

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Ingeniería Básica de una Planta de Producción de
Mermeladas de Frutas

Autor: Miguel Ángel Valero Moreno

Tutor: Manuel Campoy Naranjo

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2026



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Ingeniería Básica de una Planta de Producción de Mermeladas de Frutas

Autor:

Miguel Ángel Valero Moreno

Tutor:

Manuel Campoy Naranjo

Profesor titular

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2026

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Manuel Campoy, por su inestimable guía, su gran dedicación y el apoyo constante que me ha brindado durante toda la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

A mis padres, el pilar fundamental de mi vida. Gracias por el inmenso sacrificio y el esfuerzo realizado durante todos estos años universitarios, y por vuestro apoyo incondicional. Vuestra fe en mí y el no haber desistido nunca, ni siquiera en los momentos en los que esta carrera se hizo cuesta arriba, son el motivo principal por el que hoy he llegado hasta aquí.

A mi hermana melliza, Ana María, por ser mi confidente y mi apoyo incondicional. Gracias por haberme ayudado de forma desinteresada en cada etapa de mi vida; saber con absoluta certeza que siempre estarás a mi lado es uno de mis mayores privilegios.

A mi familia en general y, muy especialmente, a mis abuelos. A mi tía Ana, que aunque es tía abuela, siempre ha ocupado el lugar y el cariño de una verdadera abuela para mí. De manera muy señalada, a mi abuelo Pepe, esperando que este logro sirva para que por fin vea cumplido su gran sueño de tener un nieto ingeniero; y, con un recuerdo muy especial, a mi abuelo Juan, que lamentablemente ya no está con nosotros, pero del que tengo la absoluta certeza de que, allá donde esté, se siente profundamente orgulloso de verme alcanzar esta meta.

A mis amigos de Jaén, que siempre han sido mi refugio en los momentos más difíciles. Esa gran amistad que forjamos durante nuestra adolescencia ha sido clave para ayudarme a ser la persona que soy hoy. Asimismo, a mis amigos de Sevilla, incluyendo a mis compañeros de trabajo y a mi gran familia del Colegio Mayor Universitario San Juan Bosco, por haberme regalado el incalculable valor de una amistad auténtica forjada en la vida adulta.

Y, por último, a mi pareja, María. Gracias por ser mi apoyo constante en el día a día y por enseñarme lo verdaderamente hermoso que es construir un camino, proyectar una vida juntos y tener la ilusión de forjar nuestro futuro para el mañana.

Este Trabajo de Fin de Grado desarrolla la ingeniería básica de una planta de producción de mermeladas de frutas ubicada en Dos Hermanas (Sevilla), concebida para elaborar mermelada de naranja, fresa y melocotón a partir de fruta de temporada y proximidad.

La instalación se dimensiona para una capacidad anual de 210 toneladas de producto terminado, distribuidas equitativamente entre las tres variedades. El estudio aborda la definición del producto, materias primas y normativa vigente, junto con un análisis de mercado que justifica una planta de pequeña escala orientada a venta de producto en mercados de proximidad y productos diferenciados.

Técnicamente, el proceso se estructura en cuatro fases: producción de mermelada, preparación de envases, envasado y pretratamiento de aguas y residuos. Asimismo, se realizan balances de materia, cálculo de necesidades de materias primas, lotificación de la producción, predimensionamiento de equipos e instalaciones adoptando como caso de diseño una producción de tres lotes diarios. El trabajo se completa con la selección preliminar de maquinaria, el predimensionamiento de espacio en planta y una evaluación económica a 25 años vista para evaluar su viabilidad económica.

This Final Degree Project develops the basic engineering of a fruit jam production plant located in Dos Hermanas (Seville), designed to produce orange, strawberry, and peach jam from seasonal and locally sourced fruit.

The facility is sized for an annual capacity of 210 tonnes of finished product, evenly distributed among the three varieties. The study addresses the definition of the product, raw materials, and current regulations, along with a market analysis that justifies a small-scale plant aimed at selling products in local markets and offering differentiated products.

From a technical perspective, the process is structured into four stages: jam production, container preparation, packaging, and pre-treatment of water and waste. Additionally, material balances, raw material requirements calculations, production batching, and preliminary sizing of equipment and installations are carried out, adopting as a design case a production of three batches per day. The work is completed with the preliminary selection of machinery, the preliminary plant layout sizing, and an economic evaluation over a 25-year period to assess its economic feasibility.

Índice

Agradecimientos	v
Resumen	vii
Abstract.....	ix
Índice	xii
Índice de Tablas.....	xv
Índice de Figuras	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Objetivos</i>	1
1.2. <i>Descripción del producto y materias primas</i>	2
1.2.1. Fruta	2
1.2.1.1. Naranja	3
1.2.1.2. Melocotón.....	4
1.2.1.3. Fresa	5
1.2.2. Azúcar.....	6
1.2.3. Pectinas	7
1.2.4. Ácido cítrico	8
1.3. <i>Legislación Vigente</i>	8
1.3.1. Legislación específica de la mermelada.....	8
1.3.2. Legislación de aplicación general	8
1.4. <i>Análisis de mercado.</i>	9
1.5. <i>Alcance</i>	11
2. Memoria Descriptiva	12
2.1. <i>Localización</i>	12
2.2. <i>Descripción del proceso</i>	13
2.2.1. Fase I: Producción de mermelada.....	15
2.2.1.1. Aprovisionamiento.....	15
2.2.1.2. Acondicionamiento de materias primas.....	15
2.2.1.3. Medición de Ingredientes.....	16
2.2.1.4. Mezcla de ingredientes.....	16
2.2.1.5. Cocción.....	16
2.2.2. Fase II: Preparación de envases.....	17
2.2.2.1. Lavado de tarros	17
2.2.2.2. Secado de tarros.....	17
2.2.3. Fase III: Empaquetado.....	18
2.2.3.1. Llenado y cerrado de tarros.....	18
2.2.3.2. Enfriamiento posterior al envasado.....	18
2.2.3.3. Secado de tarros	19
2.2.3.4. Etiquetado.....	19
2.2.3.5. Empaquetado y paletizado	19
2.2.4. Fase IV: Tratamiento de residuos y aguas residuales	20

2.2.4.1.	Residuos Sólidos	20
2.2.4.2.	Aguas residuales	20
2.2.4.3.	Esquematización de la fase IV.....	22
2.3.	<i>Cálculo de necesidades de materia prima y materiales.....</i>	24
2.3.1.	Metodología de Cálculo de fruta para todos los sabores de mermelada	24
2.3.1.1.	Criterios para el cálculo	24
2.3.1.2.	Definición de variables	24
2.3.1.3.	Desarrollo del cálculo	25
2.3.2.	Metodología de Cálculo de azúcar para todos los sabores de mermelada	25
2.3.3.	Mermelada de Naranja	26
2.3.3.1.	Naranja	26
2.3.3.2.	Azúcar	27
2.3.3.3.	Pectina	27
2.3.3.4.	Ácido cítrico.....	27
2.3.3.5.	Resumen.....	28
2.3.4.	Mermelada de Fresa	28
2.3.4.1.	Fresa.....	28
2.3.4.2.	Azúcar	28
2.3.4.3.	Pectina	29
2.3.4.4.	Ácido cítrico.....	29
2.3.4.5.	Resumen.....	29
2.3.5.	Mermelada de melocotón	29
2.3.5.1.	Melocotón.....	29
2.3.5.2.	Azúcar	30
2.3.5.3.	Pectina	30
2.3.5.4.	Ácido cítrico.....	30
2.3.5.5.	Resumen.....	30
2.3.6.	Resumen total de cantidades	31
2.3.7.	Tarros de cristal.....	31
2.3.8.	Etiquetas.....	32
2.3.9.	Cajas.....	33
2.4.	<i>Cálculo de lotificación y predimensionado de la instalación para las distintas variedades de mermelada de frutas y del tratamiento de aguas.</i>	33
2.4.1.	Definición de los lotes cálculo de ritmos de diseño	33
2.4.1.1.	Selección del tamaño del lote.....	34
2.4.1.2.	Análisis de necesidades según unidad de tiempo	34
2.4.2.	Cálculo de la lotificación por variedad de mermelada.....	34
2.4.3.	Balance de materia por lote en la Fase I	35
2.4.4.	Predimensionamiento de maquinaria por lotes y verificación de capacidad.	37
2.4.4.1.	Predimensionamiento de equipos de la fase I	38
2.4.4.2.	Predimensionamiento de equipos de la fase II	39
2.4.4.3.	Predimensionamiento de equipos de la fase III	40
2.4.4.4.	Simulación de operaciones durante un día de producción.	41
2.4.5.	Balance de materia de residuos y aguas residuales.....	42
2.4.5.1.	Residuos Orgánicos.....	42
2.4.5.2.	Predimensionamiento del caudal de aguas residuales a tratar	43
2.5.	<i>Elección de la instalación, maquinaria y materiales.</i>	45
2.5.1.	Elección de maquinaria	45
2.5.1.1.	Recepción y almacenamiento de materias primas	45
2.5.1.2.	Lavado y selección de fruta	45
2.5.1.3.	Preparación de fruta: Línea específica de naranja	45
2.5.1.4.	Preparación de la fruta: Línea específica para melocotón y fresa	45
2.5.1.5.	Dosificación de Ingredientes.....	46
2.5.1.6.	Mezcla y cocción	46
2.5.1.7.	Llenado	46

2.5.1.8.	Cerrado de tarros	46
2.5.1.9.	Lavado o acondicionamiento de envases.....	46
2.5.1.10.	Enfriamiento y Secado exterior	46
2.5.1.11.	Etiquetado.....	47
2.5.1.12.	Empaquetado y paletizado	47
2.5.1.13.	Resumen de maquinaria elegida.....	47
2.5.2.	Predimensionamiento de espacio en planta.....	48
2.6.	<i>Lay-out de planta.</i>	51
2.7.	<i>Predimensionamiento de necesidades de personal.</i>	52
3.	Viabilidad económica.....	54
3.1.	<i>Inversión inicial.</i>	54
3.2.	<i>Gastos anuales en personal.</i>	55
3.3	<i>Gastos anuales en materia prima y material para envasado.</i>	56
3.4.	<i>Vida útil de proyecto, amortización y parámetros financieros.</i>	57
3.4.1.	Estructura de financiación del Proyecto	57
3.4.2.	Coste del capital y tasa de descuento	58
3.5.	<i>Análisis de precio de venta.</i>	59
3.5.1.	Precio fabricante frente precio de venta al público	59
3.5.2.	Cálculo del precio mínimo viable.....	59
3.5.3.	Referencias de mercado.....	60
3.5.4.	Precio adoptado y justificación	60
3.6.	<i>Proyección de flujos de caja a lo largo de la vida útil del proyecto.</i>	61
3.6.1.	Curva de arranque comercial.....	61
3.6.2.	Estructura de la proyección anual	61
3.6.3.	Resultados de la proyección	62
3.7.	<i>Criterios de evaluación.</i>	65
3.7.1.	Valor Actual Neto	65
3.7.2.	Tasa Interna de Rentabilidad	65
3.7.3.	Período de Recuperación Descontado.....	66
3.7.4.	Índice de Rentabilidad	66
3.7.5.	Análisis de sensibilidad al precio de venta	67
3.7.6.	Conclusiones del análisis económico.	68
4.	Conclusiones	69
5.	Anexo A. Especificaciones de maquinaria	70
6.	Anexo B. Análisis de tiempos de operación	83
6.1.	<i>Declaración sobre el uso de herramientas de Inteligencia Artificial.</i>	83
6.2.	<i>Estructura del modelo en tres fases.</i>	83
6.3.	<i>Datos de entrada y justificación de los tiempos.</i>	83
6.4.	<i>Métricas de evaluación y secuenciación.</i>	84
6.5.	<i>Reconstrucción del Schedule para el diagrama de Gantt.</i>	84
6.6.	<i>Código Python.</i>	84
7.	Anexo C. Viabilidad económica	91
7.1.	<i>Declaración sobre el uso de herramientas de Inteligencia Artificial.</i>	91
7.2.	<i>Objetivo y estructura del script.</i>	91
7.3.	<i>Justificación de las decisiones de modelado.</i>	91
7.4.	<i>Interpretación del contenido de la salida</i>	92
7.5.	<i>Código Python.</i>	92
	Bibliografía	111

Índice de Tablas

Tabla 1.- Composición nutricional aproximada de la naranja dulce (<i>Citrus sinensis</i>) por 100 g de producto fresco según la Fundación Española de la Nutrición (FEN).	4
Tabla 2.- Composición nutricional aproximada del melocotón (<i>Prunus pérsica</i>) por 100 g de producto fresco según la Fundación Española de la Nutrición (FEN).	5
Tabla 3.- Composición nutricional aproximada de la fresa (<i>Fragaria</i>) por 100 g de producto fresco según la Fundación Española de la Nutrición (FEN).	6
Tabla 4.- Indicadores clave del mercado nacional de mermeladas referenciados según los estudios nombrados en el apartado.	10
Tabla 5.- Resumen de corrientes de residuos y gestión propuesta	23
Tabla 6.- Valores para el cálculo de materia prima necesaria para la variedad de “Mermelada de Naranja”.	26
Tabla 7.- Resumen de cantidades de materia prima (anuales) para la producción de 70 toneladas de mermelada de naranja.	28
Tabla 8.- Valores para el cálculo de materia prima necesaria para la variedad de “Mermelada de Fresa”.	28
Tabla 9.- Resumen de cantidades de materia prima para la producción de 70 toneladas de mermelada de fresa.	29
Tabla 10.- Valores para el cálculo de materia prima necesaria para la variedad de “Mermelada de Melocotón”	30
Tabla 11.- Resumen de cantidades de materia prima para la producción de 70 toneladas de mermelada de melocotón.	31
Tabla 12.- Resumen de cantidad de materia prima necesarias para la producción.	31
Tabla 13.- Equivalencias operativas del lote de fabricación	34
Tabla 14.- Lotificación diaria ideal por variedad	35
Tabla 15.- Cantidad a producir en los días que se produzcan tres lotes.	35
Tabla 16.- Cantidades de Balance de Materia de la fase I	36
Tabla 17.- Predimensionamiento de la maquinaria necesaria en la fase I	39
Tabla 18.- Predimensionamiento de maquinaria en la fase II.	39
Tabla 19.- Predimensionamiento de maquinaria en fase III	40
Tabla 20.- Tabla de cantidades de residuos Orgánicos a tratar	42
Tabla 21.- Predimensionamiento del Caudal de aguas residuales a tratar según la variedad de mermelada producida.	44
Tabla 22.- Resumen de maquinaria escogida.	47
Tabla 23.- Criterios adoptados para el predimensionamiento de espacio en la planta.	49
Tabla 24.- Predimensionamiento de espacio por áreas funcionales.	50
Tabla 25.- Resumen de partidas de Inversión Inicial para análisis técnico – económico.	55

Tabla 26.- Personal y salarios	56
Tabla 27.- Desglose de gastos unitarios en materia prima y materiales de envasado	57
Tabla 28.- Umbrales de precio fabricante medio para viabilidad del proyecto	59
Tabla 29.- Segmentación de precios según el segmento del mercado [74].	60
Tabla 30.- Precios adoptados por variedades de mermelada.	60
Tabla 31.- Esquema contable anual.	62
Tabla 32.- Flujos de caja anuales	63
Tabla 33.- Variaciones de los criterios económicos en función del precio.	67

Índice de Figuras

Figura 1.- Calendario aproximado de recolección de las frutas seleccionadas.	3
Figura 2.- Calendario real de la producción de la planta según el tipo de mermelada.	3
Figura 3.- Relación entre cantidad de azúcar en la mezcla, riesgo de cristalización y vida útil de la mezcla final.	7
Figura 4.- Porcentaje de producción de mermeladas en España en función de las diferentes comunidades autónomas.	9
Figura 5.- Relación porcentual de las tendencias de consumo de la sociedad respecto a los tipos de mermeladas.	10
Figura 6.- Ubicación del Polígono Industrial La Isla	13
Figura 7.- Visión satelital del Polígono Industrial La Isla	13
Figura 8.- Proceso productivo de la planta esquematizado.	14
Figura 9.- Esquemmatización de la fase de tratamiento de residuos y aguas residuales.	22
Figura 10.- Etiqueta con información nutricional del producto.	32
Figura 11.- Etiqueta para darle valor al producto.	33
Figura 12.- Cantidades de Balance de Materia de la fase I	36
Figura 13.- Balance de materia por lote de mermelada de fresa durante la fase I	37
Figura 14.- Balance de materia por lote de mermelada de fresa durante la fase I	37
Figura 15.- Simulación de la producción con los tiempos ideales para 3 lotes diarios.	41
Figura 16.- Simulación de la producción con los tiempos ideales para 5 lotes diarios	42
Figura 17.- Caudal de aguas residuales a tratar para el caso de producción de “Mermelada de naranja”.	44
Figura 18.- Esquemmatización del lay-out de la planta de producción por estaciones productivas	52
Figura 19.- Ingresos vs Costes operativo	64
Figura 20.- Beneficio neto por año.	65
Figura 21.- FCLA acumulado - Payback	66
Figura 22.- Sensibilidad frente al precio de venta.	68

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realizará la ingeniería básica de una planta de producción de mermeladas de frutas, ubicada en la provincia de Sevilla. La planta se ha concebido para la elaboración de mermeladas de naranja, fresa y melocotón, utilizando frutas de temporada procedentes mayoritariamente del entorno regional.

La instalación se ha dimensionado para soportar una producción anual de 210 toneladas de producto terminado, distribuidas equitativamente entre las tres variedades seleccionadas, lo que permite analizar un proceso industrial flexible y adaptable a la disponibilidad estacional de materia prima.

Conviene aclarar las diferencias entre los términos mermelada y confitura, que en el uso común suelen emplearse indistintamente, pero que presentan diferencias desde el punto de vista normativo y composicional. De acuerdo con la legislación vigente, la cual se detallará en apartados posteriores, la mermelada se obtiene a partir de la cocción de la pulpa o puré de frutas con azúcares, mientras que la confitura se elabora principalmente a partir de fruta entera o troceada, conservando en mayor medida su composición original. Asimismo, la confitura suele contener mayor contenido en fruta y una textura más densa que la mermelada, aspectos que condicionan su proceso de elaboración industrial. En el presente trabajo, se abordará exclusivamente el diseño de una planta destinada a la producción de mermeladas, conforme a la definición y requisitos establecidos en el Real Decreto 863/2003 [1].

En este primer capítulo desglosan los aspectos necesarios para abordar el proyecto, que servirán de base para el desarrollo posterior de la memoria descriptiva y justificativa de la ingeniería básica de la planta.

1.1. Objetivos

El objetivo de este TFG es la realización de la ingeniería básica de una planta de producción de mermeladas de frutas, concebida para operar con distintas materias primas en función de la estacionalidad ubicada en la provincia de Sevilla.

Para ello, se establecen los requisitos necesarios para la implementación de una planta de producción de mermeladas capaz de producir distintos tipos de producto en una misma línea de producción, adaptándose a la fruta de temporada disponible en cada época del año en la región de Andalucía. En este proyecto se han seleccionado tres variedades distintas: naranja, melocotón y fresa, como materias primas principales.

A lo largo del trabajo se describirán las distintas etapas del proceso productivo, desde la recepción y acondicionamiento de la materia prima hasta la producción y el envasado del producto final, describiendo las operaciones unitarias implicadas en cada fase.

Además, se realizará un análisis normativo y técnico, en el cual, se tendrán en cuenta las legislaciones vigentes aplicables a la producción de mermeladas, entre las que destacan:

- Legislación específica que regula la mermelada y la mermelada extra, recogida en el Real Decreto 863/2003 y el Real Decreto 670/1990 [1,2].
- El uso de aditivos permitidos como la pectina y el ácido cítrico (E-330) de acuerdo con el Reglamento (CE) 1333/2008 [3].
- Los requisitos de etiquetado e información alimentaria al consumidor definidos por el Reglamento (UE) 1169/2011 [4].
- El Código Alimentario Español (1967), que establece criterios generales sobre instalaciones, almacenamiento y envasado [5].
- El marco de higiene y seguridad alimentaria regulado por el Reglamento (CE) 853/2004, que documenta los principios de autocontrol y APPCC (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control)

en la industria agroalimentaria [6].

Por último, se aplicarán distintos métodos de evaluación para determinar la viabilidad y rentabilidad económica del proyecto.

1.2. Descripción del producto y materias primas

La mermelada constituye una de las formas más utilizadas para la conservación de frutas. Es el producto final obtenido a partir de la transformación del fruto en pulpa mediante la acción del calor, a la cual se añaden ingredientes como sacarosa, ácidos orgánicos y, en el caso de la producción industrial, pectina comercial, además de otros aditivos autorizados en función del producto final [1,3].

Durante el proceso de elaboración, la mezcla se somete a una etapa de cocción en la que se alcanzan temperaturas del orden de 104-105°C, lo que permite la evaporación parcial del agua y la concentración de sólidos solubles hasta valores característicos de la mermelada, en torno a 65 °Brix. Los grados Brix (°Brix) constituyen una unidad de medida ampliamente utilizada en la industria alimentaria que cuantifica la concentración de sólidos solubles en una disolución, expresado como un porcentaje en masa. En el caso de las mermeladas, el °Brix está directamente relacionado con el contenido de azúcares y la estabilidad del producto. Estas condiciones, junto con la presencia de la pectina añadida y el ajuste del pH mediante ácidos orgánicos, favorecen la formación de la estructura gelificada que, tras el enfriamiento, confiere al producto su consistencia y textura características [3].

A lo largo de esta sección se presenta una descripción del producto final y de las distintas materias primas necesarias para su fabricación a gran escala, atendiendo a la normativa vigente que regula su uso en el sector agroalimentario [3].

1.2.1. Fruta

Las frutas constituyen el componente principal en la elaboración de mermeladas, y normalmente se emplean en una proporción de 1:1 en peso con el azúcar. Por lo general, se utilizan frutas maduras, ya que presentan una mayor concentración de sabores y aromas, además de aportar el jugo necesario para asegurar una adecuada fluidez de la mezcla y favorecen una correcta gelificación al combinarse con pectina, azúcar y ácido cítrico. Tal como se estableció en los objetivos del proyecto, la planta producirá distintas variedades de mermelada en función de la fruta de temporada disponible en la región, lo que permitirá mantener la actividad productiva a lo largo del año utilizando producto fresco y de proximidad [1,3].

Las frutas seleccionadas como materias primas principales han sido: naranja, melocotón y fresa, atendiendo a los siguientes criterios.

- Disponibilidad y estacionalidad: son cultivos ampliamente implantados en Andalucía con campañas de recolección complementarias que permiten una planificación escalonada de producción y aseguran que la planta pueda mantenerse activa a lo largo del año [7].
- Mercado consolidado: al ser sabores tradicionales y muy demandados en el mercado nacional e internacional favorecerá el proceso de venta.
- Impacto regional: la elección de estas frutas apoya el sector agrícola regional, fomentando la economía andaluza y reduciendo costes logísticos asociados al transporte de materias primas.

Desde el punto de vista tecnológico, estas frutas presentan composiciones diferentes en cuanto a su contenido natural de pectina, siendo la naranja la más rica en este componente. Esta diferencia no constituye un criterio de selección, sino una condición de contorno del proceso, que se aborda mediante el ajuste de la formulación y la adición de pectina comercial en aquellas mermeladas que lo requieran, tal como se desarrollará en apartados posteriores [3].

A continuación, se muestra el calendario de recolección de cada una de estas frutas, mostrando lo expuesto anteriormente en el factor “disponibilidad y estacionalidad”, junto con el calendario real de producción establecido durante el año en la planta según el sabor de la mermelada.

En la Figura 1 se muestra el calendario aproximado de recolección de las frutas seleccionadas, elaborado a partir

de la información publicada por organismos oficiales del sector agroalimentario, en particular el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA), que recogen los periodos habituales de producción y campañas agrícolas en España y Andalucía [7].

En la Figura 2 se representa el calendario real de producción previsto en la planta a lo largo del año, definido a partir del calendario de recolección y de la planificación productiva adoptada en este proyecto, priorizando el uso de fruta fresca de temporada para cada tipo de mermelada elaborada.

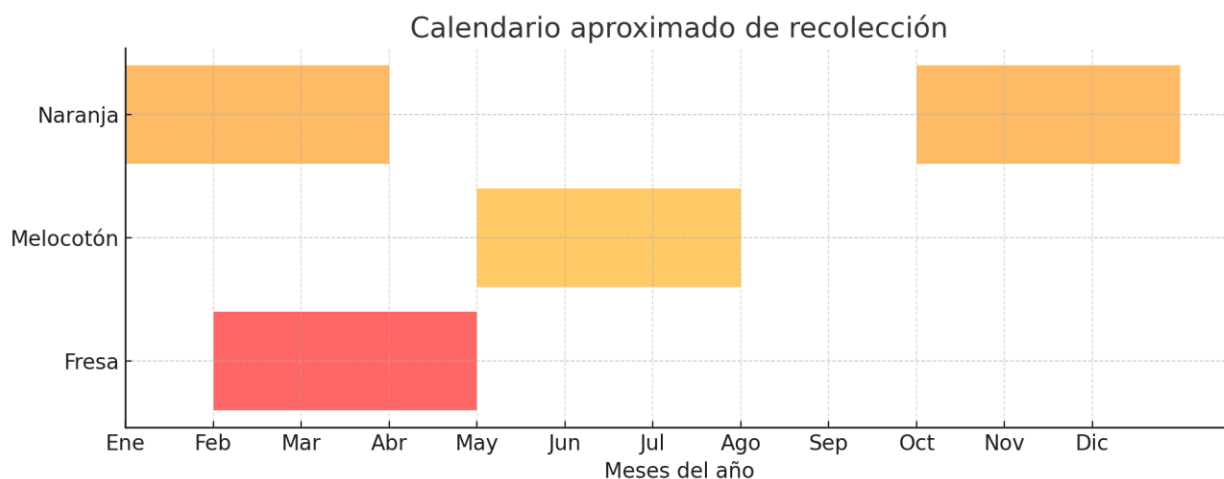


Figura 1.- Calendario aproximado de recolección de las frutas seleccionadas.

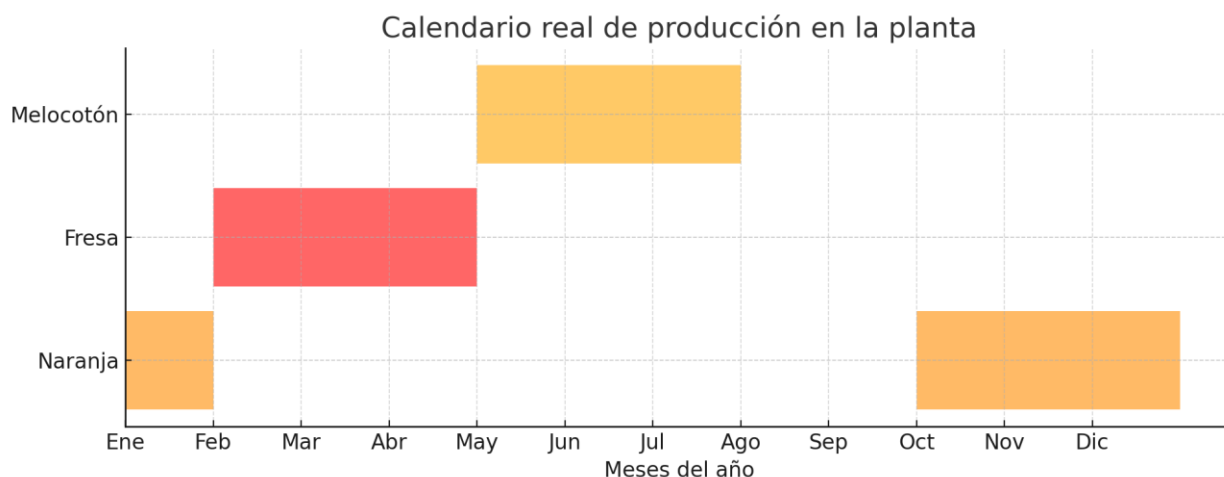


Figura 2.- Calendario real de la producción de la planta según el tipo de mermelada.

1.2.1.1. Naranja

Durante el mes de enero y en el período comprendido entre octubre y diciembre, la planta producirá mermelada de naranja, ya que la campaña de cítricos en Andalucía se extiende habitualmente desde noviembre hasta mayo, con una nueva disponibilidad al inicio del otoño. Esta información coincide con los calendarios de producción del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, que sitúan a Andalucía como una de las principales regiones productoras de cítricos en España [7]. La elevada producción de naranjas en provincias cercanas como Sevilla, Córdoba y Huelva permite asegurar un suministro constante de materia prima a precios competitivos

durante el inicio y el cierre del calendario anual de producción de esta variedad de mermelada.

La naranja dulce (*Citrus sinensis*) es un fruto cítrico clasificado como hespérida. Se caracteriza por tener una pulpa formada por pequeños sacos vesiculares llenos de jugo. Según la información de investigación agraria como el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA), la recolección de la naranja en los meses más fríos del año asegura que llegue a la planta con un nivel de madurez adecuado y con un buen nivel entre azúcares y ácidos orgánicos.

Desde el punto de vista nutricional, la naranja presenta un bajo contenido calórico y un aporte significativo de vitamina C y pectina. De acuerdo con los datos recogidos en la Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA), la presencia de pectina convierte a la naranja en una materia prima muy interesante para la fabricación de mermelada, ya que contribuye a la gelificación de la mezcla en combinación con los ácidos orgánicos y el azúcar [8].

En la Tabla 1, se recogen los principales componentes nutricionales de la naranja dulce, que explican las características descritas anteriormente.

Tabla 1.- Composición nutricional aproximada de la naranja dulce (*Citrus sinensis*) por 100 g de producto fresco según la Fundación Española de la Nutrición (FEN).

Componente	Cantidad (por 100 gramos)
Energía (kcal)	47
Agua (g)	87
Proteínas (g)	0,9
Hidratos de carbono (g)	11,8
Azúcares (g)	9,4
Fibra (g)	2,4
Grasas (g)	0,1
Vitamina C (mg)	50
Folatos (µg)	30
Potasio (mg)	200

1.2.1.2. Melocotón

Durante los meses de mayo a agosto, la planta elaborará mermelada de melocotón, coincidiendo con el calendario aproximado de recolección de este fruto en Andalucía, que se extiende de mayo a septiembre, con un pico de producción en los meses de junio y julio. Esta planificación es coherente con la información publicada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, que sitúa a Andalucía como una de las principales regiones productoras de fruta de hueso en España [7]. De este modo, se asegura la continuidad en la actividad de la planta tras la campaña de la fresa y se consigue un abastecimiento constante y a precio competitivo.

El melocotón (*Prunus pérsica*) es una drupa típica, caracterizada por una pulpa carnosa y jugosa que rodea un hueso central. Presenta tonalidades amarillentas y rojizas, así como un sabor dulce característico, que lo convierte en una materia prima adecuada para la elaboración de mermeladas destinadas al consumo general. Estas características están ampliamente descritas en la bibliografía técnica agronómica y en las publicaciones del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA) [9].

Desde el punto de vista nutricional, el melocotón destaca por su alto contenido en agua (cerca del 89%), la presencia de azúcares naturales, vitaminas A y C, y minerales como el potasio. Sin embargo, presenta un contenido reducido en pectina, lo que hace necesario añadir pectina comercial durante el proceso de elaboración para garantizar los estándares de la industria. Esta información se corresponde con los datos nutricionales recogidos por la Fundación Española de la Nutrición [10].

En la Tabla 2 se recogen los principales componentes nutricionales del melocotón, que respaldan las características descritas anteriormente.

Tabla 2.- Composición nutricional aproximada del melocotón (*Prunus pérsica*) por 100 g de producto fresco según la Fundación Española de la Nutrición (FEN).

Componente	Cantidad (por 100 gramos)
Energía (kcal)	39
Agua (g)	89
Proteínas (g)	0,9
Hidratos de carbono (g)	9,5
Azúcares (g)	8,4
Fibra (g)	1,5
Grasas (g)	0,1
Vitamina C (mg)	16
Folatos (µg)	7
Potasio (mg)	190

1.2.1.3. Fresa

Durante los meses comprendidos entre febrero y abril, la planta elaborará mermelada de fresa, coincidiendo con el período habitual de recolección de este fruto en Andalucía. La provincia de Huelva concentra más del 90% de la producción nacional de fresa, según los datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, lo que favorece un suministro abundante, estable y de proximidad durante la campaña principal [7]. En caso de ser necesario ampliar el período de producción, se podría recurrir a fresas cultivadas en invernaderos de la provincia de Almería, donde existe producción prácticamente durante todo el año, permitiendo una mayor flexibilidad operativa en la planta.

