estará sometido durante largo periodo de tiempo a una temperatura alta y sin movimiento, ya que esto causa el estrés del grano y por consiguiente el mal secado y cristalización de este. Para ello esta secadora propuesta, esta diseñada con recirculación y calienta únicamente la mitad inferior del equipo. Gracias a este movimiento cíclico del grano, se evita el sobrecalentamiento. Este diseño permite que, al pasar por la zona donde no se aplica calor, se enfríe de manera adecuada, para luego volverse a calentar y secar, previniendo así el estrés térmico.

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

Además, se analizará dentro de este mismo tipo de secadoras la rentabilidad de secar mediante aire caliente o infrarrojos. También se evaluará el combustible a utilizar, considerando la opción de gas, o la implementación de un horno de biomasa utilizando la cascarilla del arroz sobrante del pelado. Este análisis es crucial, ya que podría resultar más rentable vender la cascarilla en lugar de usarla para generar calor, sin embargo, se le dará valor a la sostenibilidad ambiental.

Finalmente, en la etapa de molienda, se adjuntarán dos gráficos diferentes, un primer gráfico descriptivo de que tipo de máquina y el orden en el que se encuentra en la línea junto a una descripción de la utilidad de cada máquina.

A continuación, se encontrará otro gráfico en el que estará representado de manera general la disposición de las máquinas en el molino. Este boceto proporciona una visión general del cómo se organizará el equipo dentro de las instalaciones para optimizar el flujo del proceso de molienda.

No se incluyen detalles específicos de esta etapa ni cálculos numéricos en ninguno de los dos gráficos, esto se proporcionará en el siguiente capítulo, donde se describirán las características y especificaciones técnicas de cada máquina en detalle.

3.3.1 MAQUINARIA Y ORGANIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ

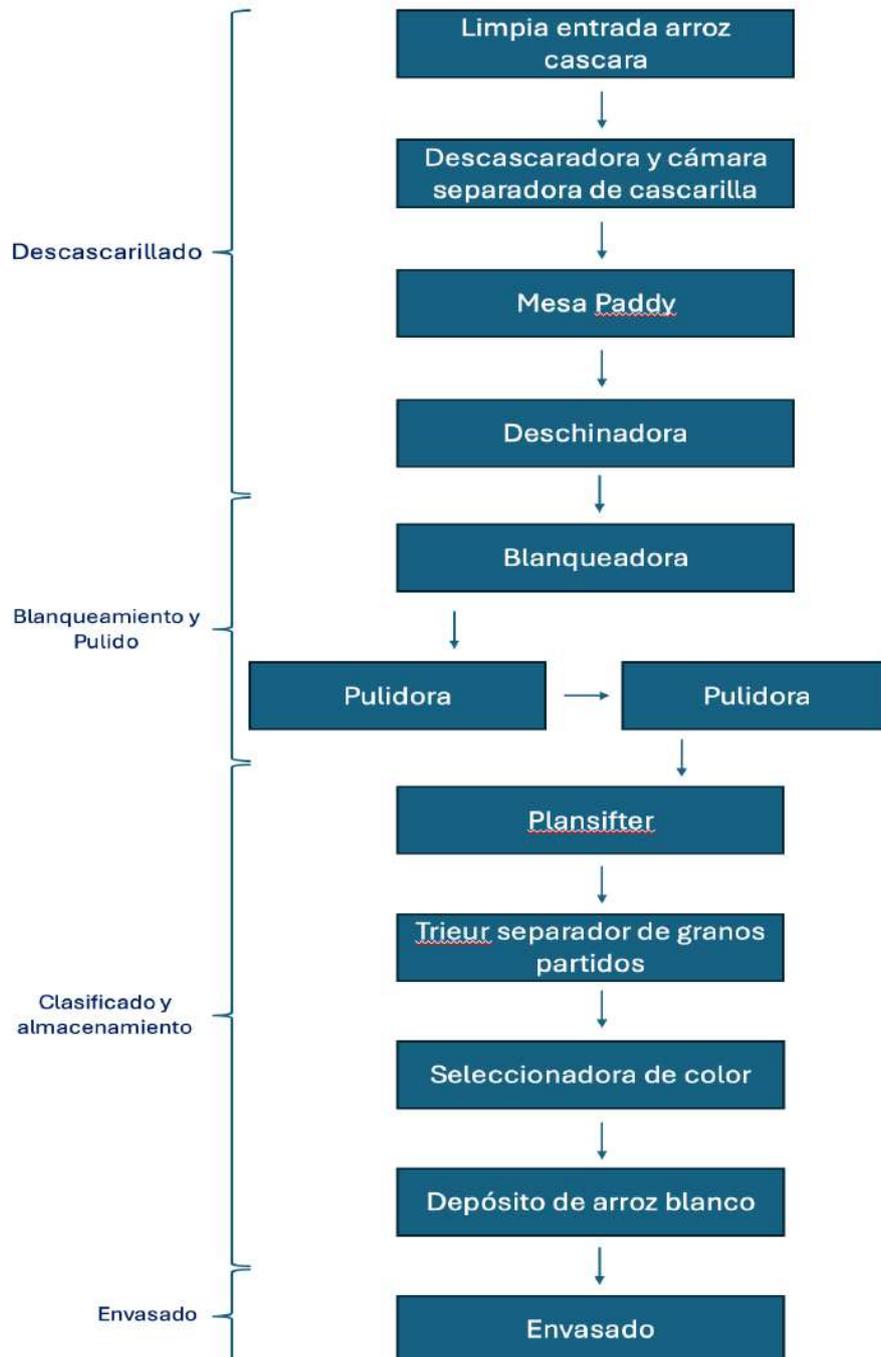


Figura 24. Diagrama básico de la etapa molienda en una línea de procesamiento de arroz. Elaboración propia (2024).

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

En el gráfico descrito, representa el proceso que se usara en la molienda del arroz, desde la entrada de arroz con cascara ya seco hasta el envasado de arroz blanco. A continuación, se describe el funcionamiento de cada máquina de este proceso.

- Limpia entrada arroz cascara: Esta máquina inicial se encarga de remover impurezas gruesas como paja, polvo, piedras grandes y otros desechos del arroz con cáscara. Utiliza una combinación de tamices y corrientes de aire para separar el arroz de los materiales no deseados. Este paso es crucial para evitar el daño a las máquinas posteriores y asegurar la calidad del producto final.
- Descascaradora y cámara separadora de cascarilla: La descascaradora utiliza rodillos de caucho que giran a diferentes velocidades para romper la cáscara exterior del arroz. La cámara separadora utiliza flujo de aire y tamices para separar las cáscaras del grano. Las cáscaras, que son más ligeras, son aspiradas y apartadas, mientras que los granos pesados ya pelados caen hacia abajo para continuar con el proceso.
- Mesa Paddy: Esta mesa vibratoria utiliza diferencias en peso y densidad para separar los granos de arroz descascarillados de los granos que aún tienen cáscara. Los granos descascarillados avanzan al siguiente proceso, mientras que los granos que aún tienen cáscara son recirculados para otro ciclo de descascarillado.
- Deschinadora: La deschinadora elimina piedras y otros materiales pesados mediante un sistema de vibración y tamices. Las piedras y objetos pesados se separan por su mayor densidad y se mueven en una dirección, mientras que el arroz limpio se desplaza en otra, garantizando que el producto final esté libre de estos contaminantes.
- Blanqueadora: La blanqueadora remueve la capa de salvado del arroz marrón utilizando fricción entre el arroz y una superficie abrasiva o entre los propios granos de arroz. Este proceso transforma el arroz marrón en arroz blanco, mejorando su apariencia y textura. La máquina está diseñada para minimizar la rotura del grano durante el proceso.
- Pulidora: Las pulidoras utilizan una combinación de fricción y cepillado para alisar y mejorar la apariencia del arroz blanco. Este proceso elimina cualquier rastro de polvo y partículas adheridas al grano, dando como resultado un producto brillante y

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

atractivo. La pulidora también ayuda a aumentar la durabilidad del arroz al eliminar los residuos que podrían acelerar el deterioro.

El uso de dos pulidoras en el proceso de molinería de arroz mejora la calidad, reduce daños en los granos y asegura una apariencia uniforme. La primera pulidora elimina la mayoría del salvado y polvo, y la segunda proporciona un acabado brillante. Dividir el proceso de pulido en dos etapas reduce el estrés y la fricción aplicada en cada fase. Esto disminuye la probabilidad de roturas y daños al grano, manteniendo más granos enteros y de mayor calidad.

- **Plansifter:** El plansifter clasifica el arroz en función de su tamaño y calidad. Utiliza una serie de tamices vibratorios de diferentes tamaños que permiten pasar solo a los granos de ciertos tamaños, separando los granos enteros de los rotos y los fragmentos. Esta clasificación asegura que solo los granos de la mejor calidad avanzan al siguiente paso.
- **Trieur separador de granos partidos:** El trieur utiliza tamices rotativos y corrientes de aire para separar los granos partidos de los enteros. Los granos partidos, que son más pequeños, pasan a través de los tamices, mientras que los granos enteros son recolectados por separado. Este proceso es esencial para mantener la uniformidad y la calidad del producto final.

Plansifter y Trieur son máquinas que pueden resultar muy similares, aunque su diferencia es clara y ambas son totalmente necesarias. El plansifter, utiliza cribas vibratorias de múltiples secciones para clasificar el grano por tamaño, procesar grandes cantidades de partículas y eliminar impurezas de varios tamaños. El trieur utiliza un cilindro giratorio con cavidades especiales para separar los granos según su forma y longitud, y es particularmente eficaz para eliminar granos rotos y diversas impurezas. El Plansifter se centra en las dimensiones generales, mientras que el Trieur mejora significativamente la calidad del producto al eliminar los granos rotos.

- **Seleccionadora de color:** La seleccionadora de color utiliza tecnología óptica y sensores para identificar y eliminar granos de arroz defectuosos o decolorados, por ejemplo, granos verdes, granos con alguna enfermedad o granos yesosos. Los granos

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

pasan por un sistema de cámaras que detecta variaciones en el color y los clasifica. Los granos defectuosos son expulsados mediante chorros de aire, asegurando que solo los granos de alta calidad lleguen al consumidor.

- Depósito de arroz blanco: El depósito de arroz blanco es un almacenamiento intermedio donde se guarda el arroz blanco clasificado antes de su envasado. Este depósito está diseñado para mantener el arroz en condiciones óptimas, protegiéndolo de la humedad y contaminantes, asegurando que el producto mantenga su calidad hasta el momento del envasado.

En la etapa de depósito de arroz, cada lote de arroz se le asigna un número de serie único. Este número de serie permite la trazabilidad completa del producto, facilitando la identificación del silo de origen. En caso de que se detecte algún problema en el futuro, este sistema de numeración permite retirar eficientemente todo el arroz perteneciente a ese lote específico, asegurando un control de calidad riguroso y la capacidad de respuesta rápida ante cualquier eventualidad.

- Envasado: En esta etapa final, el arroz blanco se envasa en diversas presentaciones según las necesidades del mercado. Las máquinas de envasado pueden llenar y sellar bolsas de diferentes tamaños y materiales, etiquetarlas y prepararlas para la distribución. El proceso de envasado asegura que el arroz llegue al consumidor en condiciones higiénicas y bien preservadas, manteniendo su frescura y calidad.

3.3.1.1 Disposición de la maquinaria en la etapa de molienda

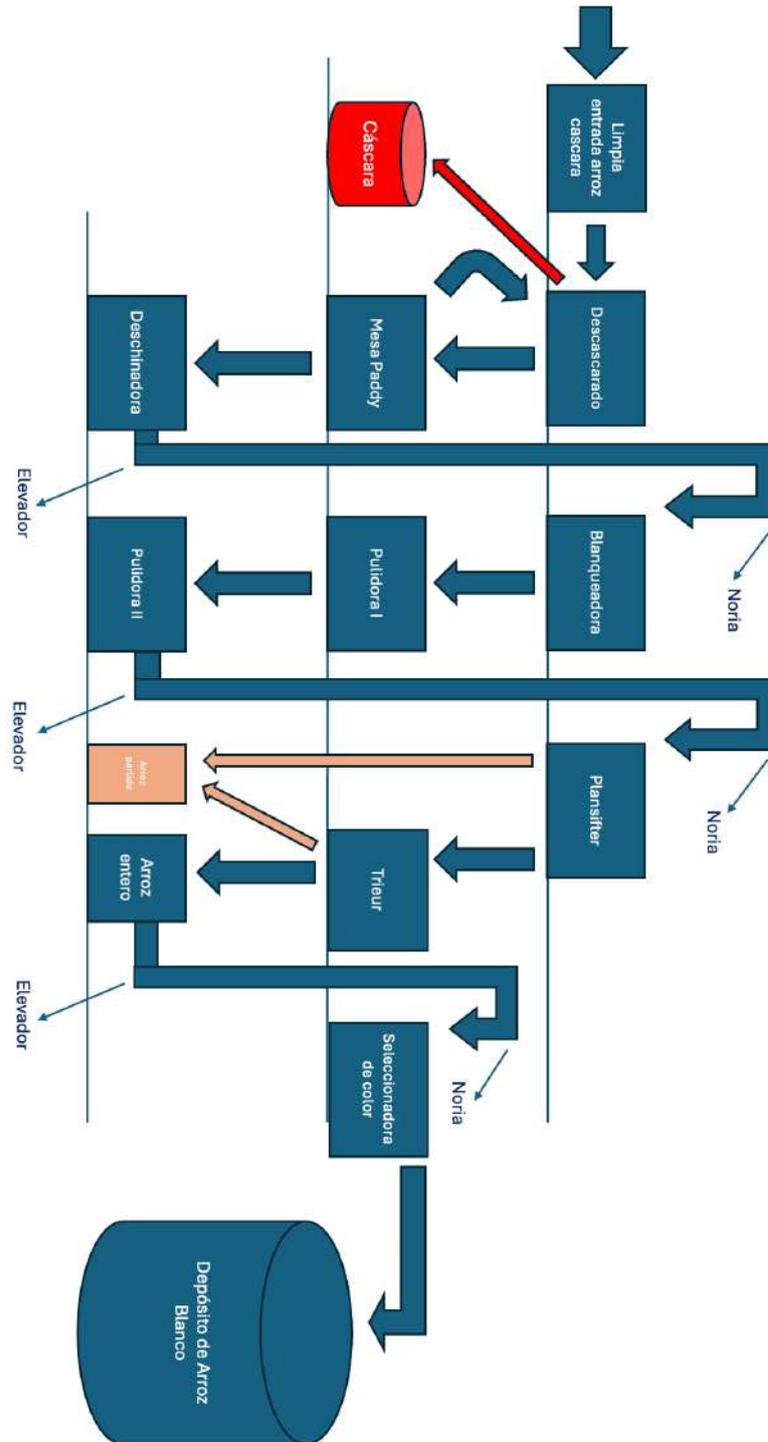


Figura 25. Disposición diagrama de flujo de la etapa de molienda. Elaboración propia (2024).

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

En el gráfico anterior se observa la disposición de la etapa de molienda. La entrada del arroz se realiza desde la etapa de secado, comenzando con la limpieza y descascarado. A continuación, el arroz pasa a través de varias máquinas, como la mesa paddy, la deschinadora, y varias pulidoras, hasta llegar al depósito de arroz blanco, desde donde es envasado y posteriormente enviado a la etapa de envasado.

Este sistema está distribuido en tres plantas, lo que permite que el arroz se desplace por gravedad de una máquina a otra, minimizando la necesidad de sistemas de impulsión mecánica. Esto se traduce en un ahorro energético significativo, ya que solo se requieren tres elevadores y tres norias para mover el arroz entre las diferentes etapas del proceso. Tanto las norias como los elevadores utilizados son de funcionamiento sencillo y eficiente.

Además, el proceso incluye dos contenedores adicionales para la cáscara y el arroz partido. La cáscara recolectada será analizada en el siguiente capítulo para determinar si es más rentable venderla como materia prima o utilizarla como combustible de biomasa. Por otro lado, el arroz partido se comercializa a un precio considerablemente más bajo y se destina a otros usos industriales o alimentarios.

3.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

En este capítulo, se ha desarrollado un diseño conceptual, utilizando metodologías como TRIZ y buscando la relación con Lean y Kaizen, usando el principio de segmentación y el ciclo PDCA para mejorar la eficiencia y productividad. Se ha explicado detalladamente el orden del proceso y la disposición de la maquinaria en tres plantas, permitiendo que el arroz se mueva por gravedad y reduciendo la necesidad de energía adicional. Este enfoque asegura que la producción sea eficiente, rentable y adaptable a las necesidades actuales del mercado.

En el próximo capítulo, "Cálculos Técnicos de la Línea de Arroz," se realizarán cálculos detallados sobre el flujo, rendimiento y potencia de cada máquina en la línea de producción. A partir de estos cálculos, se seleccionarán las máquinas específicas necesarias para el proceso, asegurando su eficiencia y adecuación a los requisitos operativos establecidos.

4. Cálculos técnicos de la línea de arroz: Recolecta y secado

En los próximos dos capítulos se abordarán los cálculos técnicos esenciales para la línea de procesamiento de arroz, empezando por la recolecta y acabando por el empaquetado. Dentro de estos cálculos se encontrarán el flujo, el rendimiento, la potencia de cada máquina, etc. que estén implicadas en el proceso. A partir de dichos cálculos realizados y de las especificaciones que se van a describir a continuación, se seleccionarán las máquinas específicas necesarias para optimizar la eficiencia y efectividad del proceso productivo, asegurando que se cumplan con los requisitos operativos establecidos.

Se dividirá de manera que en este capítulo se encuentren las dos primeras etapas, recolección y secado, y el próximo sea completamente para la etapa de molienda.

Se emplearán metodologías y fórmulas precisas para evaluar cada etapa del proceso, dividiendo el análisis en las tres partes principales que se ha dividido todo el trabajo: Recolecta, secado y molienda.

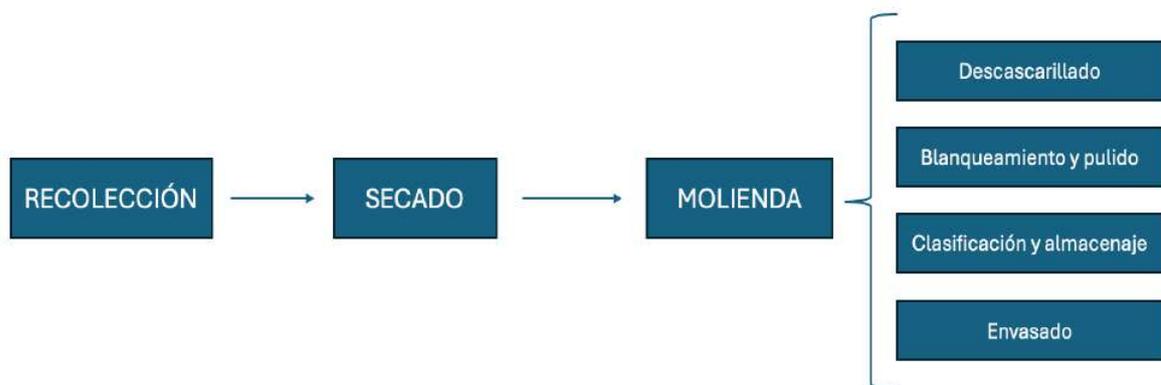


Figura 1. Diagrama de etapas de la línea de procesamiento de arroz. Elaboración propia (2024)

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

El proceso de molienda será el foco principal, ya que es la etapa que involucra la mayor cantidad de maquinaria y donde se concentra el diseño del espacio determinado, la cual será desarrollada en el siguiente capítulo. Sin embargo, también se tratarán de manera exhaustiva las etapas de recolección y secado. Aunque la recolección es menos compleja y se realiza directamente en el campo, es fundamental para iniciar el proyecto. Del mismo modo, la etapa de secado es crucial e involucra máquinas indispensables y cálculos que también serán realizados en este capítulo, este proceso es vital para poder empezar la etapa de molienda con una calidad determinada de grano.

En capítulos previos, se ha detallado el funcionamiento de cada máquina involucrada en todos los procesos, proporcionando una comprensión completa de su papel en la línea de producción. Este conocimiento es fundamental para proceder con los cálculos técnicos y la selección específica de las máquinas que cumplirán con los requisitos operativos establecidos.

En este capítulo, se definirán los requisitos precisos para evitar los cuellos de botella y se seleccionarán las máquinas adecuadas para optimizar la eficiencia de las dos primeras etapas en conjunto. La correcta elección y disposición de las máquinas son cruciales para garantizar un flujo continuo y eficiente del arroz a lo largo de la línea de procesamiento de arroz, asegurando así la calidad y productividad del producto final. Además, se llevarán a cabo los cálculos necesarios de cada máquina para cumplir con los prerrequisitos establecidos y se realizarán las comprobaciones pertinentes para validar que todas las especificaciones se cumplen adecuadamente.