La fresa (*Fragaria*) es un fruto típico agregado, que presenta una forma generalmente cónica o redondeada y tamaños variables, habitualmente comprendidos entre 15 y 22 mm de diámetro, en función del grado de

madurez. Su color rojo característico se debe a la presencia de antocianinas, compuestos con capacidad antioxidante que, junto con su elevado contenido en vitamina C, le confieren un notable valor nutricional. Estas características morfológicas y composicionales están ampliamente descritas en la bibliografía técnica y en las publicaciones del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA) [9].

Desde el punto de vista nutricional, la fresa presenta un contenido reducido en pectina, lo que dificulta la gelificación natural de la mezcla. Por este motivo, y de forma análoga a lo descrito para el melocotón, resulta necesario el empleo de pectina comercial durante el proceso de elaboración industrial de la mermelada de fresa con el fin de garantizar una textura adecuada y cumplir con los estándares de calidad exigidos en la industria agroalimentaria. Esta consideración se apoya en los datos nutricionales y composicionales recogidos por la Fundación Española de la Nutrición [11].

En la Tabla 3 se recogen los principales componentes nutricionales de la fresa, que respaldan las características descritas anteriormente.

Tabla 3.- Composición nutricional aproximada de la fresa (*Fragaria*) por 100 g de producto fresco según la Fundación Española de la Nutrición (FEN).

Componente	Cantidad (por 100 gramos)
Energía (kcal)	32
Agua (g)	91
Proteínas (g)	0,8
Hidratos de carbono (g)	7,7
Azúcares (g)	4,9
Fibra (g)	2
Grasas (g)	0,3
Vitamina C (mg)	58
Folatos (µg)	24
Potasio (mg)	153

1.2.2. Azúcar

El azúcar es, junto con la fruta, uno de los ingredientes principales en la elaboración de mermeladas y cumple con una doble función: actúa como conservante natural y contribuye de manera significativa a la gelificación y la textura del producto final. Al aumentar la concentración de sólidos solubles, el azúcar reduce la actividad del agua, lo que limita el desarrollo microbiano y hace más duradera la vida útil de la mermelada. Este mecanismo de conservación está ampliamente descrito en la bibliografía de tecnología de alimentos y recogido en la normativa específica aplicable a este tipo de productos [1,2].

La proporción de azúcar en las mermeladas depende de varios factores, entre los que destacan los requisitos de conservación y estabilidad establecidos en la normativa y regulación vigente. De forma general, se emplea una proporción en peso de azúcar/fruta de 1:1. Cuando el azúcar se utiliza en torno al 60% en peso de la mezcla total, se consigue una conservación eficaz sin necesidad de someter al producto a procesos adicionales de

esterilización, siempre que se respeten las condiciones higiénico-sanitarias del proceso [1,6].

Sin embargo, cuando la proporción de azúcar se acerca al 90 % puede aparecer la cristalización de la sacarosa, fenómeno que afecta negativamente a la textura y a la calidad final del producto. Para poder subsanar este problema en la industria se recurre al empleo de glucosa comercial, que mejora la fluidez y la textura reduciendo el riesgo de cristalización.

En la Figura 3 se muestra una comparación en la que se puede ver la relación entre la cantidad de azúcar en la mezcla, el riesgo de cristalización y la vida útil de la mermelada final.

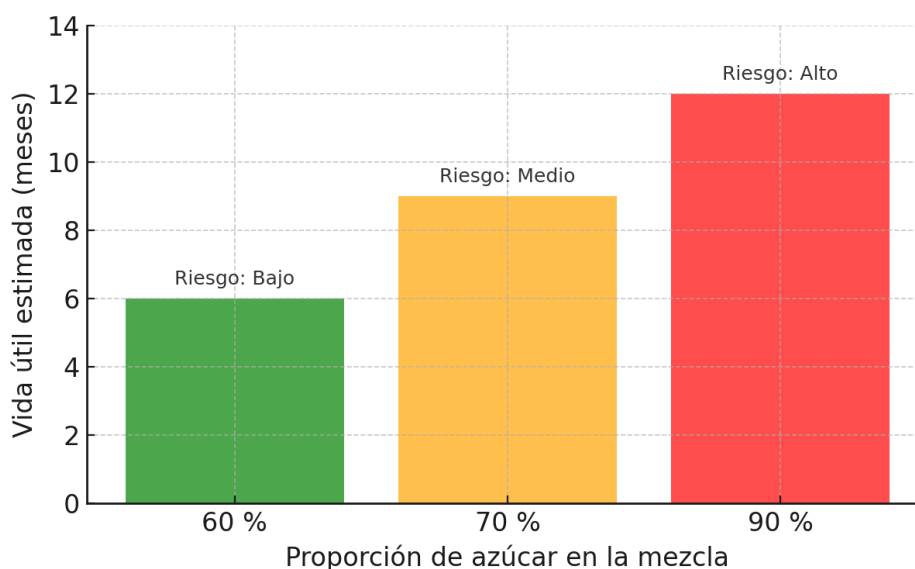


Figura 3.- Relación entre cantidad de azúcar en la mezcla, riesgo de cristalización y vida útil de la mezcla final.

En este proyecto se asume una relación en peso azúcar/fruta de 1:1, coherente con la normativa vigente establecida en el Real Decreto 863/2003, que regula la elaboración de mermeladas y mermeladas extra [1]. De esta forma, no es necesario recurrir al uso de glucosa, manteniendo un producto de calidad sin aditivos adicionales no estrictamente necesarios y garantizando una buena conservación.

1.2.3. Pectinas

Las pectinas son un grupo de polisacáridos de origen vegetal, presentes en la pared celular de muchas frutas, que tienen un papel fundamental en la elaboración de mermeladas de frutas, ya que son un elemento indispensable para la formación del gel y para obtener la textura característica del producto final. Se encuentran de forma natural en semillas, pulpa y piel, aunque su concentración es muy variada en función de las familias y especies: frutas cítricas como la naranja o el limón y las manzanas tienen una concentración alta en pectinas, mientras que otras como el melocotón o las fresas, objeto de estudio en este proyecto, tienen una concentración mucho menor [8,10,11].

La industria alimentaria emplea distintas técnicas para compensar estas variaciones de la concentración de pectina y poder cumplir con la normativa. A continuación, se detallarán las principales:

- Añadir a la mezcla frutas naturalmente ricas en pectinas.
- Incorporar jugos obtenidos de la cocción de frutas con alto contenido en pectina.
- Agregar pectinas comerciales (Aditivo E-440), autorizado por el Reglamento (CE) 1333/2008 sobre aditivos alimentarios [3].

En el caso de la producción de mermelada de fresa y melocotón asumiremos la última opción con el fin de asegurar tanto la gelificación como las mejores condiciones del producto lo que tendrá implicaciones en la

producción de estas mermeladas.

1.2.4. Ácido cítrico

El ácido cítrico (E-330) es un ácido orgánico débil que se encuentra de forma natural en frutas cítricas como el limón o la naranja. La industria alimentaria puede producirlo artificialmente y es ampliamente utilizado como como acidulante y regulador del pH en numerosos productos alimentarios [3,5].

Desempeña un papel fundamental en la fabricación de mermeladas ya que permite ajustar el pH de la mezcla en un rango óptimo, normalmente comprendido entre 3,5 y 4, necesario para la correcta gelificación de la pectina. Asimismo, la reducción del pH contribuye a mejorar la estabilidad microbiológica del producto final, limitando el desarrollo microbiano y aumentando su vida útil [3,5].

Su uso está regulado por la normativa agroalimentaria en el Reglamento (CE) 1333/2008 sobre aditivos alimentarios, donde figura como acidulante autorizado, y también está recogido en el Código Alimentario Español (1967) para su aplicación en productos de la industria agroalimentaria [3,5].

En este proyecto, se emplearán cantidades controladas de ácido cítrico en el proceso productivo para facilitar el proceso de gelificación y contribuir a la conservación en las mermeladas elaboradas a partir de frutas con menor acidez natural como pueden ser el melocotón y la fresa.

1.3. Legislación Vigente

En este apartado se presenta una síntesis de la normativa vigente aplicable a la producción de mermeladas, con el fin de garantizar que este proyecto cumpla con la legislación actual en la producción, seguridad y comercialización de productos agroalimentarios.

La normativa se organiza en los siguientes bloques:

- Legislación específica de las mermeladas y confituras, que establece los requisitos concretos sobre composición, ingredientes y calidad del producto final.
- Legislación de aplicación general a todos los alimentos, que regula aspectos transversales como el etiquetado con la información nutricional, el uso de aditivos o las normas básicas del Código Alimentario Español.

En los siguientes apartados se detallan estas normas y disposiciones haciendo hincapié en los aspectos a los que debe sujetarse la producción de mermelada.

1.3.1. Legislación específica de la mermelada

La producción de mermeladas en España está regulada por dos Reales Decretos que establecen los requisitos mínimos de la composición final de estos productos tanto para su producción como para su comercialización. Dichas normas son las siguientes:

- En el Real Decreto 863/2003, de 4 de julio, se establece la proporción mínima de fruta que deben poseer estos productos (40% en mermeladas y 50% en mermeladas extra), así como el contenido de sólidos solubles (≥ 60 °Brix) para su comercialización, los aditivos que se pueden emplear en la producción y las condiciones de envasado, conservación y comercialización [1].
- En el Real Decreto 670/1990, de 25 de mayo. Esta norma es anterior al decreto mencionado más arriba, establece las normas para confituras, jaleas y mermeladas y sigue siendo referente en el marco legal del sector, aunque actualmente ha sido sustituida, en gran parte, por el decreto anterior, por lo que se considera únicamente como antecedente normativo y no como legislación vigente de aplicación directa [2].

1.3.2. Legislación de aplicación general

Además de la normativa específica, la producción de mermeladas a nivel industrial debe cumplir con un conjunto de normas de carácter general en la industria agroalimentaria tanto en el territorio nacional como en la Unión

Europea. Entre las más importantes destacan:

- El Real Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, aprueba el Código Alimentario Español, el cual establece las normas básicas de higiene, conservación y envasado en la industria agroalimentaria [5].
- El Reglamento (CE) 1333/2008, establece la normativa relativa al uso de aditivos alimentarios en el cual se regulan sustancias como la pectina (E-440) o el ácido cítrico (E-330) [3].
- El Reglamento (UE) 1169/2011, establece la normativa sobre la información que hay que reflejar al consumidor final, relativa al etiquetado nutricional y la composición de ingredientes [4].
- El Reglamento (CE) 852/2004, en el cual queda constancia de todo lo relativo a la higiene de los productos alimentarios, que obliga a implantar sistemas APPCC, los cuales permiten detectar diferentes peligros que podrían afectar a la integridad de los productos agroalimentarios [6].
- El Reglamento (CE) 1935/2004, sobre los materiales en contacto con alimentos, reglamento de aplicación a materiales en contacto con alimentos, desde en envases a equipos industriales [12].
- Real Decreto 1334/1999, que aprueba la norma general de presentación y de etiquetado de todos los productos alimentarios [13].

1.4. Análisis de mercado.

El mercado nacional de mermeladas y confituras se enmarca dentro de la industria agroalimentaria de conservas de frutas. No existen cifras oficiales únicas que cuantifiquen con exactitud la producción total en el territorio nacional, no obstante, según estimaciones recogidas por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y diferentes estudios publicados sobre el sector por Alimarket y Eurostat, la producción anual de mermeladas en España se sitúa en un intervalo aproximado de 100.000 a 120.000 toneladas anuales, con un crecimiento medio cercano al 1% en España [14,15,16].

Las principales regiones donde se concentra la producción industrial de mermeladas en España son Andalucía, Murcia y Cataluña, tal y como reflejan informes realizados por Alimarket y los datos del MAPA [14,15]. Otras comunidades autónomas, como La Rioja o Navarra, también presentan un peso relevante dentro del sector, vinculado sobre todo a la producción de menor escala. En la Figura 4 se muestra una estimación porcentual de la producción nacional de mermeladas en función de las distintas comunidades autónomas de España.

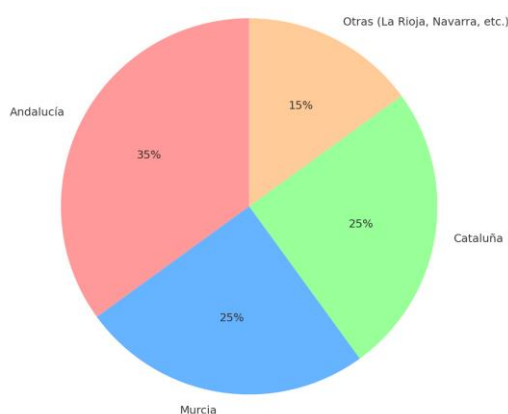


Figura 4.- Porcentaje de producción de mermeladas en España en función de las diferentes comunidades autónomas.

Desde el punto de vista económico, los análisis de mercado elaborados por NielsenIQ y Kantar sitúan el valor del mercado nacional de mermeladas en torno a los 200 millones de euros anuales [17,18]. Según los datos del Panel de Consumo Alimentario elaborado por el MAPA, el consumo per cápita se sitúa en el intervalo de 2-3 kg por persona al año [19]. El precio de venta al público es muy variado en función del tipo de producto, formato y el posicionamiento de la marca en el mercado, situándose los productos convencionales en torno a un precio medio de 2,5, €/kg de mermelada, mientras que los productos premium o ecológicos rondan los 3 €/kg, de

acuerdo con informes de la OCU y estudios de Kantar [18,20].

Las tendencias actuales del mercado, recogidas en informes de Kantar, Mercasa y Alimarket, muestran un creciente interés en productos ecológicos o BIO, mermeladas sin azúcares añadidos y sabores diferenciados y exóticos, en respuesta a la creciente preocupación por la salud de la sociedad y la calidad de los productos [15,18,21]. Estas tendencias de consumo se reflejan en la Figura 5.

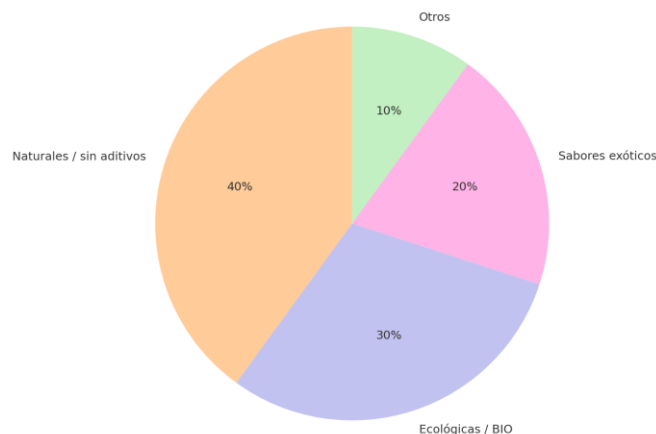


Figura 5.- Relación porcentual de las tendencias de consumo de la sociedad respecto a los tipos de mermeladas.

Las previsiones de evolución del sector recogidas en los informes referenciados anteriormente apuntan a un crecimiento sostenido del mercado, impulsado por la mayor variedad de oferta y la especialización del producto, estimándose un crecimiento de aproximadamente 30 millones de euros durante los próximos 5 años [15,17,18,21].

En la Tabla 4 se resumen los principales indicadores del mercado, con el fin de presentar de forma clara los datos más relevantes detallados en este apartado.

Tabla 4.- Indicadores clave del mercado nacional de mermeladas referenciados según los estudios nombrados en el apartado.

Indicador	Valor	Fuente
Producción nacional	100.000 – 120.000 t/año	MAPA, Eurostat, Alimarket
Crecimiento anual	≈ 1%	MAPA, Kantar
Regiones productoras	Andalucía, Murcia, Cataluña	Alimarket, FIAB
Valor de mercado	≈ 200 M €	NielsenIQ, Kantar, Alimarket
Consumo per cápita	2 – 3 kg/persona/año	MAPA – Panel de consumo
Precio medio	2,5 € / kg (premium > 3€ / kg)	MAPA, OCU
Tendencias	Naturales, BIO, sin azúcares, sabores diferenciados	Kantar, Mercasa
Perspectivas 2028	220-230 M €	Kantar, NielsenIQ

1.5. Alcance

El presente proyecto propone la ingeniería básica de una planta de producción de mermeladas de fruta enfocada a satisfacer el creciente consumo de este producto en la región de Andalucía, región que concentra el 18 % de la población nacional española según los últimos informes (INE, 2024) [22].

Considerando las proyecciones de crecimiento anual del mercado nacional en un 1% y el estudio de mercado realizado en el anterior apartado [14,15,16], este crecimiento equivaldría a 1.200 toneladas adicionales de producción nacional para el próximo ejercicio. La planta de producción planteada en este proyecto se concibe como una instalación de pequeña escala, destinada a cubrir la parte de demanda creciente estimada para la población de Andalucía.

Por este motivo, en este trabajo se estimará una producción anual en la planta de 210 toneladas, distribuidas en la misma proporción entre las tres variedades de fruta seleccionadas: naranja, fresa y melocotón. Esta capacidad se sitúa claramente por debajo de las grandes plantas industriales del sector, que pueden superar fácilmente las 1.000-5.000 toneladas anuales [15,21], y se aproxima más a un modelo de pequeña industria agroalimentaria, orientada a mercados de proximidad y productos diferenciados.

Desde el punto de vista económico, esta escala de producción implica un volumen de negocio reducido, en comparación con los grandes productores del sector, considerando precios de venta estándar ya descritos en el apartado anterior de 2,5-3 €/kg [18,20], la facturación anual se situará en un rango aproximado de 525.000 – 630.000 euros, lo que refuerza el carácter de planta de dimensión limitada, pero viable para el abastecimiento del incremento de mercado en la región de Andalucía.

La planificación de la producción seguirá el calendario de recolección para dar prioridad a la adquisición de fruta fresca durante el proceso y apoyar el comercio regional [7].

Desde el punto de vista operativo, la planta producirá en un turno único de 8 horas, de lunes a viernes, lo que permitirá optimizar recursos humanos, energéticos y técnicos. No obstante, el diseño de la planta contempla la posibilidad de ampliar la capacidad productiva mediante la incorporación de turnos o líneas de producción adicionales, en caso de que la evolución del mercado o el incremento de la demanda regional así lo requieran.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. Localización

La selección de la ubicación de una planta de producción industrial es una decisión estratégica muy importante, ya que influye en factores como los costes logísticos, el acceso a materias primas o la disponibilidad de infraestructuras. En este apartado se analizarán diferentes ubicaciones para determinar la ubicación más adecuada para esta planta.

Se ha realizado una comparación entre distintas zonas con relevancia industrial dentro de la provincia de Sevilla con el fin de escoger la mejor ubicación posible para esta planta de producción. Se han seleccionado tres ubicaciones posibles: el área metropolitana de Sevilla, Alcalá de Guadaira y Utrera. Estos tres núcleos urbanos tienen una consolidada actividad industrial, incluyendo industrias del sector agroalimentario y almacenes logísticos, según los registros empresariales del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA, 2024) y los datos de polígonos industriales publicados por los respectivos ayuntamientos [23,24].

- El área metropolitana de Sevilla: Constituye uno de los principales núcleos industriales de Andalucía. En particular, en el Polígono Industrial La Isla, en Dos Hermanas, hay empresas dedicadas al sector alimentario y logístico lo que facilita el acceso a servicios en caso de ser necesarios. Logísticamente, dispone de acceso a las principales autovías y carreteras como la A-4, la SE-40 y la A-92, lo que facilita tanto la llegada de materia prima como su distribución final. Además, la cercanía del Puerto de Sevilla facilitaría operaciones posteriores de exportación o distribución en el caso de que la demanda y la producción de mermeladas crecieran. Económicamente, el precio del suelo industrial se sitúa aproximadamente entre 70 y 110 €/m², de acuerdo con estudios de mercado inmobiliario industrial publicados por portales especializados como idealista y datos municipales de 2024 [25].
- Alcalá de Guadaira: Este municipio tiene una gran vinculación con el sector agroalimentario debido a su industria panadera, así como por la presencia de empresas de logística y de transformación agroalimentaria. Logísticamente, sus zonas industriales como La Red o Alcalá X, cuentan con conexión directa con la A-92, además de poseer también buenos servicios. Económicamente, esta opción es más barata, el precio del metro cuadrado suele situarse entre los 55-85 euros, según datos de mercado inmobiliario industrial (2024) [25].
- Utrera: Es la mejor opción desde el punto de vista económico, ya que el suelo industrial se sitúa entre los 35 y 60 €/m² según datos del mercado local (2024) [25] y se trata de un núcleo urbano próximo al entorno agrícola del sur de la provincia, lo que favorece el acceso a materias primas y reduciría los costes de aprovisionamiento. Por otro lado, hay una menor infraestructura logística y menor concentración de empresas dedicadas a servicios industriales que en las otras dos opciones. Además, su localización está más alejada de las principales autovías regionales y esto puede incrementar los costes de distribución.

Tras este análisis, se selecciona el Polígono Industrial La Isla, en el término municipal de Dos Hermanas (Sevilla). Aunque el coste del suelo sea superior, la mayor disponibilidad de infraestructura y de servicios compensan dicha inversión inicial. Además, la pequeña producción prevista para la planta permite asumir el coste de implantación sin comprometer la viabilidad económica del proyecto. Además, este enclave ofrece un entorno adecuado en el caso de que se quisiera ampliar el negocio.

En las Figuras 6 y 7 se puede ver la ubicación y una visión satelital del polígono seleccionado.



Figura 6.- Ubicación del Polígono Industrial La Isla



Figura 7.- Visión satelital del Polígono Industrial La Isla

2.2. Descripción del proceso

Durante el desarrollo de este apartado, se dividirá en cuatro fases el proceso de producción de la mermelada para una mejor explicación y entendimiento del mismo, además de esquematizar el proceso para una mejor explicación. Las cuatro fases mencionadas son:

- Fase I – Producción de mermelada: En esta fase, se desarrollarán todas las operaciones relacionadas con la transformación de las materias primas en el producto que se va a comercializar. Se incluyen desde el inicio del proceso, que en este caso sería el aprovisionamiento, pasando por etapas intermedias como el lavado y selección de fruta, despulpado, mezcla y cocción de ingredientes, hasta la etapa final de enfriamiento de la mermelada para su posterior envasado.
- Fase II – Preparación de envases: Esta fase se realiza de forma simultánea a la fase I con el fin de optimizar el tiempo de producción y engloba todas las operaciones relacionadas con los envases que contienen las mermeladas, desde la etapa de recepción hasta la de esterilización, pasando por lavado y secado, esta fase es la encargada de preparar los envases de forma que cumplan todas las condiciones higiénicas establecidas en la normativa antes de proceder a su llenado [6,12].
- Fase III – Envasado: Esta fase describe todo el proceso de envasado del producto final, engloba desde el llenado de los tarros con la mermelada hasta el envasado secundario, pasando por todas las etapas intermedias, las cuáles se describirán más adelante.

- Fase IV – Tratamiento de residuos y aguas residuales: En esta fase, se abordará la gestión de los residuos generados en el proceso (residuos orgánicos debidos al tratamiento de la fruta y envases) y el tratamiento de aguas antes de su vertido. Una de las ventajas de la ubicación seleccionada en un polígono industrial es la posibilidad de verter estas aguas a la red municipal pertinente.

En la Figura 8, se muestra el proceso de producción de forma muy simplificada para una mejor comprensión. Más adelante, se profundizará en cada una de las fases, así como en sus distintas etapas.



Figura 8.- Proceso productivo de la planta esquemático.

2.2.1. Fase I: Producción de mermelada.

Esta primera fase constituye la parte más importante del proceso. En ella se elabora el producto: la mermelada. Se lleva a cabo la transformación de la materia prima principal, la fruta fresca, en un producto semielaborado mediante un conjunto de operaciones que incluyen desde el aprovisionamiento de materias primas y su acondicionamiento pasando por la preparación, adaptación y dosificación y de estas materias primas como son el azúcar, la pectina y el ácido cítrico y llegando hasta la mezcla y cocción de todos los ingredientes hasta alcanzar las condiciones adecuadas de pH y °Brix que marca la normativa vigente [1,2,3].

El objetivo de esta fase es asegurar que la mezcla adquiriera las características adecuadas y cumpla con las condiciones de seguridad alimentaria para su posterior envasado y comercialización [6].

2.2.1.1. Aprovisionamiento.

En esta etapa inicial se realiza el aprovisionamiento y el almacenamiento de las materias primas. Se reciben tanto las diferentes frutas que serán la principal materia prima en nuestro producto final como los aditivos que serán incorporados en las etapas posteriores.

Los distintos elementos que se emplearán en la elaboración de la mermelada se someten desde esta etapa inicial a procesos de control de calidad con el fin de asegurar su estado óptimo y su conformidad con los estándares de calidad establecidos por la industria. Dichos controles incluyen desde inspecciones visuales para detectar problemas mecánicos o alteraciones en el color de la fruta hasta controles más complejos para análisis de parámetros fundamentales como la humedad y la madurez de la fruta basándose en técnicas estadísticas basadas en el análisis de muestras.

Se procede de igual manera con los demás elementos como pueden ser el azúcar o la pectina para asegurar que cumplan con las especificaciones acordadas con los proveedores. Este sistema de revisión responde tanto a criterios de calidad establecidos por la planta, así como los establecidos en la normativa en materia de higiene e información alimentaria [4,6].

Además, con este sistema, desde la recepción de materias primas se aplica un sistema de trazabilidad que permite identificar lotes, fechas de entrada y caducidad, con el fin de asegurar la retirada rápida en caso de incidencias. Este procedimiento se compagina con buenas prácticas de almacenamiento, como la separación de la fruta de las materias en polvo y el almacenamiento en zonas diferenciadas con el fin de evitar contaminaciones o adulteraciones en los distintos insumos utilizados en la fabricación de la mermelada [6].

En cuanto a la logística interna, la fruta se almacena en cámaras frigoríficas hasta su posterior acondicionamiento, el azúcar en silos y la pectina y el ácido cítrico en almacenes secos, protegidos de la luz. El aprovisionamiento se realiza durante las primeras horas de la jornada laboral, con el fin de no interferir en el flujo productivo de las etapas siguientes.

2.2.1.2. Acondicionamiento de materias primas.

El acondicionamiento constituye una fase indispensable, ya que la fruta no puede procesarse directamente sin acondicionamiento previo. El objetivo de esta etapa del proceso productivo es asegurar la obtención de una pulpa en condiciones óptimas de calidad, eliminando aquellas partes que no aportarían valor al producto, para ello, durante esta fase la fruta se somete a varios procesos:

- Transporte desde las cámaras de refrigeración al área de inspección, donde se realiza una inspección visual y manual, descartando las piezas de fruta en mal estado o con defectos evidentes que puedan afectar negativamente al proceso de producción.
- Lavado con agua a presión para eliminar todos los posibles residuos superficiales que pueda contener.
- Procesado en una pulpadora, donde se realiza la separación de las pieles, semillas y huesos, desechando todos estos residuos orgánicos que no se emplean en la elaboración de mermelada.

Tras estos procesos se obtiene una pulpa de calidad en la que se han eliminado todas aquellas partes que no aportan valor al producto final. Todos estos residuos deberán ser debidamente retirados y tratados.

Es necesario tener en cuenta que durante este proceso se producen mermas significativas de peso, que variarán

según el tipo de fruta: aproximadamente un 5% en la fresa [11], un 19% en el melocotón [10] y alrededor de un 60% en la naranja [26]. Estas mermas serán detalladas más adelante en la realización de este trabajo, en el apartado de cálculo de materias primas, mientras que su tratamiento se recogerá en el apartado de gestión de residuos.

En resumen, esta fase asegura que solo la parte comestible y aprovechable de la fruta llegue a etapas posteriores en el sistema productivo, garantizando los requisitos de calidad y seguridad alimentaria relacionados con la fabricación industrial de la mermelada y generando una base sólida y de calidad para un producto final óptimo [1,2,6].

2.2.1.3. Medición de Ingredientes

Durante esta etapa se realiza una medición de todos los elementos necesarios en la elaboración del producto final con el objetivo de determinar y preparar las proporciones exactas para la fabricación de la mermelada. Se determina la cantidad de pulpa de fruta disponible tras su acondicionamiento y se pesan los distintos aditivos como son el azúcar, la pectina y el ácido cítrico siguiendo las formulaciones previstas para los distintos tipos de mermeladas [1,2,3].

El objetivo principal es garantizar la precisión en las cantidades y la uniformidad del producto final a comercializar, de manera que los parámetros de calidad como el contenido en sólidos solubles y la acidez puedan alcanzarse en las siguientes etapas del proceso [1,2].

Aunque no se integren todos los ingredientes en el tanque de mezcla para su procesado, la correcta dosificación de los ingredientes resulta crucial para que en las siguientes etapas el proceso se desarrolle con eficacia y se obtenga un producto de calidad y listo para su consumo.

2.2.1.4. Mezcla de ingredientes.

Una vez realizada la dosificación de los distintos componentes del producto final, es necesario incorporarlos al tanque de mezcla. En esta etapa se logra una distribución uniforme de todos los ingredientes, de manera que la base de la mermelada presente una composición homogénea y adecuada para su posterior cocción.

La mezcla se somete a un calentamiento progresivo hasta aproximadamente 70 °C, temperatura que favorece la solubilidad de los azúcares y la dispersión de la pectina, reduciendo al mismo tiempo la viscosidad de la pulpa de fruta [27].

La homogeneidad de la mezcla resulta fundamental, ya que, de lo contrario, no se podrían alcanzar la textura y la estabilidad deseadas del producto final evitando la formación de grumos o gelificaciones poco óptimas en la etapa final de esta primera fase.

2.2.1.5. Cocción.

Esta última etapa es la principal de todo el proceso, se integran la pulpa y los aditivos, dando lugar al producto final: la mermelada. A lo largo de esta etapa, no solo se garantiza la seguridad del producto, sino que también es la principal responsable de la textura, sabor y capacidad de conservación.

Una vez realizadas todas las etapas anteriores, la mezcla se somete a un proceso de cocción en el cual se lleva la mezcla a una temperatura en el rango de 100 - 105 °C de forma controlada. El tiempo de cocción puede variar en función de la fruta que se esté produciendo y de la cantidad de aditivos que sean necesarios para cada tipo de fruta, pero suele situarse en tiempos en torno a 15 - 20 minutos, tiempo suficiente para lograr la disolución de los azúcares y la dispersión de la pectina en la mezcla [27].

Durante este proceso, la pectina sufre una hidrólisis parcial, reacción en la que el agua y el calor rompen sus cadenas y favorecen que, al enfriarse, se forme la red gelificada que dará a la mermelada su consistencia característica. El agua de la mezcla se evapora parcialmente. Al reducirse concentra los azúcares en la mezcla hasta conseguir un contenido de 65-68 ° Brix, valor aceptado en la industria para garantizar tanto la textura como la seguridad del producto final [1,2,27].

En esta etapa, el control de calidad previo resulta fundamental: antes de iniciar la cocción se mide tanto la densidad como el pH inicial, y una vez finalizado el proceso se toman muestras para asegurar que el producto final antes del envasado cumple con los estándares establecidos y tiene un pH en el rango de 3,5 a 4. Estos

niveles de pH no solo cumplen con la normativa, sino que ayudan a que la mermelada conserve su sabor y color, sin riesgo de cristalización posterior [1,2,6].

Más allá de los números o cuestiones técnicas, esta etapa es el punto crucial de todo el proceso. Una cocción demasiado corta hace que el producto esté aguado, una demasiado larga reduce el sabor y la calidad sensorial del producto. En definitiva, es la fase donde se termina de dar forma al producto final que llegará hasta el consumidor.

2.2.2. Fase II: Preparación de envases.

Durante esta segunda fase, el proceso se centra en la preparación de los envases de vidrio y sus correspondientes tapas para el posterior envasado de la mermelada. Es una etapa importante para el producto final ya que si el estado de los recipientes no cumple con las condiciones de higiene requeridas se vería comprometida la seguridad alimentaria, así como la conservación cuando se proceda a su llenado en la fase III [6,12].

Se desarrolla de manera paralela a la Fase I (Producción de mermelada) con el objetivo de optimizar tiempos y evitar interrupciones en la línea productiva. Al trabajar de forma paralela, se garantiza que los tarros estén en las condiciones adecuadas justo en el momento en que la mermelada esté lista para ser envasada, evitando retrasos en el proceso productivo.

Esta fase engloba el conjunto de etapas necesarias para garantizar la limpieza, secado y esterilización óptima de los envases de vidrio, asegurando la eliminación de todos los contaminantes que pudieran afectar al producto final [6,12].

Posteriormente, se detallan cada una de estas etapas.

2.2.2.1. Lavado de tarros

En esta primera etapa de la fase II se reciben tanto los tarros como las tapas de los envases y se almacenan temporalmente en la planta hasta su puesta a punto para su posterior llenado. El proceso comienza con una inspección visual inicial, con el fin de cerciorarse de que los envases cumplen con los estándares acordados con el proveedor y que no presentan defectos como grietas, deformaciones o suciedad.

A continuación, los tarros se transportan a una máquina encargada del lavado de los tarros. Este lavado se realiza con agua a alta temperatura, entre 65 y 115 °C, con el fin de eliminar residuos, microorganismos o partículas que puedan afectar a la seguridad del producto. Además, esta etapa contribuye a la esterilización de los envases, aspecto indispensable para evitar contaminación cruzada y garantizar la posterior conservación de la mermelada [6,12,27].

Las aguas de lavado generadas en esta etapa se conducen al sistema interno de drenaje para su tratamiento y vertido a la red, lo cual se detalla en un apartado posterior.

En definitiva, este paso responde a los requisitos de higiene establecidos en la legislación agroalimentaria, en particular el Reglamento (CE) n.º 852/2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios [6], y el Real Decreto 863/2003, que establece normas específicas de higiene para la elaboración de productos alimenticios en España [1]. Por ello, constituye un punto crítico de control dentro del proceso productivo.

2.2.2.2. Secado de tarros

Esta etapa es la última de la fase II, y tiene como objetivo garantizar que los envases queden totalmente libres de humedad antes de proceder a su llenado posterior. Una vez realizada la esterilización de los envases, los tarros se trasladan a una máquina secadora donde se someten a un flujo de aire caliente a presión que elimina cualquier resto de agua tanto en su superficie interior como en la exterior.

Este paso es fundamental para impedir la proliferación de microorganismos, que puede verse favorecida por restos de humedad residual. Además, permite asegurar la adherencia adecuada de las tapas y las etiquetas en la fase III [6].

Además, el secado óptimo de los envases contribuye a mantener la integridad del vacío en el envasado, ya que la presencia de agua puede interferir en la hermeticidad del cierre y comprometer la integridad y conservación

del producto.

Esta operación garantiza que los tarros estén en condiciones higiénicas óptimas antes de iniciar la Fase III.

2.2.3. Fase III: Empaquetado.

Esta fase es la última del proceso productivo. Se centra en el envasado de la mermelada en los tarros de vidrio previamente preparados y en el embalaje del producto final para su posterior comercialización. Esta etapa es primordial ya que engloba operaciones de seguridad alimentaria como la creación de un cierre hermético que evite contaminaciones, junto con operaciones destinadas al envasado y presentación del producto, incluyendo su etiquetado y empaquetado [6,12].

El adecuado desarrollo de esta fase depende directamente de la correcta ejecución de las etapas previas. Tanto la obtención de una mermelada con las condiciones óptimas de calidad y seguridad, como una adecuada preparación de los envases, constituyen requisitos fundamentales para garantizar que el producto final cumpla con los estándares exigidos por la industria.

Esta fase engloba varias etapas que van desde el envasado de la mermelada en los envases en condiciones controladas para preservar sus características, pasando por el cerrado, pasteurización, enfriamiento, etiquetado y embalaje de los botes hasta conseguir un producto final que cumpla tanto con la normativa vigente como con los estándares de calidad [1,2,4,6].

Actualmente, el envasado y el etiquetado son necesarios para la percepción del producto por parte del consumidor ya que transmiten información sobre el producto y aportan valor gracias a la presentación y permiten la diferenciación en el mercado [4,13].

2.2.3.1. Llenado y cerrado de tarros

En esta primera etapa, los tarros previamente higienizados son transportados a una máquina llenadora, que ya contiene la mermelada obtenida tras la cocción. El llenado se lleva a cabo a una temperatura elevada en torno a 75 °C, con el fin de evitar que el producto gelifique, lo que reduciría la fluidez de la mezcla durante su envasado [27].

La cantidad de llenado por tarro se establece previamente ya que es sumamente importante dejar una pequeña cámara de aire en la parte superior del tarro lo que permite generar el vacío necesario a la hora de cerrar herméticamente estos envases con el producto final dentro.

Los envases pasarán inmediatamente a una cerradora de tapas, donde se procederá al cerrado hermético del envase. Esto se consigue gracias a un sistema de rosca en los envases con inyección de vapor denominado “twist-off” que favorece la generación del vacío dentro del envase.

El llenado y cerrado de tarros se considera un Punto Crítico de Control (PCC) dentro del sistema APPCC (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), el cual es una metodología preventiva destinada a garantizar la inocuidad alimentaria mediante la identificación, evaluación y control de riesgos. En esta etapa deben verificarse ciertos parámetros como la temperatura de llenado, la hermeticidad del cierre y la generación de vacío, de forma que se evite cualquier riesgo de contaminación y se garantice la seguridad del producto durante su vida útil [6].

Actualmente, en la industria agroalimentaria, ya existe maquinaria capaz de integrar estas dos etapas en un mismo equipo lo que proporciona una ventaja de espacio a la hora de diseñar el lay-out de nuestra planta, así como una ventaja al reducir la inversión inicial en maquinaria como se detalla en apartados posteriores.

2.2.3.2. Enfriamiento posterior al envasado

En esta etapa los envases previamente llenados y cerrados avanzan en el sistema productivo mediante cintas transportadoras hasta la máquina refrigeradora, donde se someten a un proceso de enfriamiento progresivo. Este paso es indispensable y también se considera un Punto Crítico de Control (PCC) dentro del sistema APPCC, ya que puede comprometer la integridad física de los envases [6].

El enfriamiento gradual y controlado consigue evitar tensiones en el vidrio que podrían provocar roturas y

además es crucial para lograr la textura gelatinosa de la mermelada. A medida que el producto se va enfriando, este va adquiriendo su consistencia final [27].

Esta etapa también favorece la formación del vacío dentro de los envases. Cuando la mermelada se enfría reduce la presión interna, favoreciendo la hermeticidad del cierre.

Este enfriamiento se lleva a cabo de forma controlada mediante chorros de agua pulverizada que rodean los tarros ayudando a una reducción de temperatura uniforme. Esto permite enfriar el producto final de forma gradual y controlada, evitando choques térmicos y asegurando que el producto llegue en las mejores condiciones a la siguiente etapa.

2.2.3.3. Secado de tarros

Los envases, tras el enfriamiento, pasan a una estación de secado exterior (flujo de aire a presión), muy similar a descrita en la fase II, para eliminar los restos de agua superficial que pueda haber en la superficie de los tarros y asegurar su correcta higiene y la adecuada adherencia de las etiquetas [6].

Antes del etiquetado, se obtiene una muestra aleatoria del lote como control de calidad en la línea, verificando el cumplimiento de los requisitos establecidos en la línea [1,2,6]:

- pH entre 3,5 y 4.
- Sólidos solubles (°Brix) entre 65 y 68.
- Ausencia de bacterias o contaminantes en las muestras.
- Trazabilidad: registro de los parámetros de cada lote al final del proceso productivo.

2.2.3.4. Etiquetado

A lo largo de esta etapa, los tarros ya preparados pasan a una etiquetadora, donde se colocan las distintas etiquetas en los envases. La colocación de las etiquetas es crucial, ya que permite facilitar al consumidor toda la información sobre el contenido del envase [4,13].

La información de estas etiquetas está recogida en el Reglamento (UE) n.º 1169/2011, relativo a la información alimentaria facilitada a los consumidores. Dicho reglamento, también conocido como normativa de etiquetado nutricional, establece que los envases de mermelada deben contener la siguiente información [4]:

- La denominación del producto.
- Un listado con todos los ingredientes, en orden decreciente de peso.
- El contenido neto del tarro.
- La fecha de consumo preferente.
- El lote de producción, el cual garantiza la trazabilidad de los lotes en caso de problemas de seguridad alimentaria.
- La información nutricional obligatoria: valor energético, grasas, grasas saturadas, hidratos de carbono, azúcares, proteínas y sal).
- Los alérgenos, si procede.

2.2.3.5. Empaquetado y paletizado

Esta etapa es la penúltima del proceso productivo y tiene como finalidad preparar el producto ya envasado y etiquetado para su distribución y comercialización final. Esta etapa se realizará mediante una máquina empaquetadora que agrupa los tarros en cajas o embalajes secundarios que facilitarán su posterior transporte y manipulación.

Este empaquetado cumple una doble función: la primera es un elemento de logística y trazabilidad, ya que,

además de facilitar su manipulación, también aporta información sobre los lotes, como el número de lote, fecha, destino... y además actúan como una protección durante el transporte [4,13].

Esta etapa debe realizarse con materiales reciclables o reutilizables, con el fin de cumplir las directrices europeas y nacionales sobre economía circular. Este empaquetado se realiza en cajas de cartón [28].

Una vez alcanzada esta última etapa, los operarios del almacén paletizan y envuelven con la protección adecuada para su posterior almacenamiento y comercialización.

2.2.4. Fase IV: Tratamiento de residuos y aguas residuales

A lo largo del proceso productivo, además del producto final, se generan residuos sólidos y aguas residuales que deben ser tratados y evacuados correctamente para evitar problemas higiénicos, ambientales y operativos en la planta. Se tratarán la recogida, el almacenamiento y la retirada de los residuos y aguas residuales [6,29].

Se asume que, al estar ubicada la planta en un polígono industrial, las aguas residuales se evacuarán a la red de saneamiento municipal, por lo que, esta fase, se centra en el pretratamiento antes del vertido a la red [29].

2.2.4.1. Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son los más relevantes en la producción de mermeladas y se generan principalmente durante la fase I de producción. En las estaciones de acondicionamiento y manipulación de materias primas y en el área de envasado. Vamos a dividirlos en varios grupos:

- **Residuos Orgánicos de fruta:** En las estaciones de despulpado y selección de materia prima, durante la fase I, se generan residuos orgánicos como semillas, huesos y fruta en mal estado que no es aprovechable. Este tipo de residuos se recogen en contenedores específicos y herméticos ya que un incorrecto almacenaje puede acarrear problemas de olores, fermentación y problemas higiénicos que comprometan la operabilidad de la planta. Por último, serán recogidos posteriormente por un gestor autorizado. Todo lo descrito anteriormente debe cumplir con la normativa de tratamiento de residuos recogida en la Ley 7/2022, de 8 de abril de residuos y suelos contaminados para una economía circular [30].
- **Residuos de envases y embalajes:** Durante el aprovisionamiento y el empaquetado se generan residuos de cartón, plásticos y otros embalajes asociados a estas etapas. Se separarán desde el origen los residuos de cartón y los residuos plásticos y se almacenarán de forma ordenada para su posterior retirada de la fábrica facilitando así su gestión. Esta práctica está alineada con la normativa sobre envases y residuos de envases aplicable en España (Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados y Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases) [30,31].
- **Residuos asociados a productos de limpieza y mantenimiento:** Los envases de productos de limpieza o materiales contaminados con productos químicos se gestionan de manera similar a los residuos de envases y embalajes. Se clasifican y codifican según la Lista Europea de Residuos, que sirve de referencia para su gestión final mediante gestores autorizados [32].

En resumen, la gestión de residuos sólidos de la planta se basa en una separación y clasificación de los mismos en el origen, un almacenaje temporal en condiciones óptimas y la retirada de los mismos mediante gestores autorizados, de forma que quede trazabilidad de estos residuos y se consiga una operativa que mantenga el orden en el tratamiento de los mismos.

2.2.4.2. Aguas residuales

Las aguas residuales en la planta proceden de las distintas operaciones de lavado que se realizan a lo largo del proceso: lavado de la fruta, equipos y el enjuagado de los tarros. Estas corrientes de aguas residuales arrastran impurezas de la fruta, polvo y restos superficiales de la fruta y de los envases y, sobre todo, azúcares y pectinas disueltos procedentes del producto, lo que les dota de una carga orgánica elevada. Por ello, los parámetros más significativos de las distintas corrientes son los indicadores de materia orgánica – la demanda bioquímica de

oxígeno a cinco días (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO), junto con los sólidos en suspensión, el pH y los aceites y grasas. La carga orgánica disuelta en la corriente es muy relevante ya que al tratarse de materia fácilmente biodegradable eleva la DBO y la DQO . Para que el lector pueda hacerse una idea, industrias similares presentan valores de DQO del orden de 2.000 a 5.000 mg/L y de DBO_5 de 1.000 a 3.000 mg/L y un pH que tiende a ser ácido por los ácidos orgánicos de la fruta, si bien puede alterarse por los productos químicos empleados en la limpieza [33]. Todo ello hace indispensable un tratamiento previo antes de evacuar lo agua a la red de saneamiento.

El vertido a la red municipal está sujeto a un marco normativo regulado en varios niveles. En el ámbito europeo, la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas obliga a someter a tratamiento previo los vertidos industriales que se incorporan a los colectores urbanos [34]; esta se incorpora al ordenamiento español mediante el Real Decreto-ley 11/1995 y el Real Decreto 509/1996 que lo desarrolla [35], en coherencia con el Texto Refundido de la Ley de Aguas [29]. En el ámbito autonómico, la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía regula el ciclo integral del agua de uso urbano —abastecimiento, saneamiento y depuración— y las competencias de las entidades locales andaluzas en la materia [36]. Por último, la gestión del saneamiento en Dos Hermanas corresponde a EMASESA, cuyo Reglamento de los servicios de saneamiento fija los valores máximos admisibles de cada parámetro de contaminación y exige que toda industria que vierta a la red disponga del preceptivo Permiso de Vertido a la instalación pública de saneamiento [37]. En consecuencia, con carácter previo a la puesta en marcha, la planta deberá obtener dicha autorización de vertido, pudiendo EMASESA requerir la instalación de una arqueta de toma de muestras y, en su caso, de separadores de grasas o decantadores de sólidos para el control del efluente.

Para el tratamiento y la evacuación del efluente se plantea un pretratamiento sencillo, compuesto por las siguientes operaciones:

- Segregación interna de corrientes: se evita mezclar las corrientes que arrastran carga orgánica con las que no contienen contaminantes, lo que reduce el volumen de agua a tratar.
- Tamizado en línea: el agua cargada pasa por un tamiz que retiene los sólidos de mayor tamaño (fragmentos de fruta, pulpa, pieles y semillas), disminuyendo la concentración de sólidos y evitando atascos en las conducciones.
- Tanque de equalización: el agua tamizada se almacena en un tanque de homogeneización que regula su caudal y composición, de modo que el efluente salga de manera constante y uniforme hacia las etapas siguientes.
- Control y ajuste de pH: cuando los productos de limpieza alteran el pH, este se corrige hasta el rango compatible con el vertido a la red (habitualmente 6,5-9 según la ordenanza), conforme a las Mejores Técnicas Disponibles (MTD/BAT) del sector alimentario reconocidas a nivel europeo [33].
- Vertido a la red de saneamiento: finalmente, el agua llega a una arqueta de control que permite la inspección y la toma de muestras antes de su incorporación a la red municipal [29].

Conviene precisar que este pretratamiento controla eficazmente los sólidos en suspensión y corrige el pH, pero no reduce la carga orgánica disuelta, ya que los azúcares y las pectinas en disolución no son retenidos por el tamiz ni precipitan con el ajuste de pH. Dado que la DQO y la DBO_5 esperables superan los límites que con carácter general fijan las ordenanzas de vertido a la red (del orden de 1.600 mg/L de DQO y 1.000 mg/L de DBO_5), la carga orgánica constituye el principal condicionante del vertido [37]. Para garantizar el cumplimiento se contemplan tres líneas de actuación complementarias: en primer lugar, y de forma preferente, la minimización de la carga en origen mediante buenas prácticas de operación —recuperación de las primeras aguas de lavado, vaciado y raspado de los equipos antes de su limpieza y segregación de las corrientes más concentradas—, que reduce las pérdidas de producto al desagüe; en segundo lugar, si la carga continuara por encima de lo admisible, la incorporación de un tratamiento biológico aerobio, como un reactor secuencial discontinuo, que aprovecha la elevada biodegradabilidad del efluente para alcanzar reducciones de DBO_5 del orden del 85-95 %; y en tercer lugar, el vertido dentro de los límites autorizados asumiendo el canon de saneamiento, dado que EMASESA factura la depuración en función de la carga contaminante mediante un coeficiente que penaliza los valores elevados de DQO [37].

En definitiva, el objetivo de esta fase no es lograr una depuración completa del agua, sino disponer de un pretratamiento sólido y estable que permita cumplir la normativa y evacuar el efluente de forma segura y controlada. La solución definitiva —y, en particular, la necesidad o no de un tratamiento biológico adicional—

deberá concretarse en la ingeniería de detalle, una vez caracterizado experimentalmente el efluente real y conocidos los valores límite específicos fijados por EMASESA.

2.2.4.3. Esquematización de la fase IV

En este apartado se hará una esquematización de este proceso que se muestra en la Figura 9:

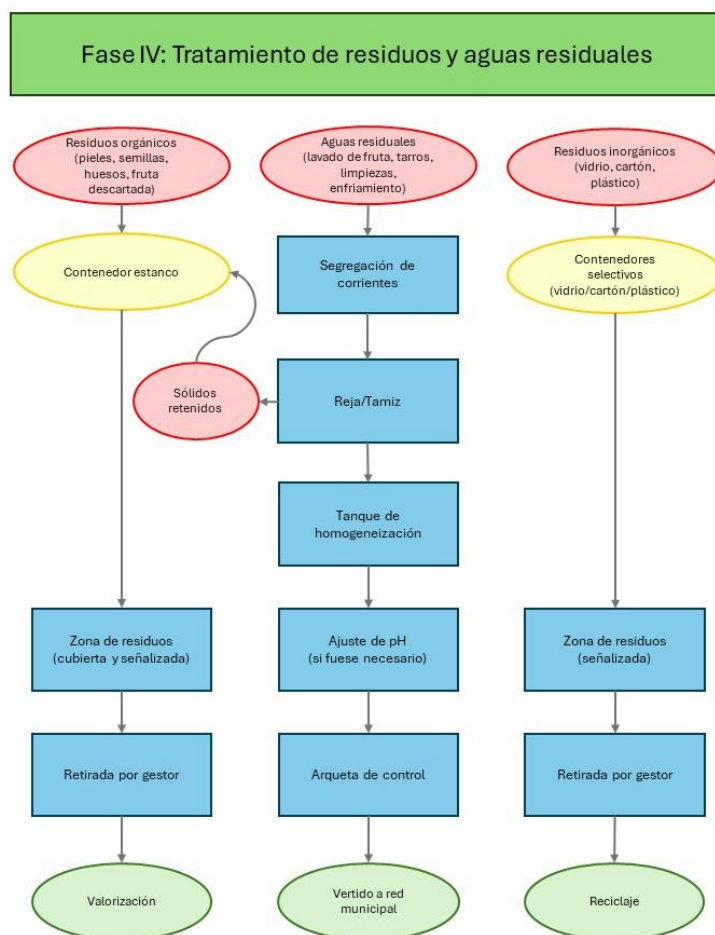


Figura 9.- Esquematización de la fase de tratamiento de residuos y aguas residuales.

En la Tabla 5 se recoge un resumen de todos los residuos que se generan en la planta y su gestión para una mejor comprensión del lector.

Tabla 5.- Resumen de corrientes de residuos y gestión propuesta

Residuo	Procedimiento	Contenido o por qué es importante	Gestión propuesta	Destino final
Residuos orgánicos de fruta (huesos, pieles, semillas, fruta descartada...)	Acondicionamiento y despulpado	Alta carga orgánica biodegradable, puede provocar malos olores si se acumula	Separación de este tipo de residuos en el origen de los procesos y recogida en un contenedor. Almacenamiento temporal en zona de residuos y retirada frecuente.	Retirada por gestor autorizado.
Sólidos retenidos en el tamiz (pulpa arrastrada, fragmentos pequeños de fruta)	Lavados y limpiezas tanto de fruta como de maquinaria.	Puede generar atascos en tuberías y aumenta los sólidos en suspensión para el tratamiento de las aguas.	Estos residuos orgánicos se recogen del tamiz y se gestionan como los residuos orgánicos anteriormente descritos.	Retirada por gestor autorizado.
Cartón y papel (cajas, separadores, embalajes)	Recepción y empaquetado	Son residuos fácilmente reciclables.	Contenedor específico de cartón.	Retirada por gestor autorizado.
Plásticos (film, sacos)	Recepción y paletizado	Material reciclable.	Contenedor señalizado específico para vidrio.	Retirada por gestor autorizado.
Residuos asociados a limpieza y mantenimiento (envases de productos de limpieza, absorbentes)	Limpiezas de equipos y de la propia superficie de la planta.	Estos residuos pueden requerir una gestión diferenciada de los demás por estar contaminados por productos químicos.	Se separarán en un contenedor aparte, evitando mezclarse con los demás residuos con el fin de mantener un control de estos.	Retirada por gestor autorizado.
Aguas residuales provenientes de los distintos procesos.	Fase I, II y III.	Presentan carga orgánica (azúcares/fruta), sólidos finos y posibles alteraciones de pH por las operaciones de limpieza.	Pretratamiento de aguas residuales descrito en el apartado anterior.	Vertido a red municipal de saneamiento.

Cálculo de necesidades de materia prima y materiales.

Se aborda la planificación de las necesidades de materias primas para soportar un año natural de producción con el fin de realizar un cálculo real sobre la inversión anual, así como de la cantidad de materia a procesar, lo que ayudará en el análisis económico del proyecto y en la elección de la maquinaria necesaria para la planta.

Como ya se ha explicado anteriormente, la mermelada se compone de los siguientes ingredientes: fruta, azúcar y ácido cítrico. El objetivo de este apartado es detallar el cálculo de los materiales necesarios en las distintas fases del proceso, como tarros, tapas, etiquetas o embalajes, además de la materia prima.

Se ha marcado como objetivo la producción de 210 toneladas anuales distribuidas por igual entre cada tipo de mermelada (naranja, fresa y melocotón). Esto es, 70 toneladas por cada tipo de mermelada. Esta cifra será la base del cálculo para todas las necesidades de materia prima y materiales que se expondrán a lo largo de este apartado.

En el cálculo de las materias primas, se emplearán algunos términos o conceptos como puede ser el °Brix. El °Brix es el porcentaje en masa de sólidos solubles, principalmente azúcares en una disolución, cada fruta tiene un componente específico, mientras que, según la legislación, la mermelada debe contener un porcentaje de entre 65-68 °Brix [1,2].

Como criterio general, los cálculos han sido realizados para un año natural, desglosando cada uno de los sabores por separado. También se han establecido unos márgenes de seguridad de un 8 % para la materia prima y de un 5% para los materiales auxiliares para hacer frente a cualquier necesidad de la planta de producción.

2.3.1. Metodología de Cálculo de fruta para todos los sabores de mermelada

A lo largo de este apartado se expondrá la metodología de cálculo de la cantidad de fruta necesaria para obtener los 70.000 kg de mermelada de cada variedad. Para ello, se aplicará un balance de sólidos solubles (°Brix) a cada una de las frutas estudiadas. Esta metodología de cálculo se basa en el uso de °Brix como medida de sólidos solubles totales y en la realización de balances de materia para productos concentrados, siendo un procedimiento habitual en tecnología de alimentos y recogido en manuales técnicos de procesado de frutas [27]. Además, el control de los sólidos solubles mediante esta técnica se describe como método estándar en guías técnicas de procesado de mermeladas publicadas por la FAO [38].

2.3.1.1. Criterios para el cálculo

Los criterios que se asumen para cada una de las frutas son los siguientes:

- °Brix en el producto final: $B_p = 65 \text{ } ^\circ\text{Brix}$
- Cantidad de mermelada a conseguir: $M_p = 70.000 \text{ kg}$
- Criterio de formulación: el azúcar añadido y el peso de fruta utilizable se añaden en una proporción 1:1 para poder equiparar los procesos.
- Los rendimientos de fruta utilizables y el °Brix de cada una de ellas se conocen para todas ellas.

2.3.1.2. Definición de variables

Las variables a definir son:

- M_F = Peso total de fruta bruta que se necesita (kg).
- η = Porcentaje utilizable (rendimiento).
- $M_{F,u} = \eta \cdot M_F$ = Peso total de fruta utilizable tras desechar mermas (kg).
- B_F = °Brix de la fruta (sólidos solubles en la fruta).

- $B_A = 100^{\circ}\text{Brix} = {}^{\circ}\text{Brix}$ del azúcar añadido (sacarosa, sólidos solubles $\approx 100\%$).

2.3.1.3. Desarrollo del cálculo

Los pasos de cálculo son los siguientes:

- Conversión de ${}^{\circ}\text{Brix}$ a fracción másica de sólidos solubles: $x_F = \frac{B_F}{B_A} = \frac{B_F}{100}$
- Sólidos solubles aportados por la fruta: $M_{SS,F} = M_{F,u} \cdot x_F = \eta \cdot M_F \cdot x_F$
- Usar criterio de proporción 1:1 de azúcar añadido con fruta utilizable: $M_A = M_{F,u} = \eta \cdot M_F$
- Sólidos solubles aportados por el azúcar añadido (el azúcar se considera 100°Brix): $M_{SS,A} = M_A$
- Sólidos solubles totales en la mezcla antes de ajustar a producto final: $M_{SS,tot} = M_{SS,F} + M_{SS,A}$
- El producto final debe presentar un contenido de sólidos solubles de: $B_P = 65^{\circ}\text{Brix}$. Dado que los grados Brix representan la fracción másica de sólidos solubles en el producto, se tiene: $x_P = \frac{B_P}{100} = 0,65$.

Por definición: $x_P = \frac{\text{masa de sólidos solubles totales}}{\text{masa total del producto}}$. Por tanto: $0,65 = \frac{M_{SS,tot}}{M_P}$

- Los sólidos solubles totales proceden de:
 - La fruta utilizable: $M_{F,u} \cdot x_F$
 - El azúcar añadido: M_A

Dado el criterio de formulación 1:1: $M_A = M_{F,u}$

Por tanto: $M_{SS,tot} = M_{F,u} \cdot x_F + M_{F,u} = M_{F,u} \cdot (x_F + 1)$

Sustituyendo en la condición de producto final: $0,65 = \frac{M_{F,u} \cdot (x_F + 1)}{M_P} = \frac{\eta \cdot M_F \cdot (x_F + 1)}{M_P}$

Operando resulta la expresión: $M_F = \frac{M_P \cdot 0,65}{\eta \cdot (x_F + 1)}$.

Esta expresión es la que nos da la cantidad de fruta en masa exacta a procesar a nivel teórico para poder conseguir las 70 toneladas de producto final.

2.3.2. Metodología de Cálculo de azúcar para todos los sabores de mermelada

En mermelada de tipo extra, que es la que se va a producir, la norma impone una proporción de 50% entre azúcar y fruta para el producto final. En este proyecto se establece una relación de 1:1 entre fruta utilizable y azúcar añadida a la mezcla con el fin de estandarizar el proceso de fabricación para las diferentes variedades de mermelada.

Los pasos genéricos para el cálculo de mermelada serán los siguientes:

- Sabemos que el producto final debe contener: $B_P = 65^{\circ}\text{Brix}$. Lo que en fracción másica corresponde a: $x_P = \frac{B_P}{100} = 0,65$.
- La masa total de sólidos solubles en el lote final corresponde a: $M_{SS,tot} = x_P \cdot M_P = 0,65 \cdot 70000$
- Ahora hay que calcular la parte de sólidos solubles que proceden de la fruta utilizable. Si: $M_{F,u} = \eta \cdot M_F$. El contenido en sólidos solubles de la fruta es: $x_F = \frac{B_F}{B_A} = \frac{B_F}{100}$. Entonces los sólidos aportados por la fruta serán: $M_{SS,F} = M_{F,u} \cdot x_F$
- El resto de los sólidos necesarios hasta alcanzar el valor objetivo de 65°Brix deben aportarse mediante el azúcar que se añada a la mezcla. Por tanto: $M_A = M_{SS,tot} - M_{SS,F} = M_{SS,tot} - M_{F,u} \cdot x_F$
- Ahora se aplica la política preestablecida sobre la proporción de fruta y azúcar que debe ser 1:1. Podemos igualar la siguiente expresión: $M_A = M_{F,u}$ y operando, obtenemos el resultado de cantidad

de azúcar necesaria.

- Multiplicamos por el coeficiente de 1,08 para saber la cantidad exacta de aprovisionamiento por si hubiera defectos en la materia prima de acuerdo al porcentaje de seguridad especificado anteriormente en la introducción de este apartado.

2.3.3. Mermelada de Naranja

En este apartado se calcula la materia prima necesaria para hacer frente a una producción anual de 70 toneladas detallando el cálculo necesario para su comprensión a nivel práctico. No repetiremos este proceso para el resto de mermeladas ya que el proceso es el mismo. Sólo se expondrán los resultados para las otras dos variedades.

2.3.3.1. Naranja

Se presenta el cálculo exacto de naranja en peso necesaria para cumplir las especificaciones anteriormente descritas.

En la siguiente Tabla se muestran los rendimientos estimados y el contenido de sólidos solubles de la naranja que se empleará en el cálculo. Según la bibliografía técnica especializada en procesamiento industrial de cítricos, el porcentaje de jugo obtenido a partir del fruto entero suele situarse en el intervalo del 40-45% en condiciones industriales, dependiendo de la variedad, el grado de madurez y el sistema de extracción del jugo empleado [39,40]. Por este motivo y con el fin de obtener un dato conservador para realizar el cálculo, se adopta un rendimiento con un valor de $\eta = 0,4$ (40%).

En cuanto al contenido de sólidos solubles, la naranja se sitúa en el intervalo de 9-12 °Brix en función de la variedad y el punto de maduración. Asimismo, el Codex Alimentarius establece valores mínimos de °Brix para el zumo de naranja de en torno al 11,2 °Brix [41].

En la Tabla 6, se muestran los valores necesarios para el cálculo de materia prima para la variedad de mermelada de naranja:

Tabla 6.- Valores para el cálculo de materia prima necesaria para la variedad de “Mermelada de Naranja”.

Jugo de naranja filtrado	40%
Desechos totales	60%
Contenido de azúcar en la fruta	11,2 ° Brix

A continuación, se mostrará el cálculo:

$$\begin{aligned}
 B_P &= 65 \text{ °Brix} \\
 x_P &= \frac{B_P}{100} = 0,65 \\
 M_P &= 70.000 \text{ kg} \\
 M_A &= M_{F,u} \\
 \eta &= 0,4 \\
 B_F &= 11,2 \text{ °Brix} \\
 x_F &= \frac{B_F}{B_A} = \frac{B_F}{100} = 0,112
 \end{aligned}$$

Aplicamos directamente la expresión final:

$$M_F = \frac{M_p \cdot 0,65}{\eta \cdot (x_F + 1)} = \frac{70000 \cdot 0,65}{0,4 \cdot (1 + 0,112)} = 102.337,70 \text{ kg}$$

Aplicamos el incremento del 8% para poder hacer frente a problemas de aprovisionamiento o de calidad del producto recibido:

$$M_{F,final} = M_F \cdot 1,08 = 110.524,72 \text{ kg} \approx 110.600 \text{ kg}$$

2.3.3.2. Azúcar

En este subapartado, se detallará todo el cálculo establecido en el apartado de metodología para ver más detenidamente las cantidades precisas:

$$M_{SS,tot} = x_p \cdot M_p = 0,65 \cdot 70.000 = 45.500 \text{ kg}$$

$$M_{F,u} = \eta \cdot M_F = 0,4 \cdot 102.337,70 = 40.935,08 \text{ kg}$$

$$M_{SS,F} = M_{F,u} \cdot x_F = 40.935,08 \cdot 0,112 = 4.584,73 \text{ kg}$$

$$M_A = M_{SS,tot} - M_{SS,F} = 45.500 - 4.584,73 = 40.915,27 \text{ kg}$$

$$M_{A,final} = 1,08 \cdot M_A \approx 44.300 \text{ kg}$$

2.3.3.3. Pectina

De acuerdo con el Real Decreto 670/1990, de 25 de mayo, la cantidad de pectina añadida en la producción de mermeladas no debe superar el 1% de peso total del producto final [2].