Para cada máquina seleccionada, se adjuntará un gráfico ilustrativo junto con sus especificaciones técnicas. Esto incluirá detalles como capacidad, consumo energético, rendimiento y otros parámetros relevantes. Estos gráficos y especificaciones permitirán una mejor comprensión de las capacidades de cada máquina y su integración en la línea de producción, facilitando así la toma de decisiones informadas y precisas.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

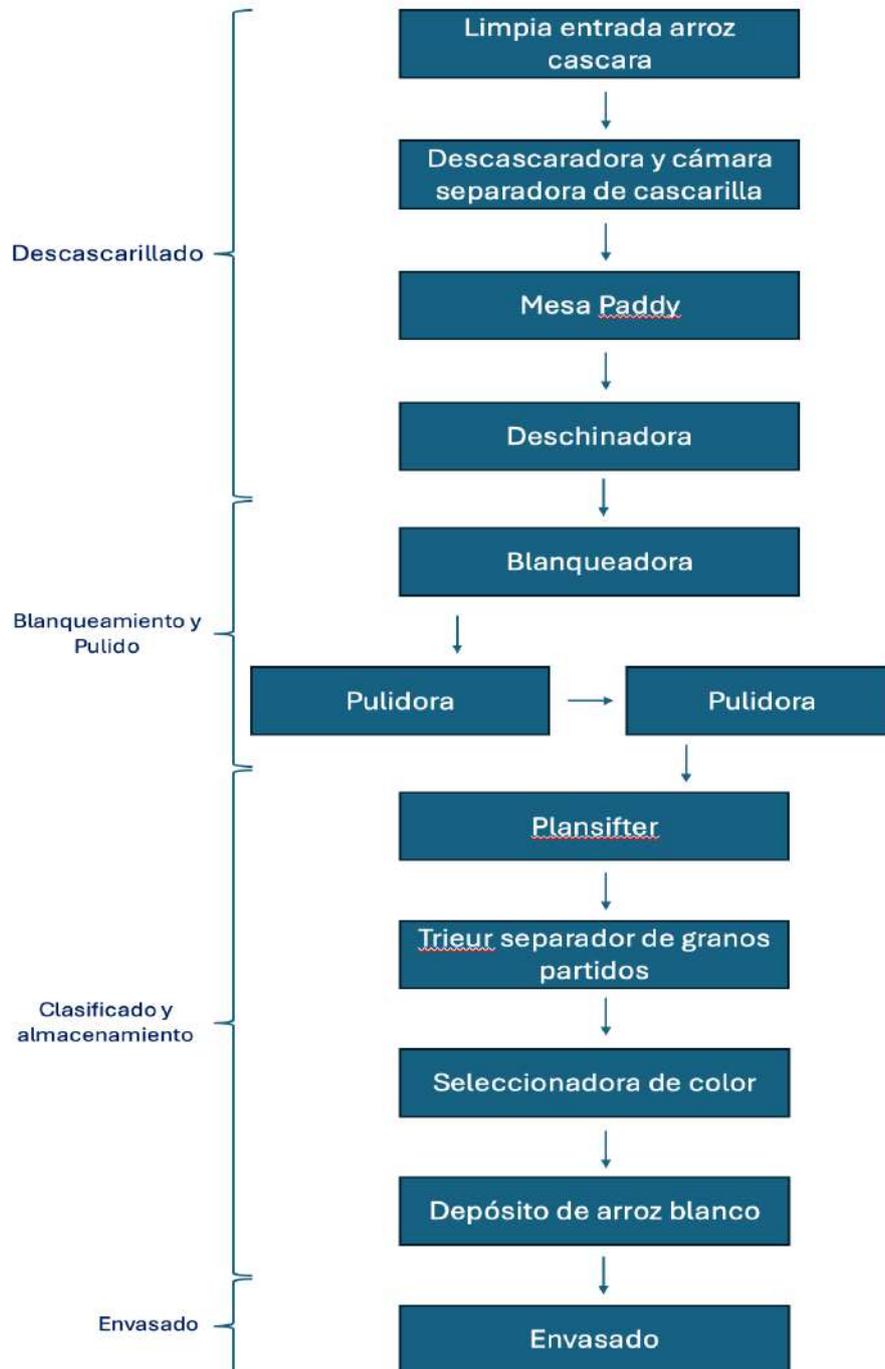


Figura 2. Diagrama básico de la etapa molienda en una línea de procesamiento de arroz. Elaboración propia (2024).

4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y FÓRMULAS

En este apartado se detallarán los conceptos y fórmulas que se utilizarán para realizar los cálculos técnicos necesarios para el diseño de la línea de producción de arroz. Se abordarán principalmente los conceptos de flujo, rendimiento, merma de masa, tiempo de ciclo, potencia, consumo eléctrico y eficiencia energética y como se aplica a nivel individual de la máquina y a nivel de proceso.

4.1.1 FLUJO DE MASA

El flujo de masa se refiere a la cantidad de material (en este caso, arroz) que pasa por un punto específico en un determinado período de tiempo. Se expresa generalmente en kilogramos por hora (kg/h). El cálculo del flujo de masa es esencial para dimensionar adecuadamente los equipos y asegurar que cada etapa del proceso pueda manejar el volumen necesario de material sin generar cuellos de botella.

$$\text{Flujo de masa} = \dot{m} = \frac{\text{Cantidad total de masa}}{\text{Tiempo de procesamiento}}$$

Ecuación 1. Ecuación de flujo de masa

4.1.2 MERMA DE MASA Y RENDIMIENTO

La merma de masa se refiere a la pérdida de material durante el proceso de producción, ya sea debido a residuos, polvo, granos rotos u otros factores.

Hay dos tipos principales de merma de masa que se usaran en este proyecto. En primer lugar, por reducción de humedad, que ocurre cuando el material pierde agua durante el proceso de secado.

$$\% \text{Merma de masa} = \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} * 100$$

Ecuación 2. Ecuación de merma de masa debido a la reducción de humedad.

Donde H_i : Humedad inicial y H_f : Humedad final.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

El segundo tipo de merma de masa es por extracción de material, ocurre cuando se retiran impurezas o partes no deseadas del flujo material.

$$\%Merma\ de\ masa = \left(1 - \frac{Cantidad\ después\ de\ extracción}{Cantidad\ antes\ de\ extracción}\right) * 100$$

Ecuación 3. Ecuación de merma de masa debido a la extracción de material.

El rendimiento es la cantidad de producto útil que se obtiene tras el procesamiento, expresado generalmente como un porcentaje de la cantidad original.

$$\%Rendimiento = \left(1 - \frac{Cantidad\ final}{Cantidad\ inicial}\right) * 100$$

Ecuación 4. Ecuación de rendimiento.

4.1.3 TIEMPO DE CICLO, CICLOS DIARIOS Y CAPACIDAD DIARIA DE PROCESAMIENTO

El tiempo de ciclo es el tiempo que una máquina o un proceso tarda en completar una operación específica.

$$Tiempo\ de\ ciclo = \frac{Tiempo\ total\ de\ operación}{Número\ de\ ciclos}$$

Ecuación 5. Ecuación de tiempo de ciclo.

Los ciclos diarios se refieren a la cantidad de ciclos que una máquina puede realizar en un día de trabajo.

$$Ciclos\ diarios = \frac{Horas\ de\ operación\ diarias}{Tiempo\ de\ ciclo}$$

Ecuación 6. Ecuación de ciclos diarios.

La capacidad diaria de procesamiento es la cantidad total de material que se puede procesar en un día.

*Capacidad diaria de procesamiento = Ciclos diarios * Cantidad por ciclo*

Ecuación 7. Ecuación de capacidad diaria de procesamiento.

4.1.4 POTENCIA, CONSUMO ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

La potencia de una máquina es la cantidad de energía que consume por unidad de tiempo, generalmente expresada en kilovatios (kW). Generalmente es información dada por las especificaciones de la máquina.

El consumo eléctrico es la cantidad total de energía utilizada en un período de tiempo, generalmente expresado en kilovatios hora (kWh).

*Consumo eléctrico (E) = Potencia(P) * Horas de funcionamiento*

Ecuación 8. Ecuación de consumo eléctrico.

La eficiencia energética se refiere a la cantidad de material procesado por unidad de energía consumida.

$$\text{Eficiencia energética} = \frac{\text{Flujo de masa}}{\text{Potencia}}$$

Ecuación 9. Ecuación de consumo eléctrico.

Esto son todas las fórmulas que se usaran a lo largo del capítulo.

4.2 REQUISITOS OPERATIVOS PREVIOS

Los requisitos operativos específicos para cada máquina serán detallados en el apartado correspondiente de cada equipo. Sin embargo, el requisito fundamental común a todas las es que sea capaz de, al menos, procesar el arroz secado en el secadero, con un flujo aproximado de 2 a 5 toneladas por hora. Esta capacidad de procesamiento es esencial para garantizar la eficiencia y continuidad en el ciclo de producción. A partir de este requisito básico, se establecerán las especificaciones concretas para cada máquina, adaptando sus características técnicas para cumplir con los parámetros de rendimiento requeridos.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Además, la secadora y la limpiadora de entrada deberán tener un flujo suficiente para asegurar que el arroz se seque en un máximo de 48 horas desde su recolección. Una vez secado, el arroz será almacenado en un silo de reposo, también conocido como silo pulmón, desde donde se extraerá para su procesamiento en el molino. La máquina peladora, junto con el resto del equipo, comenzará a procesar el arroz a partir de este silo. Las máquinas se diseñarán para operar 12 horas al día, procesando la cantidad de arroz secado diariamente. Esto garantizará que el arroz que se seque cada día sea procesado de manera eficiente. Por tanto, el objetivo es que el arroz recolectado se seque dentro del plazo de 48 horas, se almacene en el silo pulmón, y se inicie el proceso de molienda al día siguiente de su salida del secado, asegurando así un flujo constante y eficiente a lo largo de todo el proceso de producción. Para entenderlo con más facilidad se adjunta un gráfico de Gantt representando el tiempo del flujo de procesamiento.



Figura 26. Representación temporal del flujo de procesamiento. Elaboración propia (2024).

La gráfica de Gantt muestra una planificación detallada y secuencial del proceso de procesamiento de arroz a lo largo de siete días, abarcando desde la recolección hasta el empaquetado final. El primer día se dedica a la recolección del arroz. Durante el segundo se lleva a cabo el secado de la primera mitad recolectada para cumplir con el requisito de no exceder las 48 horas con la humedad de la recolección, seguido de su limpieza y almacenamiento. Paralelamente, el secado de la segunda mitad del arroz comienza el tercer día, seguido de su limpieza y almacenamiento. La molienda del arroz almacenado se realiza en los días cuarto y quinto, manteniendo un flujo continuo de procesamiento y minimizando el tiempo de inactividad, separados en estas dos mitades durante todo el proceso.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Posteriormente, el sexto y séptimo día se dedican al empaquetado del arroz completamente procesado, asegurando que el producto final esté listo para su distribución. Esta planificación meticulosa a lo largo de siete días asegura una transición suave entre cada etapa del proceso, optimizando el uso de recursos y garantizando la máxima eficiencia operativa.

Al final, en el apartado de conclusión del capítulo, se comentará más detalladamente este gráfico, añadiendo los números que se calcularán a lo largo del capítulo.

Adicionalmente, se considera ventajoso que todas las máquinas provengan de la misma empresa y marca. Esta homogeneidad facilita la integración y conexión entre los equipos, reduciendo la complejidad de mantenimiento y reparación. Al usar equipos de un mismo fabricante, se asegura una mayor compatibilidad en términos de diseño y componentes, lo que simplifica el proceso de resolución de problemas y reduce el tiempo de inactividad. Además, la uniformidad en la marca puede llevar a una mayor consistencia en el rendimiento y la calidad de las máquinas, así como a una optimización en la disponibilidad de repuestos y servicios técnicos. Esta estrategia no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a una mayor fiabilidad y durabilidad del sistema en su conjunto.

4.3 PROCESO DE RECOLECCIÓN

4.3.1 RECOLECTA

El proceso de recolección de arroz es una etapa crítica que debe realizarse con precisión y en el momento adecuado para asegurar la calidad del grano. En las marismas del Guadalquivir, la recolección de arroz suele llevarse a cabo entre mediados de septiembre y finales de octubre, coincidiendo con el momento en que los granos alcanzan su madurez óptima.

La recolección solo se puede realizar durante ciertas horas del día para evitar la excesiva humedad del ambiente, la cual puede afectar negativamente la calidad del grano. Normalmente, se evita recolectar en las primeras horas de la mañana, al atardecer y durante la noche, cuando la humedad relativa es más alta. Por lo tanto, la recolección se concentra

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

principalmente en las horas centrales del día, cuando las condiciones son más secas y favorables. La humedad del grano en el momento de la recolección suele estar alrededor del 18%, un nivel que permite una cosecha eficiente y de alta calidad.

Una máquina de recolección de arroz avanzada suele tener la capacidad de recolectar entre 10 y 12 hectáreas por día. Estas máquinas están equipadas con tecnología que minimiza las pérdidas y los daños a los granos durante la cosecha. Además, su eficiencia permite manejar grandes volúmenes de arroz, facilitando su traslado inmediato a la siguiente etapa del proceso, que es el secado.

El uso de estas máquinas avanzadas asegura una recolección eficiente y oportuna, alineada con los ciclos de cultivo y las necesidades de producción. Este rendimiento es crucial para maximizar la productividad del campo y garantizar que el arroz cosechado esté en las mejores condiciones posibles para su procesamiento posterior

4.3.1.1 Selección de la máquina

Para el proceso de recolección de arroz en las marismas del Guadalquivir, se ha seleccionado la máquina John Deere W330. Esta elección se basa en su capacidad de recolección, eficiencia operativa, tecnología avanzada y compatibilidad con las condiciones del terreno en la región. La John Deere W330 es una máquina robusta y confiable, diseñada para maximizar la productividad y minimizar las pérdidas durante la cosecha.

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*



Figura 27. Máquina de recolección John Deere W330. Fuente John Deere (2024).



Figura 28. Grafica descriptiva cosechadora. Fuente John Deere (2024).

Para la recolección de arroz en las marismas del Guadalquivir, se ha seleccionado la máquina John Deere W330 por su capacidad, eficiencia y tecnología avanzada. Esta máquina puede recolectar hasta 12 hectáreas por día, asegurando una cosecha eficiente en el momento adecuado.

Equipada con un motor de 150 kW (204 CV) y un sistema de ajuste automático de la altura de corte, la W330 garantiza una recolección precisa y minimiza las pérdidas de grano. Su cabina moderna y ergonómica, con monitor táctil en color, mejora la comodidad del operador

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

y reduce la fatiga. Las tecnologías avanzadas, como los sensores de humedad y el control de flujo de grano, optimizan el proceso de recolección.

El diseño compacto de la John Deere W330 es ideal para terrenos húmedos, y su gran depósito de grano con sistema de descarga rápida facilita una recolección continua. Además, destaca por su fácil mantenimiento, con acceso sencillo a los componentes principales y puntos de engrase centralizados.

La John Deere W330 combina capacidad, tecnología y confort, adaptándose perfectamente a las condiciones del terreno en las marismas del Guadalquivir. John Deere ofrece un sólido soporte técnico y disponibilidad de repuestos, asegurando mínima inactividad y máxima eficiencia. Esta elección refleja un compromiso con la excelencia y la innovación en la agricultura moderna.

4.4 PROCESO DE SECADO

El proceso de secado se hará mediante unas secadoras de grano, que como se ha explicado anteriormente será a baja temperatura constante y con recirculación para evitar la cristalización, siendo este el mayor problema que se encuentra en este proceso.

4.4.1 SECADORA

4.4.1.1 *Requisitos operativos previos generales en secado*

A continuación, se exponen los requisitos previos para la etapa de secado del arroz, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la fase de recolección. Estos requisitos están hechos para que el arroz sea procesado de manera eficiente y manteniendo su calidad durante todo el proceso de secado.

- El arroz una vez cosechado, solo puede estar con la humedad de cosecha (entorno a 18°) un máximo de 48 horas, por tanto, se deberá ser capaz de afrontar el secado de la cantidad de arroz que llegue de la recolección, y tendrá que disminuir a una humedad de 14°.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

- Se considera que se recolectan al día unas 10 hectáreas de arroz, aunque en ocasiones con condiciones óptimas puede llegar hasta 12 hectáreas, es por tanto que para los cálculos se usará una media de 11 hectáreas diaria. El rendimiento medio de 8.500 kg por hectárea en la zona donde se está desarrollando el trabajo, es decir, se recolecta de media unos 93.500 kg de arroz.

Con estos requisitos previamente establecidos, se realizarán los cálculos técnicos necesarios para la etapa de secado. Estas operaciones nos permitirán seleccionar al final la máquina de manera más adecuada para optimizar el proceso.

También se calculará cuál es el combustible o fuente de energía con la que se alimentará la secadora analizando precios y daño al ecosistema.

4.4.1.2 Cálculos teóricos secadora

4.4.1.2.1 Flujo de masa

En primer lugar, se calculará el flujo mínimo de masa que la máquina debe tener para cumplir los requisitos previos:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{93.500 \text{ kg}}{48 \text{ horas}} = 1.947,91 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 10. Ecuación de flujo de masa teórico del proceso de secado.

Este será el flujo mínimo de masa que debe soportar la máquina que se elija, teniendo en cuenta las dos restricciones puestas anteriormente.

4.4.1.2.2 Rendimiento. Merma de masa

En este apartado se van a calcular los parámetros claves para analizar el rendimiento teórico de una máquina secadora. Sin embargo, más que enfocarse en el rendimiento de la máquina secadora, es fundamental comprender que la reducción de humedad y la correspondiente pérdida de masa que conlleva el proceso de secado es inherente a las características del grano de arroz. Esto no es una métrica del rendimiento de la máquina, sino del producto en sí. El

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

objetivo es calcular la masa que se perderá para determinar con la mayor precisión posible la masa que iniciará el proceso de molienda,

En primer lugar, se calculará la merma de masa debido a la reducción de la humedad:

$$\%M = \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} * 100 = \frac{18 - 13,5}{100 - 18} * 100 = 5,4878\%$$

Ecuación 11. Ecuación porcentaje de merma de masa debido al secado del arroz.

Una vez calculado el porcentaje de pérdida de masa debido al secado del arroz, se procederá a determinar la masa final de arroz disponible tras el proceso de secado. Esta masa, correspondiente al arroz recolectado en un día, será la base para los cálculos en la siguiente fase de molienda.

$$\text{Merma de peso secado} = 5,48\% * 93.500 \text{ kg} = 5123,8 \text{ kg}$$

Ecuación 12. Merma de masa tras el proceso de secado.

$$\text{Peso final tras secado} = 93.500 \text{ kg} - 5123,8 \text{ kg} = 88.376,2 \text{ kg}$$

Ecuación 13. Masa final del arroz tras el secado.

Por último, se calcula el rendimiento de la máquina, considerando este como la diferencia de masa que entra con respecto a la diferencia de masa que sale.

$$\text{Rendimiento} = \eta = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100 = \frac{88.376,2 \text{ kg}}{93.500 \text{ kg}} * 100 = 94,52\%$$

Ecuación 14. Rendimiento de la etapa de secado.

Una vez visto todo esto se guardará el dato de la masa final del arroz tras el secado para los cálculos de la etapa de molienda, y esto será la masa con la que se iniciará el proceso.

4.4.1.3 Selección de la máquina secadora

Una vez analizando todo lo anterior se procede a elegir la máquina en específico que cumpla estas especificaciones, sobre todo la restricción del flujo. Una vez especificada la misma se

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

realizarán unos cálculos a posteriori, como puede ser el combustible o fuente de energía a usar y los detalles de la maquina como consumo de electricidad.

Con estas especificaciones la máquina seleccionada es Secadero de arroz, modelo SUPER-120-120 SUS. Marca Suncue, Capacidad 12.000 kg. Fabricado en acero inoxidable AISI430/314.

La secadora seleccionada funciona a temperatura constante con un sistema de aire caliente indirecto y un sistema de recirculación. Lo innovador de esta máquina y es el factor principal por el cual ha sido seleccionada es por sistema que tiene de autocontrol de la temperatura, autocontrol al flujo de aire caliente y autocontrol al volumen de aire, todo computarizado y de acuerdo con la demanda requerida en función de la humedad que tenga el grano a la entrada y en función de la cantidad. Todo esto hace que el nivel de estrés térmico del grano se reduzca considerablemente.



Figura 29. Secadora SUNCUE SUPER 120-120 SUS. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

SUPER-120 Series

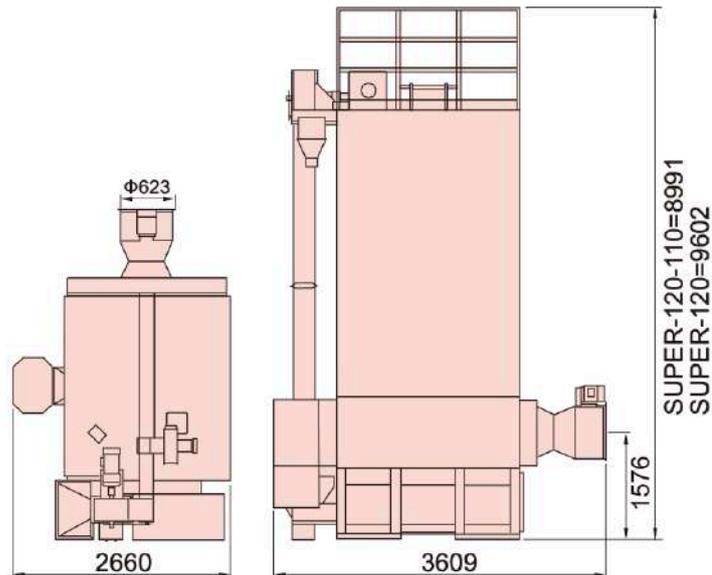


Figura 30. Grafica descriptiva secadora SUNCUE SUPER 120-120 SUS. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

Artículo	Modelo	SUPER-60	SUPER-60-85	SUPER-120-110	SUPER-120	SUPER-300-240
Capacidad (kg)	Arroz	2,500~6,000	2,500~8,450	2,800~10,800	2,800~12,000	4,000~24,000
	Trigo	3,035~7,285	3,035~10,260	3,400~13,110	3,400~14,550	5,000~29,100
Dimensión(mm) L×W×H		3,270×2,660×6,220	3,270×2,660×7,442	3,609×2,660×8,891	3,609×2,660×9,602	4,866×3,786×10,407
Peso Neto(kg)aprox.		1,785	1,963	2,205	2,290	4,850
Quemador	Modelo	Tipo pistola, Doble boquilla, Control automático, Quemador spray				
	Ignición	Alta presión, Auto ignición				
	Combustión Max.(Litro/Hora)	13.5			17.5	45
Combustible						
Electricidad		1 Fase or 3 Fase, 220V/380V/415V/440V, 50/60Hz				
Consumo de electricidad(kW)		1P:3.1	3P:4.07		6.3	13.45
Función (Arroz)	Carga(aprox.)	30 min	43 min	55 min	60 min	58 min
	Descarga(aprox.)	41 min	58 min	52 min	58 min	58 min
	Tasa de secado(%/hr)	0.5~1.5				
Dispositivo de seguridad		Contactor térmico electromagnético, Interruptor de presión de aire, Alarma de carga lleno, Temporizador, Sensor de llama, Fusibles, Sensor de combustión anormal, Detector de sismo				

Figura 31. Especificaciones de funcionamiento de la maquina secadora SUNCUE SUPER 120-120 SUS. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

4.4.1.4. Cálculos tras la selección de la máquina secadora

Una vez seleccionada la máquina secadora de arroz, se procederá a realizar los cálculos tras la selección de la máquina necesarios para determinar el flujo de masa que pasará por la máquina, el tiempo requerido en completar un ciclo y la capacidad diaria de procesamiento. Estos cálculos se basarán en los datos operativos reales y especificaciones técnicas para optimizar la eficiencia de la producción. Además, se añadirá un análisis comparativo para determinar cuál combustible resulta más rentable para el funcionamiento de la secadora.

4.4.1.4.1. Tiempo de ciclo

En primer lugar, habrá que calcular el tiempo de un ciclo completo desde que el arroz entra a la secadora con 18° de humedad y tiene que ser reducido a 14° como se ha explicado anteriormente, y según las especificaciones de la ilustración anterior la maquina secadora de Sincue tiene una tasa de secado 0,5-1,5°/hora, de nuevo, se usará la media de ambos y se supondrá que seca 1°/hora. Por tanto, como tenemos que reducir la humedad en 4° tardará en realizarlo 4 horas (240 minutos). A esto habría que sumarle el tiempo de carga y descarga aproximado que ilustra la tabla de 58 minutos y 60 minutos respectivamente, quedando por tanto un tiempo de ciclo:

$$\begin{aligned} T_c &= T_{\text{carga}} + T_{\text{descarga}} + T_{\text{secado}} = 58 \text{ mins} + 60 \text{ mins} + 240 \text{ mins} = 358 \text{ mins} \\ &= 5 \text{ horas } 58 \text{ mins} \approx 6 \text{ horas} \end{aligned}$$

Ecuación 15. Tiempo de un ciclo completo de secado.

4.4.1.4.2. Flujo de masa

Una vez calculado el tiempo de ciclo se podrá analizar el flujo exacto que va por la máquina y comprobar que se cumplen las especificaciones previamente descritas:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{12.000 \text{ kg}}{358 \text{ mins}} = 33,52 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 2011,18 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 16. Flujo de masa tras la selección de la maquina secadora

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Sabiendo que el flujo de masa mínimo teórico que tenía que superar era de $1947,91 \frac{kg}{hora}$ y teniendo un flujo de masa tras la selección $2011,18 \frac{kg}{hora}$, se comprueba que esta máquina cumple el primer requisito, por tanto, es totalmente válida.

4.4.1.4.3. Capacidad diaria de procesamiento

Una vez calculado el tiempo de ciclo y el flujo de masa, ambos tras la selección de la máquina, se puede ver cuál es la capacidad diaria de procesamiento:

$$\text{Ciclos diarios} = \frac{1.440 \text{ minutos}}{358 \text{ minutos por ciclo}} = 4,02 \text{ ciclos diario}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad diaria de procesamiento} &= 4,02 \text{ ciclos} * 2011,18 \frac{kg}{hora} * 5,97 \frac{horas}{ciclo} \\ &= 48.267,11 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ecuación 17. Cálculo de la capacidad diaria de secado.

Por tanto, para comprobar el otro requisito de que el arroz no puede estar almacenado con la humedad de recolección más de 48 horas, se comprueba que la capacidad diaria de secado es de 48.267,11 kg, lo cual quiere decir que, en 48 horas, 2 días, la capacidad de secado es de 96.534,22 kg, mayor a los 93.000 kg de los prerequisites impuestos.

En conclusión, la secadora Suncue SUPER 120-120 SUS, ha demostrado cumplir todos los requisitos operativos establecidos, tanto el flujo de masa como la capacidad de procesamiento y esto asegura que el arroz se seque eficientemente, cumpliendo los plazos críticos de procesamiento establecidos para avanzar a la siguiente fase y manteniendo su calidad.

4.4.1.4.4. Análisis combustible de alimentación de la maquina secadora

Analizando que las dos posibles fuentes de consumo son el diésel o un horno de biomasa, en este caso alimentado con la cascarilla del arroz que sale del pelado de este, se analizará cual es la más rentable usando una comparativa económica.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

En primer lugar, el horno de biomasa, como se puede observar en la figura a continuación, tiene un consumo eléctrico, al cual hay que sumarle el consumo de la secadora, y además un consumo de cascará de arroz. Un dato para tener en cuenta es que la cáscara de arroz se vende al exterior a unos 80-100 € los 1000 kg de cáscara.



Figura 32. Grafica descriptiva horno de biomasa. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Artículo	Modelo	BB-18 No auto descarga de cenizas	BB-18 Auto descarga de cenizas
Combustible de biomasa		Bloques prensado de paja de arroz, Tuza de maíz, Cáscara de coco, Trocillos de madera	Cascarilla de arroz, Cáscara de café
Dimensión (mm)		L3,521xW2,08xH4,885	L3,521xW2,795xH6,002
Max. energía generada		180,000 Kcal/hr (aprox.)	
Consumo de cascarilla		12~76 kg/hr (aprox.) (combustión máxima)	
Cantidad de cenizas		2.4~15.12 kg/hr (aprox.) (combustión máxima)	
Consumo de madera		10~70 kg/hr (aprox.)	—
Sistema de auto-descarga de cenizas kW(HP) (opcional para cascarilla de arroz)		—	0.2 (0.25)
Alimentador de cascarilla kW(HP) (opcional, sólo para cascarilla de arroz y cáscara de café)		—	0.6 (0.8)
Consumo eléctrico kW(HP)		4.5 (6)	5.3 (7)
Peso neto aprox. (tn)		3.4	4

Figura 33. Especificaciones del horno de biomasa. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

En segundo lugar, si usamos el diésel, todas las especificaciones están en la tabla de especificaciones de la maquina secadora, y estos serán los datos usados para los cálculos de este apartado. Simplificando en una tabla, y asumiendo una hora de tiempo de comparativa:

	Diésel	Biomasa – Cascarilla de arroz
Diesel	1,5 € (aprox) litro * 17,5 litros/hora * 1 hora = 25,25 €	-
Cáscara de arroz	-	0,09 € (aprox) kg * 76 kg * 1 hora = 6,84 €
Electricidad	0,04 € (aprox) kW/hora * 6,35 kW * 1 hora = 0,25 €	0,04 € (aprox) kW/hora * (5,1 + 6,35) kW * 1 hora = 0,46 €
Total	25,50 €	7,3 €

Tabla 6. Comparativa entre diésel o biomasa (cascarilla de arroz). Elaboración propia (2024).

En definitivas, tras analizar las dos posibles fuentes de consumo, diésel y un horno de biomasa alimentado con cascarilla de arroz, se concluye que el uso del horno de biomasa es significativamente más rentable. La comparativa económica muestra que el coste operativo del horno de biomasa es de aproximadamente 7,3 € por hora, frente a los 25,50 € por hora del diésel. Aunque la inversión inicial en un horno de biomasa es mayor, a largo plazo resulta totalmente rentable debido al menor costo operativo. Además del ahorro económico, el uso de la cascarilla de arroz como combustible contribuye a una gestión más sostenible de los residuos agrícolas, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y disminuyendo la huella de carbono del proceso. Por tanto, optar por el horno de biomasa no solo es económicamente ventajoso, sino que también promueve prácticas más ecológicas y responsables con el medio ambiente.

4.4.1.4.5. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico máquina secadora. Eficiencia energética

En este apartado se calculará el consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). En este caso 11,5KW (siendo estos la suma de la secadora y el horno de biomasa). Este cálculo es esencial para entender los costos operativo y eficiencia energética.

Por tanto, en el caso de esta máquina, suponiendo que se va a usar las 24 horas al día:

$$E = 11,5 \text{ kW} * 24 \text{ horas} = 276 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 18. Formula del consumo eléctrico aplicado al secado.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo que la la máquina opera un flujo de masa de $2011,18 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$, es decir, cuanto arroz es capaz de secar por hora (flujo de masa tras la selección de la secadora), tendremos:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{2011,18 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{11,5 \text{ kW}} = 174,89 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 19. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la secadora.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina seca 174,9 kg de arroz.

4.4.2. LIMPIA ENTRADA

4.4.2.1. Cálculos teóricos limpia de entrada

4.4.2.1.1. Flujo de masa

El flujo de masa necesario para la máquina de la limpia de entrada ideal es que vaya cumpliendo el requisito del flujo de arroz que se va secando, es decir, la capacidad diaria de procesamiento entre las horas de un día, por tanto:

3. *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ*

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{48.267,11 \text{ kg}}{24 \text{ horas}} = 2011,18 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 20. Cálculo de flujo de masa de la limpia de entrada.

4.4.2.2. Selección de la máquina limpia de entrada

Con el requisito previo anterior, encontramos esta máquina con una capacidad de 10-12 toneladas horas, que cumple con creces el requisito mostrado, sin embargo, se elige esto debido a que es lo más pequeño que se puede encontrar en el mercado de molinos de arroz.

Esta máquina es la prelimpia de la marca Yasar diseñada generalmente para arroz modelo CTM-10

La máquina de prelimpia se utiliza para limpiar el arroz antes de entrar al proceso de molienda separándolo de materiales extraños como paja y polvo. Está diseñada para alta capacidad y eficiencia, con un sistema de aspiración interna que maximiza la limpieza y evita la obstrucción de las mallas. La máquina está fabricada en dos plantas y utiliza dos mallas diferentes separadas por piso, permitiendo un proceso de tamizado efectivo.



Figura 34. Máquina limpia entrada marca Yasar modelo CTM-10. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

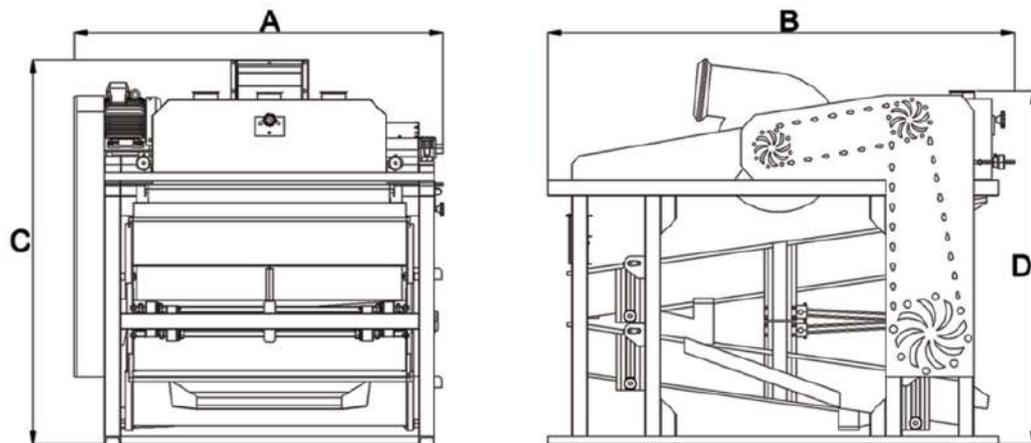


Figura 35. Gráfica descriptiva preliminar de arroz. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Codigo De Producto Product Code	Características Técnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm L x A x A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad / Capacity Ton/ Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
CTM - 10	10 ~ 12	7,5 KW	2300	2800	2400	2200	280x230x250	1960	2050

Figura 36. Especificaciones preliminar de arroz. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

4.4.2.3. Cálculos tras la selección de la máquina limpia entrada

4.4.2.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico limpia de entrada. Eficiencia energética

Ahora se calculará el consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la limpia de arroz a la entrada del proceso de molienda es 7,5KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la capacidad diaria de secado es 48.267,11 kg, necesitaremos que esta máquina afronte esa cantidad de arroz, y además, teniendo en cuenta que la capacidad de la limpia de entrada es de 10 toneladas/hora, se necesitan:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{48.267,11 \text{ kg}}{10.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 4,83 \text{ horas} \approx 5 \text{ horas}$$

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Ecuación 21. Horas de funcionamiento diarias de la limpia de entrada.

$$E = 7,5 \text{ kW} * 5 \text{ horas} = 37,5 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 22. Formula del consumo eléctrico aplicado a la limpia de entrada.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo que la máquina opera un flujo de masa de $2011,18 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{2011,18 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{7,5 \text{ kW}} = 268,16 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 23. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la limpia de entrada.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina limpia 174,9 kg de arroz.

4.4.3. SILO DE REPOSO

4.4.3.1. Cálculos teóricos silo de reposo

4.4.3.1.1. Cantidad de arroz a almacenar en silo de reposo

Una vez que el arroz haya sido secado, se almacenará todo el arroz procesado en un solo día, que en este caso es de 48.267,11 kg. Este arroz se mantendrá en el silo de reposo o silo pulmón hasta que pase a la etapa de molienda. Por lo tanto, será necesario encontrar un silo con la capacidad suficiente para almacenar dicha cantidad, asegurando que el arroz se conserve en condiciones óptimas antes de su procesamiento posterior.

4.4.3.2. Selección de la máquina

La máquina que necesitamos en este caso son unos silos de almacenamiento capaces de almacenar dicha cantidad. Para ello, utilizaremos el silo de almacenamiento modelo PDAK-50, de la marca Yasar, con una capacidad de 50 toneladas de arroz. Este silo está fabricado en acero galvanizado de 2,5 mm y se suministra con un controlador de nivel de tanque transparente para ver el nivel de ocupación.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ



Figura 37. Silo almacenamiento marca Yasar modelo PDAK-50. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

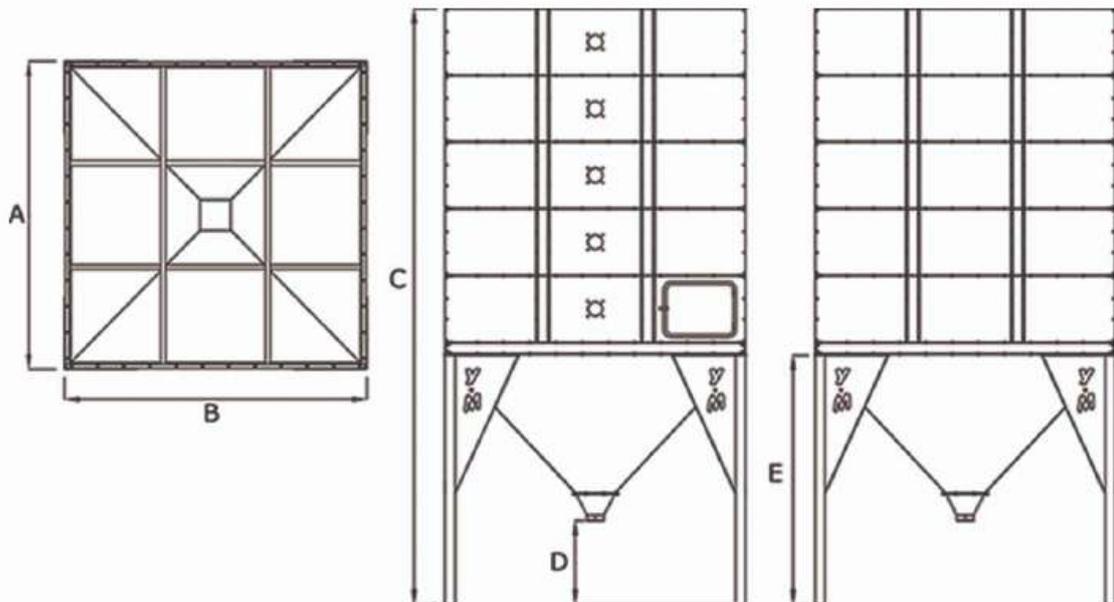


Figura 38. Grafica descriptiva silo de almacenamiento. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÍNEA DE ARROZ

Código De Producto Product Code	Características Técnicas Material Specification	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Número de paneles Number of Panels	Capacidad / Capacity M ³ / Ton
PDAK-16	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	4720	840	2500	3	21,40 M ³ / 16 Ton
PDAK-20	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	5390	840	2500	4	27 M ³ / 20 Ton
PDAK-24	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	6060	840	2500	5	32,60 M ³ / 24,5 Ton
PDAK-28	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	6730	840	2500	6	38,3 M ³ / 28,75 Ton
PDAK-33	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	7400	840	2500	7	43,86 M ³ / 33 Ton
PDAK-37	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	8070	840	2500	8	49,50 M ³ / 37 Ton
PDAK-41	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	8740	840	2500	9	55,10 M ³ / 41,3 Ton
PDAK-45	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	9410	840	2500	10	60,75 M ³ / 45,5 Ton
PDAK-50	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	10080	840	2500	11	66,40 M ³ / 50 Ton

Figura 39. Especificaciones silo de almacenamiento. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

En este capítulo, se ha llevado a cabo la selección de las máquinas necesarias para los procesos de recolección y secado del arroz. Se ha determinado el equipo adecuado para garantizar una recolección y secado eficaces del grano, con el fin de obtener un producto de alta calidad y reducir pérdidas durante estos procesos.

Además, se discutió el uso de silos de reposo después del secado del arroz. Estos silos permiten almacenar el grano de manera segura y eficiente hasta que esté listo para ser procesado en la siguiente etapa de molienda. Los silos de reposo juegan un papel fundamental al mantener las condiciones óptimas del arroz almacenado, preservando su calidad y facilitando la planificación de las operaciones posteriores.

El próximo capítulo se centrará en los cálculos técnicos necesarios para la etapa de molienda del arroz. Se analizarán los flujos de masa a través de las diferentes máquinas y se evaluará el rendimiento, potencia y otros cálculos claves para la selección de las máquinas. El objetivo es optimizar el proceso de molienda para maximizar tanto la eficiencia como la calidad del producto final.

5. Cálculos técnicos de la línea de arroz: molienda

En este capítulo se analizará la última etapa: la molienda, a continuación, se adjunta el diagrama básico y la disposición de la etapa de molienda, anteriormente descritos y adjuntos.

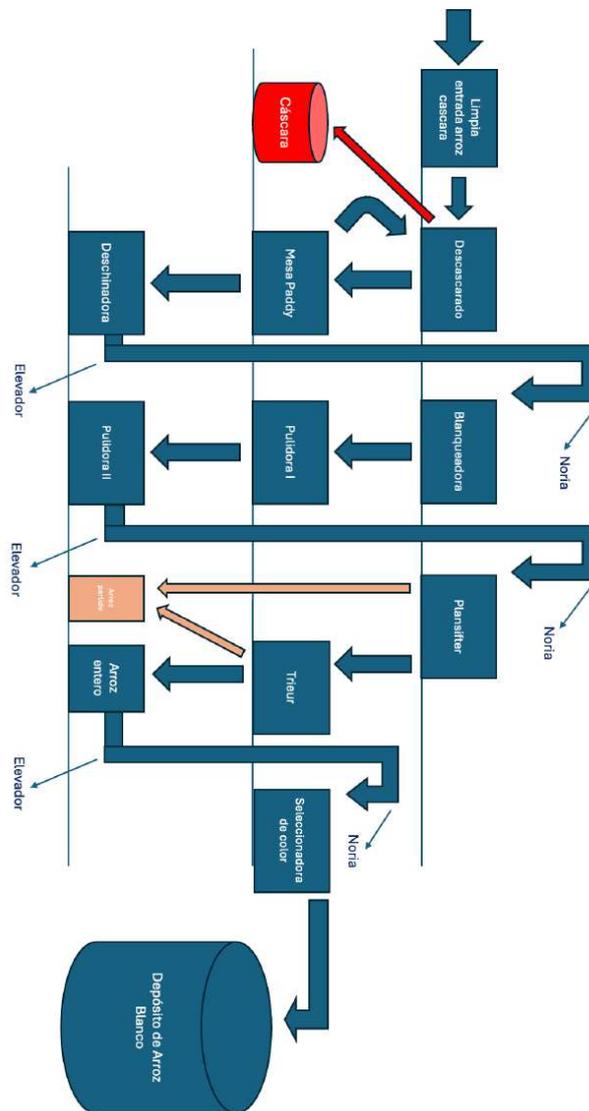


Figura 40. Disposición diagrama de flujo de la etapa de molienda. Elaboración propia (2024).

5.1. REQUISITOS OPERATIVOS PREVIOS GENERALES EN MOLIENDA

Una vez que el arroz ha sido secado y se ha llevado a cabo la limpieza inicial, el siguiente paso en el proceso será almacenar el arroz en un silo de reposo, comúnmente conocido como silo pulmón. Este silo servirá como un depósito temporal para el arroz, permitiendo una gestión más eficiente del flujo de material hacia los siguientes procesos. Desde el silo pulmón, el arroz se extraerá de manera controlada para ser procesado en las etapas siguientes, comenzando con el descascarillado.

Es fundamental que las máquinas operen durante aproximadamente 12 horas diarias para garantizar una producción continua y eficiente. Por lo tanto, se calculará el flujo de masa mínimo requerido en cada máquina para satisfacer esta demanda operativa. Este cálculo considerará la capacidad de procesamiento necesaria para mantener un flujo constante de arroz desde el silo pulmón hasta el final del proceso, asegurando que el sistema pueda manejar la cantidad de arroz que se seca y se almacena diariamente. La planificación precisa del flujo de masa en cada etapa permitirá una operación óptima y minimiza el riesgo de interrupciones en el proceso de molienda.

5.2. DESCASCARADORA Y CÁMARA SEPARADORA DE CASCARILLA

5.2.1. Cálculos teóricos descascaradora y cámara separadora de cascarilla

5.2.1.1. Flujo de masa

El requisito que cumplir es que la maquina tenga un funcionamiento de 10 horas, de ahí se sacará el flujo, se analizará y se seleccionará la máquina que mejor se adecue a dicho flujo.

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{48.267,11 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 4.826,71 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Es por eso, que se buscará una máquina que al menos cumpla esa especificación.

5.2.1.2. Rendimiento. Merma de masa

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

En esta máquina si es fundamental calcular el rendimiento y la merma de masa. Esta etapa implica la eliminación de la cáscara del arroz, lo cual resulta en una reducción considerable de la masa que entra a la máquina con respecto a la que sale. Determinar estos valores es crucial para estimar de manera aproximada, pero lo más exacta posible, cuánta masa de arroz pasa a la siguiente etapa del proceso.

Considerando que la cascarilla representa aproximadamente una 20% de la masa del arroz recolectado⁶², a partir de ahí se realizaran los cálculos precisos:

$$\text{Merma de peso} = 20\% * 48.267,11 \text{ kg} = 9.653,42 \text{ kg}$$

$$\text{Masa tras descascarillado} = 48.267,11 \text{ kg} - 9.653,42 \text{ kg} = 38.613,68 \text{ kg}$$

Ecuación 24. Cálculo merma de masa y masa tras el descascarillado de arroz.

Una vez obtenidos dichos cálculos, se calculará el nuevo flujo para las próximas máquinas, analizando cual ha sido la disminución de este:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 25. Flujo de salida de la descascaradora de arroz.

Ahora el flujo es inferior a 4.000 kg/hora, por tanto, el nuevo requisito será que las máquinas posteriores al menos sean capaz de afrontar dicho flujo.

Finalmente, analizando el rendimiento de esta máquina, debe ser alrededor al 80%, puesto que el 20% va a ser cascarilla, aclarándolo con una ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \eta = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100 = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{48.267,11 \text{ kg}} * 100 = 80\%$$

Ecuación 26. Rendimiento de la descascaradora de arroz.

⁶² Lin; Colomer Mendoza; Gallardo Izquierdo; Carlos Alberola (2021)

Con toda esta información y requisitos se seleccionará la máquina.

5.2.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada que cumple los requisitos es la descascaradora de arroz - Cámara Separadora Yasar. Modelo CSGA-5000. Con una capacidad de 5 toneladas/hora y motorización: 22,10kw – 1400 rpm, ya que se ha calculado previamente que el flujo tiene que ser algo mayor de 4 toneladas/hora.

La máquina descascaradora de arroz seleccionada está equipada con rodillos peladores y un sistema de ventilación que prolonga su durabilidad. Cuenta con un sensor de nivel automático y un alimentador vibratorio para asegurar una alimentación uniforme del arroz. Además, tiene una sección de aspiración y tapas de inspección que facilitan el mantenimiento. Esta máquina destaca por su alta calidad y rendimiento, larga vida útil, y baja necesidad de mantenimiento. De los aspectos más importante es que, ofrece una alta capacidad de producción con una mínima tasa de rotura del grano.

Tanto en la limpiadora de entrada como en la descascaradora de arroz, debido a su mayor capacidad de procesamiento, se considerará la opción de comprar arroz al exterior en el futuro. Esto permitiría adquirir una cantidad adicional de arroz más allá de la cosechada internamente, lo que podría generar un beneficio económico adicional al procesar y comercializar dicho arroz mediante nuestras instalaciones de molienda. Al aprovechar la capacidad excedente de estas máquinas, podríamos optimizar el uso del molino y aumentar la rentabilidad del negocio.