Aunque en la práctica las cantidades de pectina oscilan entre el 0,5y el 0,8% [27,39], para este proyecto se tomará como referencia el valor máximo normativo del 1%. Esta referencia se establece para homogeneizar los cálculos para todos los sabores y como medida de aprovisionamiento, asegurando la disponibilidad de pectina en cualquier escenario del proceso productivo.

De esta forma, se requieren las siguientes cantidades de pectina:

$$0,01 \cdot 70.000 \text{ kg} = 700 \text{ kg}$$

$$1,08 \cdot 700 \text{ kg} = 756 \text{ kg}$$

2.3.3.4. Ácido cítrico

El ácido cítrico, técnicamente llamado aditivo E-330, tiene una proporción del 0,15% en la masa total de la mermelada [3].

Aunque en la práctica, en función del tipo de fruta que se emplea se toman valores en el rango del 0,1 al 0,2% [27,34], en el transcurso de este trabajo se tomará el valor intermedio de 0,15 % por los siguientes motivos:

- Es un valor intermedio utilizado frecuentemente en composiciones industriales, por lo que se asegura un cálculo realista.
- Se pueden homogeneizar los tres productos para simplificar el cálculo.
- Siempre se redondea de forma alcista para asegurar la disponibilidad de este producto y simplificar el cálculo.

$$\text{Cantidad Ácido} = \text{Masa producto final} \cdot 0,0015 = 105 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta el excedente del 8%:

$$1,08 \cdot 105 \text{ kg} = 113,4 \text{ kg} \approx 114 \text{ kg}$$

2.3.3.5. Resumen

Para la mermelada de naranja, necesitaríamos las siguientes cantidades de cada ingrediente, reflejadas en la Tabla 7:

Tabla 7.- Resumen de cantidades de materia prima (anuales) para la producción de 70 toneladas de mermelada de naranja.

Cantidad de Naranja (kg)	110.600
Cantidad de Azúcar (kg)	44.300
Cantidad de Pectina (kg)	756
Cantidad de Ácido cítrico (kg)	114

2.3.4. Mermelada de Fresa

Al igual que en el apartado anterior se detallarán los cálculos de las cantidades de materias primas para la fabricación de 70 toneladas de mermelada de fresa según los criterios establecidos anteriormente.

2.3.4.1. Fresa

En el procesado industrial de esta fruta, es necesaria la extracción del cáliz y la selección de calidad óptima de la fruta. Diversas bases de datos técnicas sitúan la parte no comestible de la fresa comestible en valores entre el 2 y el 5% [42,43]. Por ello para la realización de este proyecto se toma el valor más conservador del 5%.

En relación al contenido de sólidos solubles, el °Brix de la fresa varía en función de la variedad y de la madurez de la fresa, al igual que en el caso de la naranja, encontrándose en torno al 7-10 °Brix, con valores frecuentes en torno a 8 °Brix [44,45].

En la Tabla 8 se muestran los datos que se emplearán para hacer los cálculos descritos en apartados anteriores:

Tabla 8.- Valores para el cálculo de materia prima necesaria para la variedad de “Mermelada de Fresa”.

Porcentaje de fresa utilizable	95%
Desechos totales	5%
Contenido de azúcar en la fruta	8 ° Brix

A continuación, se mostrará el resultado del cálculo explicado tanto teóricamente como prácticamente en apartados anteriores:

$$M_F = \frac{M_p \cdot 0,65}{\eta \cdot (x_F + 1)} = \frac{70.000 \cdot 0,65}{0,95 \cdot (1 + 0,08)} = 44.346,98 \text{ kg}$$

$$M_{F,final} = M_F \cdot 1,08 = 44.346,98 \text{ kg} \approx 47.900 \text{ kg}$$

2.3.4.2. Azúcar

Se lleva a cabo el cálculo según lo establecido en la plantilla de metodología de cálculo de azúcar y los datos reflejados en la Tabla 7. Se mostrará el resultado directamente ya que el proceso de cálculo es el mismo que el establecido en apartados anteriores:

$$M_A = 421.299,63 \text{ kg}$$

$$M_{A,final} = 1,08 \cdot M_A \approx 45.500 \text{ kg}$$

2.3.4.3. Pectina

La explicación y el criterio de cálculo de la cantidad de pectina ha quedado reflejado en el apartado de cálculo de esta materia prima en la mermelada de naranja y es equiparable para el resto de sabores, ya que, al ser utilizado en cantidades muy pequeñas no altera la mezcla.

$$0,01 \cdot 70.000 \text{ kg} = 700 \text{ kg}$$

$$1,08 \cdot 700 \text{ kg} = 756 \text{ kg}$$

2.3.4.4. Ácido cítrico

La explicación y el criterio de cálculo de la cantidad de ácido cítrico ha quedado reflejado en el apartado de cálculo de la mermelada de naranja y es equiparable para todos los sabores. Al ser utilizado en cantidades muy pequeñas no altera la mezcla.

$$\text{Cantidad Ácido} = \text{Masa producto final} \cdot 0,0015 = 105 \text{ kg}$$

$$1,08 \cdot 105 \text{ kg} = 113,4 \text{ kg} \approx 114 \text{ kg}$$

2.3.4.5. Resumen

En la Tabla 9 se muestra un resumen de las cantidades necesarias para poder producir 70 toneladas de mermelada de fresa:

Tabla 9.- Resumen de cantidades de materia prima para la producción de 70 toneladas de mermelada de fresa.

Cantidad de Fresa (kg)	47.900
Cantidad de Azúcar (kg)	45.500
Cantidad de Pectina (kg)	756
Cantidad de Ácido cítrico (kg)	114

2.3.5. Mermelada de melocotón

Al igual que en el apartado anterior, se detallarán los cálculos de las cantidades de materias primas para la fabricación de 70 toneladas de mermelada de melocotón según los criterios establecidos anteriormente.

2.3.5.1. Melocotón

En el procesado industrial del melocotón, se presentan pérdidas asociadas principalmente al hueso y a las operaciones de pelado o recorte y existen manuales técnicos de rendimientos de alimentos que indican que el rendimiento utilizable del melocotón se sitúa entre el 75% y el 85%, dependiendo del sistema de procesado [46]. Por coherencia con estos datos, se adopta un rendimiento del 81%.

En relación al contenido de sólidos solubles, el melocotón presenta valores típicos en el intervalo entre 9 y 14 °Brix, según la variedad y el grado de maduración. Diversos estudios de calidad indican valores medios entre el 10 al 12 °Brix para fruta destinada a procesado [44,45]. Por ello, se adopta un valor representativo de 10,5 °Brix.

En la Tabla 10 se reflejan estos datos para facilitar la interpretación del lector:

Tabla 10.- Valores para el cálculo de materia prima necesaria para la variedad de “Mermelada de Melocotón”

Porcentaje de melocotón utilizable	81%
Desechos totales	19%
Contenido de azúcar en la fruta	10,5 ° Brix

A continuación, se mostrará el resultado del cálculo explicado tanto teóricamente como prácticamente en apartados anteriores:

$$M_F = \frac{M_p \cdot 0,65}{\eta \cdot (x_F + 1)} = \frac{70.000 \cdot 0,65}{0,81 \cdot (1 + 0,105)} = 50.385,15 \text{ kg}$$

$$M_{F,final} = M_F \cdot 1,08 = 54.901,96 \text{ kg} \approx 55.000 \text{ kg}$$

2.3.5.2. Azúcar

Haremos el cálculo según lo establecido en la plantilla de metodología de cálculo de azúcar y los datos reflejados en la Tabla 9. Se mostrará el resultado directamente ya que el proceso de cálculo es igual al establecido en apartados anteriores:

$$M_A = 41.176,47 \text{ kg}$$

$$M_{A,final} = 1,08 \cdot M_A \approx 44.500 \text{ kg}$$

2.3.5.3. Pectina

La explicación y el criterio de cálculo de la cantidad de pectina ha quedado reflejado en el apartado de cálculo de esta materia prima en el sabor de mermelada de naranja y es equiparable para todos los sabores, al ser utilizado en cantidades muy pequeñas no alterará a la mezcla.

$$0,01 \cdot 70.000 \text{ kg} = 700 \text{ kg}$$

$$1,08 \cdot 700 \text{ kg} = 756 \text{ kg}$$

2.3.5.4. Ácido cítrico

La explicación y el criterio de cálculo de la cantidad de ácido cítrico ha quedado reflejado en el apartado de cálculo de esta materia prima en el sabor de mermelada de naranja y es equiparable para todos los sabores, al ser utilizado en cantidades muy pequeñas no alterará a la mezcla.

$$\text{Cantidad Ácido} = \text{Masa producto final} \cdot 0,0015 = 105 \text{ kg}$$

$$1,08 \cdot 105 \text{ kg} = 113,4 \text{ kg} \approx 114 \text{ kg}$$

2.3.5.5. Resumen

En la Tabla 11 se muestra un resumen de las cantidades necesarias para poder producir 70 toneladas de mermelada de melocotón:

Tabla 11.- Resumen de cantidades de materia prima para la producción de 70 toneladas de mermelada de melocotón.

Cantidad de Melocotón (kg)	55.000
Cantidad de Azúcar (kg)	44.500
Cantidad de Pectina (kg)	756
Cantidad de Ácido cítrico (kg)	114

2.3.6. Resumen total de cantidades

En la Tabla 12 se muestran todas las cantidades necesarias para la producción de la planta:

Tabla 12.- Resumen de cantidad de materia prima necesarias para la producción.

Cantidad de Naranja (kg)	110.600
Cantidad de Fresa (kg)	47.900
Cantidad de Melocotón (kg)	55.000
Cantidad de azúcar (kg)	134.300
Cantidad de Pectina (kg)	2.268
Cantidad de Ácido Cítrico (kg)	342

2.3.7. Tarros de cristal

Para el envasado final se emplearán tarros de vidrio. En este apartado, se desarrollarán todos los cálculos necesarios para determinar en número de tarros necesarios a lo largo de un año natural de operación de la planta. Las especificaciones de los mismos se detallarán más adelante.

A lo largo de este proyecto, se efectuarán los cálculos para que los tarros contengan 500 g de mermelada.

La mermelada a 65 °Brix presenta un valor de densidad en el intervalo [1-1,19] g/ml. En este proyecto, se tomará $\rho = 1,15 \frac{g}{mL}$ como valor de densidad por varios motivos [27]:

- Este valor refleja las condiciones reales de la mermelada de frutas a lo largo del proceso (°Brix y llenado en caliente), evitando así el sobredimensionamiento de volumen de los tarros que produciría utilizar el valor más bajo de $\rho = 1 \frac{g}{mL}$.
- Se mantiene un pequeño margen de seguridad con respecto al extremo superior del margen.

Como ya se ha expuesto, este cálculo se realizará para envasar la mermelada en tarros de 500 g cada uno.

$$V_{llenado} = \frac{m}{\rho} = \frac{500 \text{ g}}{1,15 \frac{g}{mL}} \approx 434,8 \text{ mL}$$

Los tarros deben de tener un volumen aproximado de llenado de 434,8 mL, por este motivo emplearemos tarros con volúmenes mayores y más habituales en el mercado, se emplearán tarros del orden de 510-520 mL, con el fin de garantizar un headspace (espacio vacío que queda entre el contenido y la tapa superior del envase) de

aproximadamente un 15 %, teniendo en cuenta posibles tolerancias [12].

A continuación, se calculará el número de tarros necesarios a lo largo de un año:

$$\frac{\text{Tarros}}{\text{año}} = \frac{210.000 \text{ kg}}{0,5 \text{ kg/tarro}} = 420.000 \text{ tarros}$$

$$420.000 \frac{\text{tarros}}{\text{año}} * 1,05 (\text{margen}) = 441.000 \frac{\text{tarros}}{\text{año}}$$

$$\frac{\text{Tarros}}{\text{sabor}} = \frac{420.000}{3} = 140.000 \text{ tarros}$$

$$140.000 \frac{\text{tarros}}{\text{sabor}} * 1,05 (\text{margen}) = 147.000 \text{ tarros/sabor}$$

2.3.8. Etiquetas

El dimensionamiento de etiquetas se realiza de forma equivalente al número de tarros. Por diseño se van a emplear dos etiquetas por tarro: una etiqueta frontal en la que aparece la marca y la denominación de venta y otra etiqueta trasera en la que se recoge toda la información nutricional necesaria para cumplir con la legislación vigente [4,13]. Asimismo, se considerará un margen del 5% al igual que en el resto de las materias auxiliares.

$$420.000 \frac{\text{tarros}}{\text{año}} * 1,05 (\text{margen}) = 441.000 \frac{\text{etiquetas}}{\text{año}}$$

$$140.000 \frac{\text{tarros}}{\text{sabor}} * 1,05 (\text{margen}) = 147.000 \text{ etiquetas/sabor}$$

Se necesitará dicha cantidad para cada una de las etiquetas, tanto frontales como traseras, para un año de producción.

A continuación, en las Figuras 10 y 11 se muestran las etiquetas para que el lector pueda hacerse una idea de cómo serían esas etiquetas y la información que deben de contener cada una de ellas:



Figura 10.- Etiqueta con información nutricional del producto.



Figura 11.- Etiqueta para darle valor al producto.

2.3.9. Cajas

Para la expedición y la comercialización del producto final se utilizarán cajas de cartón. Se emplearán cajas con capacidad para 16 tarros, dispuestos en dos capas de 8.

El número de cajas necesarias teniendo en cuenta el margen del 5% son las siguientes:

$$420.000 \frac{\text{tarros}}{\text{año}} \cdot 1,05 (\text{margen}) = 441.000 \frac{\text{tarros}}{\text{año}}$$

$$\frac{441.000 \frac{\text{tarros}}{\text{año}}}{16 \frac{\text{tarros}}{\text{Caja}}} \approx 21.563 \text{ cajas}$$

Cálculo de lotificación y predimensionado de la instalación para las distintas variedades de mermelada de frutas y del tratamiento de aguas.

En los apartados anteriores se ha hecho una descripción del proceso productivo, así como de las diferentes materias primas que se necesitan para producir 210 toneladas de mermelada al año repartidas equitativamente entre las tres variedades escogidas.

En este apartado se transforman esas cantidades anuales en cantidades operativas con los siguientes fines:

- Definir la lotificación (tamaño y número de lotes) para cada variedad, siendo coherente con el calendario de producción.
- Predimensionar la maquinaria para su posterior elección.
- Elaborar un balance de materia por fases.

La maquinaria elegida debe ser capaz de soportar no sólo la producción planificada, sino también permitir un margen de sobredimensionamiento en caso de crecimiento de la demanda si fuera necesario.

2.3.10. Definición de los lotes cálculo de ritmos de diseño

Se fija una unidad operativa con el fin de tener una referencia para poder predimensionar la maquinaria necesaria

en función de la variedad y tomar las decisiones oportunas en el siguiente apartado. Por este motivo se definen los siguientes conceptos:

- Lote de fabricación: Cantidad de producto terminado obtenida en un ciclo completo, es decir, desde que se inician las primeras fases del proceso productivo hasta que finalizan las últimas etapas del proceso.
- Día de campaña: Cada uno de los días laborables en los que se produce cada una de las variedades. Con este fin, se realiza un dimensionamiento de la maquinaria para una unidad de tiempo pequeña.

2.3.10.1. Selección del tamaño del lote

Para determinar el tamaño del lote se establecerá una cantidad de producción por lote que permita trabajar con lotes manejables y que sea compatible con el envasado definido, por este motivo, se adopta un lote de 400 kg de mermelada como unidad de fabricación.

$$400 \frac{kg}{lote} \rightarrow \frac{400}{0,5} = 800 \frac{tarros}{lote}$$

$$800 \frac{tarros}{lote} \rightarrow \frac{800}{16} = 50 \frac{cajas}{lote}$$

En la Tabla número 13 se podrán ver las equivalencias operativas del lote de producción propuesto:

Tabla 13.- Equivalencias operativas del lote de fabricación

Lote	Cantidad Operativa
1	400 kg de mermelada
1	800 tarros (0,5 kg/tarro)
1	50 cajas (16 tarros/caja)

2.3.10.2. Análisis de necesidades según unidad de tiempo

A partir del calendario de producción previamente definido en la Figura 2 se calculará el número de días de fabricación por cada variedad de mermelada. Para homogeneizar el cálculo, se suponen los siguientes datos: 1 mes = 4 semanas, con una operación de 5 días/semana.

El ritmo medio diario de producción según cada una de las variedades se calculará como:

$$Dias_{operativos,fruta} = N_{sem,fruta} \cdot 5$$

$$Q_{dia,fruta} = \frac{70.000}{Dias_{operativos,fruta}}$$

Y el número medio de lotes a producir se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$N_{\frac{lotes}{dia},fruta} = \frac{Q_{dia,fruta}}{400}$$

2.3.11. Cálculo de la lotificación por variedad de mermelada.

En la Tabla 14 se muestran todos los datos necesarios para el cálculo, así como el cálculo final de lotificación para cada variedad de fruta:

Tabla 14.- Lotificación diaria ideal por variedad

Variedad	Meses de campaña	Días de Campaña	Producción (kg/día)	Lotes/día	Tarros/día	Cajas/día
Naranja	4	80	875	2,19	1.750	109,4
Fresa	3	60	1.116,7	2,92	2.333	145,8
Melocotón	4	80	875	2,19	1.750	109,4

Según los datos de esta tabla, se ha adoptado la siguiente decisión a la hora de producir:

- En las variedades de mermelada de naranja y de melocotón, se producirá la mayoría de los días a un ritmo de dos lotes diarios y algunos días a ritmo de 3.
- En el caso de la fresa, se operará casi todos los días a un ritmo de 3 lotes por día y en casos puntuales se producirá a un ritmo de 2 lotes por día.

En la Tabla 15 se pueden ver las cantidades a producir en los días más restrictivos en los cuales se opera a un ritmo de 3 lotes por día, con el fin de predimensionar la maquinaria de forma adecuada:

Tabla 15.- Cantidad a producir en los días que se produzcan tres lotes.

Producción (kg/día)	Lotes/día	Tarros/día	Cajas/día
1200	3	2.400	150

2.3.12. Balance de materia por lote en la Fase I

En este apartado se realizarán los cálculos para obtener la cantidad de materia prima que se va a procesar para cada lote de producción durante la fase I con el fin de analizar el balance de materia de esta fase para cada una de las frutas.

Para realizar el cálculo se utilizan las siguientes fórmulas:

$$N_{\text{lotes,fruta}} = \frac{70.000 \frac{\text{kg por variedad}}{\text{año}}}{400 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}} = 175 \frac{\text{lotes}}{\text{año}}$$

$$M_{\text{Fruta bruta}}^{\text{lote}} = \frac{M_{\text{Fruta bruta}}^{\text{año}}}{N_{\text{lotes,fruta}}}$$

$$M_{\text{Fruta utilizable}}^{\text{lote}} = \eta_{\text{fruta}} \cdot M_{\text{Fruta bruta}}^{\text{lote}}$$

$$M_{\text{residuos fruta}}^{\text{lote}} = M_{\text{Fruta bruta}}^{\text{lote}} - M_{\text{Fruta utilizable}}^{\text{lote}}$$

$$M_{\text{azúcar}}^{\text{lote}} = \frac{M_{\text{azúcar}}^{\text{año}}}{N_{\text{lotes,fruta}}}$$

$$M_{\text{pectina}}^{\text{lote}} = \frac{M_{\text{pectina}}^{\text{año}}}{N_{\text{lotes,fruta}}}$$

$$M_{\text{ácido}}^{\text{lote}} = \frac{M_{\text{ácido}}^{\text{año}}}{N_{\text{lotes,fruta}}}$$

$$M_{\text{total mezcla}}^{\text{lote}} = M_{\text{Fruta utilizable}}^{\text{lote}} + M_{\text{azúcar}}^{\text{lote}} + M_{\text{pectina}}^{\text{lote}} + M_{\text{ácido}}^{\text{lote}}$$

$$M_{\text{evaporada}}^{\text{lote}} = M_{\text{total mezcla}}^{\text{lote}} - M_{\text{lote}}$$

En la Tabla 16 se muestran los resultados del cálculo expresado anteriormente, realizado para determinar las distintas cantidades de entrada y salida de cada etapa durante la fase I:

Tabla 16.- Cantidades de Balance de Materia de la fase I

Variedad	Fruta bruta (kg/lote)	Fruta utilizable (kg/lote)	Residuos fruta (kg/lote)	Azúcar (kg/lote)	Pectina (kg/lote)	Ácido cítrico (kg/lote)	Mezcla Previa (kg/lote)	Evaporación (kg/lote)
Naranja	632	252,8	379,2	253,1	4,32	0,65	510,9	110,9
Fresa	273,7	260	13,7	260	4,32	0,65	525	125
Melocotón	314,3	254,6	59,7	254,3	4,32	0,65	513,8	113,8

En la Figura 12 se muestra el balance de materia que se produce durante la fase I en la fabricación de un lote de mermelada de naranja.

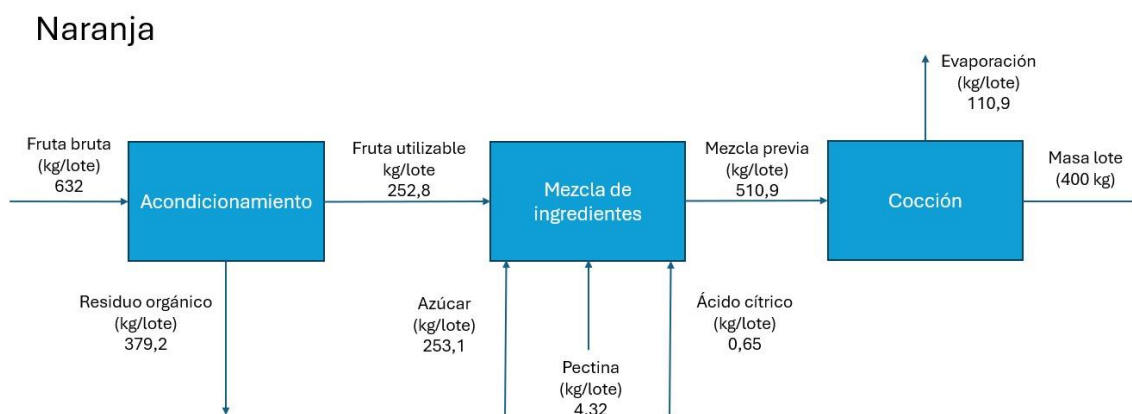


Figura 12.- Cantidades de Balance de Materia de la fase I

En la Figura 13 se muestra el balance de materia que se produce durante la fase I en la fabricación de un lote de mermelada de fresa.

Fresa

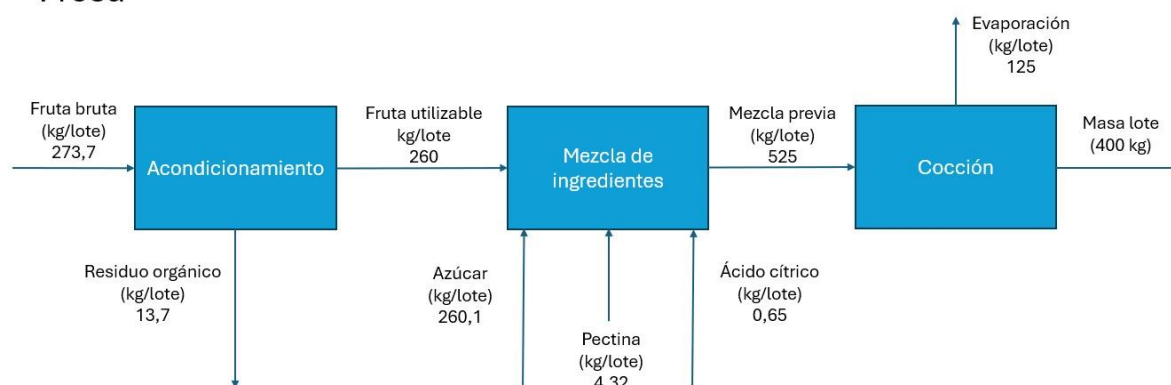


Figura 13.- Balance de materia por lote de mermelada de fresa durante la fase I

En la Figura 14 se muestra el balance de materia que se produce durante la fase I en la fabricación de un lote de mermelada de melocotón.

Melocotón

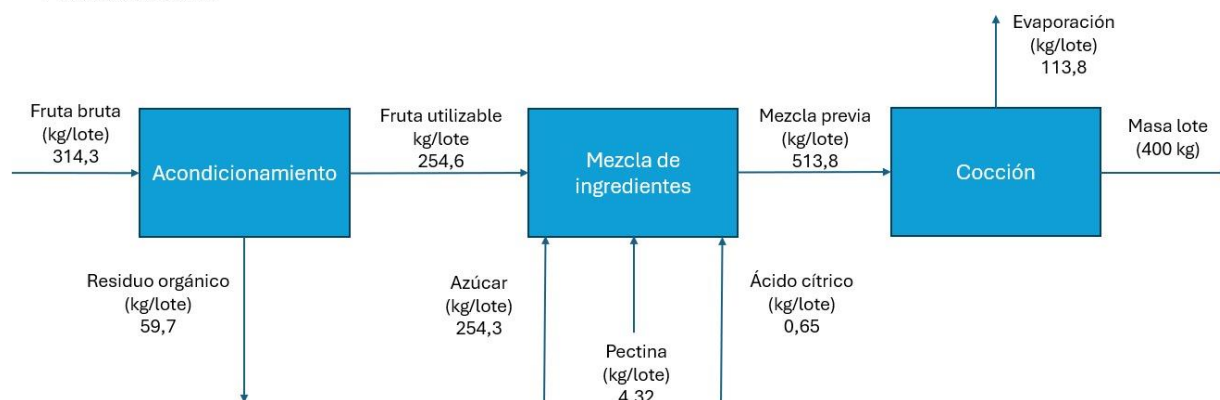


Figura 14.- Balance de materia por lote de mermelada de fresa durante la fase I

2.3.13. Predimensionamiento de maquinaria por lotes y verificación de capacidad.

Para el predimensionamiento de la maquinaria, se utilizarán los casos más restrictivos, ya que variarán las cargas de proceso en función de la variedad de mermelada a producir:

- Máxima fruta bruta por día: Se presenta durante el tiempo de producción de la mermelada de naranja, ya que es cuando se requiere un mayor caudal de acondicionamiento de fruta bruta
- Máximo envasado por día: Será igual para las tres variedades, ya que, en este caso, habrá días en los que se produzcan tres lotes diarios y, por tanto, se envasarán 2.400 tarros diarios.

Al estar el proceso productivo organizado en línea por fases, y que cada lote se produce de manera secuencial (lote 1 → lote 2 → lote 3), se realiza este predimensionamiento en función de la capacidad y del tiempo necesario para fabricar cada lote. Posteriormente, se verificará que la línea es capaz de completar los tres lotes dentro del turno único de 8 horas.

Para transformar las cargas por lote en tiempos estimados se emplean los siguientes criterios:

- Para operaciones gobernadas por caudal (kg/hora o tarros/hora) se emplea la siguiente fórmula para obtener el tiempo estimado por lote:

$$t_{operación,lote}(\text{min}) = \frac{\text{Carga por lote}}{\text{Capacidad del equipo}} \cdot 60$$

- Para aquellas operaciones dependientes de la temperatura, principalmente la cocción y el enfriamiento, cuyo tiempo de proceso está condicionado por múltiples variables además del caudal, se establecerán tiempos de operación objetivo. Esto permitirá la adecuada selección de los equipos, de manera que se garantice la producción de tres lotes por turno.

Se aplicará un criterio de sobrecapacidad del 25 % en los cálculos para contemplar posibles averías de maquinaria, paradas o cualquier imprevisto que pueda surgir durante la producción.

Se establecen las siguientes bases de cálculo:

- Definición de lote: $1 \text{ lote} = 400 \text{ kg de producto final}$
- Envasado por lote: $0,5 \text{ kg} \frac{\text{producto}}{\text{tarro}} \rightarrow 800 \text{ tarros/lote}$
- Embalaje: $16 \frac{\text{tarros}}{\text{caja}} \rightarrow 50 \frac{\text{cajas}}{\text{lote}}$
- Día de diseño: $1200 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 2.400 \frac{\text{tarros}}{\text{día}}$

Además, se toman como casos más restrictivos de carga por lotes los siguientes sucesos:

- Fruta bruta por lote (peor caso): $\text{naranja} = 632 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}$
- Azúcar por lote (peor caso): $\text{fresa} = 260 \text{ kg/lote}$
- Pectina por lote (peor caso): $\text{fresa} = 4,32 \text{ kg/lote}$
- Ácido (peor caso): $\text{fresa} = 0,65 \text{ kg/lote}$
- Mezcla previa a cocción (peor caso): $\text{fresa} = 525 \text{ kg/lote}$

2.3.13.1. Predimensionamiento de equipos de la fase I

La primera fase tiene varios equipos que predimensionar ya que desde la selección y el lavado de las frutas pasa por varias estaciones como la despulpadora, pesaje, tanque de mezcla y cocedor. En la Tabla 17 se muestran los datos aplicados para este predimensionamiento y los tiempos estimados por lote durante la operación.

Tabla 17.- Predimensionamiento de la maquinaria necesaria en la fase I

Operación / Equipo	Variable de Diseño	Caso Restrictivo	Carga por lote	Capacidad mínima	Capacidad recomendada (+25%)	Tiempo estimado por lote
Lavadora + Selección	kg/h	Naranja	632 kg	1.200 kg/h	1500 kg/h	$t = \frac{632}{cap} \cdot 60$ $= 24,3 \text{ min}$
Despulpadora	kg/h	Naranja	632 kg	1.200 kg/h	1.500 kg/h	$t = \frac{632}{cap} \cdot 60$ $= 24,3 \text{ min}$
Dosificación	kg/h	Fresa	265 kg	500 kg/h	600 kg/h	$t = \frac{265}{cap} \cdot 60$ $= 26,5 \text{ min}$
Tanque de mezcla + Precalentamiento	kg/lote	Fresa	525 kg	Volumen útil ≥ 525 kg	Volumen útil ≥ 650 kg	Según ficha técnica
Cocción	Min (proceso)	-	1 lote	-	-	15-20 min

2.3.13.2. Predimensionamiento de equipos de la fase II

Se actúa de forma similar a la del apartado anterior. Esta fase presenta menor duración y menor dotación de maquinaria. Se establece como criterio que esta fase finalice con suficiente antelación respecto a fase I con el fin de no limitar el inicio de la fase de llenado. En la Tabla 18 se puede ver este predimensionamiento.

Tabla 18.- Predimensionamiento de maquinaria en la fase II.

Operación / Equipo	Variable de Diseño	Carga por lote	Capacidad mínima	Capacidad recomendada (+25%)	Tiempo estimado por lote
Lavado	tarros/h	800	1.600 tarros/h	2.000 tarros/h	$t = \frac{800}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$
Secado	tarros/h	800	1.600 tarros/h	2.000 tarros/h	$t = \frac{800}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$

2.3.13.3. Predimensionamiento de equipos de la fase III

Este predimensionamiento no depende de ningún factor como en la fase I. Será igual para todas las variedades de mermelada, ya que la cantidad de mermelada y de tarros a producir es fija en todos los lotes.

Esta fase se corresponde al último tramo de la línea de producción y debe de poder garantizar que el producto procesado en la fase I, sea empaquetado correctamente asegurando la continuidad del proceso. Teniendo en cuenta que un lote tiene 400 kg de mermelada y 800 tarros y que, en el caso más restrictivo, se tendrán que procesar tres lotes por turno, se predimensionará la maquinaria para este supuesto.