Figura 41. Máquina descascaradora marca Yasar modelo CSGA-5000. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

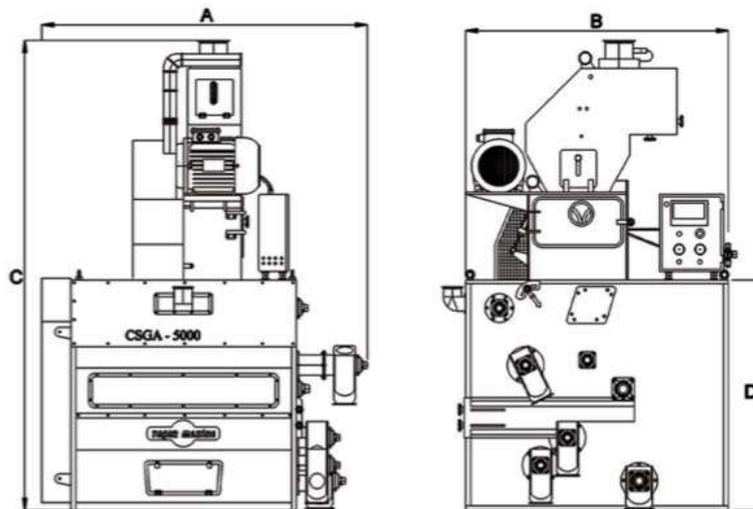


Figura 42. Grafica descriptiva descascaradora de arroz. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

Codigo De Producto Product Code	Características Técnicas Technical Specifications		Dimensiones de La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm L x A x A	Peso Weight Ton Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad / Capacity Ton/Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
CSGA - 5	5	23,6 KW	2200	1760	3140	1520	235x205x180	1040	1120
							170x100x160	900	940

Figura 43. Especificaciones descascaradora de arroz. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.2.3. Cálculos tras la selección de la máquina limpia descascaradora

5.2.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico descascaradora. Eficiencia energética

A continuación, se calculará el consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la máquina descascaradora de arroz a la entrada del proceso de molienda es 23,6 KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que sale de la limpia de entrada es 48.267,11 kg, necesitaremos que esta máquina afronte esa cantidad de arroz, contando que la capacidad de la descascaradora es de 5 toneladas/hora, se necesitan:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{48.267,11 \text{ kg}}{5.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 9,7 \text{ horas} \approx 10 \text{ horas}$$

Ecuación 27. Horas de funcionamiento diarias de la descascaradora.

Como se observa, cumple casi a la perfección el requisito de que trabaje 10 horas diarias, por tanto, se está optimizando al máximo el rendimiento de las horas operativas.

$$E = 23,6 \text{ kW} * 10 \text{ horas} = 236 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 28. Formula del consumo eléctrico aplicado a la descascaradora.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo la producción de la máquina con el flujo de masa, sabiendo que la máquina opera un flujo de masa de 2011,18 $\frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{4.826,71 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{23,6 \text{ kW}} = 204,52 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 29. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la descascaradora.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina descarrará un total de 204,52 kg de arroz.

5.3. MESA PADDY

5.3.1. Cálculos teóricos mesa paddy

5.3.1.1. Flujo de masa

En la mesa paddy, que se asegura que a todo el arroz se le ha quitado correctamente la cascara tras el descascarado, el flujo de masa de entrada tiene que ser el de salida de la máquina, por tanto, como se ha calculado anteriormente el flujo debe ser:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 30. Flujo de entrada de la mesa paddy.

Es por eso que el prerrequisito de esta máquina será que tenga al menos una capacidad de flujo de masa que sea capaz de soportar dicho flujo calculado, intentaremos buscar que el flujo sea de 4 toneladas/hora.

5.3.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada es la mesa paddy de la marca Yasar, de capacidad 4 toneladas/hora, modelo PVB-4.

El funcionamiento de la maquina seleccionada consiste en separar arroz y arroz con cáscara usando un sistema de tamiz y diferencias en gravedad específica. Destaca por su alto rendimiento, mantenimiento mínimo, bajo consumo de energía y diseño compacto. Cuenta

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

con un sistema vibratorio con 40 mallas de acero cromado, ventanas de observación de plexiglás y sensores de nivel para evitar sobrecargas.



Figura 44. Máquina mesa paddy marca Yasar modelo PVB-4. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

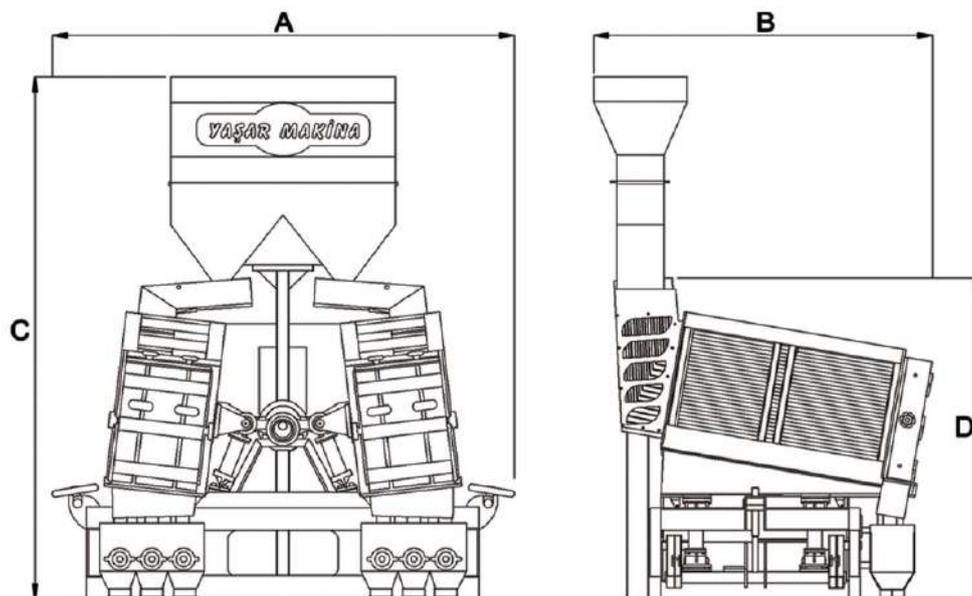


Figura 45. Grafica descriptiva mesa paddy. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Codigo De Producto Product Code	Características Técnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm Lx Ax A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad/ Capacity Ton / Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
PVB - 8	8	2,2 KW	2300	1650	2820	1725	235x185x220	1460	1560
PVB - 4	4	2,2 KW	1610	1650	2820	1725	175x185x220	980	1140

Figura 46. Especificaciones mesa paddy. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.3.3. Cálculos tras la selección de la máquina mesa paddy

5.3.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico mesa paddy. Eficiencia energética

El consumo eléctrico de la mesa paddy basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la máquina es de 2,2 KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que sale de la descascaradora de arroz es 38.613,68 kg, necesitaremos que afronte esta cantidad, la capacidad de la limpia de arroz paddy es de 4 toneladas/hora, se necesitan:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 9,65 \text{ horas} \approx 10 \text{ horas}$$

Ecuación 31. Horas de funcionamiento diarias de la mesa paddy.

$$E = 2,2 \text{ kW} * 10 \text{ horas} = 22 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 32. Formula del consumo eléctrico aplicado a la mesa paddy.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo la producción de la máquina con el flujo de masa, la máquina opera un flujo de masa de $3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{2,2 \text{ kW}} = 1.755,17 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 33. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la mesa paddy.

Con dicho resultado se puede decir que, por cada kW de energía consumida, la máquina mesa paddy podrá separar y asegurar 731,32 kg de arroz sin cáscara.

5.4. DESCHINADORA

5.4.1. Cálculos teóricos deschinadora

5.4.1.1. Flujo de masa

Aquí se usará el mismo flujo que en la mesa paddy, ya que en la máquina anterior no se ha eliminado masa ninguna, y la posible masa que se ha podido eliminar es mínima e insignificativa para los cálculos.

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 34. Flujo de entrada de la deschinadora.

El prerrequisito para la selección de la deschinadora será igual, al menos 4 toneladas/hora.

5.4.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada es la deschinadora o separadora de piedras con capacidad de 5 toneladas/hora, de nuevo se coge con mayor capacidad, debido a que, dentro del mercado, no se comercializan deschinadora con menor capacidad de ninguna marca, y como se ha dicho anteriormente, se intentara que todas las máquinas sean de la misma máquina y mismo distribuidor para facilitar en un futuro posibles reparaciones, esta pequeña diferencia que existe se usará para cuando haya algún atasco debido a algún error y poder así mantener el flujo calculado con la menor pérdida posible. La marca elegida de nuevo es Yasar y el código de producto es CPTA-5.

La máquina separadora de piedra se utiliza para limpiar materiales de alta densidad como piedra, arena y vidrio del arroz. Su funcionamiento se basa en la densidad y la gravedad para separar eficientemente estos materiales. El proceso comienza con la alimentación del producto en la máquina, donde el flujo de aire y el ángulo de inclinación del tamiz se ajustan

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

para separar los materiales pesados. Los materiales más densos, como las piedras, caen al fondo debido a la gravedad, mientras que los materiales más ligeros son transportados por el aire hacia la salida. Un ventilador proporciona la aspiración necesaria para el proceso, y la vibración del tamiz asegura una distribución uniforme del producto, mejorando la eficiencia de separación. Además, la máquina cuenta con un diseño de bajo polvo y ruido, y un sistema de mallas duradero y fácilmente reemplazable, lo que facilita el mantenimiento y la operación segura. La presión del aire se puede monitorear con un indicador especial, asegurando una limpieza precisa y eficiente con bajo consumo de energía.



Figura 47. Máquina deschinadora marca Yasar modelo CPTA-5. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

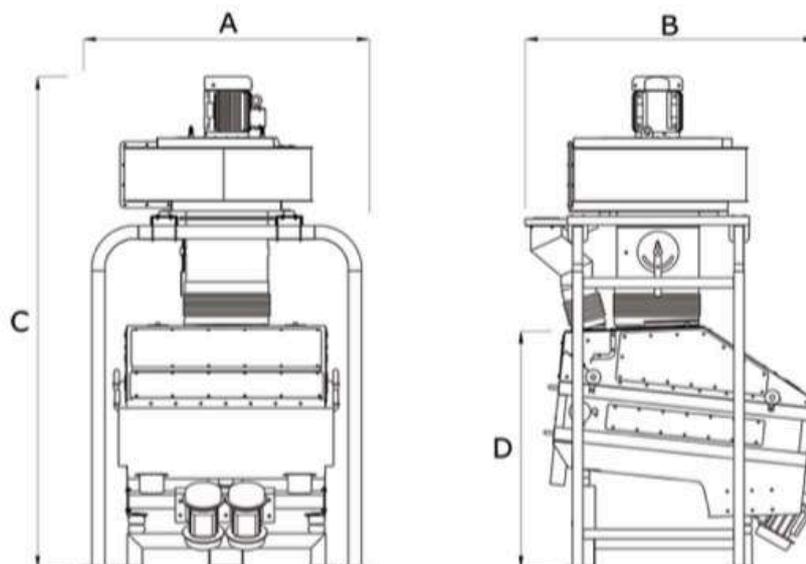


Figura 48. Grafica descriptiva deschinadora. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Codigo De Producto Product Code	Características Tecnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm L x A x A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad / Capacity Ton / Hour	Motor/ Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
CPTA - 5	5	11,70 KW	1370	1760	2990	1445	180x180x220	665	760
							120x125x140	320	360

Figura 49. Especificaciones deschinadora. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.4.3. Cálculos tras la selección de la máquina deschinadora

5.4.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico deschinadora. Eficiencia energética.

El consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la máquina limpia arroz paddy es 11,7 KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que acaba el proceso de la mesa paddy es de 38.613,68 kg, necesitaremos que esta máquina sea capaz de procesar dicha cantidad de arroz en un tiempo aproximado de 10 horas, para verificar que dicha condición se cumple con el requisito de que el flujo es de 4 toneladas/hora:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 9,65 \text{ horas} \approx 10 \text{ horas}$$

Ecuación 35. Horas de funcionamiento diarias de la deschinadora.

$$E = 11,7 \text{ kW} * 10 \text{ horas} = 117 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 36. Fórmula del consumo eléctrico aplicado a la deschinadora.

De nuevo se aprecia que se cumple el requisito de tiempo establecido con el flujo dado.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo, sabiendo que la máquina opera un flujo de masa exacto de $3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{11,7 \text{ kW}} = 330,03 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 37. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la deschinadora.

Por tanto, por cada kW de energía consumida la máquina limpiará, es decir se asegurará que el arroz que pase este pelado, un total de 1.755,17 kg de arroz.

5.5. BLANQUEADORA

5.5.1. Cálculos teóricos blanqueadora

5.5.1.1. Flujo de masa

En la máquina blanqueadora también entra en mismo flujo de masa que sale de la deschinadora, ya que se considera que la cantidad de piedras y otras impurezas que puede traer el arroz es mínima y por tanto no se considerará en el momento de estos cálculos, por tanto, de nuevo el flujo de masa que se necesita para la máquina blanqueadora es:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 38. Flujo de entrada de la blanqueadora.

El prerrequisito para la selección de la blanqueadora será el mismo, al menos 4 toneladas/hora.

5.5.1.2. Rendimiento. Merma de masa

En cambio, al contrario que anteriormente, en esta máquina si procede calcular el rendimiento y la merma de masa, ya que es en este momento en el que se elimina el salvado del arroz, el cual ronda entorno al 10-12% de la masa original de entrada⁶³, se usará el punto medio de los dos para los cálculos, el cual es 11%, es decir de los 48.267,11 kg, por tanto:

$$\text{Peso de salvado} = 11\% * 48.267,11 \text{ kg} = 5309,38 \text{ kg}$$

Ecuación 39. Masa del salvado en el arroz

Eso es la masa del salvado que debería haber en este punto, por tanto, cual acabe esta etapa, la masa final del arroz será:

$$\text{Peso arroz sin salvado} = 38.613,68 \text{ kg} - 5309,38 \text{ kg} = 33.304,30 \text{ kg}$$

Ecuación 40. Masa del arroz sin la capa de salvado

Una vez obtenidos dichos cálculos, se calculará el nuevo flujo para las próximas máquinas, analizando cual ha sido la disminución de este:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 41. Flujo de salida de la blanqueadora de arroz.

Finalmente, analizando el rendimiento de esta máquina, debe ser alrededor al 89%, puesto que el 21% va a ser salvado, aclarándolo con una ecuación:

⁶³ Paredes, Becerra, Donoso, Loaiza (2021).

$$\text{Rendimiento} = \eta = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100 = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{38.613,68 \text{ kg}} * 100 = 89\%$$

Ecuación 42. Rendimiento de la blanqueadora de arroz.

5.5.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada es la blanqueadora horizontal de la marca Yasar, con capacidad de 4-5 toneladas/hora, con código de producto PYB-5.

Una breve descripción de esta máquina es que es utilizada en plantas de procesamiento de arroz para blanquear y lijar el salvado en la superficie del arroz. Diseñada para alto rendimiento y mínima tasa de rotura. Sus características técnicas incluyen piedras de molienda de carburo de silicio, sistemas automáticos de trampa y aspiración para salvado, y ventiladores de presión para enfriar el arroz procesado. Ofrece fácil mantenimiento, seguridad, y un diseño compacto.



Figura 50. Máquina blanqueadora horizontal marca Yasar modelo PYB-5. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

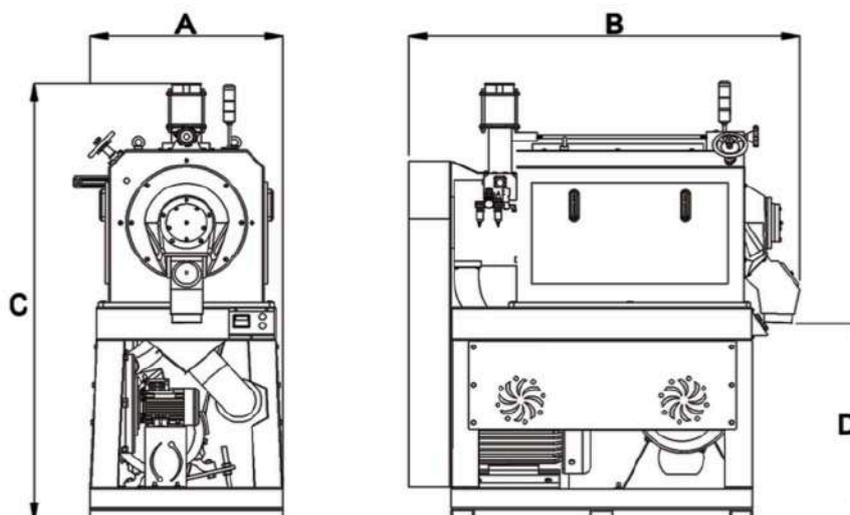


Figura 51. Grafica descriptiva blanqueadora. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Codigo De Producto Product Code	Características Tecnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm Lx Ax A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad/ Capacity Ton/ Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
PYB - 5	4 ~ 5	47,45 KW	850	1725	2020	900	185x105x195	1460	1520

Figura 52. Especificaciones blanqueadorav. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.5.3. Cálculos tras la selección de la máquina blanqueadora

5.5.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico blanqueadora. Eficiencia energética.

El consumo eléctrico de la maquina blanqueadora horizontal, basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la máquina limpia arroz paddy es 47,45 KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que sale de la deschinadora es de 38.613,68 kg, necesitaremos que esta máquina afronte esa cantidad de arroz en un tiempo aproximado de 10 horas, por tanto, se verificara que dicha condición se cumple, como necesitamos una capacidad que es de 4 toneladas/hora:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{38.613,68 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 9,65 \text{ horas} \approx 10 \text{ horas}$$

Ecuación 43. Horas de funcionamiento diarias de la blanqueadora.

$$E = 47,45 \text{ kW} * 10 \text{ horas} = 474,5 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 44. Formula del consumo eléctrico aplicado a la blanqueadora.

De nuevo se aprecia que se cumple el requisito de tiempo establecido.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo la producción de la máquina con el flujo de masa, la máquina opera un flujo de masa de $3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{3.861,37 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{47,45 \text{ kW}} = 81,38 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 45. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la blanqueadora.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina blanqueará un total de 81,38 kg de arroz.

5.6. PULIDORAS

5.6.1. Cálculos teóricos pulidoras

5.6.1.1. Flujo de masa

Para la pulidora, el flujo de masa de entrada es el mismo flujo de masa de salida de la blanqueadora, calculado en el apartado anterior:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 46. Flujo de masa de entrada de la máquina pulidora

En esta máquina solo conviene calcular el flujo, ya que no hay una pérdida considerable de masa. Con todo esto buscaremos una máquina que procese alrededor de 4 toneladas/hora.

5.6.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada es una pulidora de agua con. Capacidad de 4-5 toneladas/hora de la marca Yasar y con el código de producto SPM-5.

Las características de esta máquina es que es una pulidora de agua que se utiliza para lijar y limpiar y, en ocasiones, limpiar algo de salvado que ha quedado del proceso anterior, mejorando su apariencia y previniendo la absorción de humedad que podría deteriorar el grano. Sus características incluyen una estructura de acero, un sistema eficiente de humidificación, un depósito de agua cromado de 25 litros con una bomba de 0,37 kW, y un sistema de dosificación de agua. La máquina ofrece alto rendimiento, mínima tasa de rotura y mantenimiento sencillo. Dispone de mecanismos de seguridad, como un sistema de pistones neumáticos para evitar sobrecargas y un botón de parada de emergencia.



Figura 53. Máquina pulidora marca Yasar modelo SPM-5. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

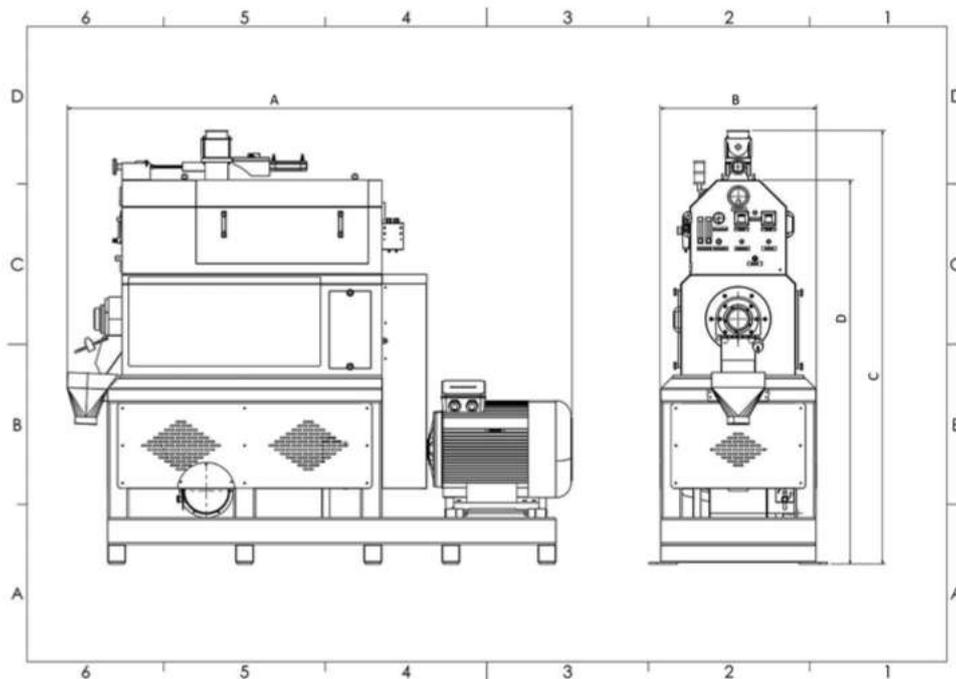


Figura 54. Grafica descriptiva pulidora. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Codigo De Producto Product Code	Características Técnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm L x A x A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad/ Capacity Ton / Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
SPM - 5	4 ~ 5	32,57 KW	2000	765	2110	2230	210x100x260	1660	1720

Figura 55. Especificaciones pulidoras. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.6.3. Cálculos tras la selección de la máquina pulidoras

5.6.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico pulidoras. Eficiencia energética.

El consumo eléctrico de las maquinas pulidoras, basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la máquina pulidora es 32,57 KW cada una de las dos máquinas.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que sale de la blanqueadora es de 33.304,30 kg, necesitaremos que esta máquina afronte esa cantidad de arroz en un tiempo aproximado de 10 horas, por tanto, se verificara que dicha condición se cumple, como necesitamos una capacidad que es de 4 toneladas/hora:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 8,33 \text{ horas} \approx 9 \text{ horas}$$

Ecuación 47. Horas de funcionamiento diarias de la pulidora.

$$E = 37,57 \text{ kW} * 9 \text{ horas} = 338,13 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 48. Fórmula del consumo eléctrico aplicado a la pulidora.