En el predimensionamiento se ha tomado como criterio principal que el llenado y cerrado de los botes no debe durar más de media hora para evitar que este proceso no se convierta en un cuello de botella. Además, todos los procesos posteriores deben tener una capacidad igual a la del llenado, de forma que la línea este balanceada. En la Tabla 19 se puede apreciar dicho predimensionamiento:

Tabla 19.- Predimensionamiento de maquinaria en fase III

Operación / Equipo	Variable de Diseño	Carga por lote	Capacidad mínima	Capacidad recomendada (+25%)	Tiempo estimado por lote
Llenadora + cerradora	tarros/h	800	1.600 tarros/h	2.000 tarros/h	$t = \frac{800}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$
Enfriamiento	tarros/h	800	1.600 tarros/h	2.000 tarros/h	$t = \frac{800}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$
Secado exterior (aire)	tarros/h	800	1.600 tarros/h	2.000 tarros/h	$t = \frac{800}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$
Etiquetadora	tarros/h	800	1.600 tarros/h	2.000 tarros/h	$t = \frac{800}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$
Empaquetadora	cajas/h	50 cajas/lote	100 cajas/h	125 cajas/h	$t = \frac{50}{cap} \cdot 60$ $= 24 \text{ min}$
Paletizado	Pallets/h	Según patrón	-	-	$t = 15 \frac{\text{min}}{\text{lote}}$ (manual)

2.3.13.4. Simulación de operaciones durante un día de producción.

Una vez realizado el predimensionamiento de maquinaria (véanse las Tablas 17,18 y 19) se ha realizado un modelo de simulación de scheduling con el objetivo de verificar que los tiempos de operación estimados para cada etapa del proceso permiten completar la producción diaria dentro del turno establecido. La planta se ha dimensionado para operar en un único turno de 8 horas diarias durante 5 días a la semana, por lo que el makespan resultante de la simulación debe mantenerse holgadamente por debajo de los 480 minutos.

El sistema productivo no responde a un flow shop clásico sino a una topología del tipo assembly scheduling, en la que dos líneas independientes convergen en una fase común. Como se ha explicado anteriormente, mientras se prepara la mermelada en la línea principal, los tarros vacíos recorren en paralelo una línea secundaria de lavado y secado, de modo que ambos flujos deben sincronizarse para comenzar la tercera etapa.

Esta circunstancia se ha modelado dividiendo el proceso en las tres fases: la Fase I agrupa las operaciones de producción de mermelada (máquinas M0 a M3), La Fase II se desarrolla en paralelo y comprende la preparación de envases (M4 y M5), y la Fase III agrupa el envasado, enfriamiento, etiquetado y empaquetado (M6 a M10), cuya primera operación no puede iniciarse hasta que ambas fases anteriores hayan concluido su operación para un mismo lote.

La simulación se ha implementado en lenguaje Python, mediante la librería scheptk, utilizada en la asignatura “Programación de Operaciones” de la mención de Organización Industrial. Los métodos empleados para evaluar dicho desempeño del Schedule son los siguientes: Cmax (solution) que calcula el makespan, es decir, el tiempo transcurrido desde el inicio del primer lote hasta la finalización en la última operación: SumCj(solution) calcula la suma de tiempos de finalización por lotes, indicador del tiempo medio de servicio del sistema; y print_schedule() que genera una representación básica del Gantt en consola sobre la que posteriormente se construye la visualización definitiva con Matplotlib. El desarrollo del código, la justificación de los tiempos empleados y la declaración sobre el uso de herramientas de apoyo se recogen en el anexo B.

En la Figura 15 se presenta la simulación correspondiente al escenario de producción nominal, con tres lotes diarios. El makespan obtenido es de 359 minutos, aproximadamente 6 horas, lo que confirma que el predimensionamiento de los equipos permite completar la producción objetivo con más de una hora y media de margen sobre el turno de 8 horas.

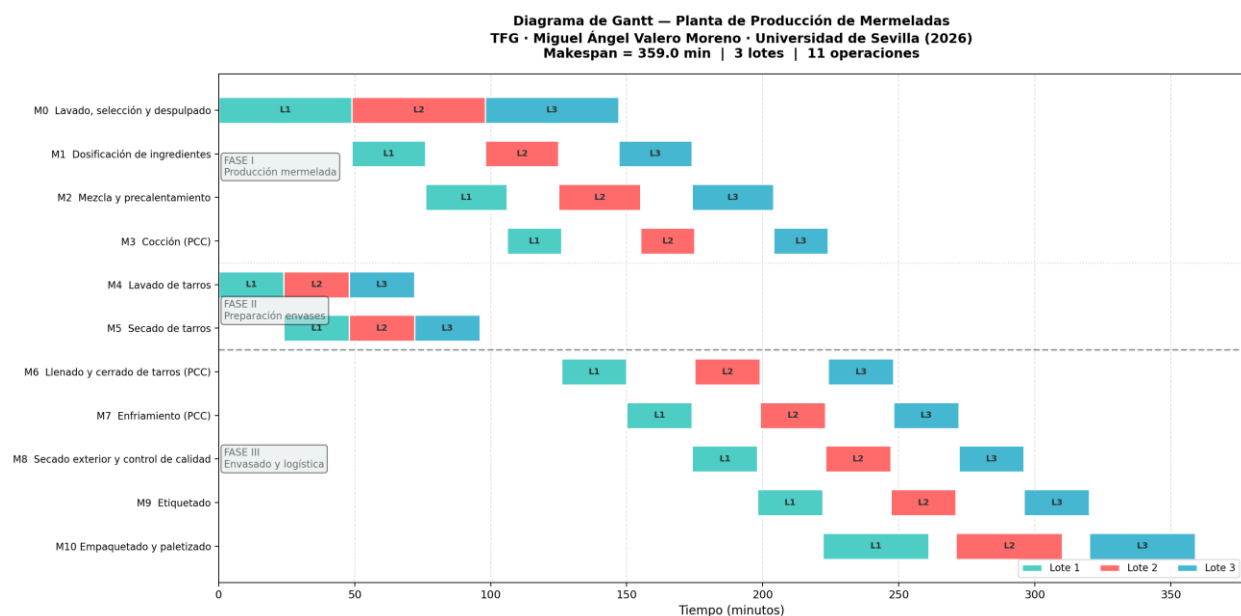


Figura 15.- Simulación de la producción con los tiempos ideales para 3 lotes diarios.

Con el fin de evaluar la holgura real de la instalación y su capacidad para absorber incrementos futuros de demanda, se ha repetido la simulación para un escenario ampliado de cinco lotes diarios, recogido en la Figura 16. El resultado demuestra que, conservando el mismo predimensionamiento, la planta sigue siendo capaz de

completar la producción dentro del turno de 8 horas, por lo que existe margen suficiente para abordar un crecimiento de volumen de mercado sin necesidad de ampliar la jornada laboral ni duplicar equipos críticos.

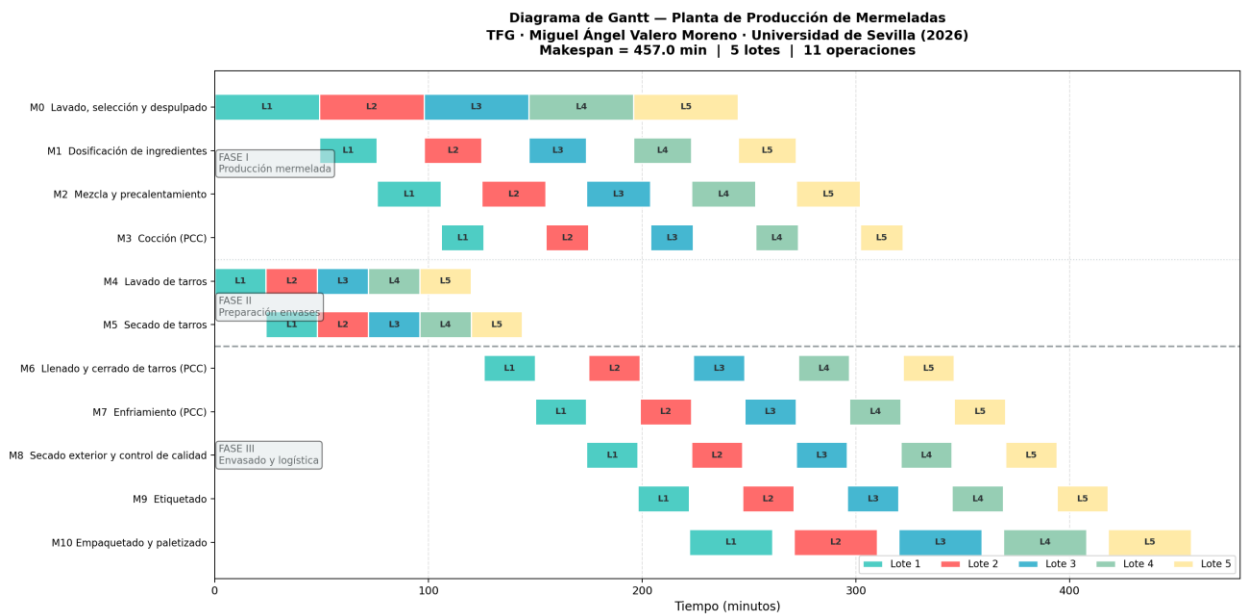


Figura 16.- Simulación de la producción con los tiempos ideales para 5 lotes diarios

2.3.14. Balance de materia de residuos y aguas residuales.

Para el balance de materia de residuos y de aguas residuales se considera, como en apartados anteriores, un día de producción en el caso más desfavorable, es decir, un día en el que se produzcan tres lotes de cualquier variedad de mermelada.

2.3.14.1. Residuos Orgánicos

Los residuos orgánicos pueden obtenerse directamente de los balances de materia de la fase I realizados en apartados anteriores, y en la Tabla 20 se muestran los resultados:

Tabla 20.- Tabla de cantidades de residuos Orgánicos a tratar

Corriente	Fase	Base de Cálculo	Por lote	Por turno	Caso de diseño
Residuo Orgánico (Naranja)	Fase I (Acondicionamiento)	$M_{residuos\ fruta}^{lote} = M_{Fruta\ bruta}^{lote} - M_{Fruta\ utilizable}^{lote}$	379,2 kg	1.137,6 kg	Máximo de los casos de residuos orgánicos con el que se predimensionarán los contenedores
Residuo Orgánico (Fresa)	Fase I (Acondicionamiento)	$M_{residuos\ fruta}^{lote} = M_{Fruta\ bruta}^{lote} - M_{Fruta\ utilizable}^{lote}$	13,7 kg	41,1, kg	-
Residuo Orgánico (Melocotón)	Fase I (Acondicionamiento)	$M_{residuos\ fruta}^{lote} = M_{Fruta\ bruta}^{lote} - M_{Fruta\ utilizable}^{lote}$	59,7 kg	179,1 kg	-

Teniendo en cuenta el margen de seguridad del 25% que se ha adoptado en el predimensionamiento de capacidades, se necesita un contenedor capaz de albergar una capacidad de 1.430 kg aproximadamente.

2.3.14.2. Predimensionamiento del caudal de aguas residuales a tratar

Se estima el caudal de aguas residuales a tratar con el fin de poder dimensionar de forma teórica el sistema de gestión de estas aguas. El criterio de predimensionamiento será que la planta esté capacitada para poder tratar todo el caudal de residuos generados en un día de producción de máxima exigencia.

Las aguas residuales anteriores proceden de las siguientes etapas:

- Lavado de fruta (Fase I)
- Lavado y esterilizado de tarros (Fase II)
- Enfriamiento posterior al llenado (Fase III)
- Limpieza de equipos y suelos (operación auxiliar diaria).

Para realizar un predimensionamiento del caudal de aguas residuales sin disponer aún de la maquinaria ni los datos específicos de los distintos fabricantes, se adoptan los siguientes coeficientes de diseño:

- Lavado de fruta: 1L/kg de fruta procesada.
- Lavado de tarros: 0,05 L/tarro
- Enfriamiento: 0,15 L/tarro
- Limpieza: $0,8 \text{ m}^3/\text{turno}$

Estos valores se extraen de bibliografía técnica especializada y guías de buenas prácticas sobre uso de agua y CIP (limpieza in situ o limpieza en el lugar) en industria alimentaria, así como en descripciones técnicas de equipos similares a los que se van a utilizar en la práctica [47,48,49,50].

En la Tabla 21, se pueden ver los cálculos de predimensionamiento de caudal a tratar:

Tabla 21.- Predimensionamiento del Caudal de aguas residuales a tratar según la variedad de mermelada producida.

Origen del Caudal	Fase	Base de Cálculo	Naranja (metro cúbico /turno)	Fresa (metro cúbico /turno)	Melocotón (metro cúbico /turno)
Lavado de fruta	I	$Q = 0,001$ $* M_{Fruta\ bruta}^{turno}$	1,896	0,821	0,943
Lavado / Esterilizado de tarros	II	$Q = 0,00005$ $* N_{tarros}$	0,120	0,120	0,120
Enfriamiento	III	$Q = 0,00015$ $* N_{tarros}$	0,360	0,360	0,360
Limpieza / CIP de aguas residuales	I-III	Coefficiente de diseño	0,8	0,8	0,8
Caudal Total	Entrada a fase IV	Sumatoria	3,176	2,101	2,223

En la Figura 17, se muestra el balance de caudales de aguas residuales a tratar de forma más visual para el caso de producción de mermelada de naranja, que es el más restrictivo y se tomará como referencia para el predimensionamiento.

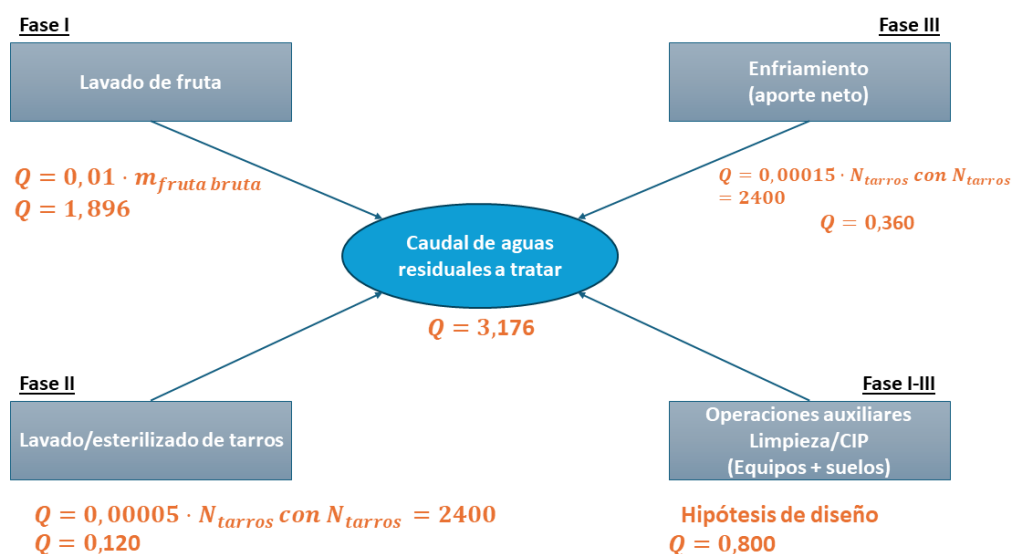


Figura 17.- Caudal de aguas residuales a tratar para el caso de producción de “Mermelada de naranja”.

Elección de la instalación, maquinaria y materiales.

La selección de maquinaria se ha realizado a partir del caso más restrictivo, que es la mermelada de naranja, previamente descrito en apartados anteriores, correspondiente a una producción de tres lotes diarios de 400 kg de mermelada por lote, equivalentes a 1200 kg/día de producto terminado, 2400 tarros/día y 150 cajas/día. En la elección de equipos se debe tener en consideración un margen razonable de sobrecapacidad para hacer frente a paradas, operaciones de limpieza y variabilidad de proceso, como se ha explicado en apartados anteriores.

Además, para la elección de la maquinaria se han empleado criterios como la aptitud higiénico-sanitaria de los equipos, la facilidad de limpieza, la utilización de materiales adecuados para contacto alimentario y la flexibilidad para poder procesar distintos tipos de frutas. En particular, se priorizan equipos de acero inoxidable AISI 304, fácil de desmontar o con proceso de limpieza en la propia maquinaria, así como configuraciones de dispositivos compatibles con la normativa de higiene de productos alimentarios y de información al consumidor recogida en el Reglamento (CE) nº 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios [6].

2.3.15. Elección de maquinaria

Para la elección de maquinaria, se estudiarán las distintas estaciones teniendo en cuenta todo lo descrito en apartados anteriores.

Dado que la planta elabora tres variedades distintas de mermelada como son fresa, naranja y melocotón, no es adecuado técnicamente considerar una única operación de despulpado idéntica para cada una de las distintas variedades. Por ello se plantea una línea común de recepción, lavado y selección de fruta, complementada con equipos específicos de preparación según el tipo de materia prima a tratar.

2.3.15.1.Recepción y almacenamiento de materias primas

Para la fruta fresca se propone una cámara frigorífica de conservación positiva, mientras que azúcar, pectina y ácido cítrico se almacenarán en un almacén seco independiente tal y como se describió en el apartado 1. Esta decisión es coherente con la organización anteriormente descrita y con la necesidad de separar la materia prima húmeda y perecedera, como las frutas de ingredientes sólidos en seco [6].

2.3.15.2.Lavado y selección de fruta

En esta etapa se propone una lavadora industrial de canal, del tipo Sormac FW, apta para frutas flotantes y sumergibles con una capacidad de hasta 2.750 kg/hora, potencia instalada de 5,74 kW y unas dimensiones aproximadas de 5.045x2.280x2.730 mm [51]. Esta capacidad supera ampliamente la necesidad de diseño de la planta y permite realizar el lavado de la fruta del lote diario con holgura suficiente.

Aunque la capacidad del equipo es muy superior a la requerida por lote, resulta más coherente esta elección frente a equipos de mayor capacidad ampliamente disponibles en el mercado y mantiene margen de crecimiento sin sobredimensionar excesivamente la inversión en una planta de 210 t/año.

2.3.15.3.Preparación de fruta: Línea específica de naranja

Para la mermelada de naranja, se empleará una máquina específica para cítricos. Esta máquina, modelo “Bertuzi CitroEvolution 3”, tiene una capacidad de 15.000 frutos/h, equivalente aproximadamente a 1,5 t/h según el tipo y tamaño del fruto a tratar [52].

Este equipo permite exprimir y refinar la pulpa, separando a su vez semillas y fracciones no deseadas, por lo que técnicamente resulta mucho más adecuado que despulpadoras genéricas disponibles en el mercado cuando se trabaja con cítricos.

2.3.15.4.Preparación de la fruta: Línea específica para melocotón y fresa

Para este tipo de fruto se escoge un despulpador-refinador con tamices intercambiables como es el “Maurer Gép MK500”, con una capacidad de 500-1.000 kg/h, potencia de 2,2 kW, construcción en acero AISI 304, y dimensiones aproximadas de 650 x 1100 x 1.140 mm [53]. La posibilidad de cambiar el tamiz proporciona una

mayor adaptabilidad del equipo a los distintos tipos de fruta a tratar, lo que lo convierte en una solución óptima en una planta multiproducto de baja escala.

2.3.15.5. Dosificación de Ingredientes

En esta etapa no es necesario una dosificadora automática, ni una maquinaria muy compleja para una planta de esta dimensión. Resulta suficiente una estación de pesado y dosificación semi-manual con básculas de pesaje y recipientes de preparación de la mezcla, siempre que se garantice la trazabilidad y la precisión en el pesaje. Se toma esta decisión con el fin de abaratar el coste en equipos y a la vez es coherente con la escala de producción que tendrá la fábrica.

2.3.15.6. Mezcla y cocción

La mezcla previa a la cocción alcanza, en el caso más restrictivo, un valor del orden de 525 kg/lote, por lo que la maquinaria empleada debe tener un volumen útil claramente superior para poder llevar a cabo satisfactoriamente esta etapa en el proceso de producción.

Tras un análisis de los equipos disponibles en el mercado se ha tomado la decisión de incorporar dos equipos en paralelo referenciados como modelo “Maurer Gép MLF 500L” con 500 L por ciclo, potencia de 37 kW y construcción en acero AISI 304, cuyas dimensiones aproximadas en la ficha técnica son 1.500 x 1.750 x 1.600 mm [54].

2.3.15.7. Llenado

Para el llenado del producto en tarros, se propone una llenadora automática para productos viscosos. Se escoge la “CDA K-line S”, equipada con un sistema de dosificación por pistón, apta para envases de 50 mL hasta 2 L, y disponible en versiones de 2,4 y 6 boquillas, con dimensiones aproximadas de 1.150 mm de ancho, 2100 mm de fondo y 2.200 mm de alto, potencia del orden de 1 kW y necesidad de aire comprimido de 6 bar [55]. El propio fabricante indica que esta máquina es apta para líquidos densos o con partículas en suspensión, por lo que encaja bien con el producto final.

En una planta de pequeñas dimensiones como la considerada en este proyecto, no es necesario trabajar a grandes cadencias, así que, con una llenadora en el rango de 600-1.000 tarros/h se podría atender la demanda diaria con holgura sin necesidad de sobredimensionar la línea, pudiendo tener además una mayor flexibilidad y dejando un margen de crecimiento en el caso de querer producir una mayor cantidad final de mermelada.

2.3.15.8. Cerrado de tarros

Para el cierre de envases en formato “twist-off” se propone una cerradora específica para baja y media producción como es la “Emérito 1.8”, apta para vidrio y este tipo de cierres. Esta máquina ha sido diseñada para producciones reducidas o medias con capacidad de hasta 70 envases/min [56]. Esta capacidad es muy superior a la necesidad real del proyecto por lo que se asegura que esta estación no será un cuello de botella en el proceso.

2.3.15.9. Lavado o acondicionamiento de envases

Para la preparación y acondicionamiento de los envases previamente a su llenado se ha escogido un sistema de enjuague de tipo lineal como los ofrecidos por el fabricante “Emérito”, diseñados para limpieza y saneado de envases de vidrio, PET o metal. En este caso se selecciona el de menor capacidad operativa, el modelo “U1” que cumple ampliamente con la velocidad requerida para esta operación [57].

2.3.15.10. Enfriamiento y Secado exterior

Tras el cierre, como se ha explicado en apartados anteriores, es necesario un enfriamiento controlado y un posterior secado exterior de los tarros que contienen el producto final. Para esta operación se opta por un módulo compacto de enfriamiento y un sistema de secado mediante aire para envases cerrados. El fabricante “Emérito” dispone de sistemas de esta maquinaria adaptable a distintas velocidades de producción, lo que encaja con la filosofía de adaptabilidad y ligero sobredimensionamiento de la fábrica por si se quisiera producir más cantidad de producto final [58].

2.3.15.11. Etiquetado

Para el etiquetado frontal y trasero se propone una etiquetadora automática para envases cilíndricos, como es la “CDA Ninon 1500/2500”, con capacidad de aplicar hasta cuatro etiquetas en productos cilíndricos y troncocónicos. La documentación técnica del fabricante indica capacidades generales elevadas. El orden de aplicación de las etiquetas (frontal y trasera) en este caso se aconseja trabajar en el rango de 25 tarros/min, valor que supera al predimensionamiento realizado en el apartado anterior [59].

2.3.15.12. Empaquetado y paletizado

Para el empaquetado de cajas de cartón y el paletizado final no se considera necesario una automatización completa debido a la producción en pequeña escala de la planta. Al producir en el caso más restrictivo de 150 cajas diarias, se considera más coherente una estación de empaquetado y paletizado manual. Esto simplifica la inversión en maquinaria y además facilita la implementación real dentro de la planta manteniendo coherencia con la escala de producción prevista.

2.3.15.13. Resumen de maquinaria elegida

En la Tabla 22, se muestra un resumen de los equipos específicos seleccionados para la línea de producción de las tres variedades de mermelada:

Tabla 22.- Resumen de maquinaria escogida.

Operación	Equipo/Referencia	Especificaciones Clave
Conservación de fruta	Cámara Frigorífica Positiva	Volumen útil según stock operativo
Lavado de fruta	Sormac FW	Hasta 2750 kg/h; 5,74 kW; 5.045×2.280×2.730 mm; AISI y uso alimentario
Naranja	Bertuzzi CitroEvolution 3	1.500 kg/h; 15.000 frutos/h; separación de semillas y refinado
Fresa/Melocotón	Maurer Gép MK500	500–1.000 kg/h; 2,2 kW; 650×1.100×1.140 mm; AISI 304
Cocción	Maurer MLF 500	500 L, 37 kW, 1.500×1.750×1600 mm
Llenado	CDA K-Line S	50 mL–20 L; pistón; 2–6 boquillas; 1.150×2.100×2.200 mm; 1 kW; 6 bar
Cerrado	Emérito 1.8	Hasta 70 envases/min; twist-off; baja-media producción
Preparación envases vacíos	Emérito U1	Velocidad adaptable; para vidrio
Enfriado + secado exterior	Emérito	Sistema adaptable a distintas velocidades
Etiquetado	CDA Ninon 1500/2500	Hasta 4 etiquetas; frontal + trasera; entorno 25 etiquetas/min en uso conservador

Para más información acerca de la maquinaria escogida, se recogerán todos los datos de las fichas técnicas disponibles por los fabricantes en el anexo 1 de este documento.

2.3.16. Predimensionamiento de espacio en planta

El predimensionamiento del espacio en planta se ha realizado, como en apartados anteriores, siguiendo el caso más restrictivo de operación definido en la memoria, correspondiente a 3 lotes diarios de fabricación. Asimismo, se ha tomado como base la capacidad anual de la instalación y el predimensionamiento previo de maquinaria, los cálculos de almacenamiento ya desarrollados y las necesidades auxiliares derivadas del tratamiento de residuos y aguas residuales.

En esta fase del TFG se pretende obtener una superficie de implantación bruta suficientemente representativa para desarrollar un lay-out preliminar y comprobar la viabilidad espacial de la planta. Debido a esto, la superficie asignada a cada zona o estación no se corresponde únicamente con la geometría de los distintos equipos, sino con la suma de la huella útil de implementación, holguras de operación y los espacios de limpieza y mantenimiento, así como los pasillos y espacios para la circulación local necesaria para que los operarios puedan realizar sus labores de forma segura e higiénica.

De forma general, para cada zona se ha adoptado el siguiente criterio de estimación:

$$A_{\text{zona}} = A_{\text{maquinaria}} + A_{\text{operación}} + A_{\text{limpieza/mantenimiento}} + A_{\text{acopio}} + A_{\text{circulación}}$$

El criterio de dimensionamiento no se ha basado solamente en ratios genéricos de superficie de trabajador ya que estos solo establecen los mínimos legales y no son un método suficiente para el diseño de la planta de producción. En el “Real Decreto 486/1997” se establece entre otros valores mínimos, 2 metros cuadrados de superficie libre por trabajador y 1 m de anchura mínima en pasillos [60]. Estos límites son mínimos, pero no se deben tomar como una referencia fija a la hora de realizar el diseño de la planta. Por ello en este trabajo, se toman pasillos principales con una anchura de 1,2 a 1,5 metros de anchura y holguras de unos 0,8 metros en los lados accesibles de los equipos para poder facilitar las operaciones de limpieza, mantenimiento y circulación de los operarios dentro de la planta.

El “Reglamento (CE) 852/2004” también exige que la disposición, diseño, construcción, ubicación y diseño de los distintos espacios en la fabricación de producto alimentario permitan un mantenimiento, limpieza y desinfección adecuados, proporcionen el espacio de trabajo suficiente para poder realizar las distintas operaciones en condiciones higiénicas y cuando sea necesario dispongan de almacenamiento a una temperatura óptima. Este mismo reglamento exige evitar la contaminación entre operaciones. Estos requisitos justifican que en el predimensionamiento se reserve espacio suficiente para poder hacer una distinción entre áreas sucias y limpias, un vestuario higiénico para personal, además de zona técnica, zona de residuos y zonas de almacenamiento previamente descritas [6].

En relación con todo lo anteriormente expuesto, la planta se organiza siguiendo un flujo de operación lineal, desde la recepción de la materia prima hasta la expedición del producto terminado, esto no debe de entenderse como un lay-out en línea recta, sino como una serie de zonas funcionales de operación conectadas para facilitar y minimizar los tiempos de operación, optimizando la gestión de residuos, envases y productos terminados.

En la Tabla 23 se muestra un resumen de los criterios adoptados para el predimensionamiento de espacio dentro de la planta de producción:

Tabla 23.- Criterios adoptados para el predimensionamiento de espacio en la planta.

Criterio de diseño	Valor Adoptado	Justificación
Caso de diseño	3 lotes/día	Día más restrictivo de producción
Producción de referencia	1.200 kg/día	Base para dimensionar zonas y ritmos
Envasado de referencia	2.400 tarros/día	Base para final de línea
Expedición de referencia	150 cajas/día	Base de almacenaje temporal de producto terminado
Pasillos principales	1,2-1,5 m	Superior al mínimo legal, facilitando circulación y maniobra
Holguras en equipos	0,8 m	Operación, limpieza y mantenimiento
Criterio higiénico	Separación entre zonas sucias y limpias	Minimizar riesgo de contaminación entre operaciones
Reserva auxiliar	Sí	Residuos, pretratamiento de aguas, CIP, vestuario y control de calidad
Naturaleza del cálculo	Predimensionamiento de Ingeniería básica	Base para lay-out preliminar

En la Tabla 24 se muestra el predimensionamiento adoptado para las diferentes estaciones funcionales de la planta:

Tabla 24.- Predimensionamiento de espacio por áreas funcionales.

Zona	Criterio de predimensionamiento	Superficie adoptada en metros cuadrados
Recepción e inspección de fruta	Descarga temporal, inspección visual, clasificación inicial	18
Cámara frigorífica de fruta	Basada en la necesidad previa de almacenamiento refrigerado	25
Almacén seco	Basado en el cálculo previo de almacenamiento en seco	12
Lavado y selección de fruta	Lavadora, mesa o tramo de selección, retirada de no conformes y acceso a operación	24
Preparación específica de fruta	Extractor/refinador para cítricos o despulpador/refinador, con espacio de alimentación y limpieza	14
Mezcla y cocción	Zona de mayor carga de proceso	18
Preparación de envases vacíos	Alimentación de tarros	12
Llenado y cerrado	Implantación compacta de llenadora y cerradora	12
Enfriamiento, secado exterior y etiquetado	Tramo final de acondicionamiento del envase	20
Empaquetado y paletizado	Encajado semi-manual, formación de pallets y maniobra interna	24
Almacén temporal de producto terminado	Almacén logístico de producto acabado	35
Zona de residuos	Contenedor de residuos orgánicos	12
Zona de operaciones auxiliares	Servicios no productivos necesarios para operación de planta	10
Control de calidad y vestuario	Puesto de control básico y vestuario	14

Lay-out de planta.

A partir del predimensionamiento de espacio desarrollado anteriormente, se propone un lay-out preliminar de la planta basado en una implementación de 26,00 x 15,00 m, equivalente a 390 m² de superficie bruta. Se pretende ordenar las distintas estaciones de trabajo manteniendo el criterio de flujo lineal descrito en apartados anteriores, sin que esto implique una disposición de zonas funcionales necesariamente recta, sino una secuencia de áreas conectadas según las necesidades higiénicas y operativas del producto.

Se conservan los criterios y los parámetros de dimensionamiento del apartado anterior: pasillo principal de 1,50 m, pasillos secundarios de 1,20 m y holguras de 0,8 m en los lados accesibles de los equipos y separación funcional entre zonas sucias y limpias [61].

La planta, por tanto, se separa en dos mitades funcionales: en la primera se ubican la recepción de materia prima, almacenamiento y proceso húmedo de la fruta mientras que en la otra se llevarán a cabo los procesos de preparación de envases, envasado de la mermelada y la expedición final.

Las dimensiones escogidas para las distintas estaciones son: recepción e inspección de fruta, 4,50 x 4,00 m; cámara frigorífica de fruta, 5,00 x 5,00 m; lavado y selección de fruta, 6,00 x 4,00 m; preparación específica de fruta, 4,00 x 3,50 m; mezcla y cocción, 4,50 x 4,00 m; control de calidad y vestuario, 3,5 x 4,0 m; almacén seco, 4,00 x 3,00 m; zona de residuos, 3,00 x 4,00 m; preparación de envases vacíos, 4,00 x 3,00 m; llenado y cerrado, 4,00 x 3,00 m; enfriamiento, secado exterior y etiquetado, 5,00 x 4,00 m; empaquetado y paletizado, 6,00 x 4,00 m; zona de operaciones auxiliares, 2,50 x 4,00 m; y almacén temporal de producto terminado, 7,00 x 5,00 m.

Cuando la materia prima entra en la fábrica, la fruta se dirige a la zona de recepción e inspección, donde se realizará la descarga y la inspección visual previamente descrita en apartados anteriores. A continuación, se almacenará en la cámara frigorífica o se dirigirá a la zona de preparación específica, donde estará el equipo necesario de extracción o refinado correspondiente a las distintas variedades de mermelada a producir en ese período de tiempo. Desde ahí pasa a la estación de mezclado y cocción.

La estación de mezcla y cocción no debe representarse como un único bloque diferenciado, ya que en él hay una secuencia de dos operaciones dentro de la superficie de 18 metros cuadrados: en primer lugar, se realiza la dosificación y pesaje de los ingredientes y en segundo lugar se introduce todo en el tanque de mezcla y se efectuará toda la operación en el cocedor. Así se consigue que la pulpa procedente de la preparación específica entre primero a la zona de dosificación, reciba todos los ingredientes secos del almacén y pase al tanque de mezcla desde donde pasará directamente al cocedor y de ahí pasará a la barrera higiénica hacia la llenadora.

En la otra mitad de la planta estará todo lo relacionado con el envasado y tratamiento de envases. La preparación de los envases se hace en línea primero en la estación de lavado y después en la de secado. Posteriormente pasa a la tercera fase. La línea de envasado estará en línea con la estación de llenado y cerrado de los botes para su posterior secado, etiquetado, envasado y almacenamiento temporal antes de su comercialización.

Desde el punto de vista higiénico, el pasillo principal de 1,50 m actúa como barrera entre zona de proceso húmedo en la que se prepara la mermelada y la segunda zona donde se preparan los envases y se empaqueta el producto final, evitando así interferencias entre los distintos flujos. Además, se dispone de un pasillo secundario de 1,20 m para poder comunicar las distintas estaciones de la primera fase. Alrededor de las estaciones se reservan bandas de 0,80 m para operaciones, limpieza y mantenimiento como se explicó en el apartado anterior [6,60].

La salida de residuos se mantiene segregada del flujo principal del producto. Los residuos orgánicos generados se conducen a la zona de residuos sin necesidad de cruzarse con el flujo principal de producción. De igual modo, la zona de operaciones auxiliares se mantiene próxima al área de envasado y a las distintas estaciones de la fase I para facilitar el suministro de servicios sin necesidad de invadir los recorridos principales. El acceso de personal a planta se realiza a través del control de calidad y vestuario, manteniendo así la separación higiénica necesaria en el sector alimentario [6].

En la representación gráfica del lay-out las flechas continuas corresponden al flujo principal del producto mientras que las flechas discontinuas representan flujos auxiliares tales como la alimentación de ingredientes desde el almacén seco, el movimiento de envases vacíos intermedios y la retirada de residuos. Esta diferenciación permite leer el plano de forma inmediata y queda claramente definida la secuencia real del proceso productivo y la lógica higiénico-funcional de la planta.

En la Figura 18 se puede visualizar una esquematización del lay-out de la planta a escala:

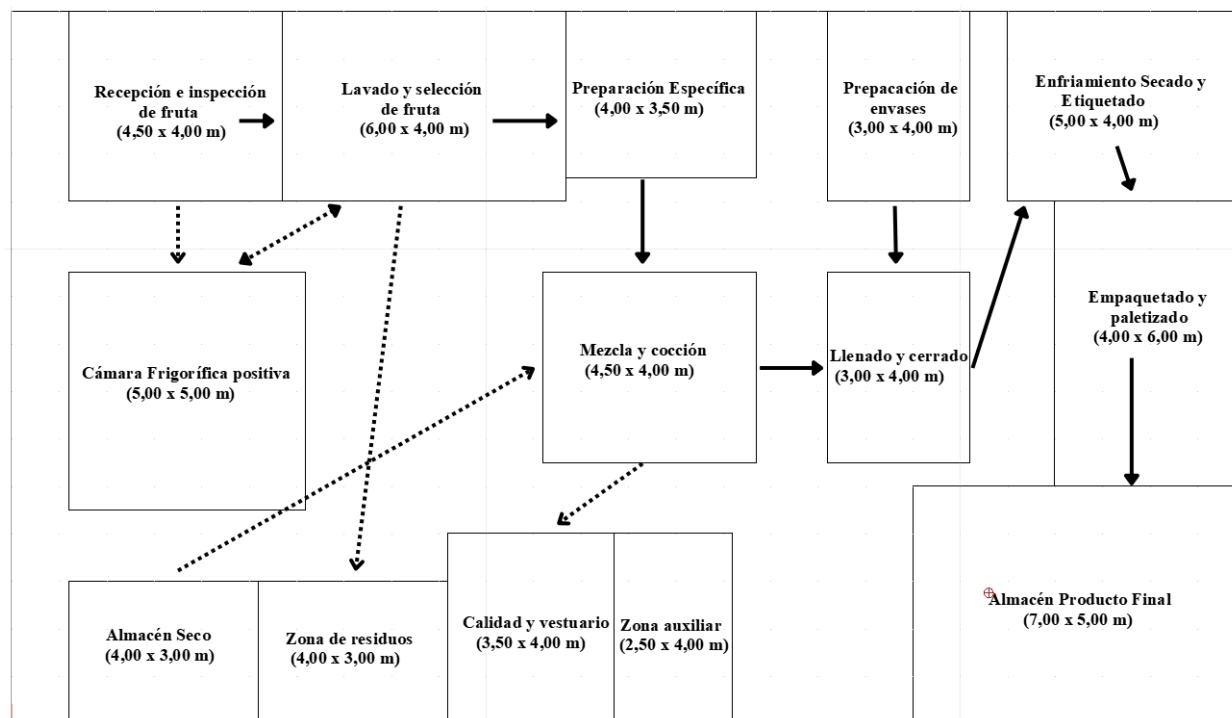


Figura 18.- Esquematización del lay-out de la planta de producción por estaciones productivas

Predimensionamiento de necesidades de personal.

El cálculo de necesidades de personal se ha elaborado como en casos anteriores a partir del caso más restrictivo adoptado en este TFG, que es la producción de 3 lotes diarios. Asimismo, se ha considerado que la planta trabaja en un único turno de 8 horas, dado que la simulación de operaciones realizada en apartados anteriores muestra que las capacidades escogidas para la maquinaria son compatibles con la producción de estos tres lotes dentro de la jornada prevista, dejando margen para operaciones auxiliares como limpieza, preparación de maquinaria y pequeños ajustes operativos.

La necesidad de personal no se ha estimado a partir de rangos genéricos de superficie, sino a partir de la secuencia real del proceso productivo, del grado de automatización de la instalación y de la necesidad de mantener operativas todas las estaciones funcionales de la planta sin generar cuellos de botella. En consecuencia, se propone la siguiente plantilla para el funcionamiento estable de la instalación:

- Director de planta. 1 persona.
- Responsable de producción: 1 persona.
- Técnico de calidad: 1 persona.
- Operario de Fase I (producción): 2 personas.
- Operario de Fase II (envases): 1 persona.
- Operario de Fase III (envasado/empaquetado): 2 personas.
- Operario de almacén: 1 persona.
- Técnico de mantenimiento: 1 persona.
- Administrativo: 1 persona.

La justificación de esta propuesta es la siguiente:

- En primer lugar, se considera necesaria una persona en dirección de planta para asumir la supervisión

general de la actividad, la coordinación de la planta y la toma de decisiones operativas y organizativas según las necesidades de producción. Del mismo modo, se considera necesaria una persona responsable de la producción, que planifique las distintas campañas, organice la secuencia diaria de lotes y coordine las distintas partes del proceso.

- Se propone un técnico de calidad, ya que como se ha descrito en el apartado 2.2, se realizarán inspecciones para garantizar la calidad de materias primas y del producto final durante el proceso productivo especialmente en las etapas previas y posteriores a la cocción. Este técnico resulta necesario para asegurar el cumplimiento de las condiciones del proceso y la conformidad con la norma del producto a comercializar [1,2,6].
- Para la fase I se proponen 2 operarios dado que esta etapa concentra la recepción de fruta, el almacenamiento inicial, lavado, selección, preparación específica según la variedad de fruta a tratar y la operación de mezcla y cocción. Aunque la línea es secuencial, un único operario sería insuficiente para atender de forma segura y estable todas estas estaciones durante los días de máxima carga.
- Para la fase II se propone un operario encargado de la preparación de envases, alimentación de los tarros y apoyo a la continuidad de la línea de llenado. Dado que es la fase menos crítica, un operario se considera suficiente siempre que haya coordinación con las fases aguas arriba del proyecto.
- Para la fase III, se proponen dos operarios. Esta decisión se apoya en que, además del llenado y cerrado, esta fase incluye el enfriamiento, secado exterior, etiquetado, empaquetado y paletizado, siendo este último de carácter semi-manual. Por ello, resulta razonable disponer de una persona centrada en la línea de envasado y otra en las operaciones finales de acondicionamiento y formación de pallets.
- Se propone además un operario de almacén y logística para atender la recepción de materias primas, la gestión de las materias primas secas y la expedición del producto final.
- Además, sería necesario incorporar a la plantilla a un técnico de mantenimiento que se encargue de las tareas de mantenimiento preventivo de la maquinaria de proceso, envasado y de los servicios auxiliares de la planta.
- Por último, se incluye un administrativo para cubrir las necesidades de gestión documental, pedidos, albaranes, apoyo contable, trazabilidad administrativa y organización general de oficina.

En resumen, la plantilla propuesta para la planta de producción es de 11 empleados. Esta distribución de personal es coherente con las necesidades productivas y con el plan de producción de un turno de 8 horas diarias, manteniendo separadas funciones productivas, técnicas y administrativas de forma coherente con el proyecto.

3. VIABILIDAD ECONÓMICA

3.1. Inversión inicial.

La estimación de la inversión inicial de la planta se ha realizado teniendo en cuenta todas las directrices y restricciones anteriormente descritas en este proyecto. La capacidad de la planta de 210 t/año de mermelada de frutas, tomando como caso de diseño más restrictivo una producción de 3 lotes diarios correspondientes a 1.200 kg/día, 2.400 tarros/día y 150 cajas/día. Asimismo, el lay-out preliminar desarrollado en el proyecto adopta una superficie bruta de implementación de 390 metros cuadrados en el Polígono Industrial La Isla, en Dos Hermanas (Sevilla).

Desde el punto de vista de la implementación de la planta, en el Polígono Industrial La Isla, el precio de suelo industrial está en un intervalo de 70-110€/m², como anteriormente se ha descrito en el apartado 2.1. Sin embargo, para valorar la inversión inicial real de la planta, resulta óptimo utilizar un precio comparable con naves industriales ya construidas y no solo de suelo. En el mercado actual de Dos Hermanas aparecen anuncios en portales especializados como “Idealista” de naves industriales en torno a 648 €/m², en la zona de la Isla, mientras que los alquileres se sitúan en torno a 3,77-3,95 €/(m² · mes) [25]. Por lo cual, tomando un escenario base de compra de la nave para una superficie de 390 m², la inversión inicial asociada al inmueble puede estimarse en 252.720 €.

A este coste de inversión inicial de la planta, hay que añadirle la adecuación de la nave a la industria alimentaria. Es necesario ejecutar pavimentos continuos higiénicos, pequeñas adaptaciones de saneamiento y drenaje de la planta, separación de zonas sucias y limpias, ajustes básicos de electricidad, agua y ventilación, así como pavimentos continuos higiénicos. Como referencia, un sistema industrial de revestimiento epoxi para pavimentos industriales puede situarse en torno a 56,62 €/m², según presupuestos de Cype [61]. Por lo que para 390 m², supone un gasto en torno a 22.000 € solamente en suelo. Por ello, para la adecuación de la planta, se toma una estimación de 50.000 €, valor coherente con una implementación alimentaria de pequeña escala como la desarrollada en el TFG.

En cuanto a la maquinaria necesaria en el proceso, no se encuentran todos los precios disponibles según los proveedores escogidos, por lo que se hará una estimación de precios según maquinaria similar disponible en el mercado. Para la cámara frigorífica positiva de 25 m², hay un rango variable entre 6.253 € - 7.474 €, por lo que se tomará un valor de 7.000 € para este TFG. En cuanto a la lavadora de frutas, hay una comparable con una capacidad de 3.000 kg/h con un precio de 8.492,89 €, muy próximo a la capacidad de diseño utilizado en la memoria de este proyecto. En cuanto a la maquinaria relacionada con la cocción: hay un cocedero industrial de 500 L con un precio público de 56.450,10 € por unidad, de modo que, al haberse seleccionado dos equipos en paralelo, la inversión asociada a esta etapa asciende a 112.900 € [62].

Para el resto de la línea, los fabricantes seleccionados, publican principalmente fichas técnicas y capacidades, pero no tarifas ni pricing de la maquinaria. Por ello, se toma una estimación intermedia teniendo en cuenta que la naturaleza de este proyecto corresponde a una pequeña industria con automatización intermedia, se considera razonable hacer una partida de 150.000 €, suficiente para cubrir la adquisición de esta maquinaria sin sobredimensionar la línea.

Finalmente, deben contemplarse los elementos auxiliares y de implementación: transportadores, mesas, zona de residuos, pretratamiento de aguas, legalización administrativa y un contingente mínimo asociado a la puesta en marcha, por lo que se incluirá una partida estimada de 50.000 € dentro de la inversión inicial.

En la Tabla 25 se muestra un resumen de todos los gastos destinados a la inversión inicial de la planta de producción. Estos datos deben interpretarse como una estimación técnico económico de ingeniería básica para el desarrollo del análisis económico y no como un presupuesto cerrado, ya que varias partidas dependen de proveedores y condiciones de montaje.

Tabla 25.- Resumen de partidas de Inversión Inicial para análisis técnico – económico.

Partida	Base de Estimación	Importe (€)
Nave Industrial (390 m²)	648 €/m ² × 390 m ²	252.700 €
Adecuación higiénico – sanitaria de la planta	Estimación a partir de pavimento epoxi industrial y adaptación alimentaria	50.000 €
Cámara frigorífica positiva	Referencias comerciales de cámaras modulares completas	7.000 €
Lavadora de fruta	Lavadora comparable con precio público	8.249,89 €
Dos cocederos industriales de 500 L	2 x 56.450 €	112.900 €
Resto de línea	Estimación según equipos	150.000 €
Equipos auxiliares	Estimación global	50.000 €
Inversión inicial total	Suma total	630.849.89 €

3.2. Gastos anuales en personal.

Para la estimación de gastos de personal anual, se ha tomado como punto de referencia el Convenio Colectivo básico, de ámbito estatal, para la fabricación de conservas vegetales, ya que su ámbito funcional incluye expresamente a las empresas cuya actividad principal sea la fabricación de conservas vegetales y en particular, la preparación o transformación de frutas mediante sistemas de confitura, lavado, acondicionamiento o envasado [63].

Para fijar los salarios base, se ha tomado como referencia la última tabla salarial publicada en el BOE, que es la tabla salarial provisional de 2025 del convenio, publicado con efectos desde el 1 de enero de 2025, dicha tabla recoge, entre otros, los salarios anuales de los distintos niveles y puestos de trabajo [63].

En cuanto a la Seguridad Social, para un escenario base de contratación indefinida a tiempo completo en Régimen Empresarial, el coste empresarial ordinario incluye: 23,60 % por contingencias comunes, 5,50 % por desempleo, 0,20 % por FOGASA, 0,60 % por formación profesional y 0,67 % por MEI. A estos cargos hay que añadir la cotización por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, que es de cargo exclusivo de la empresa y que, para la industria alimentaria se sitúa en 3,20 % [64].

En la Tabla 26, se puede ver el desglose de salarios para cada uno de los trabajadores estimados para la planta:

Tabla 26.- Personal y salarios

Puesto	Número de empleados	Nivel Convenio Adoptado	Salario Bruto Anual unitario (€)
Director de planta	1	1.1	23.699,40 €
Responsable de producción	1	1.6	20.509,05 €
Técnico de calidad	1	1.3	21.884,10 €
Operario Fase I	2	1.13	17.688,75 €
Operario Fase II	1	1.14	17.688,75 €
Operario Fase III	2	1.13	17.688,75 €
Operación de almacén	1	1.13	17.688,75 €
Técnico de mantenimiento	1	1.10	18.497,25 €
Administrativo	1	1.11	18.379,65 €
Total	11	-	209.101,95 €

3.3 Gastos anuales en materia prima y material para envasado.

Para hacer la estimación de gastos anuales en calidad de materia prima y materiales necesarios para el envasado, se ha tomado el predimensionamiento realizado en apartados anteriores, así como valores públicos actuales de mercado. Estos precios se deben tomar como precios orientativos válidos para hacer la estimación de gasto anual dentro del análisis económico que atañe a este proyecto.

En fruta fresca se han tomado como referencia cotizaciones oficiales del MAPA [65]:

- Fresa: La producción de esta variedad se produce entre febrero y abril, la semana media del intervalo cae aproximadamente en marzo, por lo que se toma la referencia de precio de la semana 11/2026 recogida en el MAPA (Ministerio de Agricultura y Pesca) de 296,54 €/100 kg.
- Melocotón: Al producirse entre mayo y agosto, la semana media del intervalo se sitúa a finales de junio comienzos de julio, por lo que se ha tomado como valor de referencia la semana 27/2025, con un precio de 105,19 €/100 kg.
- Naranja: Para la naranja, se ha tomado como referencia la semana 46/2025 correspondiente a finales de noviembre con un precio de 29,87 €/100 kg.

En ingredientes auxiliares se ha tomado un precio orientativo de 16,99 € por saco de 20 kg de azúcar, equivalente a 0,85 €/kg, para la pectina una referencia de 45,28 €/kg y para el ácido cítrico, una referencia de 88,83 € por saco de 25 kg, equivalente a 3,55 €/kg [66].

Para los envases, la referencia más cercana encontrada corresponde a tarros de vidrio de 580 mL compatible con tapa TO 82, con precio de 0,68 €/unidad, aunque el volumen sea superior, al no encontrar precios exactos se ha

tomado este valor como válido para la realización del análisis de este proyecto. Para aproximar el valor de las tapas, se ha tomado como referencia un valor público para tapas del tipo TO 82 de 4,90 €/25 unidades, lo que corresponde a 0,196 €/unidad. Finalmente, para la impresión de etiquetas adhesivas, se ha utilizado una referencia de 0,051 €/unidad [66].

En la Tabla 27 se puede ver un desglose de estos gastos unitarios en cuestión de materia prima y materiales de envasado:

Tabla 27.- Desglose de gastos unitarios en materia prima y materiales de envasado

Concepto	Cantidad anual	Precio unitario (€)
Naranja	110.600 kg	0,2987 €/kg
Fresa	47.900 kg	2,9654 €/kg
Melocotón	55.000 kg	1,0519 €/kg
Azúcar	134.300 kg	0,85 €/kg
Pectina	2.268 kg	45,28 €/kg
Ácido Cítrico	342 kg	3,55 €/kg
Tarros de vidrio	441.000 ud	0,68 €/unidad
Tapas Twist-off	441.000 ud	0,196 €/unidad
Etiquetas	882.000 ud	0,051 €/unidad

3.4. Vida útil de proyecto, amortización y parámetros financieros.

En este proyecto se adopta una vida útil económica de 25 años para la planta de producción. Se toma esta vida útil tan amplia debido a que la instalación corresponde a una pequeña industria agroalimentaria, con un único turno, equipos ligeramente sobredimensionados respecto al caso más restrictivo y materiales adecuados para el uso alimentario.

A efectos contables, se emplea el método lineal de amortización, diferenciando por la tipología de activos: 10 años para maquinaria, 25 años para la nave y su adecuación, y 5 años para los demás equipos auxiliares. Estos valores son coherentes con la ley 27/2014 del Impuesto sobre Sociedades, cuya tabla oficial recoge vidas más amplias para edificios industriales y maquinaria (68 y 18 años respectivamente), por lo que la amortización adoptada en este TFG resulta conservadora y concentra la mayor parte de la dotación contable en los primeros años del proyecto [67].

Para la evolución financiera, se adopta una tasa de inflación del 2,5 % para proyectar ingresos y costes en términos nominales, valor similar a las proyecciones del Banco Central Europeo [68], y un 25 % como tipo general del Impuesto sobre Sociedades, de acuerdo con el artículo 29.1 de la Ley 27/2014 [67].

3.4.1. Estructura de financiación del Proyecto

La inversión inicial de 630.849,89 € recogida en la Tabla 25 no se afronta en su totalidad con fondos propios, ya que esta hipótesis no es realista para una pequeña industria agroalimentaria, el riesgo financiero relacionado con concentrar todo el desembolso en capital propio sería excesivo y dejaría a la planta sin capacidad de maniobra ante posibles imprevistos durante la puesta en marcha. En el mercado español, las pymes del sector

agroalimentario suelen combinar capital propio con financiación bonificada, especialmente a través de las líneas de crédito del Instituto de Crédito Oficial [69].

Para el presente Proyecto, se adopta la siguiente estructura de financiación, coherente con las condiciones de la Línea ICO Empresas y Emprendedores disponibles en 2026 para el sector agroalimentario [69]:

- Capital propio (30%): 189.254,97 €, aportado por los socios como recursos iniciales del Proyecto.
- Deuda Bancaria (70%): 441.594,92 €, formalizada mediante un préstamo ICO a 10 años con tipo fijo del 5,00 % anual. Este tipo es coherente con el entorno de tipos de 2026, en el que el Euribor a 12 meses se sitúa en torno al 2,5 % [70] y las líneas ICO aplican un margen por riesgo de crédito del orden del 1,75-2,5 % [69]. La amortización se realiza mediante cuota constante (Sistema francés), resultando una cuota anual de 57.189,46 €.

La elección de un esquema de apalancamiento moderado del 70 % responde a dos criterios: por un lado, aprovechar el coste reducido de la deuda pública bonificada (5 %) frente al coste exigido al capital propio, reduciendo así el coste medio del capital del proyecto y, por otro lado, mantener un nivel de endeudamiento manejable para una planta de primera instalación.

3.4.2. Coste del capital y tasa de descuento

La tasa de descuento empleada para actualizar los flujos de caja del proyecto se corresponde con la rentabilidad exigida al capital propio (K_e), que se fija en un 10 % anual. Este valor refleja la compensación que los socios exigen por asumir el riesgo específico de una pyme agroalimentaria de nueva creación y resulta coherente con las rentabilidades de referencia publicadas para el sector alimentario español (12-15 % para empresas consolidadas) [71].

A título informativo, se calcula también el coste medio ponderado del capital (WACC), que combina el coste de la deuda (tras el efecto fiscal) y el del capital propio según su peso en la estructura financiera [72]:

$$WACC = \frac{D}{D+E} \cdot K_d \cdot (1 - t) + \frac{E}{D+E} \cdot K_e = 5,62 \%$$

Este WACC, representaría el coste medio de financiación de la planta si se considerase el proyecto como un todo, independientemente de quien aporta el capital.

El enfoque del proyecto consiste en calcular el flujo de caja que genera la planta antes de pagar al banco (como si no hubiera deuda) y descontarlo al WACC. Responde a la pregunta de si el proyecto es rentable en sí mismo, con independencia de cómo se financie.

El enfoque del accionista, por el contrario, consiste en aplicar el flujo de caja que le queda al socio después de que el banco haya cobrado los intereses y la devolución del principal y descontarlo únicamente al coste del capital propio. Responde a la pregunta de si le compensa al socio aportar su capital al proyecto, teniendo en cuenta el servicio de la deuda que la empresa debe atender.

Ambos enfoques conducen al mismo resultado en condiciones normales, pero deben aplicarse de forma coherente. Mezclarlos, por ejemplo, descontando un flujo del accionista del WACC, constituye un error metodológico que conduce a resultados incorrectos [72].

En este TFG se ha adoptado el enfoque del accionista por dos motivos. En primer lugar, resulta más directo e intuitivo y permite visualizar con claridad cuánto dinero aporta el socio al inicio del proyecto y que caja recibe cada año una vez que el banco ha cobrado su cuota. En segundo lugar, responde a la pregunta que realmente interesa al promotor, que es si le compensa o no aportar su capital.

Por coherencia con este planteamiento, todos los cálculos de VAN, TIR y período de recuperación descontado recogidos en apartados posteriores se realizan descontando los flujos de caja libre del accionista (FCLA) al coste de capital propio fijado en el 10 %. El WACC se menciona como dato de contexto financiero, pero no interviene directamente en el cálculo de los indicadores de rentabilidad.

3.5. Análisis de precio de venta.

La determinación del precio de venta del producto final es la variable con mayor impacto sobre la viabilidad económica del proyecto y, por tanto, se hará una justificación sólida que no se apoye únicamente en referencias de mercado. El planteamiento de este apartado es calcular el precio mínimo que la planta necesita para ser viable y comparar los precios reales del mercado español de mermeladas. El precio final adoptado se situará en una intersección coherente de estas dos estimaciones.

3.5.1. Precio fabricante frente precio de venta al público

Antes de proceder al análisis es imprescindible establecer una distinción entre los precios que se introducen en el modelo, que son los precios de fabricante, es decir, el importe que la planta facture al distribuidor o a la cadena de distribución y no precios de venta al público (PVP). La diferencia es muy amplia, en el sector alimentario español, el PVP incluye tanto el margen del canal de distribución como el IVA reducido del 10 % aplicable a productos alimentarios según la ley 37/1992 del Impuesto sobre el Valor Añadido [73]. Para una pequeña planta que vende directamente a supermercados y tiendas especializadas regionales, con un margen de canal del 40 %, la relación aproximada es:

$$PVP \approx \text{Precio fabricante} \cdot \frac{1}{1 - 0,4} \cdot (1 + 0,1) = \text{Precio fabricante} \cdot 1,833$$

Esta estimación del 40 % combina el margen del distribuidor mayorista regional, situado habitualmente en torno al 25 % sobre su precio de compra según las guías del sector alimentario [21], con el margen del minorista, en torno al 10-12 % adicional sobre el precio al que lo adquiere del mayorista.

De acuerdo con la expresión anterior, los precios de fabricante adoptados en el modelo (en torno a 3,00 €/tarro) se corresponden con un PVP aproximado de 5,50 €/tarro, coherente con los precios observados en el lineal para marcas del sector tradicional premium, más detallado en apartados posteriores [18,20].

3.5.2. Cálculo del precio mínimo viable

A partir de la estructura de costes definida en apartados anteriores se calculan cuatro umbrales de precio fabricante medio (por tarro de 500 g) que delimitan la viabilidad del Proyecto. Todos los umbrales se refieren al año tres de operación, cuando la planta empieza a producir al 100% de capacidad.

En la Tabla 28, se pueden apreciar estos umbrales con su explicación:

Tabla 28.- Umbrales de precio fabricante medio para viabilidad del proyecto

Umbral	Interpretación	Valor (€/tarro)
Operativo	Cubre materia prima, envases y personal (EBITDA = 0)	2,907
Contable	Cubre además la amortización contable (EBIT = 0)	3,026
Financiero (VAN = 0)	Hace el VAN = 0 al coste del capital propio (Ke = 10%)	2,960
TIR objetivo	Alcanza la rentabilidad objetiva del sector (TIR = 12 %)	2,987

Por debajo del umbral operativo, la planta no cubre ni siquiera sus costes corrientes y genera caja negativa en el ejercicio. Por debajo del umbral contable, la planta genera caja, pero no recupera la inversión en activos a lo largo de su vida útil. El umbral financiero es el precio mínimo que la inversión sea equivalente para el accionista a una colocación al 10 % anual durante 25 años. El umbral de la TIR objetivo es el precio que permite alcanzar la rentabilidad objetivo del 12 % habitualmente exigida en el sector alimentario español [71].

Es importante señalar que los cuatro umbrales están muy próximos entre sí. Esta proximidad indica que la inversión inicial es relativamente modesta en comparación con los costes operativos anuales, por lo que el precio

mínimo viable está gobernado fundamentalmente por los costes recurrentes en materia prima, envases y personal.

3.5.3. Referencias de mercado

Se ha recopilado una muestra representativa de precios reales observados en abril de 2026 en los principales canales de distribución en España segmentada en 4 niveles. En la Tabla 29 se puede apreciar dicha muestra.

Tabla 29.- Segmentación de precios según el segmento del mercado [74].

Segmento	Marca de Referencia	Formato	PVP (€/kg)
Marca blanca	Hacendado (Mercadona)	Fresa 440 g	3,14
Tradicional consolidado	Hero Temporada	Fresa / melocotón 350 g	8,54
Tradicional Consolidado	La Vieja Fábrica	Fresa 350 g	8,54
Premium comercial	Bonne Maman	Arándanos 270 g	12,81
Artisanal / gourmet	Can Bench, Santa Teresa, La Abadía	240-295 g	17-25

El segmento de marca blanca no se corresponde al que ocupa la planta de este proyecto, ya que las cadenas como Mercadona operan con productores que manejan volúmenes de operación que son ampliamente mayores y los costes unitarios son sensiblemente menores. El segmento artesanal/gourmet tampoco es accesible con la producción prevista, ya que esas marcas producen menos cantidad de producto que la que ocupa a nuestro producto final y operan con márgenes y costes distintos a los de este proyecto.

El segmento objetivo coherente con la escala y posicionamiento de este TFG es, por tanto, el tradicional consolidado/premium comercial. Dada la escala reducida de la planta, el uso de fruta de temporada y la diferenciación por origen andaluz, el producto se posiciona en la franja superior de este segmento.

3.5.4. Precio adoptado y justificación

En la Tabla 30 se adoptan los precios de venta fabricante, diferenciados por variedad para reflejar el coste directo de la materia prima (la fresa, con cotización MAPA de 2,97 €/kg, requiere un precio de venta ligeramente superior):

Tabla 30.- Precios adoptados por variedades de mermelada.

Variedad	Precio Fabricante (€/tarro 500 g)	PVP estimado (€/tarro)	PVP estimado (€/kg)
Naranja	2,90	5,32	10,63
Fresa	3,20	5,87	11,73
Melocotón	2,90	5,32	10,63
Media	3,00	5,50	11

La justificación de estos precios se sustenta en tres criterios simultáneos:

- Cumplimiento del umbral mínimo viable: el precio medio adoptado de 3,00 €/tarro se sitúa justo por encima del umbral del TIR objetivo del 12 %, garantizando que el proyecto alcanza la rentabilidad

exigida al sector.

- Coherencia con el segmento comercial: el PVP medio resultante de 11 €/kg se sitúa en la franja superior del segmento tradicional a mitad de camino entre fabricantes como Hero / La Vieja Fábrica y Bonne Maman, posición defendible por la escala pequeña de la planta, el origen de la fruta y el carácter de temporada del producto [67].
- Robustez frente a variaciones: posteriormente en el modelo se hace una variación del precio fabricante y se puede observar que con una bajada del 5 % el VAN y el TIR siguen siendo indicadores positivos, lo que indica un margen de seguridad comercial [70].

3.6. Proyección de flujos de caja a lo largo de la vida útil del proyecto.

Una vez definida la inversión inicial, la estructura de costes anual, los precios de venta y los parámetros financieros – incluida la estructura de financiación del apartado 3.4.1.-, se proyectan los flujos de caja generados por la planta a lo largo de su vida útil de 25 años. Este análisis permite evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante una secuencia temporal de cobros y pagos.

3.6.1. Curva de arranque comercial

No resulta realista asumir que la planta opera al 100% de su capacidad desde el primer año, ya que la puesta en marcha de una instalación agroalimentaria nueva requiere un período de ajuste técnico (calibración de equipos, optimización de recetas, validación de puntos críticos de control) y, sobre todo, de penetración comercial (captación de clientes, negociación con cadenas de distribución, construcción de la marca). Por ello, se ha modelado esta curva de arranque con un incremento gradual de la producción hasta alcanzar el punto óptimo de la planta.

Se adopta la siguiente curva de arranque:

- Año 1: 50 % de la capacidad nominal (producción de arranque).
- Año 2: 75 % de la capacidad nominal (consolidación comercial y ampliación de clientes).
- Año 3 en adelante: 100% de la capacidad nominal (régimen de cruce).