De nuevo se aprecia que se cumple el requisito de tiempo establecido, en este caso cada vez un poco menor debido a la merma de masa que se va acumulando a lo largo del proceso.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo la producción de la máquina con el flujo de masa y opera a un flujo de masa de $3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{37,57 \text{ kW}} = 88,65 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 49. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la pulidora.

Por cada kW de energía consumida la máquina pulirá un total de 88,65 kg de arroz.

5.7. PLANSIFTER

5.7.1. Cálculos teóricos plansifter

5.7.1.1. Flujo de masa

Para el plansifter, el flujo de masa entrada es el mismo que el flujo de entrada y de salida de la pulidora, ya que como se ha dicho anteriormente, la pulidora no hace una pérdida de masa relevante, por tanto, el flujo de masa de entrada del plansifter es:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 50. Flujo de masa de entrada de la máquina plansifter.

En este caso sí que hay una reducción de masa, por tanto, el flujo de salida no será el mismo que, de entrada, el cálculo de este se hará en el siguiente apartado.

5.7.1.2. Rendimiento. Merma de masa

En el plansifter sí que se produce una reducción de masa, en este caso debido a que se separan los granos que no tiene un tamaño suficiente y requerido para la siguiente fase.

Sin embargo, debido a que en el trieur hay una reducción adicional de masa, se van a calcular juntas ambas reducciones, que son aproximadamente del 4%, y estas serán calculadas en el apartado correspondiente al trieur. Esto se debe a que comúnmente se mide la entrada y la salida de las dos máquinas en conjunto, ya que ambas operan como sistemas de cribado. Esta metodología permite obtener una medida más precisa y consolidada de la pérdida de masa durante estas etapas críticas del proceso de molienda. Además, dado que se va a mantener a lo largo de todo el proceso el requisito de al menos 4 toneladas por hora, estas reducciones de masa no afectarán el flujo necesario.

5.7.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada es el plansifter de nuevo, de la marca Yasar, con una capacidad de 4-5 toneladas/horas y con un código de producto PPEM-5.

Las características de la máquina Plansifter de arroz incluyen una excepcional eficiencia de cribado, alto rendimiento, alta capacidad, diseño compacto, bajo mantenimiento y funcionamiento silencioso. Esta máquina se utiliza en plantas procesadoras de arroz para separar arroz en polvo, quebrado, cortado y entero, con la opción de ajustar los tamices para separar granos de diferentes tamaños.

Desde un punto de vista técnico, la Plansifter está construida con una estructura sólida formada por perfiles rectangulares y cuadrados soldados, y cuenta con un sistema de aspiración que facilita la circulación de aire. Además, dispone de un sistema de suspensión con varillas de tamiz de fibra de vidrio y un volante equilibrado ajustable, lo que le permite adaptarse a diferentes tipos de productos y condiciones de humedad.



Figura 56. Máquina plansifter marca Yasar modelo PPEM-5. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

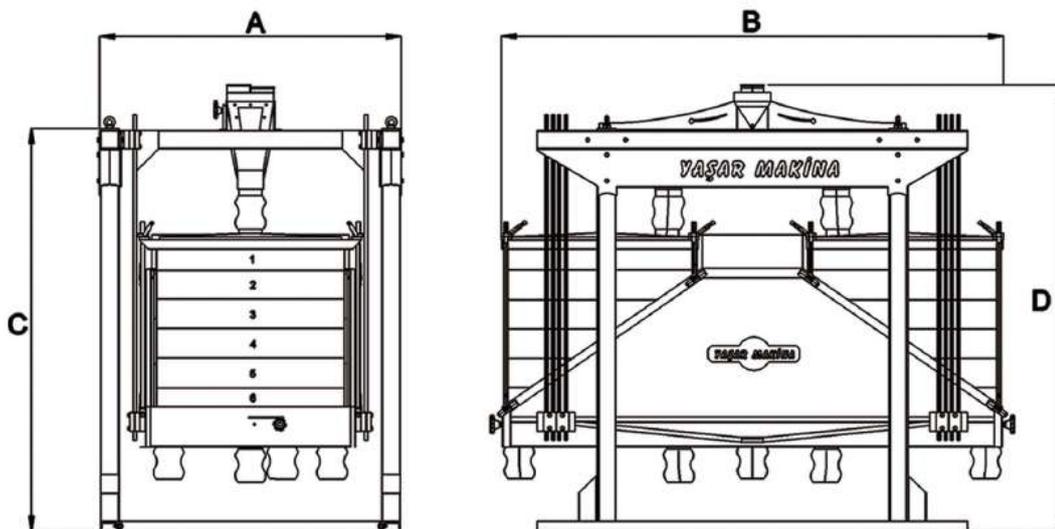


Figura 57. Gráfica descriptiva plansifter. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

Codigo De Producto Product Code	Características Técnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm L x A x A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad/ Capacity Ton / Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
PPEM - 5	4 ~ 5	3 KW	1600	2765	2160	2395	210x176x210	1520	1600

Figura 58. Figura 59. Especificaciones plansifter. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.7.3. Cálculos tras la selección de la máquina plansifter

5.7.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico plansifter. Eficiencia energética.

El consumo eléctrico del plansifter, basado en su potencia en kilovatios (KW), siendo esta 3 kW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que sale de la pulidora es de 33.304,30 kg, necesitaremos que esta máquina afronte dicha cantidad de arroz en un tiempo aproximado de 10 horas, por tanto, se verificara que dicha condición se cumple, como necesitamos una capacidad que es de 4 toneladas/hora:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 8,33 \text{ horas} \approx 9 \text{ horas}$$

Ecuación 51. Horas de funcionamiento diarias del plansifter.

$$E = 3 \text{ kW} * 9 \text{ horas} = 27 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 52. Formula del consumo eléctrico aplicado al plansifter.

De nuevo se aprecia que se cumple el requisito de tiempo establecido, de nuevo, un poco menor debido a la merma de masa que se va acumulando a lo largo del proceso.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo la producción de la máquina con el flujo de masa, la máquina opera un flujo de masa de $3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{3 \text{ kW}} = 1.110,14 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 53. Fórmula de la eficiencia energética aplicada al plansifter.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina cribará un total de 1.110,14 kg de arroz.

5.8. TRIEUR

5.8.1. Cálculos teóricos trieur

5.8.1.1. Flujo de masa

El flujo de masa de entrada se considerará el mismo que el de entrada del plansifter, aunque como se ha explicado anteriormente, esto no es del todo correcto, sin embargo, como la diferencia no es muy elevada se considerará así:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 21. Flujo de masa de entrada de la máquina trieur.

Es ahora cuando se calculará la merma de peso de las dos máquinas en conjunto y se verá el flujo de masa de salida de este proceso y por tanto el que será el flujo de entrada de la seleccionadora de color.

5.8.1.2. Rendimiento. Merma de masa

Como se ha dicho anteriormente, la reducción de masa es entorno al 4% entre granos pequeños y partidos, pero como anteriormente es de la masa inicial, es decir de los 48.267,11 kg, por tanto, para calcular la masa que se elimina y cuanto queda se procederá a los cálculos:

$$\text{Masa de granos rotos y pequeños} = 4\% * 48.267,11 \text{ kg} = 1.930,68 \text{ kg}$$

Ecuación 54. masa de granos rotos y pequeños de arroz

Eso es la masa de granos rotos y más pequeños que lo establecido, por tanto, cual acabe esta etapa, la masa final del arroz será:

$$\begin{aligned} \text{Peso arroz tamaño adecuado y entero} &= 33.304,30 \text{ kg} - 1.930,68 \text{ kg} \\ &= 31.373,62 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ecuación 55. Masa del arroz de tamaño adecuado y granos completos.

Una vez obtenidos dichos cálculos, se calculará el nuevo flujo de masa para las próximas máquinas, analizando cual ha sido la disminución de este:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{31.373,62 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.137,36 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 56. Flujo de salida de la blanqueadora de arroz.

Finalmente, analizando el rendimiento de esta máquina, debe ser alrededor al 96%, puesto que el 4% van a ser granos partidos y de tamaño inadecuado, aclarándolo con una ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \eta = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100 = \frac{31.373,62 \text{ kg}}{33.304,30 \text{ kg}} * 100 = 96\%$$

Ecuación 57. Rendimiento del plansifter y trieur.

Por tanto, con toda la información anterior, la máquina que se va a seleccionar es:

5.8.2. Selección de la máquina

La máquina seleccionada es el trieur clasificador de dos plantas, con capacidad de hasta 4 toneladas/hora, y con numero de modelo 2KT-70.

La máquina clasificadora de arroz partida se utiliza para separar el arroz partido del arroz integral según su longitud. Es ampliamente utilizada en la industria alimentaria para procesar arroz, harina, sémola, entre otros cereales. Diseñada para tener un diseño compacto y fácil instalación, ofrece durabilidad y bajo costo operativo. Las características técnicas incluyen una estructura sólida, tambores dentados, transportador tipo tornillo, y un sistema de cepillo

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

interno para evitar obstrucciones. Los tambores se pueden reemplazar fácilmente y la inclinación de la bandeja de separación se ajusta según el grado de separación deseado.



Figura 60. Máquina trieur marca Yasar modelo 2KT-50. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

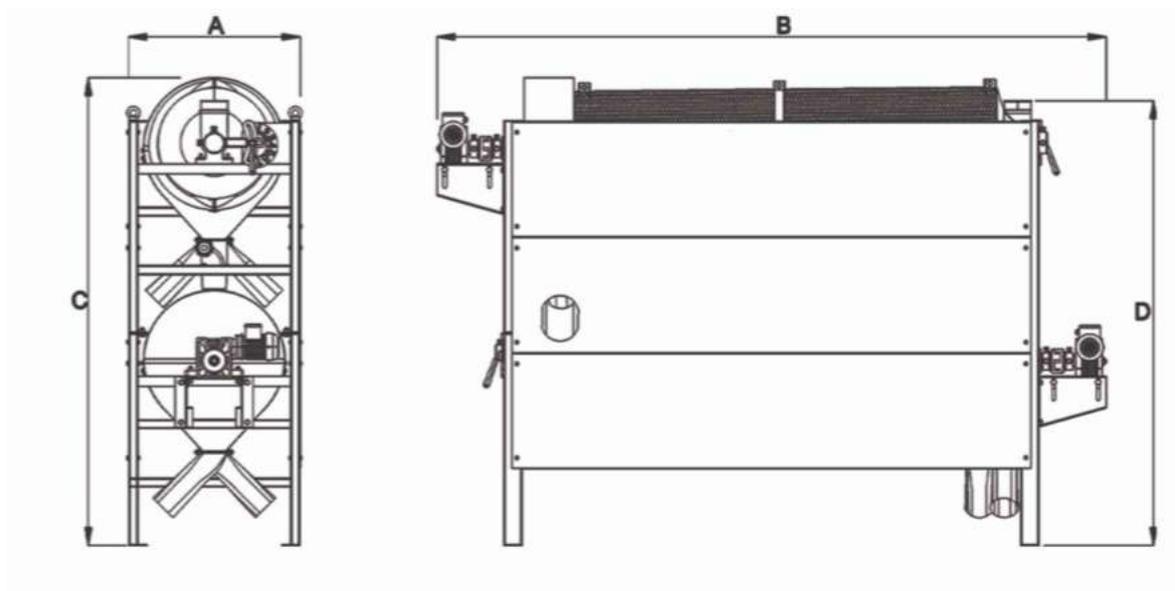


Figura 61. Grafica descriptiva trieur. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

Codigo De Producto Product Code	Características Técnicas Technical Specifications		Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions				Dimensiones De La Caja Box Size cm L x A x A	Peso Weight Kg	Peso bruto Gross Weight Kg
	Capacidad/ Capacity Ton / Hour	Motor / Motor	A mm	B mm	C mm	D mm			
2KT - 70	1,5 ~ 4	2,2 KW	1000	3950	2350	2350	400x105x250	1380	1410

Figura 62. Especificaciones trieur. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

5.8.3. Cálculos tras la selección de la máquina trieur

5.8.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico trieur. Eficiencia energética.

El consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la máquina pulidora es de 2,2 KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que sale de la mesa limpia de arroz paddy es de 31.373,62 kg, necesitaremos que esta máquina afronte esa cantidad de arroz en un tiempo aproximado de 10 horas, para verificar que dicha condición se cumple, con el uso que se le va a dar de capacidad que es de 4 toneladas/hora:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{33.304,30 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 8,32 \text{ horas} \approx 9 \text{ horas}$$

Ecuación 58. Horas de funcionamiento diarias del trieur.

$$E = 2,2 \text{ kW} * 9 \text{ horas} = 19,8 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 59. Formula del consumo eléctrico aplicado al trieur.

De nuevo se aprecia que se cumple el requisito de tiempo establecido, cada vez va siendo menor, ya que cómo se ha comentado en el caso anterior, la merma de peso se va acumulando y cada vez hay menos arroz valido al pasar por todas las cribas impuestas.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, sabiendo la producción de la máquina con el flujo de masa, sabiendo que la máquina opera un flujo de masa de $3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{3.330,43 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{2,2 \text{ kW}} = 1.513,83 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 60. Fórmula de la eficiencia energética aplicada al trieur.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina separará granos rotos en un total de 1.426,07 kg de arroz.

5.9. SELECCIONADORA DE COLOR

5.9.1. Cálculos teóricos seleccionadora de color

5.9.1.1. Flujo de masa

La seleccionadora de color tendrá un flujo de masa de entrada igual al flujo de salida del trieur, siendo este:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{31.373,62 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.137,36 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 19. Flujo de entrada de la seleccionadora de color.

En este caso también hay una pérdida de masa, es aquí donde se eliminan todos los granos que no tienen un color adecuado, y estos podrían ser granos que están infectados por alguna enfermedad, granos yesosos, etc. Por tanto, aunque sea pequeña dicho porcentaje de granos rechazados se contabilizará al ser significativa.

5.9.1.2. Rendimiento. Merma de masa

La cantidad de granos eliminados por esta máquina es aproximadamente del 1%, pero como en los casos anteriores, ese porcentaje es referente a la masa inicial, es decir de los 48.267,11 kg, por tanto, para calcular la masa que se elimina y cuanto queda se procederá a los cálculos:

$$\text{Masa de granos rotos y pequeños} = 1\% * 48.267,11 \text{ kg} = 482,67 \text{ kg}$$

Ecuación 61. masa de granos rotos y pequeños de arroz

Eso es la masa de granos rechazados por la máquina seleccionadora de color, por tanto, cual acabe esta etapa, la masa final del arroz será:

$$\begin{aligned} \text{Masa de granos finales} &= 31.373,62 \text{ kg} - 482,67 \text{ kg} \\ &= 30.890,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ecuación 62. Masa del arroz de final tras el proceso.

Cabe destacar que esta es la masa final que queda tras todo el proceso de molienda ya que no hay más eliminaciones de granos ni de partes de este, por tanto, esto es la masa final que quedaría, posteriormente, en conclusiones, se calcularán los rendimientos totales del proceso entero y otros cálculos.

Una vez obtenidos dichos cálculos, se calculará el nuevo flujo de masa para las próximas máquinas, analizando cual ha sido la disminución de este:

$$\text{Flujo} = \dot{m} = \frac{M}{t} = \frac{30.890,95 \text{ kg}}{10 \text{ horas}} = 3.089,1 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Ecuación 63. Flujo de salida de la seleccionadora de color.

Finalmente, analizando el rendimiento de esta máquina, debe ser alrededor al 99%, puesto que el 1% van a ser granos rechazados, aclarándolo con una ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \eta = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100 = \frac{30.890,95 \text{ kg}}{31.373,62 \text{ kg}} * 100 = 99\%$$

Ecuación 64. Rendimiento de la seleccionadora de color.

5.9.2. Selección de la máquina

Esto es una máquina pionera en el mercado que es una seleccionadora de color modelo 4R con dos banderas de 120 canales y cámara CCD con iluminaciones LED.

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

La máquina selectora de color se utiliza para separar granos de arroz dañados o materiales extraños según sus defectos de color. Equipada con cámaras CCD de alta resolución de 5400 píxeles y fuente de luz LED, esta máquina garantiza una separación precisa y eficiente. Su sistema de alimentación con canales de amplio ancho y la calibración automática proporcionan una operación rápida y estable. La máquina utiliza un cañonazo de aire para expulsar los granos dañados, y, además, cuenta con una segunda pasada para asegurar que los granos sanos no sean eliminados, es decir, al final del proceso, un sistema adicional vuelve a comprobar y elimina cualquier grano malo que haya pasado inadvertido. Con tecnología NIR opcional y un conjunto eyector de bajo consumo de aire, ofrece alta eficiencia y precisión en la clasificación. Ideal para plantas de procesamiento de arroz y otros granos similares, su capacidad de autodetección de fallas y ajuste automático de fondo facilita el mantenimiento y asegura la estabilidad operativa a largo plazo.



Figura 63. Máquina seleccionadora de color marca Yasar modelo 2KT-50. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

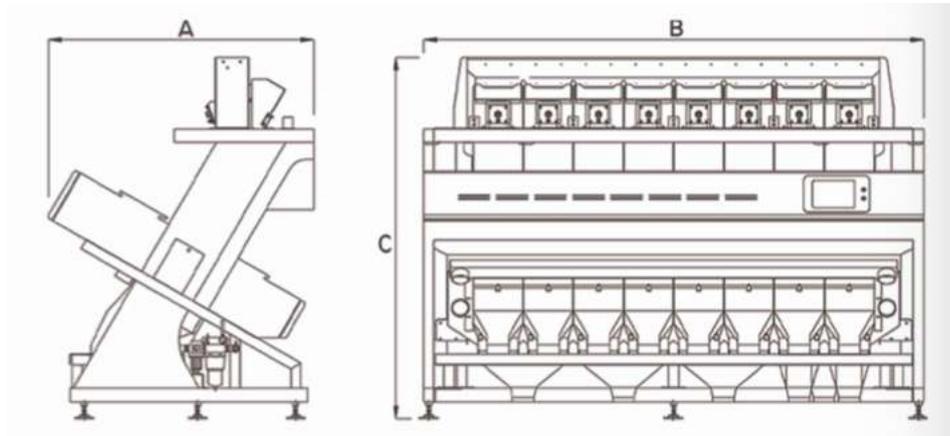


Figura 64. Grafica descriptiva seleccionadora de color. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Nombre Name	Laboral Working	Poder de la máquina Power of machine	Tensión de alimentación Supply voltage	Presión del aire Air pressure	Consumo de aire Air consumption	Dimensiones Dimension mm	Peso Weight
4R	240	2.4 kw	180-240V 50Hz	0.6-08 MPA	<2.m ³ /min	2118x1580x2020	1340kg

Figura 65. Especificaciones seleccionadora de color. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.9.3. Cálculos tras la selección de la máquina seleccionadora de color

5.9.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico seleccionadora de color

El consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la seleccionadora de color es de 2,4KW.

En primer lugar, se calculará el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que le entra a la seleccionadora de color es 31.373,62 kg, necesitaremos que esta máquina afronte dicha cantidad, por tanto:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{31.373,62 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 7,84 \text{ horas} \approx 8 \text{ horas}$$

Ecuación 65. Horas de funcionamiento diarias de la seleccionadora de color.

$$E = 2,4 \text{ kW} * 8 \text{ horas} = 19,2 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 66. Formula del consumo eléctrico aplicado a la seleccionadora de color.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, conociendo que la máquina opera un flujo de masa de $2011,18 \frac{kg}{hora}$ sería:

$$Eficiencia\ Energética = \frac{3.137,36 \frac{kg}{hora}}{2,4\ kW} = 1.307,23 \frac{kg}{kW}$$

Ecuación 67. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la seleccionadora de color.

Dicho resultado dice que por cada kW de energía consumida la máquina limpia 174,9 kg de arroz.

5.10. CICLO FINAL DE ALMACENAMIENTO

5.10.1. Cálculos teóricos ciclo final de almacenamiento

5.10.1.1. Cantidad de arroz a almacenar en el ciclo final de almacenamiento

Llegados a este punto con el arroz listo para ser envasado, totalmente limpio y sin impurezas, tenemos unos silos de almacenamiento donde este será almacenado durante un periodo determinado de tiempo y le será dado un número de serie en caso de que haya algún tipo de problema en el futuro, antes de ser empaquetado.

La capacidad de arroz que debe ser capaz de almacenar es 30.890,95 kg que es el arroz que habrá al final del proceso.

5.10.2. Selección de la máquina

La máquina que necesitamos en este caso son unos silos de almacenamiento capaz de almacenar dicha cantidad, para ello usamos el silo del almacenamiento modelo PDAK-33, de la marca Yasar, con una capacidad de 33 toneladas de arroz, fabricado en acero galvanizado de 2,5 mm que se suministra con un controlador de nivel de tanque transparente para ver el nivel de ocupación.