La curva de arranque afecta tanto a los ingresos como a los costes variables (materia prima y envases), que escalan con el volumen producido. Los costes de personal se mantienen al 100% desde el primer año.

3.6.2. Estructura de la proyección anual

La construcción de la proyección de cada año sigue el siguiente esquema contable mostrado en la Tabla 31:

Tabla 31.- Esquema contable anual.

	Ingresos
-	Personal (con SS, inflactado, al 100 % desde primer año)
-	Materia prima y envases (escalado por factor de producción, inflactados)
=	EBITDA
-	Amortización contable (lineal por grupos de activos)
=	EBIT
-	Gastos financieros (intereses del préstamo ICO, años 1 a 10)
=	Beneficio antes de impuestos (EBT)
-	Impuesto sobre sociedades (25, solo si EBT > 0)
=	Beneficio Neto
+	Amortización contable (no es salida de caja)
-	Amortización del Principal del préstamo (años 1 a 10)
=	Flujo de Caja Libre del Accionista (FCLA)

En el año 0 se recoge exclusivamente el desembolso del capital propio (189.255 €), dado que la deuda se cobra íntegramente en ese mismo año y se destina a cubrir el resto de la inversión. A partir del año 11, una vez amortizado completamente el préstamo, los gastos financieros y la amortización del principal desaparecen del cálculo, lo que produce el salto visible en el flujo de caja que se apreciará en las gráficas de apartados posteriores y en la simulación del flujo de caja.

3.6.3. Resultados de la proyección

En la Tabla 32 recoge la proyección anual completa de los flujos de caja:

Tabla 32.- Flujos de caja anuales

Año	Factor prod.	Ingresos	Personal	MP+Envases	Costes op.	EBITDA	mortizació	EBIT	Intereses	EBT	IS	Bfcio. neto	Amort. capital	FCLA	FCLA acum.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-189255	-189254,967
1	0,5	630000	279715,7	441147,76	720863,44	-90863,4	49922,99	-140786	22079,75	-162866	0	-162866,17	35108,82	-148052	-337306,97
2	0,75	968625	286708,6	678264,68	964973,25	3651,75	49922,99	-46271,2	20324,31	-66595,6	0	-66595,55	36864,26	-53536,8	-390843,78
3	1	1323788	293876,3	926961,73	1220838,02	102949,5	49922,99	53026,5	18481,09	34545,4	8636,35	25909,05	38707,47	37124,57	-353719,21
4	1	1356882	301223,2	950135,77	1251358,97	105523,2	49922,99	55600,23	16545,72	39054,51	9763,63	29290,89	40642,84	38571,03	-315148,18
5	1	1390804	308753,8	973889,17	1282642,94	108161,3	49922,99	58238,31	14513,58	43724,74	10931,18	32793,55	42674,99	40041,56	-275106,63
6	1	1425574	316472,6	998236,4	1314709,01	110865,3	39922,99	70942,35	12379,83	58562,52	14640,63	43921,89	44808,74	39036,14	-236070,48
7	1	1461214	324384,4	1023192,31	1347576,74	113637	39922,99	73713,98	10139,39	63574,59	15893,65	47680,94	47049,17	40554,76	-195515,73
8	1	1497744	332494	1048772,12	1381266,16	116477,9	39922,99	76554,9	7786,93	68767,97	17191,99	51575,98	49401,63	42097,34	-153418,39
9	1	1535188	340806,4	1074991,42	1415797,81	119389,8	39922,99	79466,85	5316,85	74150	18537,5	55612,5	51871,71	43663,78	-109754,61
10	1	1573567	349326,6	1101866,2	1451192,76	122374,6	39922,99	82451,6	2723,26	79728,33	19932,08	59796,25	54465,3	45253,94	-64500,67
11	1	1612907	358059,7	1129412,86	1487472,58	125434	12108	113326	0	113326	28331,49	84994,46	0	97102,46	32601,79
12	1	1653229	367011,2	1157648,18	1524659,39	128569,8	12108	116461,8	0	116461,8	29115,45	87346,35	0	99454,35	132056,14
13	1	1694560	376186,5	1186589,38	1562775,87	131784	12108	119676	0	119676	29919,01	89757,03	0	101865	233921,17
14	1	1736924	385591,2	1216254,12	1601845,27	135078,7	12108	122970,7	0	122970,7	30742,66	92227,98	0	104336	338257,16
15	1	1780347	395230,9	1246660,47	1641891,4	138455,6	12108	126347,6	0	126347,6	31586,9	94760,71	0	106868,7	445125,87
16	1	1824856	405111,7	1277826,98	1682938,69	141917	12108	129809	0	129809	32452,25	97356,75	0	109464,8	554590,62
17	1	1870477	415239,5	1309772,66	1725012,16	145464,9	12108	133356,9	0	133356,9	33339,23	100017,69	0	112125,7	666716,31
18	1	1917239	425620,5	1342516,97	1768137,46	149101,6	12108	136993,6	0	136993,6	34248,39	102745,16	0	114853,2	781569,47
19	1	1965170	436261	1376079,9	1812340,9	152829,1	12108	140721,1	0	140721,1	35180,27	105540,82	0	117648,8	899218,29
20	1	2014299	447167,5	1410481,9	1857649,42	156649,8	12108	144541,8	0	144541,8	36135,45	108406,36	0	120514,4	1019732,65
21	1	2064657	458346,7	1445743,94	1904090,65	160566,1	12108	148458,1	0	148458,1	37114,52	111343,55	0	123451,6	1143184,2
22	1	2116273	469805,4	1481887,54	1951692,92	164580,2	12108	152472,2	0	152472,2	38118,05	114354,16	0	126462,2	1269646,36
23	1	2169180	481550,5	1518934,73	2000485,24	168694,7	12108	156586,7	0	156586,7	39146,68	117440,04	0	129548	1399194,4
24	1	2223409	493589,3	1556908,1	2050497,37	172912,1	12108	160804,1	0	160804,1	40201,02	120603,06	0	132711,1	1531905,46
25	1	2278995	505929	1595830,8	2101759,81	177234,9	12108	165126,9	0	165126,9	41281,72	123845,17	0	135953,2	1667858,63

Durante los dos primeros años la planta registra pérdidas debido a la baja utilización de la capacidad (50 y 75 % respectivamente), mientras que los costes fijos en personal y amortización se aplican al 100%. El flujo de caja libre del accionista es fuertemente negativo en el año 1 y moderadamente negativo en el año 2 cuando se aumenta la producción a tres cuartas partes del total, lo que refleja que la planta debe de consumir parte de sus recursos en las etapas iniciales.

A partir del año 3, el proyecto entra en régimen de crucero y genera flujos de caja positivos de forma sostenida.

En el año 11 al completar la amortización del préstamo, desaparece la carga financiera, lo que deriva en un incremento significativo en los flujos de caja libres que pasan aproximadamente de 45.000 a 97.000 € anuales. Este comportamiento refleja la transición desde una fase apalancada a una fase sin deuda.

El flujo de caja libre acumulado muestra que la posición de caja consolidada del accionista se mantiene negativa durante la primera década del proyecto y recupera el equilibrio financiero en el año 17, para seguir acumulando flujos positivos hasta el final de su vida útil.

Para facilitar la interpretación del comportamiento temporal descrito en este apartado sobre los flujos de caja en la Figura 19 se puede ver gráficamente la evolución anual de ingresos y costes operativos a lo largo de la vida útil del Proyecto.

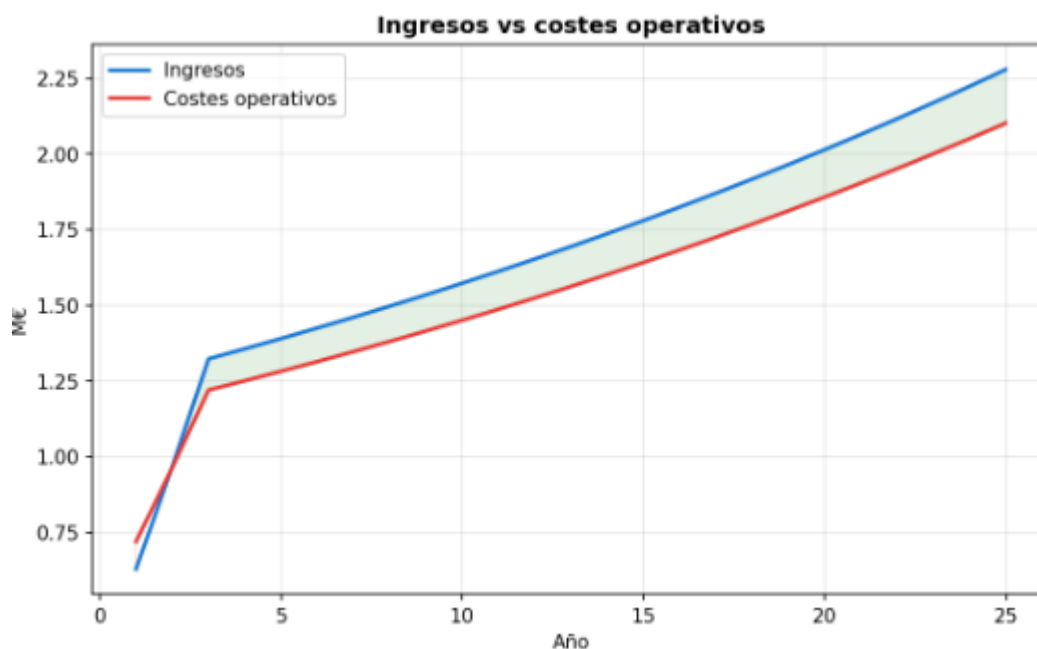


Figura 19.- Ingresos vs Costes operativo

3.7. Criterios de evaluación.

Para evaluar la rentabilidad de la inversión se aplican los cuatro criterios básicos del análisis financiero de proyectos: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), el período de recuperación descontado (PRD) y el índice de rentabilidad (IR). Los flujos de caja utilizados son los flujos libres del accionista (FCLA) obtenidos en la simulación de la proyección de los flujos de caja y la tasa de descuento empleada es la rentabilidad exigida al capital propio ($K_e = 10\%$).

En la Figura 20 se muestra la representación gráfica de la evolución del beneficio neto a lo largo de la vida útil del proyecto:

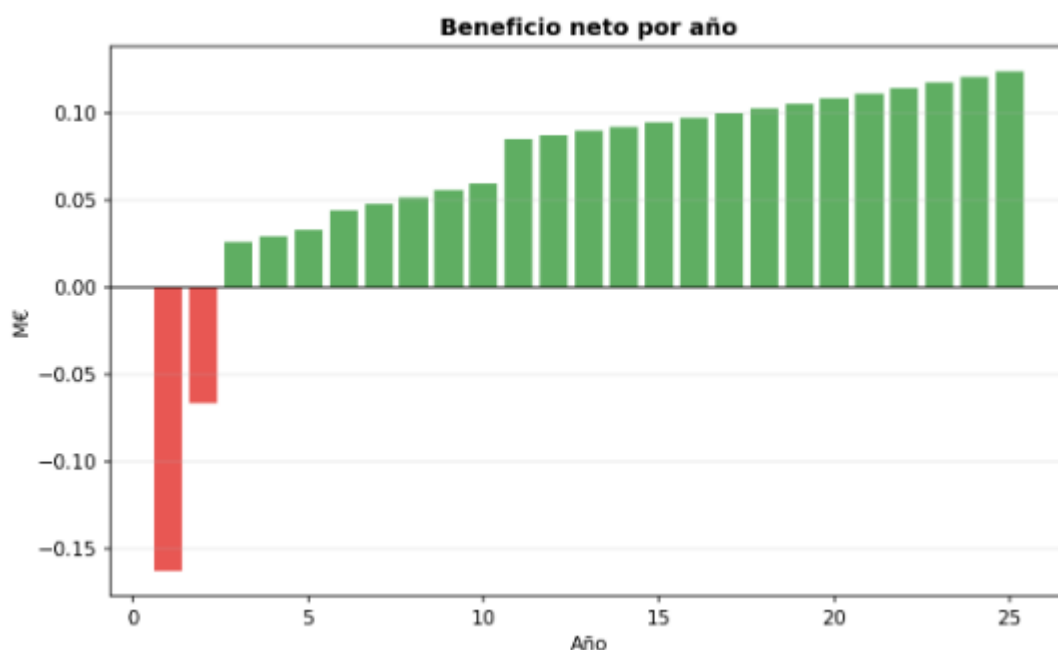


Figura 20.- Beneficio neto por año.

3.7.1. Valor Actual Neto

El VAN representa la suma de todos los flujos de caja del proyecto actualizados al instante inicial mediante la tasa de descuento adoptada. Este indicador permite medir directamente el crecimiento económico creado por la inversión, de manera que un VAN positivo implica que el proyecto genera rentabilidad por encima de la exigida al capital invertido.

$$VAN = -I_o + \sum \frac{FCLE_t}{(1 + K_e)^t}$$

En este caso el resultado es de 134.264,64 €.

El VAN positivo indica que, bajo las hipótesis adoptadas, el proyecto genera valor para el accionista por encima del 10 % de rentabilidad exigido. El valor obtenido es modesto en términos absolutos, pero financieramente positivo, confirmando la viabilidad del proyecto.

3.7.2. Tasa Interna de Rentabilidad

El TIR es el tipo de descuento que anula el VAN del proyecto, es decir, la rentabilidad implícita de la inversión. El criterio de decisión para este indicador establece que el proyecto será rentable siempre que la TIR sea superior al coste de capital.

$$0 = -I_0 + \sum \frac{FCLE_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

En este trabajo, la TIR calculada es de 12,92%.

La TIR obtenida supera en 2,92 puntos porcentuales al coste del capital propio del 10 %, por lo que la inversión es rentable. Este valor se sitúa en el rango del 12 – 15 % habitualmente considerado como rentabilidad objetivo del sector alimentario español para pymes de nueva creación [67].

3.7.3. Período de Recuperación Descontado

Este indicador mide el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial teniendo en cuenta el valor temporal del dinero, es decir, actualizando los flujos de caja obtenidos en cada ejercicio.

$$\sum \frac{FCLE_t}{(1 + Ke)^t} \geq 0$$

El resultado obtenido es PRD = 17 años.

El periodo de recuperación se encuentra dentro de la vida útil del proyecto, pero es notablemente largo. Este comportamiento se explica por dos factores, la pérdida de caja durante los dos primeros años debido a la curva de arranque y la carga del servicio de la deuda durante los primeros años. A partir del año 11 tras la amortización del préstamo, el flujo de caja libre se acelera y permite recuperar la inversión acumulada.

Para facilitar la interpretación de este indicador en la Figura 21 se representa la evolución del flujo de caja libre acumulado, magnitud cuya intersección con el eje de abscisas determina el valor el período de recuperación. La curva parte del valor negativo correspondiente al desembolso inicial de capital propio en el año 0, continúa descendiendo los dos primeros años debido a las pérdidas de arranque y comienza a recuperarse progresivamente a partir del año 3. A partir del año 11 se acelera ese crecimiento debido a la amortización del préstamo bancario y las amortizaciones de equipo, permitiendo que la inversión se recupere en el año 17, momento señalado en vertical en la Figura 21:

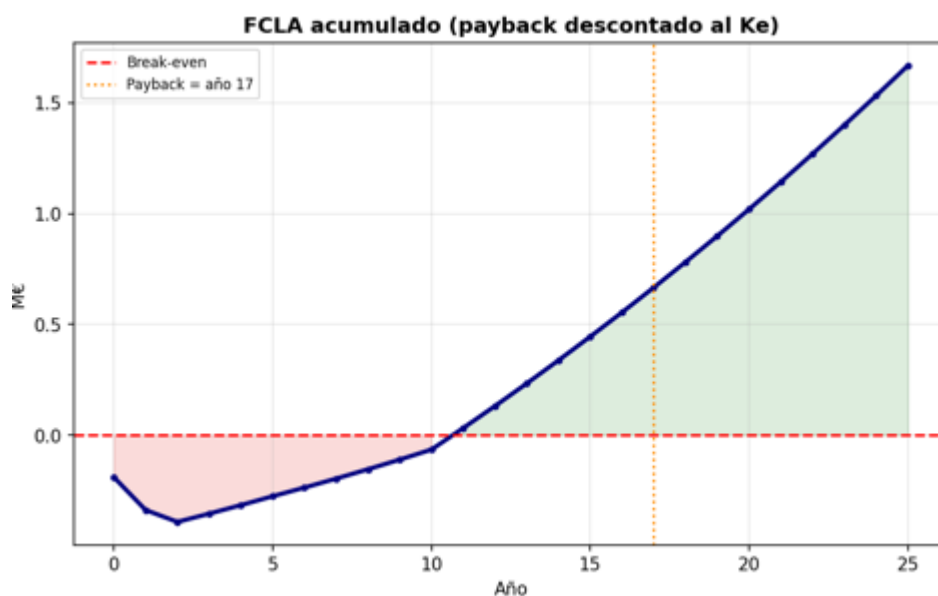


Figura 21.- FCLA acumulado - Payback

3.7.4. Índice de Rentabilidad

Este indicador expresa la relación entre el valor actual de los flujos generados y la inversión inicial realizada. Su interpretación es directa, cuando el índice es mayor que 1, el proyecto resulta aceptable desde el punto de vista

financiero.

$$IR = 1 + \frac{VAN}{I_o}$$

En el marco de este proyecto, el IR equivale a 1,7094.

El IR obtenido indica que cada euro de capital propio aportado por los socios genera 1,71 euros de valor actualizado a lo largo de la vida útil del proyecto, lo que confirma, desde esta cuarta perspectiva la viabilidad financiera de la inversión.

3.7.5. Análisis de sensibilidad al precio de venta

El precio de venta es la variable con mayor impacto sobre los resultados del modelo económico. Para cuantificar esta sensibilidad y evaluar la robustez del proyecto frente a desviaciones comerciales, se ha repetido el cálculo aplicando variaciones sobre el precio base.

Los resultados de esta simulación se recogen en la Tabla 33:

Tabla 33.- Variaciones de los criterios económicos en función del precio.

Variación (%)	Precio medio (€/tarro)	Van (€)	TIR (%)	PRD (Años)	IR
-20 %	2,40	-2.326.522	-	-	-11,29
-10%	2,70	-1.017.946	-	-	-4,38
-5%	2,85	-392.488	0,39	-	-1,07
0 % (Base)	3,00	+134.264	12,92	17	1,71
+5 %	3,15	642.146	23,97	8	+4,39
+ 10 %	3,30	1.143.774	35,49	5	+7,04
+ 20 %	3,60	2.139.524	60,07	3	+12,30

El análisis revela dos conclusiones relevantes:

- El proyecto es extremadamente sensible al precio, una reducción del 5 % ya convierte el VAN en negativo y el TIR cae por debajo del coste de capital, por lo que el margen de seguridad comercial es bastante reducido.
- Incrementos moderados del precio generan mejoras muy significativas de todos los indicadores, lo que sugiere que existe recorrido para ajustar el precio de fabricante si la aceptación del producto lo permite.

La representación gráfica de la sensibilidad permite visualizar con mayor claridad el comportamiento de los indicadores frente a las distintas variaciones del precio. En la Figura 22 se muestra tanto la evolución del VAN y la TIR frente a las distintas desviaciones porcentuales del precio de venta sobre el precio fabricante.

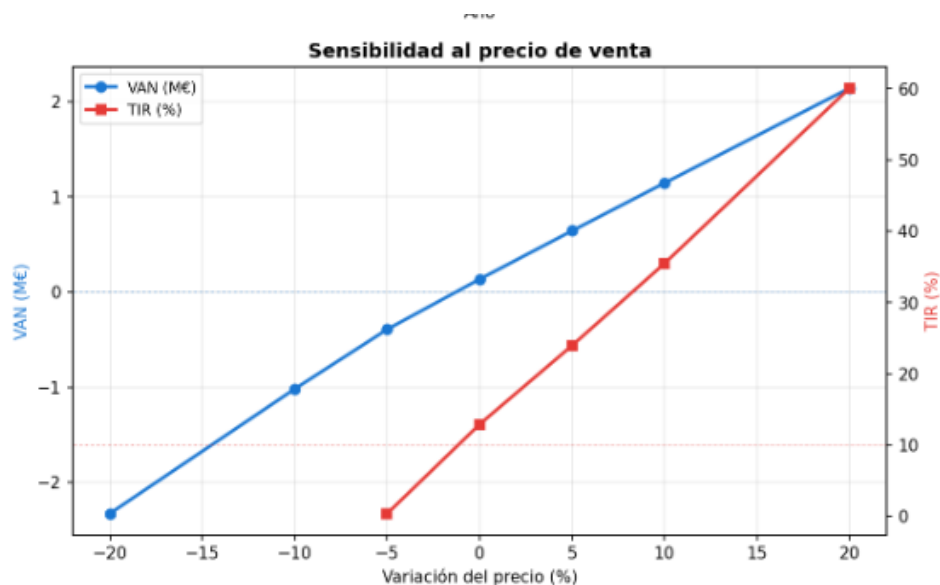


Figura 22.- Sensibilidad frente al precio de venta.

3.7.6. Conclusiones del análisis económico.

En conjunto, los cuatro criterios aplicados muestran una valoración favorable del proyecto bajo las hipótesis adoptadas: el VAN es positivo (134.265 €), la TIR (12,92 %) supera el coste de capital propio del 10 % y se sitúa en un rango propio del sector, el período de recuperación (17 años) queda holgadamente dentro de la vida útil del proyecto y el IR confirma el valor de la inversión y la creación de valor por cada euro invertido. No obstante, estos resultados deben interpretarse con prudencia: el análisis de sensibilidad pone de manifiesto que la viabilidad económica de la planta depende del precio de venta adoptado en gran medida, por lo que la estrategia comercial será fundamental para que la planta de este TFG sea viable. Adicionalmente, el modelo incorpora hipótesis simplificadas que tienden a ser conservadores, por lo que el resultado puede considerarse un suelo razonable pero no exacto del desempeño económico esperado.

4. CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Fin de Grado ha permitido desarrollar la ingeniería básica de una planta de producción de mermeladas de frutas adaptada a una escala pequeña-industrial, ubicada en el Polígono Industrial La Isla, en Dos Hermanas (Sevilla), orientada a la elaboración de mermelada de naranja, fresa y melocotón a partir de fruta de temporada y de proximidad. A lo largo del proyecto se ha definido el alcance técnico, productivo, espacial y económico de la instalación, tomando como referencia una capacidad de 210 toneladas de producto terminado.

Desde el punto de vista técnico, el trabajo ha permitido estructurar el proceso en cuatro fases diferenciadas: producción de la mermelada, preparación de envases, envasado y tratamiento de residuos y aguas residuales. Esta organización ha facilitado la descripción de las operaciones, la identificación de los puntos críticos de control y la definición de unas condiciones de operación compatibles con la normativa alimentaria vigente. Asimismo, el proyecto ha justificado el empleo de azúcar, ácido cítrico y pectina como ingredientes auxiliares fundamentales para garantizar la gelificación, estabilidad y calidad final del producto.

Los balances de materia realizados y el cálculo de necesidades anuales de materia prima y materiales auxiliares, ha permitido realizar una cuantificación razonada de todo lo necesario para operar durante un año natural. A partir de dichos resultados, se ha definido una estrategia de lotificación basada en lotes de 400 kg. Sobre esta base, se ha efectuado el predimensionamiento de los equipos de proceso y se ha comprobado, mediante la simulación de operaciones, que la línea propuesta puede completar la producción diaria prevista dentro de un turno único de 8 horas, manteniendo cierto margen de crecimiento.

En relación con la implementación industrial, el trabajo ha permitido establecer una propuesta preliminar de maquinaria, lay-out y superficie en planta coherente con los requisitos de higiene, seguridad y operatividad propios de la industria agroalimentaria. La solución adoptada contempla una distribución funcional de las distintas zonas operativas de la planta, permitiendo una separación entre áreas limpias y sucias y favoreciendo un flujo lineal de producción. De esta forma, puede afirmarse que la planta diseñada resulta viable también desde el punto de vista espacial y operativo.

Desde el punto de vista económico, el análisis realizado muestra que el proyecto resulta viable, con un VAN positivo y una TIR por encima del coste de capital exigido situado en un rango objetivo del sector de la planta. La estructura de financiación combinada con capital propio y el préstamo junto con la curva de arranque comercial, ha permitido obtener una proyección coherente con la práctica del sector. El análisis de sensibilidad del precio de venta muestra que la viabilidad del proyecto depende fuertemente del precio de venta, por lo que la conclusión debe interpretarse como favorable pero condicionada al posicionamiento comercial previsto.

En conjunto, el TFG cumple el objetivo principal planteado al inicio del trabajo al haber desarrollado una propuesta completa y coherente de ingeniería básica para una planta de producción de mermeladas. Además de integrar aspectos de proceso, normativa, dimensionamiento, implantación y viabilidad económica este TFG pone de manifiesto que una instalación de estas características puede ser una alternativa técnicamente viable para valorizar fruta de temporada y abastecer mercados de proximidad con producto diferenciado.

Puede concluirse que la planta proyectada constituye una base sólida para etapas posteriores de ingeniería de detalle, en las que debería profundizarse en aspectos de diseño constructivo, automatización y un estudio económico más fino.

5. ANEXO A. ESPECIFICACIONES DE MAQUINARÍA

En este anexo se expondrán las tablas técnicas de toda la maquinaria con el fin de que el lector del mismo tenga un mayor conocimiento acerca de las mismas.



Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina lavadora de fruta

Hoja
1 de 1

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Máquina lavadora de fruta FRUIT WASHER FW
Proveedor	SORMAC
Función	Limpiar y desinfectar fruta.
Flotabilidad de la fruta	Tanto positiva como negativa.
Tiempo de permanencia	Ajustable
Dimensiones	· 5.045 mm de largo · 2.280 mm de ancho · 2.730 mm de alto
Conexión eléctrica	400 V, trifásica, 50 Hz
Potencia instalada	5,74 kW
Diámetro mínimo del producto	Ø 30 mm
Diámetro máximo del producto	Ø 250 mm

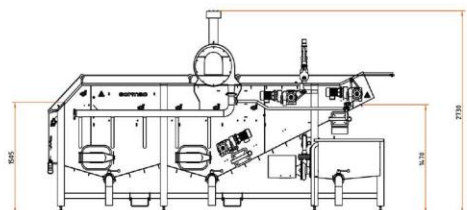
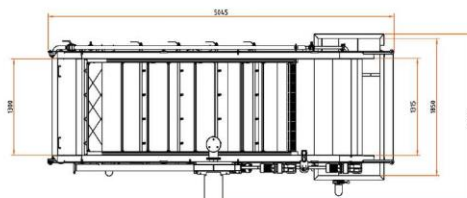
DATOS DE OPERACIÓN

Descripción del proceso

El producto es impulsado a través de la lavadora por el chorro de agua en combinación con el sistema de paletas compartimentadas de velocidad variable. Este sistema se acciona mediante dos cadenas de plástico montadas a lo largo de la lavadora, con paletas transversales espaciadas entre sí. El tiempo de permanencia es ajustable. Las paletas también se pueden desmontar para permitir un flujo libre e ininterrumpido. La cinta transportadora modular montada sobre la parte inferior del tanque permite transportar de forma controlada los productos con flotabilidad negativa hasta el elevador de descarga. El lavado estándar se completa con un sistema especial de agitación por aire que intensifica el resultado de lavado y desinfección. El agua se recoge en un tanque separado con bomba y filtro antes de la recirculación.

Capacidad de proceso

Depende del tipo de producto, sus dimensiones y el tiempo de permanencia.