Figura 66. Silo almacenamiento marca Yasar modelo PDAK-33. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

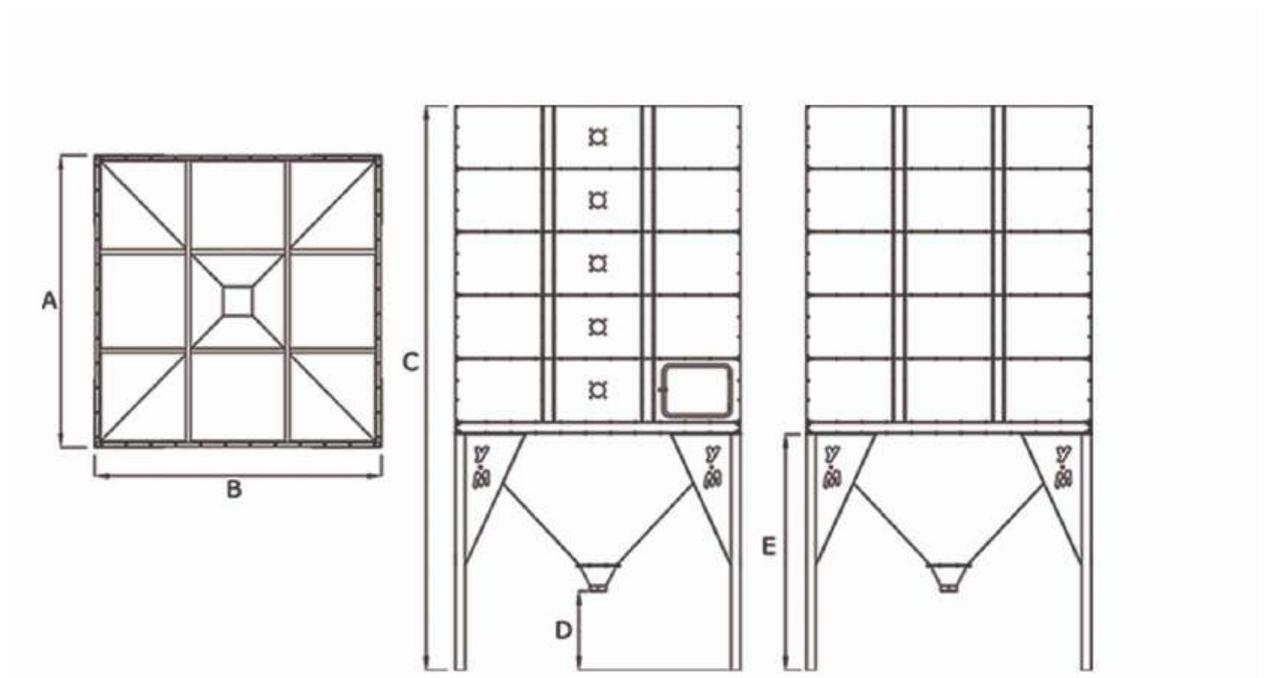


Figura 67. Grafica descriptiva silo de almacenamiento. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

Código De Producto Product Code	Características Técnicas Material Specification	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Número de paneles Number of Panels	Capacidad / Capacity M ³ / Ton
PDAK-16	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	4720	840	2500	3	21,40 M ³ / 16 Ton
PDAK-20	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	5390	840	2500	4	27 M ³ / 20 Ton
PDAK-24	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	6060	840	2500	5	32,60 M ³ / 24,5 Ton
PDAK-28	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	6730	840	2500	6	38,3 M ³ / 28,75 Ton
PDAK-33	SS430 – SS 304 Krom / Chrome	3000	3000	7400	840	2500	7	43,86 M ³ / 33 Ton

Figura 68. Especificaciones silo de almacenamiento. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.11. CICLO DE ENVASADO

5.11.1. Cálculos teóricos ciclo de envasado

El proceso de envasado constituye la fase final de la línea de producción de arroz. En esta etapa, todo el arroz procesado y seleccionado se acondiciona en diferentes formatos para su distribución y venta. Se ha determinado que el arroz se empaquetará en bolsas de 1 kg, 2 kg y 5 kg, para atender las diversas necesidades del mercado. Este enfoque no solo facilita la distribución y el manejo del producto, sino que también ofrece flexibilidad a los consumidores al proporcionar opciones adecuadas para diferentes usos y cantidades.

Los envases que se utilizarán están hechos para proteger el arroz de la humedad, la luz y otros factores que podrían comprometer su calidad durante el almacenamiento y el transporte. Además, se busca optimizar el proceso para minimizar el tiempo y los costos asociados al empaquetado, asegurando así la rentabilidad de la línea de producción. La eficiencia en el empaquetado es crucial para mantener la calidad del arroz y garantizar que el producto llegue a los consumidores en las mejores condiciones posibles.

5.11.2. Selección de la máquina

La máquina de empaque vertical EM 500 - 14P está diseñada para producir paquetes tipo almohada y con fuelle, utilizando sistemas de sellado en caliente y frío. Esta máquina cuenta con un controlador lógico programable. Es capaz de producir entre 15 y 55 paquetes por

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

minuto, dependiendo del producto y del tipo de sellado. La estructura de la máquina es robusta, con componentes de acero inoxidable

Además, la máquina empaquetadora incluye características como una pantalla táctil a color de 10.1 pulgadas, sistemas de advertencia para niveles bajos de producto y bobinas terminadas, y acceso remoto. Está equipada con sensores de nivel y un sistema de aspiración para la circulación de aire. La capacidad de procesamiento varía entre 4000 y 5000 kg/hora, y es adecuada para empaques de 1000g, 2500g y 5000g, adecuados para productos como arroz y otras legumbres.



Figura 69. Tipos de paquetes compatibles con la maquina de envasado EM500-14P. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).



Figura 70. Máquina de envasado Yasar modelo EM500-14P. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

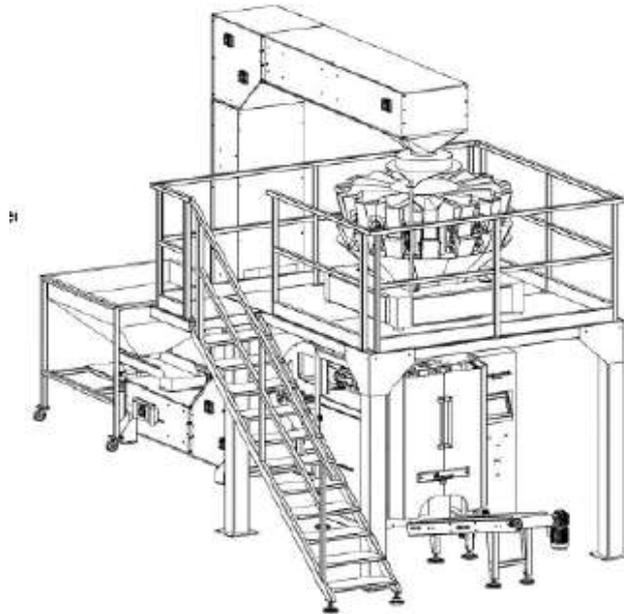


Figura 71. Grafica descriptiva máquina envasado. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Esta máquina de envasado tiene una potencia eléctrica de 8 kW y un flujo entre 4-5 toneladas horas.

5.11.3. Cálculos tras la selección de la máquina ciclo de envasado

5.11.3.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico ciclo de envasado. Eficiencia energética.

Como se ha redactado en la información anterior, la potencia de la empaquetadora es de 8 kW.

Calculando el consumo eléctrico (E) de la máquina, como la cantidad de arroz que le entra a la envasadora es 30.890,95 kg, necesitaremos que esta máquina afronte dicha cantidad, por tanto:

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{30.890,95 \text{ kg}}{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 7,72 \text{ horas} \approx 8 \text{ horas}$$

Ecuación 68. Horas de funcionamiento diarias de la máquina envasadora.

$$E = 8 \text{ kW} * 8 \text{ horas} = 64 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 69. Formula del consumo eléctrico aplicado a la envasadora.

La máquina tardará en empaquetar todo el arroz procesado en un día unas 8 horas aproximadamente.

En segundo lugar, se calculará la eficiencia energética, conociendo que la máquina opera un flujo de masa de $4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$ sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{8 \text{ kW}} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 70. Fórmula de la eficiencia energética aplicada a la envasadora.

Dicho resultado dice que por cada kW de energía consumida la máquina envasará 500 kg de arroz.

5.12. ELEVADOR DE CANGILONES

Además de las máquinas principales detalladas anteriormente, el funcionamiento eficiente de la línea de producción de arroz requiere la integración de otras máquinas y equipos auxiliares que aseguren un flujo continuo y optimizado del proceso. A continuación, se describen las máquinas adicionales necesarias:

Los elevadores son esenciales para transportar el arroz entre diferentes niveles de la línea de producción. Estos son necesarios para mover el arroz de una máquina a otra, especialmente cuando el proceso requiere un cambio de altura, al estar el proceso hecho en tres alturas diferentes. A la vista de la figura 37 se necesitará un total de 3 elevadores para poder llevar a cabo todo el proceso descrito.

5.12.1. Selección de la máquina

La máquina seleccionada son unos elevadores de cangilones sencillos, para un flujo de 5 toneladas hora y de acero galvanizado. Tiene un motor de 0,75 kW.



Figura 72. Elevador marca Yasar modelo VBE-160. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

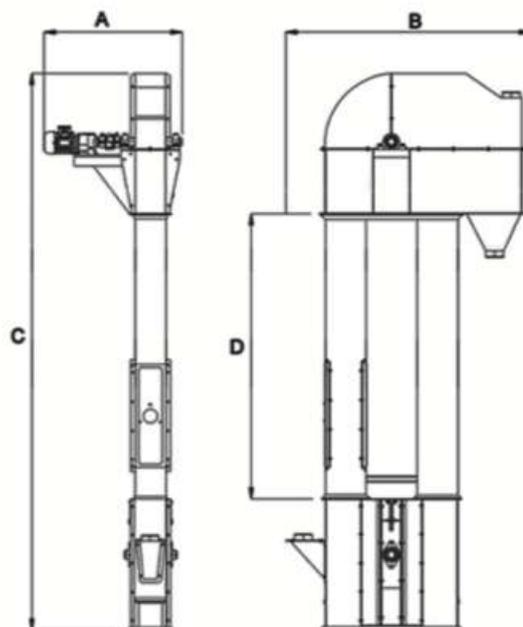


Figura 73. Grafica descriptiva elevador. Fuente: Suncue Company LTD. (2024).

Codigo De Producto Product Code	Balde Bucket mm	Cinturón Belt mm	Motor Motor Kw	Velocidad Speed Rpm	Dimensiones De La Maquina Machine Dimensions			Capacidad Tonelada/Hora Capacity Ton/Hour	Peso Kg Weight Kg
					L mm	W mm	H mm		
VBE- 140	140	160	0,75	80				2	
VBE- 160	160	180	1,1	80				5	

Figura 74. Especificaciones elevador. Fuente Suncue Company LTD. (2024).

5.12.2. Cálculos tras la selección de la máquina seleccionadora de color

5.12.2.1. Potencia. Cálculo de consumo eléctrico elevador. Eficiencia energética

El consumo eléctrico de la maquina basado en su potencia en kilovatios (KW). La potencia de la seleccionadora de color es de 1,1 kW.

En este caso no es necesario calcular las horas de funcionamiento, si no que se hará con el flujo de masa, en este caso de 5 toneladas/hora que es el flujo normal entre las maquinas que se van a conectar estos elevadores.

Se considerará que va a estar en uso las 15 horas que el molino va a estar trabajando, por tanto, el consumo eléctrico (E) de la máquina será:

$$E = 1,1 \text{ kW} * 15 \text{ horas} = 16,5 \text{ kWh/día}$$

Ecuación 71. Formula del consumo eléctrico aplicado al elevador.

En segundo lugar, la eficiencia energética, sabiendo que el molino opera un flujo de masa aproximado de 4 toneladas/hora sería:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{4.000 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}}{1,1 \text{ kW}} = 3.636,36 \frac{\text{kg}}{\text{kW}}$$

Ecuación 72. Fórmula de la eficiencia energética aplicada al elevador.

El significado de dicho resultado es que por cada kW de energía consumida la máquina elevará 3.636,36 kg de arroz.

CÁLCULOS TÉCNICOS DE LA LÍNEA DE ARROZ: MOLIENDA

En este capítulo hemos revisado en detalle la maquinaria necesaria en el proceso de molienda del arroz, para lograr un procesamiento eficiente y de calidad. Esta elección adecuada asegura que cada fase del proceso, desde la recepción del arroz hasta la obtención de harina, se lleve a cabo de manera precisa. Al final de esta etapa, el arroz se envasará para su adecuada conservación y distribución.

Con todos los procesos y los equipos necesarios ya definidos y analizados, el siguiente paso será analizar los resultados obtenidos en los dos capítulos anteriores.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA LÍNEA DE ARROZ

6.1. RESUMEN POTENCIAS. CONSUMO ELÉCTRICO. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y HORAS DE FUNCIONAMIENTO

En el diseño de una línea de producción de arroz, es fundamental entender las características operativas de cada máquina involucrada. A continuación, se presenta una tabla que detalla aspectos clave como la potencia, las horas de funcionamiento, el consumo eléctrico y la eficiencia energética de las máquinas en resumen durante el proceso de producción.

Máquina	Potencia	Horas de funcionamiento	Consumo eléctrico	Eficiencia energética
Secadora	11,5 kW	24 horas	276 kWh/día	174,89 kg/kW
Limpia arroz entrada	7,5 kW	5 horas	37,5 kWh/día	268,16 kg/kW
Descascaradora	23,6 kW	10 horas	236 kWh/día	204,52 kg/kW
Mesa paddy	2,2 kW	10 horas	22 kWh/día	1.755,17 kg/kW
Deschinadora	11,7 kW	10 horas	117 kWh/día	330,03 kg/kW
Blanqueadora	47,45 kW	10 horas	474,5 kWh/día	81,38 kg/kW
Pulidora I	32,57kW	9 horas	338,13 kWh/día	88,65 kg/kW
Pulidora II	32,57kW	9 horas	338,13 kWh/día	88,65 kg/kW
Plansifter	3 kW	9 horas	27 kWh/día	1.110,14 kg/kW

Máquina	Potencia	Horas de funcionamiento	Consumo eléctrico	Eficiencia energética
Trieur	2,2 kW	9 horas	19,8 kWh/día	1.513,83 kg/kW
Seleccionadora de color	2,4 kW	8 horas	19,2 kWh/día	1.307,23 kg/kW
Envasado	8 kW	8 horas	64 kWh/día	500 kg/kW
Elevadores	1,1 kW	15 horas	16,5 kWh/día	3.636,36 kg/kW

Tabla 7. Tabla resumen potencias, horas de funcionamiento, consumo eléctrico y eficiencia energética.

Elaboración propia (2024).

En una línea de producción de arroz, la eficiencia energética y el consumo eléctrico son factores determinantes para la rentabilidad y sostenibilidad del proceso. La potencia de las máquinas varía significativamente, lo que refleja las diferentes demandas energéticas y capacidades de procesamiento en cada etapa del proceso.

Las máquinas con alta eficiencia energética, como la mesa paddy y el trieur, son capaces de procesar grandes volúmenes de arroz con un consumo energético relativamente bajo. Esto no solo reduce los costos operativos, sino que también disminuye el impacto ambiental del proceso.

Por otro lado, máquinas con mayores demandas de energía, como la blanqueadora y las pulidoras, son esenciales para garantizar la calidad final del producto. Aunque su consumo energético es más alto, su papel en la mejora de la apariencia y calidad del arroz es crucial.

El equilibrio entre máquinas de alta eficiencia y aquellas con mayores demandas energéticas permite una producción continua y eficiente. La secadora, con su operación prolongada, asegura que el arroz esté adecuadamente preparado para las etapas subsecuentes del proceso en el tiempo establecido.

En general, la comprensión detallada de las características operativas de cada máquina permite optimizar el diseño de la línea de producción, asegurando que se maximice el rendimiento de las horas operativas y se minimicen los costos y el impacto ambiental.

6.2. RENDIMIENTO TOTAL. DIAGRAMA DE SANKEY

Un diagrama de Sankey⁶⁴, es un tipo específico de diagrama de flujo en el que la anchura de las flechas se muestra proporcional a la cantidad de flujo. En este caso, el diagrama de Sankey ilustra el proceso de reducción del peso del arroz a medida que pasa por las diferentes etapas de procesamiento, desde la entrada inicial del arroz con cáscara ya con la humedad requerida, hasta el producto final sin defectos justo antes del empaquetamiento, básicamente en este diagrama lo que se representa es la etapa de molienda.



Figura 75. Diagrama de Sankey de la etapa de molienda. Elaboración propia. (2024)

El diagrama comienza con 48.267,11 kg de arroz con cáscara entrando al molino. Después del descascarillado, se elimina la cáscara, lo que reduce el peso en un 20% (9.653,42 kg),

⁶⁴ Antunes, J., Arrais, E. L., & Porto, B. de S. (2023)

dejando 38.613,68 kg de arroz descascarillado. Luego, en la etapa de eliminación del salvado, se reduce un 11% adicional (5.309,38 kg), resultando en 33.304,30 kg de arroz sin salvado. Posteriormente, el arroz se clasifica para eliminar granos de tamaño inadecuado y rotos, lo que representa un 4% de reducción (1.930,68 kg), quedando 31.373,62 kg de granos enteros y de tamaño adecuado. Finalmente, se eliminan los granos defectuosos, reduciendo el peso en un 1% (482,67 kg), obteniendo 30.890,95 kg de arroz final sin defectos.

El rendimiento final del proceso es del 64%, lo que significa que, del peso total del arroz inicial, el 64% se convierte en arroz final sin defectos. Este rendimiento es típico en la industria del arroz, donde se espera que una parte significativa del peso inicial se pierda debido a la eliminación de cáscaras, salvado, impurezas, granos rotos y defectuosos. Un rendimiento del 64% indica un proceso eficiente y bien controlado, dado que las pérdidas inevitables se minimizan a través de cada etapa del procesamiento. Este diagrama de Sankey no solo ilustra el flujo y las pérdidas en cada etapa del procesamiento del arroz, sino que también destaca la eficiencia del proceso en la obtención de un producto final de alta calidad.

6.3. DIAGRAMA DE GANTT. TIEMPO TOTAL DE PROCESAMIENTO

El diagrama de Gantt⁶⁵ es una herramienta fundamental para la planificación y gestión de proyectos, ya que permite visualizar de manera clara y organizada el cronograma de las diferentes etapas de un proceso. En la introducción de este apartado, se presentó un esquema general del diagrama de Gantt correspondiente al tiempo total de procesamiento del arroz, desde la recolección hasta el empaquetado final, a lo largo de un período de siete días. A continuación, se mostrará el diagrama con mayor detalle, especificando la duración y secuencia de cada etapa del proceso, para asegurar que todas las actividades se realicen de manera eficiente y dentro de los plazos establecidos.

⁶⁵ Martins, (2024)

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA LÍNEA DE ARROZ



Figura 76. Diagrama de Gantt del proceso. Elaboración propia (2024).

La recolección se lleva a cabo el primer día, desde media mañana hasta media tarde, durante las horas del día en las que el aire tiene menos humedad relativa. Posteriormente, el arroz recolectado se divide en dos lotes para someterse a dos ciclos de secado, cada uno con una duración de 24 horas. Una vez finalizado el secado, el arroz pasa a la fase de limpieza de entrada, que tiene una duración de aproximadamente 5 horas. El resto del tiempo del día, el arroz se almacena en el silo pulmón o de reposo.

A continuación, el arroz pasa a la etapa de molienda, que se realiza completamente en un día. Cada máquina de molienda tiene un tiempo de procesamiento de aproximadamente 10 horas, por lo que se estima que el tiempo total de molienda sea de unas 15-20 horas. Finalmente, el arroz molido entra en un ciclo de almacenamiento hasta que se realiza el empaquetado, concluyendo así el proceso.

Esta planificación detallada asegura que cada etapa del proceso se lleve a cabo de manera eficiente y dentro de los plazos establecidos, optimizando el uso de los recursos y garantizando que el producto final esté listo para su distribución en el menor tiempo posible.

6.4. PRUEBA DE LABORATORIO

El 17 de julio de 2024, en el laboratorio de la cooperativa Arrozua en Isla Mayor, se llevó a cabo una prueba para simular el funcionamiento de diversas máquinas utilizadas en el proceso de molinería de arroz que se está diseñando en este trabajo de fin de grado. Este

laboratorio existe gracias a que en el molino se recoge una muestra de cada agricultor que entrega su arroz, permitiendo un análisis justo en caso de que haya malas cosechas y para evaluar el rendimiento aproximado de cada lote de arroz. Las máquinas simuladas a tamaño reducido, pero con características similares a las del proceso industrial fueron la descascaradora, la blanqueadora y pulidora, el plansifter, el trieur y la seleccionadora de color. La muestra usada fue de 200 gramos de la categoría puntal blanco con una humedad de 14%.

Se utilizó una descascaradora de menor escala para retirar la cáscara del arroz, simulando las condiciones del proceso industrial. La muestra inicial de 200 gramos fue procesada para evaluar la eficiencia de la máquina en la eliminación de la cáscara. Los resultados indicaron una eliminación efectiva del 23,5% de la cascarilla.

La blanqueadora y pulidoras utilizadas en la prueba de laboratorio replicaron el proceso de remoción de salvado y pulido del arroz. Se logró un producto blanqueado y pulido con características muy cercanas al estándar de calidad requerido. El proceso mostró una reducción de peso del 10,4% debido a la eliminación del salvado.

A continuación, el plansifter y trieur de tamaño reducido fue empleado para clasificar los granos según su tamaño. Las máquinas separaron eficientemente los granos en diferentes fracciones, con una reducción del 3,8% correspondiente a granos rotos y medianos. Esta etapa es crucial para asegurar que solo los granos de tamaño adecuado pasen a las etapas siguientes del proceso.

La seleccionadora de color en el laboratorio, aunque no expulsaba físicamente los granos defectuosos, simulaba esta acción mediante una aplicación que fotografiaba cada grano de la muestra. El sistema identificó y cuantificó los granos que habrían sido rechazados en un proceso real, resultando en un 0,9% de granos rechazados. Se adjuntan fotografías de esta aplicación y los resultados obtenidos, demostrando la precisión y eficiencia del sistema de selección.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA LÍNEA DE ARROZ

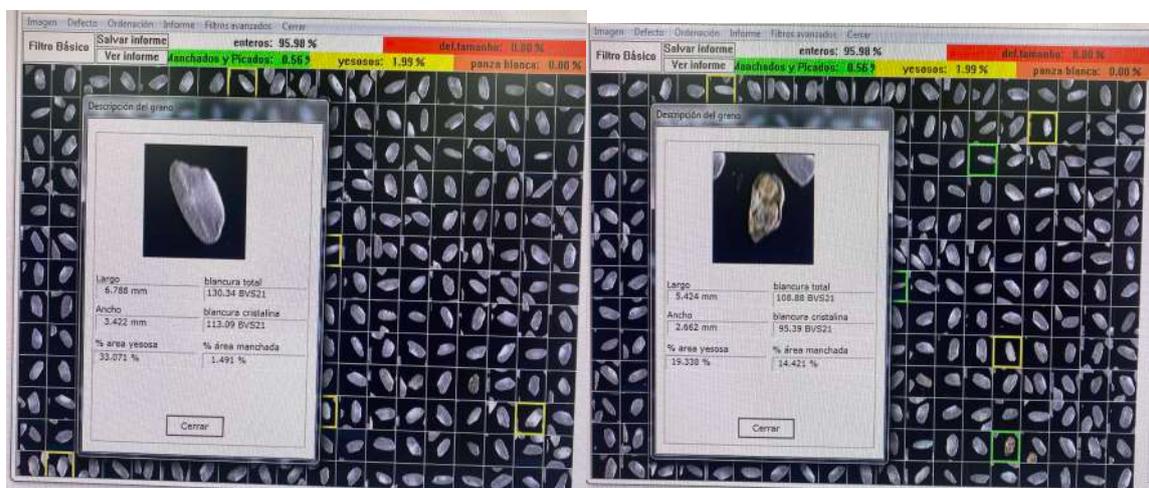


Figura 77. Informe seleccionadora de color laboratorio. Elaboración propia (2024).

La prueba de laboratorio, realizada con una muestra de 100 gramos, permitió simular y evaluar las distintas etapas del proceso de molinería de arroz. Los resultados obtenidos fueron una eliminación del 23,5% de cascarilla, 10,4% de salvado, 3,8% de granos rotos y medianos, y 0,9% de rechazo, con un rendimiento final del 61,4%. Estos resultados son similares a los obtenidos en los cálculos de simulación del molino que se desea construir, proporcionando una base sólida para anticipar el rendimiento y la eficiencia de las máquinas a gran escala en la producción industrial. Se adjunta un documento que se realizó tras la simulación de laboratorio.



ESCANDALLOS MOLINO

Operador	LABORATORIO
Identificación del informe	Puntal blanco
Configuración de clasificación	Largo
Fecha	17/07/2024
Origen de la muestra	21040T34001
Longitud media de los granos	5,98
Anchura media de los granos	1,7
Humedad	14
Kett	41,6

Arroz elaborado	200 gr	100%
Discriminación de los defectos		
Arroz Cáscara	199.625	100,0%
Cascarilla	46.912	23,5%
Arroz Cargo báscula molino	152.713	76,5%
Salvado	20.813	10,4%
Medianos	7.541	3,8%
Rechazo	1.720	0,9%
Arroz Blanco	122.639	61,4%
Arroz Blanco para envasar con medianos y yesosos		61,4%

Figura 78. Resumen prueba de laboratorio Arrozua 200 gramos. Elaboración propia (2024).

El análisis detallado de las características operativas, como la capacidad, el consumo de energía y la eficiencia de cada máquina, junto con la planificación del tiempo total de procesamiento, nos ha permitido diseñar una línea de producción de arroz eficiente y bien organizada. Hemos analizado los requisitos previos de cada máquina y seleccionado las mejores opciones para cada etapa del proceso. Con estas selecciones, hemos calculado el flujo, el rendimiento y la merma de masa.

Utilizando herramientas como los diagramas de Gantt y Sankey, hemos optimizado cada paso del proceso, asegurando que se cumplan los requisitos de calidad y los plazos. Una cuidadosa planificación y secuenciación de los pasos ha reducido los cuellos de botella,

haciendo la producción lo más eficiente posible. Las pruebas de laboratorio realizadas confirmaron la viabilidad y eficacia del diseño propuesto. En conjunto, estas medidas garantizan que el proceso de producción sea rentable, sostenible y capaz de producir arroz de alta calidad, reduciendo los costos operativos y el impacto ambiental.

Este análisis técnico prepara el terreno para el siguiente capítulo, donde realizaremos un análisis económico detallado para evaluar la rentabilidad y viabilidad financiera del proyecto

7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ:

PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

En el análisis económico de una línea de producción de arroz, es esencial considerar todos los gastos involucrados para evaluar la viabilidad y eficiencia del proyecto. Este capítulo ofrece un enfoque integral al desglosar los costos asociados con la implementación y operación de la línea de procesamiento de arroz.

Examinaremos los costos de la maquinaria necesaria para cada etapa del proceso, incluyendo la recolección, el secado y la molienda. Además, se evaluarán los gastos relacionados con el personal requerido para operar y mantener esta maquinaria. También se abordarán los costos de los suministros necesarios para el funcionamiento continuo de la línea y cualquier otra materia que se necesite.

Al considerar conjuntamente estos gastos, se podrá obtener una visión completa de los recursos financieros necesarios, lo que permitirá una planificación adecuada y una evaluación precisa de la viabilidad económica del proyecto.

Para la estimación precisa de los costos asociados a la maquinaria, se realizó una solicitud formal de presupuesto a la empresa Agromay⁶⁶, reconocida en el sector de equipos agrícolas. A través de una comunicación por correo electrónico, se solicitó una cotización detallada de cada uno de los equipos necesarios para las distintas etapas del proceso de producción de arroz. La información proporcionada por Agromay ha sido esencial para la elaboración de un análisis económico riguroso, garantizando que los costos reflejados sean precisos y representativos de la inversión real requerida.

⁶⁶ agromay.es

7.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RECOLECCIÓN

La fase de recolección de arroz es un componente fundamental en la cadena de producción agrícola. Al planificar esta etapa, es esencial decidir entre dos opciones: invertir en maquinaria propia o contratar el servicio a una empresa externa especializada. Ambas alternativas tienen sus ventajas y desventajas, que deben ser analizadas detenidamente. En este trabajo, se propone principalmente la contratación de una empresa externa para la recolección, permitiendo así concentrar la inversión en las fases posteriores de secado y molienda. No obstante, también se presentará una estimación del costo de adquisición y operación de la maquinaria necesaria para llevar a cabo la recolección internamente.

Adicionalmente, la decisión de recurrir a una empresa externa se fundamenta en la necesidad de un tractor y un remolque para el transporte del arroz recolectado hasta las instalaciones del secadero y molino. Esta inversión en equipamiento adicional representa un coste significativo, que podría desviar recursos financieros cruciales de las fases de secado y molienda. En consecuencia, la externalización de la recolección no solo resulta más eficiente desde el punto de vista operativo, sino que también facilita una asignación más efectiva del capital, optimizando así la rentabilidad general del proyecto al concentrar los recursos en las etapas de mayor impacto económico.

La adquisición de una cosechadora John Deere W330 representa una inversión significativa en el proceso de recolección de arroz, con un coste aproximado de 85.000 euros. Operativamente, la John Deere W330 requiere alrededor de 35 litros de diésel por cada hora de funcionamiento, lo que se traduce en un gasto de aproximadamente 52,5 euros por hora, considerando un precio medio de 1,5 euros por litro. Los altos costes asociados a la compra y operación de esta máquina, junto con los gastos adicionales en mantenimiento, han sido determinantes en la decisión de optar por la contratación de una empresa externa especializada en recolección. Esta decisión busca equilibrar el presupuesto, permitiendo una mayor inversión en otras etapas del proceso productivo, como el secado y la molienda, que ofrecen una rentabilidad superior y contribuyen a la optimización general de la cadena de producción del arroz.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Al comparar las opciones, la contratación de una empresa externa para la recolección de arroz, con un costo de 120 euros por hectárea y una capacidad diaria de 10-12 hectáreas, resulta claramente más rentable. Esto se traduce en un costo diario de aproximadamente 1.320 euros. En cambio, operar una cosechadora John Deere W330 implica un gasto diario de 420 euros solo en diésel, sin contar los altos costos iniciales de adquisición y los frecuentes gastos en reparaciones y mantenimiento.

Los gastos en reparaciones y mantenimiento podrían hacer que la opción de maquinaria propia deje de ser rentable rápidamente, ya que cualquier fallo inesperado aumentaría los costos operativos significativamente. En cambio, para las empresas especializadas en recolección, estos costos son parte de su negocio principal y están mejor equipadas para gestionarlos de manera eficiente. Esto permite que la externalización no solo sea más rentable, sino también más segura, liberando recursos y permitiendo concentrar la inversión en las fases de secado y molienda, donde se genera mayor valor agregado y se optimiza la rentabilidad general del proyecto.

7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SECADO

Para el secado se tendrá en cuenta el valor de la instalación de la torre de secado, del coste de combustible, en este caso biomasa, del coste de la electricidad y del coste de personal.

Teniendo en cuenta, que como se ha comentado anteriormente, la secadora estará en funcionamiento 24 horas al día, por tanto, el coste total se hará diario y por kilogramo de arroz.

	Coste	Coste total diario
Maquina Secadora y horno de biomasa	65.000 €	

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Biomasa (cascara de arroz)	0,09 € (aprox) kg * 76 kg * 1 hora = 6,84 € / hora	155,52 €
Electricidad	0,04 € (aprox) kW/hora * (5,1 + 6,35) kW * 1 hora = 0,46 € / hora	11,04 €
Personal	Se necesitarían 3 personas a 8 horas cada uno a una media de 80 € diarios por trabajador.	240 €
Coste total diario		406,56 €

Tabla 8. Resumen análisis económico de etapa secado. Elaboración propia (2024)

En primer lugar, se requiere una inversión inicial significativa para la adquisición de la maquinaria esencial. La máquina secadora y el horno de biomasa que tiene un costo de 65.000 €

Los costos operativos diarios se desglosan en varios componentes clave. El consumo eléctrico y la biomasa (cáscaras de arroz) suman aproximadamente 166,56 € al día. Además, la operación eficiente de la secadora y el horno de biomasa requiere la supervisión y el trabajo de tres personas, con un costo diario total de 240 € para el personal.

Sumando estos costos, el total operativo diario del proceso de secado es de 406,56 €. Teniendo en cuenta que se secan 48.267,11 kg diarios, el coste por kilogramo sin tener en cuenta la inversión inicial en la maquinaria es de 0,005423 €/kg Este análisis pone de manifiesto la importancia de considerar tanto los costos iniciales de inversión en maquinaria como los costos recurrentes diarios de operación para evaluar la viabilidad económica de la línea de producción de arroz.

7.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA MOLIENDA

En la molienda es donde es mayor el costo, debido a que es donde más maquinaria hay implicada y es el proceso más extenso, en este apartado se analizará el coste de la maquina y el coste de la energía que consume, finalmente se hará un análisis del personal necesario. Al igual que anteriormente, se analizará el coste total diario y el coste por kg de arroz.

En primer lugar, se hará un análisis del coste de la electricidad en una primera tabla y a continuación, en una segunda, un análisis del coste de cada máquina, es decir, la inversión inicial necesaria.

Se considerará que el precio del kWh es de 0,04 € aproximadamente.

Máquina	Consumo eléctrico	Gasto total diario
Limpia arroz entrada	37,5 kWh/día	1,5 €
Descascaradora	236 kWh/día	9,44 €
Mesa paddy	22 kWh/día	0,88 €
Deschinadora	117 kWh/día	4,68 €
Blanqueadora	474,5 kWh/día	18,98 €
Pulidora I	338,13 kWh/día	13,53 €
Pulidora II	338,13 kWh/día	13,53 €
Plansifter	27 kWh/día	1,08 €
Trieur	19,8 kWh/día	0,79 €
Seleccionadora de color	19,2 kWh/día	0,77 €

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Máquina	Consumo eléctrico	Gasto total diario
Envasado	64 kWh/día	2,56 €
Elevadores	16,5 kWh/día	0,66 €
Consumo total de electricidad diario		68,4 €

Tabla 9. Tabla resumen costos de electricidad de la etapa molienda. Elaboración propia (2024).

En el análisis del consumo eléctrico de las máquinas involucradas en el proceso de molienda, se observa que el gasto total diario de electricidad asciende a 68,4 €. Entre las máquinas, la blanqueadora destaca como la de mayor consumo, con 474,5 kWh/día, resultando en un gasto diario de 18,98 €. Por otro lado, la seleccionadora de color presenta el consumo más bajo, con 19,2 kWh/día y un gasto de 0,77 € diarios.

Ahora se analizará el gasto inicial necesario para comprar las máquinas y por tanto es ahora cuando se calculará el total necesario para montar el molino.

Máquina	Precio individual de cada máquina
Limpia arroz entrada	22.759,00 €
Descascaradora	34.845,00 €
Mesa paddy	17.610,75 €
Deschinadora	15.928,68 €
Blanqueadora	17.610,75 €
Pulidora I	35.807,67 €

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Máquina	Precio individual de cada máquina
Pulidora II	35.807,67 €
Plansifter	27 kWh/día
Trieur	20.229,42 €
Seleccionadora de color	112.278,06 €
Silo de almacenamiento	24.600,00 €
Envasado	217.076,01 €
Elevadores	9.139,24 € * 3 = 27.417,72 €
Panel eléctrico de la instalación	42.888,92 €
Tuberías y elementos de conexión entre máquinas y 3 detectores de metal.	26.792,03 €
Total	662.690,93 €

Tabla 10. Tabla resumen costo de las máquinas de la etapa molienda. Elaboración propia (2024).

En la estimación de costos de las máquinas necesarias para la producción de arroz, el precio total asciende a una cantidad significativa, con un costo combinado de todas las máquinas alcanzando aproximadamente 662.690,93 €. Dentro de este presupuesto, la máquina de envasado se destaca como la inversión más alta, con un precio individual de 217.076,01 €. En contraste, la deschinadora es la máquina más asequible, con un costo de 15.928,68 €. Este análisis preliminar permite identificar las áreas de mayor inversión y planificar adecuadamente el presupuesto total necesario para implementar la línea de producción de arroz.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Además, aunque no se ha detallado anteriormente, el presupuesto contempla la inclusión de tres detectores de metales, esenciales para garantizar la calidad y seguridad del producto final. También se ha considerado la instalación de un panel eléctrico necesario para el funcionamiento del molino, junto con las tuberías y elementos de conexión entre las máquinas. Estas inversiones adicionales, aunque menos destacadas, son cruciales para la eficiencia y seguridad del proceso de molienda del arroz.

7.4. AMORTIZACIÓN DE LA LÍNEA

Desde una perspectiva contable y fiscal, aunque un secadero y molino de arroz pueden tener una vida útil operativa de hasta 40 años, el periodo máximo de amortización generalmente no excede los 20 años. Las normativas fiscales, como las establecidas en España, determinan que la maquinaria agrícola suele amortizarse en un periodo de entre 10 y 15 años⁶⁷. Esta limitación se fundamenta en la consideración de la devaluación del equipo y la necesidad de actualizaciones tecnológicas. Por consiguiente, aunque el secadero y molino de arroz puedan mantener su funcionalidad durante varias décadas, para efectos contables y fiscales se recomienda un periodo de amortización que no sobrepase los 20 años. Es por ello por lo que se utilizarán esos años para amortizar tanto el secadero como el molino. Cabe mencionar que el proceso de secado será excluido de esta parte contable, ya que se llevará a cabo mediante contratación externa, y nos enfocaremos únicamente en la amortización del molino adquirido, garantizando el cumplimiento de las regulaciones vigentes y facilitando una gestión financiera adecuada de los activos comprados.

En el análisis contable del secadero y el molino de arroz, se ha optado por utilizar el método de amortización lineal debido a su simplicidad y claridad. El costo total de adquisición del secadero se establece en 65,000 euros, mientras que el costo del molino asciende a 662,690.93 euros. Considerando una vida útil estimada de 20 años para ambos activos y asumiendo un valor residual de 0 euros, calculando la amortización anual de cada etapa:

⁶⁷ Agencia Tributaria, (s.f.)

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

$$\text{Amortización anual del secadero} = \frac{65.000 \text{ €}}{20 \text{ años}} = 3.250 \text{ €/año}$$

Ecuación 73. Amortización anual del secadero

$$\text{Amortización anual del molino} = \frac{662.690,93 \text{ €}}{20 \text{ años}} = 33.134,55 \text{ €/año}$$

Ecuación 74. Amortización anual del molino

$$\text{Amortización total} = 3.250 \text{ €} + 33.134,55 \text{ €} = 36.384,55 \text{ €/año}$$

Ecuación 75. Amortización anual del molino

Estos cálculos reflejan el gasto anual en amortización que se registrará en los libros contables, asegurando una correcta asignación del costo de adquisición a lo largo de la vida útil de los activos.

7.5. CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

En este apartado, se analiza la rentabilidad del proyecto de instalación de un secadero y un molino de arroz. El proyecto involucra la adquisición de un secadero por 65,000 € y un molino por 662,690.93 €, con una capacidad diaria de procesamiento de 48,267.11 kg de arroz bruto, resultando en 30,890.95 kg de arroz empaquetado tras un ciclo de 5 días. Operando 300 días al año, el precio de venta del arroz se estima en 0.75 €/kg, y el costo de compra al agricultor es de 0.40 €/kg. Los costos operativos diarios del molino ascienden a 228.4 € y los del secadero a 406.56 €, incluyendo el costo de personal.

$$\text{Producción anual} = 30.890,95 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 9.267.285 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Ecuación 76. Producción anual

$$\text{Ingresos anuales} = 9.267.285 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * 0,75 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 6.950.463,75 \text{ €/año}$$

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Ecuación 77. Ingresos anuales

$$\text{Costo de compra de arroz} = 48.267,11 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * 0,40 \frac{\text{€}}{\text{kg}} * 300 \frac{\text{dias}}{\text{año}} = 5.792.052 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 78. Costo de compra de arroz

$$\text{Costo operativo anual del molino} = 228,4 \frac{\text{€}}{\text{dia}} * 300 \frac{\text{dias}}{\text{año}} = 68.520 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 79. Costo operativo anual del molino

$$\text{Costo operativo anual del secadero} = 406,56 \frac{\text{€}}{\text{dia}} * 300 \frac{\text{dias}}{\text{año}} = 121.968 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 80. Costo operativo anual del secadero

$$\begin{aligned} \text{Costos operativos anuales totales} &= 5.792.052 \frac{\text{€}}{\text{año}} + 68.520 \frac{\text{€}}{\text{año}} + 121.968 \frac{\text{€}}{\text{año}} \\ &= 5.982.540 \frac{\text{€}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Ecuación 81. Costos operativos anuales totales

$$\text{Amortización anual} = 36.384,55 \text{ €/año}$$

Ecuación 82. Amortización anual

Beneficio neto anual

$$\begin{aligned} &= \text{ingresos anuales} - \text{costos operativos anuales} - \text{amortización anual} \\ &= 6.950.463,75 \text{ €} - 5.982.540 \text{ €} - 36.384,55 \text{ €} = 931.539,2 \text{ €/año} \end{aligned}$$

Ecuación 83. Beneficio neto anual

Con todos estos datos se calculará el retorno sobre la inversión⁶⁸ (ROI) que es una medida de la rentabilidad de una inversión en relación con su costo.

⁶⁸ Cámara de comercio de Oviedo, (2021)

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto anual}}{\text{Inversión inicial total}} * 100 = \frac{931.539,2 \text{ €}}{727.690,93 \text{ €}} * 100 = 128\%$$

Ecuación 84. Cálculo del ROI

Un ROI elevado indica que la inversión genera una cantidad significativa de ingresos netos en comparación con su costo. Para este proyecto, la inversión inicial total es de 727,690.93€, y el beneficio neto anual es de 931,539.2€, lo que sugiere una rentabilidad positiva significativa.

En el análisis económico de una línea de producción de arroz, se han considerado minuciosamente todos los costos asociados con la implementación y operación de la cadena productiva. La información proporcionada por Agromay ha sido esencial para estimar con precisión los gastos, desde la adquisición de maquinaria hasta los costos operativos y de personal.

El estudio de la fase de recolección revela que contratar una empresa externa especializada es más rentable y eficiente que invertir en maquinaria propia. Esta opción permite enfocar recursos en las fases de secado y molienda, donde se genera mayor valor agregado y se optimiza la rentabilidad del proyecto. En la fase de secado, se destacan los costos de la máquina secadora y el horno de biomasa, así como los gastos operativos diarios en biomasa, electricidad y personal especializado. La molienda, por su parte, implica una considerable inversión en equipos y un consumo significativo de energía, siendo crucial para la calidad final del producto.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

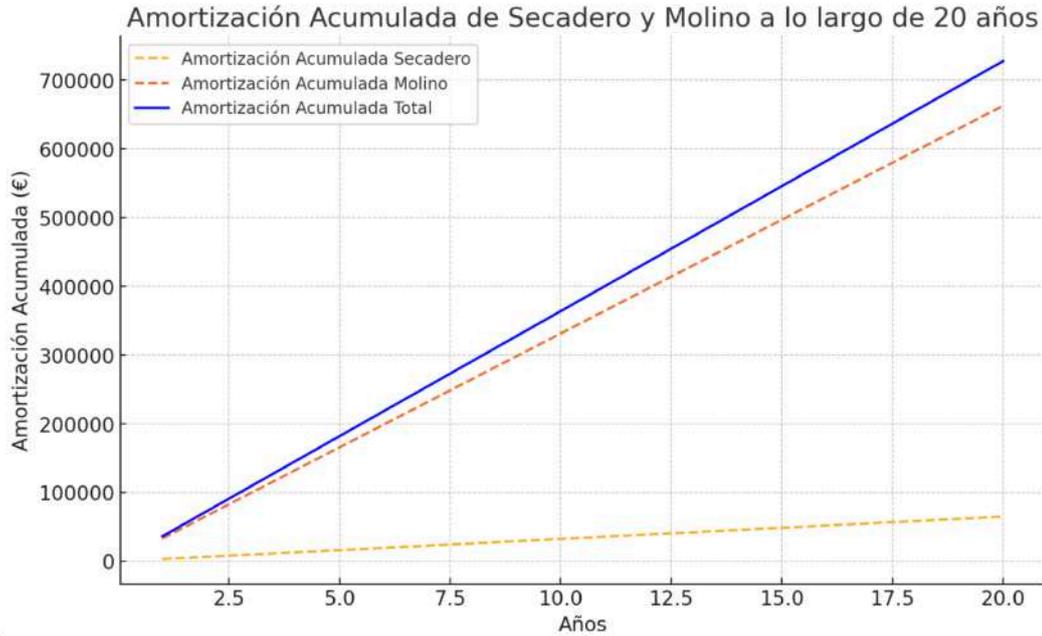


Figura 79. Amortización acumulada de secadero y molino a lo largo de los 20 años. Elaboración propia. (2024)

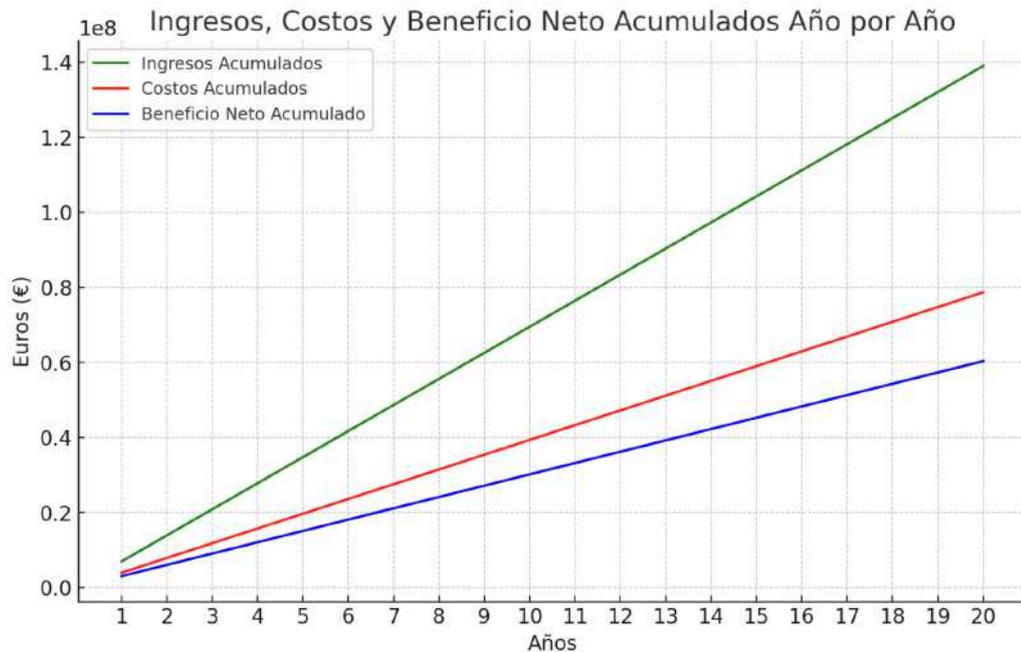


Figura 80. Ingresos, costos y beneficio neto acumulado cada año. Elaboración propia. (2024)

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ARROZ: PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

La primera gráfica representada muestra la amortización acumulada del secadero y el molino a lo largo de un periodo de 20 años. La línea azul representa la amortización acumulada total, la línea naranja punteada representa la amortización acumulada del molino y la línea amarilla punteada representa la amortización acumulada del secadero. Se observa que la amortización del molino, debido a su mayor inversión inicial, sigue una pendiente más pronunciada en comparación con la del secadero. Al final del periodo de 20 años, la amortización acumulada total alcanza aproximadamente los 700.000 euros, reflejando la suma de las amortizaciones individuales del secadero y el molino. Este análisis es crucial para evaluar la recuperación de la inversión a lo largo del tiempo y la sostenibilidad financiera del proyecto.

La segunda gráfica muestra los ingresos, costos y beneficio neto acumulados a lo largo de 20 años. La línea verde representa los ingresos acumulados, la línea roja muestra los costos acumulados y la línea azul indica el beneficio neto acumulado. A lo largo de los 20 años, se observa que los ingresos acumulados superan significativamente a los costos acumulados, resultando en un beneficio neto positivo. Al final del periodo, los ingresos acumulados alcanzan aproximadamente los 140 millones de euros, los costos acumulados están en torno a los 120 millones de euros y el beneficio neto acumulado se sitúa cerca de los 20 millones de euros. Esta gráfica destaca la viabilidad económica y la rentabilidad a largo plazo del proyecto, demostrando que los ingresos generados son suficientes para cubrir los costos operativos y obtener beneficios significativos.

En resumen, el análisis económico de cada etapa del proceso productivo del arroz ofrece una visión clara de los recursos financieros necesarios. Este enfoque integral asegura una planificación adecuada y decisiones estratégicas que maximicen la eficiencia y rentabilidad del proyecto.

8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente capítulo se comentarán tanto las conclusiones obtenidas en los distintos capítulos que han permitido la realización del Proyecto Fin de Carrera como lo aprendido en el mismo.

Para la elaboración del Proyecto Fin de Carrera, se analizaron varias metodologías, incluyendo Lean, Kaizen y TRIZ, para evaluar cómo podían aplicarse de manera efectiva al diseño y optimización de una línea de procesamiento de arroz. Lean se enfoca en la eliminación de desperdicios y la maximización del valor para el cliente, promoviendo procesos más eficientes. Kaizen se centra en la mejora continua mediante pequeñas mejoras incrementales. TRIZ es una metodología para resolver problemas complejos de manera innovadora. Estas metodologías se emplearon para identificar y abordar ineficiencias en cada etapa del proceso, desde la recolección hasta el envasado.

Uno de los pilares fundamentales de este proyecto ha sido el estudio exhaustivo del Estado de la Técnica. Se realizó un análisis y una clasificación detallada de las patentes relacionadas con el procesamiento del arroz y las diferentes máquinas que se pueden usar en cada una de las etapas que abarca este trabajo. Este riguroso análisis nos permitió identificar las tecnologías más avanzadas y las mejores prácticas en cada etapa del proceso. Este conocimiento adquirido ha sido crucial para sentar las bases sólidas sobre las cuales se ha construido todo el proyecto.

Se han calculado diversos parámetros técnicos esenciales para la optimización del proceso. Estos cálculos incluyeron el flujo de masa, la merma de masa y el rendimiento, el tiempo de ciclo, los ciclos y la capacidad diarios de procesamiento, así como la potencia, el consumo eléctrico y la eficiencia energética. El flujo de masa inicial fue de 48.267,11 kg de arroz sin procesar, de los cuales el 64% (30.890,95 kg) se convirtió en arroz final sin cáscara, sin salvado, pulido y sin impurezas, es decir, arroz directo para su envasado y venta. Cada uno de estos parámetros fue evaluado con la máxima precisión para proporcionar una base sólida

para la selección de las máquinas adecuadas y la optimización del proceso. La atención al detalle en estos cálculos nos permitió diseñar una línea de producción altamente eficiente y efectiva y con las menores pérdidas posibles, aprovechando la capacidad de cada máquina en lo máximo posible.

Además, se establecieron requisitos operativos previos y se seleccionaron las máquinas basándose en estos cálculos. Este enfoque estructurado aseguró que cada máquina seleccionada cumpliera con los estándares más exigentes de rendimiento y eficiencia. Una vez seleccionadas las máquinas, se realizaron cálculos adicionales utilizando las especificaciones técnicas de cada una para garantizar un rendimiento óptimo.

Se desarrollaron análisis exhaustivos de las potencias requeridas, el consumo eléctrico, la eficiencia energética y las horas de funcionamiento para cada máquina. Este análisis permitió determinar la demanda energética total del sistema y establecer estrategias para mejorar la eficiencia energética, reduciendo así los costos operativos y el impacto ambiental.

El rendimiento total del proceso se evaluó y visualizó mediante un diagrama de Sankey, que mostró claramente los flujos de energía y materiales a lo largo de la línea de producción. Con un rendimiento del proceso del 64%, el diagrama de Sankey representa gráficamente los porcentajes de pérdida en cada etapa, incluyendo cáscara, salvado, granos rotos y dañadas y otros residuos que se eliminan durante el proceso. Este diagrama proporcionó una visión clara de la eficiencia y las pérdidas en cada etapa del proceso, ayudando a identificar áreas clave para mejoras.

El tiempo total de procesamiento se planificó y gestionó utilizando un diagrama de Gantt. Este diagrama proporcionó una visión detallada de la secuencia y duración de cada etapa del proceso, permitiendo una planificación efectiva y la optimización de los tiempos de producción. A través del diagrama de Gantt, se identificaron claramente las dependencias entre las diferentes etapas, ajustando los tiempos y recursos de manera eficiente. A través del diagrama de Gantt, se identificaron claramente las dependencias entre las diferentes etapas, ajustando los tiempos y recursos de manera eficiente. Este enfoque fue crucial para eliminar las pérdidas de tiempo, optimizar la coordinación de actividades y asegurar una

operación continua y sin interrupciones. Además, facilitó la detección de posibles cuellos de botella y áreas de mejora en el cronograma, mejorando la eficiencia general del proceso y asegurando que los plazos se cumplan y cualquier retraso potencial se resuelva de manera simple y rápido.

Para asegurar la viabilidad práctica del proyecto, fui a hablar con el responsable del molino de la cooperativa Arrozua, donde se realizaron pruebas prácticas para verificar que todo funcionaba correctamente. Este paso fue crucial, ya que también aproveché para resolver dudas que me surgieron durante el proceso. Una vez allí en Arrozua se realizaron pruebas de laboratorio detalladas para verificar el rendimiento y la eficiencia de las máquinas seleccionadas en condiciones controladas. Dado que eran máquinas a escala, estas pruebas fueron cruciales para asegurar que funcionaran según las especificaciones técnicas y cumplieran con los estándares de calidad y eficiencia. Los resultados de estas pruebas confirmaron que se alcanzaban los rendimientos esperados y se eliminaban los porcentajes correctos de cáscara, salvado, granos rotos y otros residuos en cada etapa del proceso. Esta validación fue esencial para identificar y resolver posibles problemas antes de la implementación a gran escala, asegurando un funcionamiento óptimo y una producción continua sin interrupciones.

Con los buenos resultados que se habían obtenido hasta ese momento, se realizó un análisis económico detallado para evaluar la viabilidad financiera de la línea de producción optimizada y analizar que los resultados seguían siendo positivos. Este análisis incluyó la estimación de los costos de inversión inicial, los gastos operativos y los posibles ingresos generados por la producción. Se calcularon minuciosamente los costos de adquisición e instalación de las máquinas, el consumo energético, el mantenimiento y la mano de obra necesaria para operar la línea de producción. La inversión inicial total fue de 727.690,93 euros (662.690,93 euros para el molino y 65.000 euros para el secadero).

La empresa Agromay proporcionó un presupuesto detallado de las máquinas y respondió a muchas de mis dudas por correo electrónico, lo cual fue fundamental para afinar las estimaciones económicas y asegurar la precisión del análisis.

El análisis también proyectó los ingresos esperados basándose en la capacidad de producción y las ventas externas junto con la demanda del mercado. Se evaluó el retorno de inversión (ROI) para determinar el tiempo necesario para recuperar los costos iniciales y comenzar a generar beneficios. Este análisis económico no solo confirmó la rentabilidad del proyecto, sino que también proporcionó información valiosa para optimizar aún más los costos y maximizar la eficiencia financiera.

Numéricamente hablando, la producción anual es de 9.267.285 kg de arroz, generando ingresos anuales de 6.950.463,75 euros, a un precio de venta de 0,75 euros/kg. Los costos operativos anuales totales ascienden a 5.982.540 euros. Por tanto, los beneficios anuales después de considerar los costos operativos y la amortización anual de 36.384,55 euros, es de 931.539,2 euros. El ROI calculado es del 128%.

Gracias a este análisis, se pudo asegurar que la implementación de la línea de producción no solo sería técnica y operativamente viable, sino también económicamente sostenible y daría beneficios y se recuperaría la inversión realizada. Esta evaluación financiera minuciosa fue fundamental para tomar decisiones informadas y garantizar el éxito a largo plazo del proyecto, demostrando su potencial para generar valor y contribuir significativamente a la industria del arroz.

En conclusión, este Proyecto Fin de Carrera ha logrado desarrollar y optimizar una línea de procesamiento de arroz que es eficiente, rentable y capaz de producir un producto final de alta calidad. Y que se recupere la inversión realizada. La aplicación de metodologías como Lean, Kaizen y TRIZ, junto con un análisis detallado de los parámetros técnicos y pruebas de laboratorio exhaustivas, ha demostrado ser fundamental para alcanzar estos objetivos. La selección de máquinas, que fue un aspecto crucial y el que más tiempo requirió, se basó en un análisis exhaustivo de las especificaciones técnicas y la viabilidad operativa, asegurando que cada equipo cumpliera con los estándares de rendimiento y eficiencia necesarios. Los resultados obtenidos y los aprendizajes adquiridos proporcionan una base sólida para futuras mejoras e innovaciones en este campo, y demuestran el valor de un enfoque sistemático y basado en datos para la optimización de procesos industriales.

A lo largo de este proyecto, he adquirido un conocimiento profundo sobre el diseño y la optimización de líneas de producción industrial, especialmente en el contexto del procesamiento del arroz. Aplicar metodologías como Lean, Kaizen y TRIZ me ha permitido identificar y solucionar eficientemente las ineficiencias del proceso, implementando mejoras continuas de manera estratégica. La compleja tarea de seleccionar y validar máquinas me ha enseñado la importancia de realizar un análisis detallado y meticuloso para asegurar que cada equipo cumpla con los estándares de rendimiento y eficiencia necesarios. Además, el análisis económico realizado me ha proporcionado habilidades valiosas en la evaluación de la viabilidad financiera de proyectos de ingeniería, integrando consideraciones tanto técnicas como económicas en la toma de decisiones. Este proyecto ha subrayado la importancia de un enfoque metódico y basado en datos para la optimización de procesos industriales, preparándome para abordar futuros desafíos con una perspectiva integral y rigurosa.

Una futura línea de investigación podría centrarse en la optimización de la energía y la sostenibilidad mediante la integración de energías renovables. Esto incluiría el desarrollo de un sistema híbrido que combine paneles solares y molinos de viento para alimentar la línea de producción de arroz. La investigación se enfocaría en cómo estos sistemas pueden trabajar juntos de manera eficiente, así como en la implementación de soluciones para almacenar la energía excedente, asegurando así un suministro constante de energía incluso durante los periodos de baja producción energética.

Otra área prometedora sería la implementación y optimización de sistemas de recuperación de energía en el proceso de secado del arroz. Estos sistemas capturan el calor generado durante el secado y lo reutilizan, reduciendo el consumo total de energía. La investigación evaluaría la eficiencia de estos sistemas y su impacto en la reducción de los costos operativos y la huella de carbono de la producción. Al combinar estas tecnologías, se podría crear una línea de producción más sostenible y económicamente eficiente.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jiménez, M. B. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz: Importance of climate factors in rice crop. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28–34
- [2] Historia y curiosidades sobre el arroz. (2022, 19 mayo). Arroz SOS.
- [3] Tema: El sector del arroz en España. (2024, 12 julio). Statista.
- [4] Ayuda a la producción sostenible de arroz justificación importancia de la producción. (2022). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.
- [5] Ayuda A La Producción Sostenible De Arroz. Justificación Importancia De La Producción. (s. f.). En Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.
- [6] Ficha Sectorial OTE-Arroz. (2020). En Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España. Dirección General De Producciones Y Mercados Agrarios.
- [7] Ayuda A La Producción Sostenible De Arroz. Justificación Importancia De La Producción. (s. f.). En Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.
- [8] Presentación del “Estudio del impacto económico y social del cultivo del arroz en las Marismas del Guadalquivir como dinamizador de la economía andaluza.” (2021, 26 mayo). Fundación Caja Rural del Sur.
- [9] González, A. (2022, octubre 13). Los mayores productores de arroz del mundo - Arroz de Valareña. Arroz de Valareña; Arroz de Valareña - Cooperativa San Miguel Arcángel.
- [10] Datos de producción Campaña 2019/2020. (2019). En Cooperativas Agroalimentarias de España.
- [11] Regla Benitez, M. (2018) Todo sobre la Piricularia y las enfermedades fúngicas del arroz. (s/f). Basf.es
- [12] Datos de producción Campaña 2019/2020. (2019). En Cooperativas Agroalimentarias de España.

- [13] Ameneiro, A. S. (2024, April 7). Isla Mayor recupera la alegría tras las lluvias por las expectativas de volver a sembrar arroz. Diario de Sevilla.
- [14] Arroz en España | Observatorio de Complejidad Económica. (s. f.). Observatorio de Complejidad Económica.
- [15] Arroz en España | Observatorio de Complejidad Económica. (s. f.). Observatorio de Complejidad Económica.
- [16] Enciclopedia Britannica. Volum 19. Pàgines 348 i 349. ISBN 0852295537
- [17] Ayuda a la producción sostenible de arroz justificación importancia de la producción. (2022). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.
- [18] Naciones Unidas. (2023). El informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.
- [19] Baca-Nomberto, A., Urquizo-Cabala, M., Ramos, E., & Sotelo-Raffo, F. (2020). A Model Utilizing Green Lean in Rice Crop Supply Chain: An Investigation in Piura, Perú., 474-480.
- [20] Kiran, D. (2020). Kaizen and continuous improvement. Work Organization and Methods Engineering for Productivity.
- [21] Deshmukh, G., Patil, C., & Deshmukh, M. (2017). Manufacturing industry performance based on lean production principles. 2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE), 1-6.
- [22] Canal, P. (2023, 4 mayo). *¿Qué es el diseño centrado en el usuario?* Thinking For Innovation.
- [23] Dalia. (2024, 3 julio). El diseño centrado en el usuario. *3DALIA*.
- [24] Ruiz Romero Magdalena (2017). Estudio comparativo de Herramientas de Simulación. Tesis de Grado. Sevilla.
- [25] Alquraish, M. (2022). "Modeling and Simulation of Manufacturing Processes and Systems: Overview of Tools." *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 12(6), 9779-9786.
- [26] Edwards Process Simulation Engineer, J. (n.d.). Process simulators – risk assessment on-line optimisation. Chemcad.co.uk. Recuperado el 18 de julio de 2024.
- [27] CIP. (s.f.). Oepm.Es. Retrieved August 1, 2024. Recuperado el 29 de julio de 2024

- [28] Tang, Haibin, Wang, Fei, & Wu, Erfeng. (2021). CN214228933U - Dispositivo para cosechar arroz [Modelo de utilidad de China]. Guiyang Youle Rice Planting Professional Coop.
- [29] Pang, Renyong. (2021). CN112640652A - Cosechadora de arroz [Patente de China]. Pang Renyong.
- [30] Zhang, Jianping, & Zeng, Zhaohua. (2017). CN107278507A - Cosechadora de arroz paddy [Patente de China]. Sichuan Province Jingyan County Lianyi Machine Factory.
- [31] Liu, Aiyong, & Liu, Jinyue. (2019). CN209824443U - Cosechadora de arroz pequeña [Modelo de utilidad de China]. Liu Aiyong.
- [32] Zhang, Jiangjian. (2019). CN109769460A - Cosechadora de arroz multifuncional [Patente de China]. Fujian Guixinlong Electric Co Ltd.
- [33] Huang, Jinbiao, Huang, Yuda, & Huang, Yufeng. (2017). CN103782719A - Método para corte multicapa de cosechadora [Patente de China]. Kou Sheng Feng Co Ltd.
- [34] Zhu, Chuyang, Zhu, Dongliang, & Zhu, Ailiang. (2019). CN209002371U - Cosechadora de arroz regenerada [Modelo de utilidad de China]. Zhu Chuyang.
- [35] Zhu, Hongjian. (2019). CN109804772A - Cosechadora combinada de arroz y trigo [Patente de China]. Zhu Hongjian.
- [36] Meng, Zhaozheng, & He, Chen. (2022). CN217850241U - Cosechadora de arroz de tipo de alimentación completa [Modelo de utilidad de China]. Yitong Manchu Autonomous County Yongchun Rice Ind Co Ltd.
- [37] Fan, Xun. (2020). CN210242243U - Rice Turning and Drying Device [Modelo de Utilidad de China]. Jiangsu Daopiaoxiang Rice Ind Co Ltd.
- [38] Ren, Xianlong. (2017). CN106804701A - Rice Drying Box [Patente de Invención de China]. Hunan Jiaoshan Rice Co Ltd.
- [39] Ren, Xianlong. (2017). CN106804702A - Rice Drying Device [Patente de Invención de China]. Hunan Jiaoshan Rice Co Ltd.
- [40] Qian, Lei, & Qian, Xuelong. (2023). CN219264842U - Rice Processing and Drying Device [Modelo de Utilidad de China]. Wuwei Youwei Rice Ind Co Ltd.
- [41] Feng, Jianzhi. (2021). CN112268447A - Rice Drying Device [Patente de Invención de China]. Lanshan Henghua Rice Ind Co Ltd.

- [42] Zhang, Cong. (2017). CN205993505U - Two Rice Drying Machines That Promote Low Temperature Continuous Type [Modelo de Utilidad de China]. Kaiyuan Kailong Drying Equipment Co Ltd.
- [43] Qi, Yang. (2021). CN112797762A - Rice Drying Device [Patente de Invención de China]. Chongqing Yufeng Rice Ind Co Ltd.
- [44] Xu, Guowen. (2020). CN211451771U - Novel Rice Drying Equipment [Modelo de Utilidad de China]. Fujian Shaxian Hengxing Rice Ind Co Ltd.
- [45] Wang, Baisong, & Zhao, Tiancheng. (2023). CN220135978U - Rice Drying Machine [Modelo de Utilidad de China]. Chongyang Yongqiang Rice Ind Co Ltd.
- [46] Ren, Xianlong. (2017). CN106804703A - Rice Drying and Sterilizing Device [Patente de Invención de China]. Hunan Jiaoshan Rice Co Ltd.
- [47] Koreda, Minoru. (2022). CN114514072A - Rice Husking Device and Rice Husking Control System [Patente de Invención de China]. Joint Stock Agency Assistant Bamboos.
- [48] Sun, Yongkang, Shi, Qiuming, He, Yujing, Zhao, Wanqing, Liu, Wanjiao, & Zhu, Yingze. (2021). CN110152763B - Rice Screening and Husking Device [Patente de Invención de China]. Univ Anhui Ciencia y Tecnología.
- [49] Yu, Mindong. (2018). CN109012803A - Rice Husking Device [Patente de Invención de China]. Susong Dongquan Rice Ind Co Ltd.
- [50] Nakazawa, Yasuhiro, & Sakaue, Tomoaki. (2016). CN106076456A - Rice Husking Device [Patente de Invención de China]. Kubota KK.
- [51] Fukunaga, Daisaku, & Kamo, Yoshihiro. (2007). JP3903583B2 - Polishing Net for Rice Milling Machine [Patente de Invención de Japón]. Iseki Agricult Mach.
- [52] Oishi, Hiroaki. (2015). JP2015174050A - Rice-Polishing Machine [Patente de Invención de Japón]. Agritecno Yazaki Co Ltd.
- [53] Peng, Youlin, Tang, Guian, & Zhao, Wenwu. (2016). CN204937967U - Rice Storing Device [Modelo de Utilidad de China]. Yiyang Youlin Rice Ind Co Ltd.
- [54] Zheng, Biao. (2021). CN213415351U - Rice Conveying and Storing Device [Modelo de Utilidad de China]. Ying Shang Zhengshi Rice Co Ltd.
- [55] Chen, Feng, Liu, Qihua, Ru, Yi, Ma, Jiaqing, Xu, Jiandi, Zhu, Wenyin, Zhou, Xuebiao, Sun, Gongchen, Zhao, Qinglei, Gao, Jie, Chen, Bocong, & Wang, Yu. (2013). CN103287599A - Paddy Rice Ration Packing Machine [Patente de Invención de China]. Shandong Rice Res Inst.

- [56] He, Qiuping. (2021). CN213800427U - Automatic Rice Packing Device [Modelo de Utilidad de China]. Hunan Shengping Rice Ind Co Ltd.
- [57] Maldonado, M. C., Monterrubio, R. O., & Arzate, E. R. (2005). TRIZ, la metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática. Panorama.
- [58] Nishiyama, J.C. Zagorodnova, T. Requena, C.E. (Ed.). (2013). TEORÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS INVENTIVOS. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco.
- [59] Rodriguez de Codes Zavala. (2014). Camilla de rescate en alta montaña. Escuela Técnica Superior De Ingeniería (Icai) Ingeniero En Organización Industrial
- [60] Córdova Ames, W. (2008). TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática. Fondo Editorial. Universidad Pontificia Católica del Peru. Revista del departamento Académico de Ciencias Administrativas año 3, número 6.
- [61] Do Nascimento, F. F. (2022). Application of Lean Thinking Principles and Practices and TRIZ Methodology in the Development of New Products [Universidade do Minho (Portugal)].
- [62] Jiaming, L., J., C. M. F., Antonio, G. I., & Mar, C. A. (n.d.). VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL CULTIVO DEL ARROZ: PAJA Y CASCARILLA. Uji.Es.
- [63] Mario Paredes C., Viviana Becerra V., Gabriel Donoso Ñ., Katherine Loaiza. (2021). Capítulo 9. Calidad del grano de arroz. Inia.cl.
- [64] Antunes, J., Arrais, E. L., & Porto, B. de S. (2023). Desenvolvimento temático: contribuições metodológicas da bibliometria e cientometria para as revisões de literatura. Revista Linhas, 24(26), 228–252.
- [65] Martins, J. (2024, febrero 2). Diagrama de Gantt: qué es y cómo crear uno con ejemplos. Asana. <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics>
- [66] Agromay. (s/f). Agromay. <https://agromay.es>
- [67] Agencia Tributaria: 7.4.4.5. Amortización del inmovilizado. (s. f.)
- [68] Qué es y cómo se calcula la rentabilidad económica (ROI). (2021, abril 30). Mba-asturias.com; MBA Asturias - Master Oviedo | Cámara de Comercio de Oviedo.