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificación de máquina exprimidora industrial de cítricos

Hoja
1 de 1

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Máquina exprimidora industrial CitroEvolution ³
Proveedor	BERTUZZI
Función	Máquina exprimidora industrial de cítricos. Diseñada para extraer el zumo de cada pieza de fruta de forma individual. Baja presión de prensado sobre las cáscaras para reducir al mínimo la contaminación del zumo con los aceites esenciales de las cáscaras. Cilindros de refinado intercambiables para variar el grado de refinado con un excelente control de la pulpa. Alta fiabilidad y fácil mantenimiento.
Equipamiento	Estructura de soporte de acero inoxidable fácil de abrir para acceder a los diferentes dispositivos mecánicos que componen la máquina. Dispositivo de biela para el movimiento alternativo de los dispositivos de extracción accionados por un motor de relación ortogonal. Alimentador giratorio con guía mecánica. Tres pares de vasos penetrantes para la extracción del jugo, con cilindro perforador y de refinado de líquidos, cámara de expulsión de pulpa y conducto de expulsión de cáscaras. Copas fabricadas en acero inoxidable. Recipiente colector de zumo, fácil de abrir e inspeccionar, fabricado en acero inoxidable y conectable a un depósito de colector o a una máquina refinadora. (Todas las piezas en contacto con el producto están fabricadas en acero inoxidable AISI 304)
Consumo eléctrico	5,5 kW
Peso	685 kg
Dimensiones	· 910 mm de largo · 1.310 de ancho · 130 de altura
Diámetro mínimo del cítrico	Ø 45 mm
Diámetro máximo del cítrico	Ø 100 mm

DATOS DE OPERACIÓN

Descripción del proceso	Los cítricos se introducen en la CitroEvolution³ mediante una cinta transportadora que alimenta de forma homogénea los 3 canales de alimentación de la CitroEvolution³ así como de otras CitroEvolution³ colocadas en serie. Los cítricos de los 3 canales de alimentación se trasladan a las copas de extracción mediante un sistema de vibración y, a continuación, mediante un alimentador giratorio. El movimiento de la copa de extracción puede resumirse en 4 fases: · Carga: la copa superior se encuentra en la posición más alta mientras la inferior es alimentada por el alimentador giratorio. · Aproximación: la copa superior desciende hacia la copa inferior cargada. · Extracción del zumo: un cilindro perforador penetra en la parte inferior de la fruta abriendo la cáscara y permitiendo la extracción sin que la fruta explote. El zumo extraído entra en el cilindro perforador, se refina y se almacena temporalmente en un pequeño depósito. · Descarga de residuos y reposicionamiento: una vez extraído totalmente el zumo, la copa superior vuelve a la posición más alta y las cáscaras caen al sistema de residuos.
Capacidad de proceso	15.000 frutas/hora





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificación de máquina despulpadora/refinadora

Hoja
1 de 1

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Máquina despulpadora/refinadora para fruta MK 500
Proveedor	MAURER-GEP
Función	Deshuesado de frutas con hueso. Preparación de la fruta antes de su procesamiento. Asegura la seguridad del consumidor, protege el resto de maquinaria impidiendo que se dañen otros mecanismos, reduciendo el mantenimiento y ayudando a mejorar la pureza del producto. Perfecto para la eliminación de las semillas de la mezcla.
Equipamiento	Con el tornillo de alimentación en la tolva de entrada, con 2 piezas de rotación, 2 piezas de ruedas fijas o 4 piezas libres de vibración. Tamiz de diámetro seleccionable.
Demanda eléctrica	2,2 kW, 400 V, 6 A, trifásico
Construcción	Material WNr. 1.4301, acero inoxidable AISI 304
Dimensiones	650 X 1.100 X 1.140 mm
Peso	100 kg
Electrónica	Certificación IP65
Altura de entrada	1.050 mm
Altura de salida	380 mm
Distancia entre tamiz y rotores	Ajustable
Gomas de rotores	Industria alimentaria

DATOS DE OPERACIÓN

Descripción del proceso	La fruta picada puede ser entregada a un contenedor, un pasteurizador o a un extractor de mermelada. Adecuada para ser utilizada con un bomba de tornillo o un mango con fuerza manual. Opera bajo el principio de separación densimétrica (vibración y corrientes de aire).
Rendimiento	500-1.000 kg/h

OPCIONES

Conexión para la salida	DN 65
Inversor	Control de la velocidad del rotor
Tamices	· Tamiz de 0,8 Ø mm de diámetro: bayas y pulpas · Tamiz de 0,8 Ø mm de diámetro: bayas y pulpas · Tamiz de 3 mm Ø de diámetro: manzana y puré de pera · Tamiz de 5 mm Ø de diámetro: cereza · Tamiz de 8 mm Ø de diámetro: ciruela y albaricoques · Tamiz de 10 mm Ø de diámetro: melocotón y mango · Tamiz de diámetro personalizado





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina cocedora de mermelada

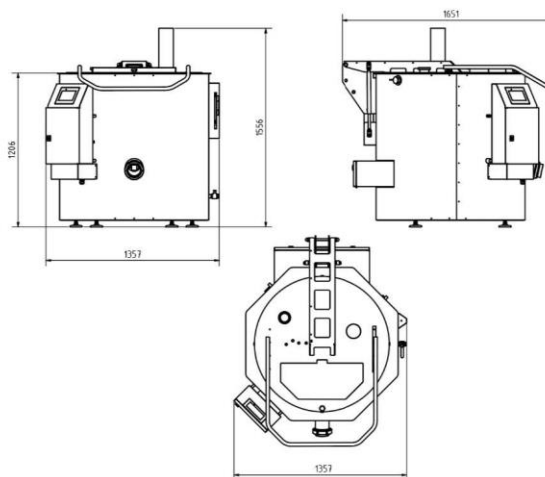
Hoja
1 de 1

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Máquina cocedora de mermelada MLF500
Proveedor	MAURER-GÉP
Función	Cocción de mermelada. Regula automáticamente la temperatura del medio calefactor y del producto.
Equipamiento	Recipiente de cocción con doble pared aislado térmicamente cuyo medio calefactor es glicerina de grado alimentario. Cuenta con una unidad de mezcla integrada que asegura que los materiales no se adhieran. Motor de mezcla montado en la parte inferior con raspadores de silicona de calidad alimentaria para evitar quemaduras. Montado sobre pies resistentes. Equipada con válvula de seguridad.
Demanda eléctrica	37 kW, 400 V, 32 A, trifásico
Construcción	Material WNr. 1.4301, acero inoxidable AISI 304
Dimensiones	1.500 X 1.750 X 1.600 mm
Peso	700 kg
Electrónica	Certificación IP65
Intercambiador de calor	Glicerina industrial
Termómetros	Dos piezas (uno en el medio calefactor y otra en el producto)
Válvula de seguridad	Sí
Mezclador inclusivo	Con raspadores de silicio contra la combustión

DATOS DE OPERACIÓN

Rendimiento	500 L/ciclo
-------------	-------------





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina llenadora automática

Hoja
1 de 3

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Máquina llenadora automática K-Line S
Proveedor	CDA-USA
Función	Máquina llenadora automática
Equipamiento	Puertas de vidrio con cierre lateral, transportador motorizado fabricado en acero inoxidable de longitud variable según el chasis, transportador, centradores de cuello, sistema antigoteo, ajuste de altura, bandeja y boquillas para recoger el excedente, sensor de atasco y una pantalla táctil con contador de producto integrado.
Dosis mínima/máxima	50 ml /20 L (dependiendo de la configuración y las opciones elegidas)
Longitud del transportador/chasis	3.500 mm para chasis 2.000, 3.000 mm para chasis 1.500 y 2.500 para chasis 1.000
Ancho del transportador	Estándar de 82,6 mm
Peso	500 kg (dependiendo de la opción)
Dimensiones con marco	· 1.150 mm de ancho · 2.200 mm de alto · 2.950 mm de alto (con el tanque opcional) · 2.100 mm de profundidad para la K-Line S 1500
Consumo de energía	1 kW
Voltaje	380 V trifase con 5 hilos. 50 Hz
Frecuencia	50 Hz, 16 A
Control	pantalla táctil
Temperatura ideal de funcionamiento	De 10° C a 30° C (50° F a 90° F)
Fuentes de alimentación	Requiere una fuente de alimentación eléctrica y otra neumática.
Fuente de alimentación eléctrica	1 cable de 220 voltios, longitud de 6 metros con enchufe doméstico.
Fuente de alimentación neumática	1 toma de aire en el manómetro Presión constante inferior a 6 bar (manguera a suministrar con diámetro interior/exterior de Ø 8/10 mm).
Medición por caudalímetro	Mediante la acción combinada de una bomba rotativa, un caudalímetro y un cabezal de dosificación. Caudalímetro másico para productos con fluidez libre o ligeramente densos que no contengan grumos en suspensión.
Dosificación por pistón	Para el envasado de productos de líquidos a densos o que contienen trozos en suspensión. Un sistema de succión introduce el producto en la cámara de dosificación del pistón que, una vez alcanzada la cantidad predefinida, empuja el producto hacia la válvula y luego hacia el cabezal de dosificación. La velocidad del pistón se ajusta mediante reguladores.
Depósito presurizado	Tanque cilíndrico con fondo curvo para facilitar el vaciado y la limpieza, sistema de presurización del tanque gestionado por el PLC (0 a 1 bar) con válvula de seguridad incluida, detección de nivel, bola de lavado en la tapa, válvula de vaciado total y válvula de nivelación servocontrolada por el detector de nivel.
Presionador/Insertador	Estación de inserción por presión que incluye: · dispositivo de detección y parada de botellas para la colocación manual del tapón. · célula de control de presencia de tapón. · dispositivo de sujeción y parada de los botes mediante centrado simétrico de las botellas bajo el cabezal.
Termoselladora	Incluye: · un generador de sellado por inducción de 3,6 kW. · un inductor universal (para el sellado de tapones planos). · brazo móvil ajustable en altura.
Límites de la Ninon 1500/2500	Volúmenes de dosificación inferiores a 50 ml o 20 L (en circuitos con bomba o caudalímetro).



Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina llenadora automática

Hoja
2 de 3

DATOS DE OPERACIÓN (LLENADO)

Capacidad de llenado	Diseñada para alojar 2, 4 o 6 boquillas de dosificación.
	50 ml / 20 L (dependiendo de la configuración y las opciones elegidas).
Control del sistema	Pantalla táctil a color para ajustar de forma cómoda distintos parámetros para el llenado como la velocidad de la bomba, temporizadores, el ciclo de limpieza con la opción del tanque y el contador diario de productos.

OPCIONES

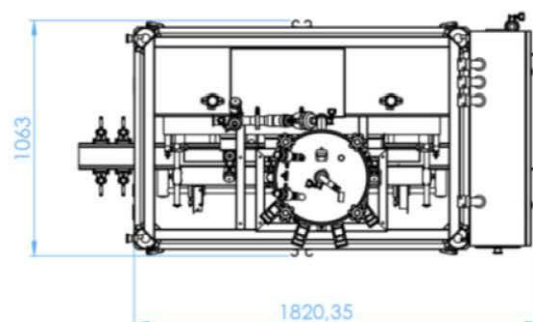
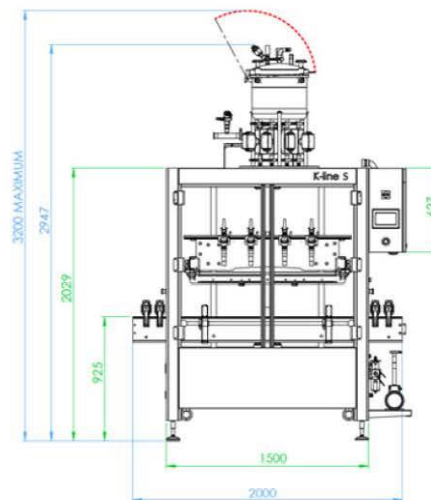
Sistema de alimentación de envases	Mesa cilíndrica, mesa rectangular, transferencia paralela, transportadores rectos o curvos adicionales o placa de transferencia. Se instala a la salida de la máquina para recoger las botellas etiquetadas. La mesa tiene un diámetro de Ø700 mm y puede recibir hasta 60 botellas.
Ancho de cadena del transportador	Opciones de 114 mm o 190 mm
Depósito presurizado	Capacidad de 49 L o 120 L
Caudalímetros	Medidores de flujo masivos o electromagnéticos
Bombas	Centrífuga, volumétrica de rodete flexible, neumática o de cavidad progresiva.
Pistón	Capacidad de integrar diferentes dispositivos de dosificación.
Boquillas de dosificación adicionales	Versiones cortas, estándar y giratorias entre otras.
Taponadoras	Compatibles con los modelos VS400 (unidad de roscado) o VS 500 (unidad de roscado superior).
VS 400	Incluye: - dispositivo de detección y parada de producto para la colocación manual de tapones con una célula de control de presencia de tapón. - dispositivo de detección y parada de producto mediante centrado simétrico de la botella bajo el cabezal de roscado. - máquina roscadora con ajuste de altura eléctrico, equipada con un cabezal de roscado para un formato de tapón específico.
VS 500	Incluye: - dispositivo de detección y parada de producto para la colocación manual de tapones con una célula de control de presencia de tapón. - dispositivo de detección y parada de producto mediante centrado simétrico de la botella bajo el cabezal de roscado. - roscado de la bomba/tapones mediante dos correas (movimiento lateral de las dos correas) - ajuste del par de apriete y de la altura del roscado.
Sistema de sellado	Máquina engastadora (crimpadora), estación de engaste o máquina de sellado por inducción. La crimpadora incluye: - sistema de guiado de sujeción de botellas guiado neumáticamente con cabezal de cilindro específico según el producto. - sistema de engaste sobre doble guía ajustable eléctricamente en altura. - unidad de engaste montada sobre cilindro neumático.
Sistema de acumulación de salida	Mesa cilíndrica, mesa rectangular o transportadores adicionales rectos o curvos para la recepción de envases



Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina llenadora automática

Hoja
3 de 3





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina cerradora de frascos

Hoja
1 de 1

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Máquina cerradora de frascos Emérito 1.8 estándar
Proveedor	EMÉRITO
Función	Máquina cerradora de frascos de cristal con sistema de cierre tipo TWIST-OFF y PT. Soporta un amplio rango de formatos (botellas, tarros, frascos, etc) sin necesidad de incorporar utillajes ni complementos adicionales. Dispone de ajustes independientes externos para cada elemento que interviene en el proceso de cerrado, todos ellos regulables de foma sencilla y con contadores numéricos.
Complementos de serie	· Tolva de alimentación automática de tapas. · Detector de presencia (ausencia de tapas en el alimentador). · Sistema exclusivo de "control de pre-enrosque de tapa" en el conjunto de precierre. · Bandeja de recogida de líquidos de canal perimetral para la conducción de los mismos hasta puntos centralizados de salida (agua de refrigeración, limpieza, derrames, etc). · Elementos sincronizados mediante variadores de frecuencia. · Cuadro de mando y eléctrico centralizado, separado de la máquina y conectado mediante conexión HARTING. · Regulación motorizada para cambio de diferentes alturas de envases. · Variador de velocidad con potenciómetro controlado desde el cuadro de control.
Tipos de cierre	· Frascos de cristal: TWIST y PT · Frascos de PET: TWIST-OFF (dependiendo de la calidad y la rigidez del mismo)
Tapas	· Diámetro desde T038 a T082 · Altura: hasta 18 mm (DTO)
Envases	· Diámetro desde 30 mm hasta 106 mm · Altura: desde 40 mm hasta 260 mm
Cambio de formato	Mediante ajustes mecánicos sin necesidad de utillaje alternativo.

DATOS DE OPERACIÓN

Producción	70 unidades por minuto, 4.800 unidades por hora
------------	---

OPCIONES

Sistema de gestión de vapor	Para precalentar las tapas y para inyectar vapor en el interior del equipo facilitando la creación del vacío de seguridad.
Alimentación	Conexión a plato pulmón giratorio para la alimentación de los envases a las líneas de envasado así como para la acumulación.
Tracción lateral de doble correa	Para el transporte de envases.



**Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas***Hoja de especificaciones de máquina de lavado de envases***Hoja**
1 de 1**DATOS GENERALES**

Denominación del equipo	Máquina lavadora/higienizadora de envases vacíos EMÉRITO U1
Proveedor	EMÉRITO
Función	Máquina diseñada para llevar a cabo la limpieza e higienización de los envases vacíos utilizados en los procesos de producción alimentarios, tanto si están fabricados en PET como en lata o vidrio.
Métodos de higienización	Higienizadores modulares que permiten combinar utilizar un solo tipo de tratamiento o una combinación de ellos (agua, aire y vapor) según las necesidades del cliente.
Envases	Todos los formatos y tamaños.

DATOS DE OPERACIÓN

Producción	Hasta 40 envases/minuto
-------------------	-------------------------





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina secadora de envases llenos

Hoja
1 de 1

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Diseño específico para cada cliente.
Proveedor	EMÉRITO
Función	Máquina diseñada específicamente para el secado de envases llenos, a medida, para cada cliente, en función de parámetros como la velocidad de producción requerida, los formatos de envase a secar así como el tiempo de secado que se requiera para un secado de alta calidad. Eliminación de agua de lavado o producto residual en el exterior del envase antes de la etiquetadora. Permite realizar un secado correcto incluso en aquellas zonas más difíciles de los envases como debajo de las tapas para evitar problemas de oxidación y problemas posteriores con el etiquetado.
Tecnología	Secado continuo a alta presión.
Envases	Todos los formatos y tamaños.
Grado de insonorización	Alto.





Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina etiquetadora

Hoja
1 de 2

DATOS GENERALES

Denominación del equipo	Etiquetadora Automática Ninon 1500/2500
Proveedor	CDA-USA
Función	Máquina etiquetadora automática lineal
Tipo de envase	Cilíndrico
Equipamiento	Transportador motorizado (ancho de cadena de 82,6 mm), estación de etiquetado adaptada a productos cilíndricos, pantalla táctil para ajustar controlar la máquina y ajustar la altura de aplicación de las etiquetas, mandril de 40 y 76 mm para colocar el rollo de etiquetas, célula de detección de productos para activar la aplicación de etiquetas, cilindro sensible a la presión para etiquetar productos y un contador de productos
Número etiquetas/envase	4
Diámetros de envases soportados	Ø30 mm a Ø115 mm (según configuración)
Dimensiones	2.600 mm de largo, 1.610 mm de ancho y 1.200 mm de alto.
Peso	A partir de 250 Kg dependiendo de las opciones instaladas.
Fuentes de alimentación	Eléctrica y neumática.
Alimentación eléctrica	Requiere 220 V, longitud del cable a especificar.
Potencia absorbida	1kW (dependiendo de las opciones)
Alimentación neumática	6 bar constantes - Aire seco, no lubricado (manguera Ø Int/Ext = 8/10 mm)
Construcción	Bastidor de acero inoxidable con transportador de aluminio anodizado y cadena de acetal de 82,6 mm de ancho (ampliable a 190 mm)
Límites de la Ninon 1500/2500	Productos cilíndricos inestables, demasiado pesados

DATOS DE OPERACIÓN (ETIQUETADO Y MANEJO DE BOBINAS)

ETIQUETADO

Temperatura ideal de funcionamiento	Rango ideal de funcionamiento 10° C a 30° C
Capacidad de etiquetado	1 estación de etiquetado cilíndrica estándar con posibilidad de dos más opcionales.
Control del sistema	Pantalla táctil a color para ajustar la altura de las etiquetas, los temporizadores y el contador de productos.
Detección	Célula de detección de productos para activar la aplicación y una célula de almacenamiento para las salidas de etiquetas.

ESPECIFICACIONES DE LA BOBINA

Dirección	Exterior izquierdo
Diámetro del núcleo	76 mm
Diámetro máximo de bobina	250 mm (opcional, 325 mm si placa desenganchable)
Altura máxima de la bobina (estándar)	155 mm standard (285 mm opcional)
Almacenamiento	3-5 mm y en lugar seco entre 15° C a 18° C

OPCIONES

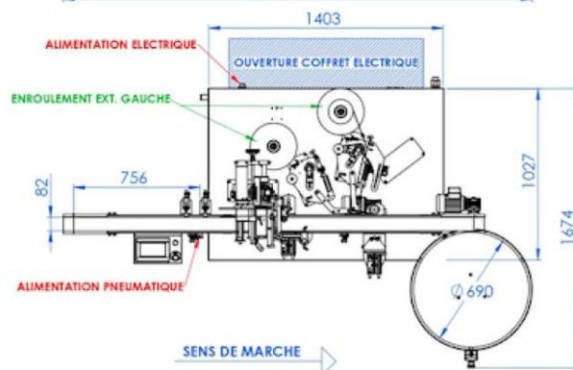
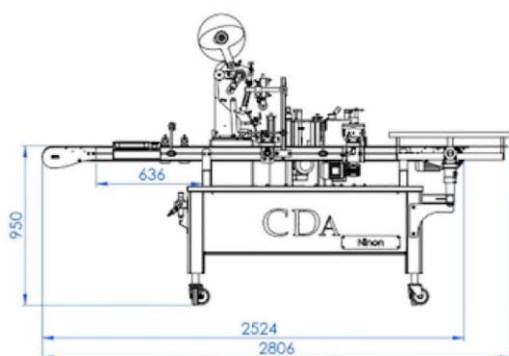
Estación superior	Para etiquetado superior
Sistemas de marcado	Integración de codificadores para imprimir códigos de barras o fechas de caducidad (DLC)
Gestión de productos	Mesa de entrada/recepción de 700 mm de diámetro con capacidad hasta 60 productos
Sensores especiales	Célula de ultrasonidos para la detección de etiquetas transparentes y célula de registro para alineación con marcas o muescas existentes.
Otras opciones	Transportador con perfil de acero inoxidable, ancho de cadena de 190 mm (82,6 de serie), bandeja desembragable, dos estaciones cilíndricas adicionales, sistema de bloqueo para el paso de los productos (por doble cilindro, cilindro guiado, tornillo de selección, etc.), solapa de etiquetado superior en 1 ó 2 lados.



Ingeniería Básica de una planta de producción de mermeladas

Hoja de especificaciones de máquina etiquetadora

Hoja
2 de 2



6. ANEXO B. ANÁLISIS DE TIEMPOS DE OPERACIÓN

6.1. Declaración sobre el uso de herramientas de Inteligencia Artificial

Para la redacción del código Python recogido en este anexo se ha empleado una herramienta de inteligencia artificial (Claude, de Anthropic, modelo Sonnet 4.6) como apoyo en la escritura sintáctica del script, la documentación mediante comentarios y la generación del bloque de visualización con la librería Matplotlib. El planteamiento del problema, la elección del modelo de scheduling, la definición de las tres fases productivas, la identificación del punto de sincronización entre líneas, los tiempos de operación por máquina y la interpretación de los resultados son aportaciones originales del autor y se fundamentan en el predimensionamiento de maquinaria recogido en las Tablas 17,18 y 19 del presente TFG. Se declara este uso en cumplimiento de los criterios de transparencia académica establecidos por la Universidad de Sevilla sobre el empleo de IA en trabajos de titulación.

6.2. Estructura del modelo en tres fases.

El código define la clase `MermeladaAssembly`, que hereda la clase base `Model` de SchepTk y sobrescribe el método `ct` (completion times) para incorporar la lógica específica del problema. El método recorre los lotes en el orden indicado por la secuencia de entrada y, para cada uno, calcula el instante de finalización en cada máquina en función de la fase en la que este se encuentre.

- Fase I: Comprende el lavado y selección de la fruta junto con el despulpado (M0), la dosificación de ingredientes (M1), la mezcla y precalentamiento (M2) y la cocción (M3). Esta fase se ejecuta de manera estrictamente secuencial: el inicio de cada operación se determina como el máximo entre la disponibilidad propia de la máquina y el instante en el que el lote ha terminado en la máquina anterior, lo que en el código se traduce en la expresión $\max(\text{avail}[m], \text{ct}[m-1][\text{pos}])$. Es la cadena más larga del proceso y, por tanto, la que habitualmente determina el camino crítico.
- Fase II: Preparación y secado de envases (M4 y M5). Comprende el lavado y secado de tarros y se desarrolla en paralelo a la Fase I. En el modelo, esta línea dispone de su propio vector de disponibilidad, lo que permite que la preparación de envases pueda comenzar en el mismo instante que la línea de mermelada. De ese modo, los tarros están listos antes que la mermelada cocida, evitando convertirse en cuello de botella y respetando la realidad operativa de la planta donde ambas líneas se activan simultáneamente al inicio del turno.
- Fase III: Envasado, acabado y logística (M6 a M10). Esta fase introduce el elemento diferencial del modelo: la máquina M6 no puede iniciar la operación de un lote hasta que se cumplan simultáneamente dos condiciones: que la cocción de ese lote haya finalizado en M3 y que los tarros correspondientes estén secos y listos en M5. Esta restricción se implementa mediante la expresión $\max(\text{avail}[6], \text{ct}[3][\text{pos}], \text{ct}[5][\text{pos}])$ que determina el instante real de la etapa de envasado como el mayor de los tres tiempos implicados. A partir de M6 las máquinas vuelven a encadenarse de manera secuencial con la misma lógica que en la Fase I.

6.3. Datos de entrada y justificación de los tiempos.

Los tiempos de operación empleados se obtienen a partir del predimensionamiento de maquinaria recogido en las Tablas 17,18 y 19 del cuerpo del TFG, aplicando la capacidad recomendada con un margen de seguridad del 25% sobre la capacidad teórica. Cada tiempo se calcula como el cociente entre la carga de trabajo del lote (kilogramos de fruta o número de tarros) y la capacidad horaria de la máquina seleccionada, expresada en

minutos. En aquellas posiciones del modelo en las que una única “máquina” agrupa dos equipos consecutivos sin buffer intermedio, como ocurre en el lavado seguido del despulpado de fruta o en el empaquetado y paletizado, el tiempo asignado es la suma de los tiempos individuales.

Los datos se cargan desde un archivo de texto externo (mermelada.txt) con el formato propio de scheptk, en el que las etiquetas [JOBS], [MACHINES] y [PT] definen respectivamente el número de lotes, de máquinas y la matriz de tiempos de procesos. Esta separación entre datos y lógica permite modificar cualquier parámetro del modelo sin tener que modificar el código, lo que resulta especialmente útil para realizar un análisis de sensibilidad.

6.4. Métricas de evaluación y secuenciación

El desempeño del Schedule se evalúa mediante dos métricas proporcionadas por la clase Model. La primera, el makespan ($C_{\max}$) representa el instante en el que finaliza la última operación del último lote y es la métrica principal puesto que determina si la planta completa la producción diaria dentro del turno de 8 horas. La segunda, la suma de los tiempos de finalización ($\sum C_j$), acumula el tiempo transcurrido hasta la finalización de cada lote y constituye un indicador del tiempo medio de servicio del sistema.

La secuencia de lotes simulada es FIFO (First IN, First Out), es decir, los lotes entran al sistema en el orden natural $[0, 1, 2, \dots, n-1]$. Dado que en el escenario base todos los lotes son idénticos en tiempos de proceso, cualquier otra permutación de la secuencia daría el mismo makespan, por lo que esta política es suficiente y facilita la lectura del diagrama.

6.5. Reconstrucción del Schedule para el diagrama de Gantt

El método ct de scheptk devuelve únicamente la matriz de tiempos de finalización, información insuficiente para calcular el makespan y la suma de los tiempos de finalización, pero insuficiente para dibujar el diagrama de Gantt, ya que Matplotlib requiere tanto el instante de inicio como el de fin de cada barra horizontal. Por ello, una vez obtenidas las métricas, el código recorre nuevamente el modelo aplicando la misma lógica de las tres fases y almacenando para cada operación la tupla (máquina, lote, inicio, fin). El conjunto de tuplas resultante constituye la representación completa del Schedule y alimenta las llamadas a la función barh, que dibuja cada operación con un color distinto por lote para facilitar la identificación visual del solapamiento entre las líneas paralelas.

Sobre el diagrama se superponen dos líneas horizontales que delimitan las tres fases del proceso y se añaden etiquetas descriptivas de modo que la representación final permita identificar de un vistazo tanto la duración total del turno como el grado de paralelismo alcanzado entre la línea de mermelada y la de envases. El título del Gantt incluye el makespan calculado.

6.6. Código Python

```
"""
```

```
GANTT - PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MERMELADAS
```

```
TFG - Miguel Ángel Valero Moreno | Universidad de Sevilla (2026)
```

```
"""
```

```
#
```

```
# BLOQUE 1 — LIBRERÍAS
```

```
# Cargamos las herramientas externas que necesita el programa.
```

```

# =====

import matplotlib
matplotlib.use('Agg') # Renderiza la imagen en memoria sin abrir ventanas gráficas
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.patches import Patch

import os

from scheptk.scheptk import Model # Clase base con los métodos Cmax, SumCj, print_schedule
from scheptk.util import read_tag # Lee los parámetros del archivo .txt de datos

# =====

# BLOQUE 2 — MODELO DE SCHEDULING (LÓGICA DEL PROCESO)
#
# Definimos cómo avanza un lote por las tres fases de producción:
# Fase I (M0-M3): preparación y cocción de la mermelada
# Fase II (M4-M5): lavado y secado de tarros (en paralelo a Fase I)
# Fase III(M6-M10): envasado, enfriamiento, etiquetado y empaquetado
#
# La Fase III no puede comenzar hasta que AMBAS fases anteriores
# hayan terminado para ese lote (punto de sincronización en M6).
# =====

class MermeladaAssembly(Model):
    def __init__(self, filename):
        """Lee el archivo de datos y carga los parámetros del modelo."""
        self.jobs = read_tag(filename, 'JOBS') # Número de lotes
        self.machines = read_tag(filename, 'MACHINES') # Número de máquinas
        self.pt = read_tag(filename, 'PT') # Matriz de tiempos: pt[máquina][lote]

    def ct(self, solution):
        """
        Calcula los tiempos de completación de cada lote en cada máquina.
        'solution' es la lista con el orden en que entran los lotes, p.ej. [0,1,2,3,4].
        Devuelve la matriz de tiempos de fin y la misma secuencia de entrada.
        """
        n_jobs = len(solution)
        ct = [[0.0] * n_jobs for _ in range(self.machines)]
        avail = [0.0] * self.machines # Instante en que cada máquina queda libre

        for pos, job in enumerate(solution):

            # — Fase I: M0 → M3 (en serie) —————
            for m in range(4):
                start = avail[0] if m == 0 else max(avail[m], ct[m-1][pos])

```

```
ct[m][pos] = start + self.pt[m][job]
```

```
avail[m] = ct[m][pos]
```

```
# — Fase II: M4 → M5 (en paralelo a Fase I) —————
```

```
for m in range(4, 6):
```

```
    start = avail[4] if m == 4 else max(avail[m], ct[m-1][pos])
```

```
    ct[m][pos] = start + self.pt[m][job]
```

```
    avail[m] = ct[m][pos]
```

```
# — Fase III: M6 → M10 (sincronización en M6) —————
```

```
# M6 espera a que terminen TANTO la cocción (M3) COMO el secado de tarros (M5)
```

```
for m in range(6, 11):
```

```
    if m == 6:
```

```
        start = max(avail[6], ct[3][pos], ct[5][pos])
```

```
    else:
```

```
        start = max(avail[m], ct[m-1][pos])
```

```
    ct[m][pos] = start + self.pt[m][job]
```

```
    avail[m] = ct[m][pos]
```

```
return ct, solution
```

```
# =====
```

```
# BLOQUE 3 — DATOS DEL PROBLEMA
```

```
#
```

```
# Tiempos por lote extraídos del predimensionamiento de maquinaria
```

```
# (Tablas 17, 18 y 19 del TFG). Capacidad recomendada (+25%).
```

```
# Para modificar un tiempo, cambia únicamente el número de minutos.
```

```
# =====
```

```
tiempos_por_maquina = {
```

```
    # — FASE I: Producción de mermelada —————
```

```
    # M0: Lavadora+Selección (632 kg / 1500 kg·h-1 × 60 = 25.3 min)
```

```
    # + Despulpadora (632 kg / 1500 kg·h-1 × 60 = 25.3 min)
```

```
    'M0 Lavado, selección y despulpado': 49,
```

```
    # M1: Dosificación de ingredientes (265 kg / 600 kg·h-1 × 60 = 26.5 min)
```

```
    'M1 Dosificación de ingredientes': 27,
```

```
    # M2: Tanque de mezcla + Precalentamiento (según ficha técnica)
```

```
    'M2 Mezcla y precalentamiento': 30,
```

```
    # M3: Cocción a 100-105°C hasta 65-68°Brix (PCC) — rango 15-20 min
```

```
    'M3 Cocción (PCC)': 20,
```

```
    # — FASE II: Preparación de envases (paralela a Fase I) —————
```

```
    # M4 y M5: 800 tarros / 2000 tarros·h-1 × 60 = 24 min cada una
```

```
    'M4 Lavado de tarros': 24,
```

```

'M5 Secado de tarros':          24,

# — FASE III: Envasado, acabado y logística —————
# M6-M9: 800 tarros / 2000 tarros·h-1 × 60 = 24 min cada una
'M6 Llenado y cerrado de tarros (PCC)':  24,
'M7 Enfriamiento (PCC)':                24,
'M8 Secado exterior y control de calidad': 24,
'M9 Etiquetado':                      24,

# M10: Empaquetadora (50 cajas / 125 cajas·h-1 × 60 = 24 min)
#   + Paletizado manual (15 min fijos por lote)
'M10 Empaquetado y paletizado':        39,
}

N_LOTES = 5
N_MAQUINAS = len(tiempo_por_maquina) # Se actualiza solo si añades o quitas máquinas
DATA_FILE = 'mermelada.txt'

# =====
# BLOQUE 4 — GENERACIÓN DEL ARCHIVO DE DATOS (.txt)
#
# scheck necesita un archivo de texto con el formato [ETIQUETA=valor].
# Si ya existe (p.ej. editado a mano con tiempos distintos por lote),
# este bloque no lo sobrescribe.
# =====

if not os.path.exists(DATA_FILE):
    with open(DATA_FILE, 'w') as f:
        f.write(f'[JOBS={N_LOTES}]\n')
        f.write(f'[MACHINES={N_MAQUINAS}]\n')

    # Cada fila de PT corresponde a una máquina; todos los lotes tienen el mismo tiempo
    filas_pt = [';'.join([str(t)] * N_LOTES) for t in tiempo_por_maquina.values()]
    f.write(f'[PT=;' + ';'.join(filas_pt) + ']\n')

    print(f'✓ Archivo '{DATA_FILE}' generado automáticamente.")
else:
    print(f'❗ Usando archivo '{DATA_FILE}' existente.")

# =====
# BLOQUE 5 — CÁLCULO DE RESULTADOS
# =====

instance = MermeladaAssembly(DATA_FILE)
solution = list(range(N_LOTES)) # Orden FIFO: [0, 1, 2, 3, 4]

```

```

print("\n" + "="*60)
print(" RESULTADOS DEL SCHEDULING — PLANTA DE MERMELADAS")
print("="*60)
print(f" Lotes simulados : {N_LOTES}")
print(f" Máquinas      : {N_MAQUINAS}")
print(f" Makespan (Cmax) : {instance.Cmax(solution)} min")
print(f" Suma completac. : {instance.SumCj(solution)} min")

```

```

ct_matrix, order = instance.ct(solution)

```

```

print(f"\n Tiempo de fin por lote (M10 — paletizado):")
for pos, job in enumerate(order):
    print(f" Lote {job+1} : {ct_matrix[10][pos]:.0f} min")

```

```

print("\n Generando Gantt...")

```

```

# =====
# BLOQUE 6 — CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE GANTT
#
# Reconstruimos el schedule guardando tanto el inicio como el fin
# de cada tarea, ya que matplotlib necesita ambos para dibujar
# las barras horizontales.
# =====

```

```

nombres_maquinas = list(tiempos_por_maquina.keys())
colores_lotes    = ['#4ECDC4', '#FF6B6B', '#45B7D1', '#96CEB4', '#FFEAA7',
                    '#DDA0DD', '#98FB98', '#F0E68C', '#87CEEB', '#FFA07A']

```

```

# — Reconstrucción del schedule con tiempos de inicio y fin —————

```

```

avail = [0.0] * N_MAQUINAS
ct_all = [[0.0] * N_LOTES for _ in range(N_MAQUINAS)]
schedule = [] # Lista de tuplas (máquina, lote, inicio, fin)

```

```

for pos, job in enumerate(solution):

```

```

    for m in range(4):
        start = avail[0] if m == 0 else max(avail[m], ct_all[m-1][pos])
        end   = start + instance.pt[m][job]
        ct_all[m][pos] = end; avail[m] = end
        schedule.append((m, job, start, end))

```

```

    for m in range(4, 6):
        start = avail[4] if m == 4 else max(avail[m], ct_all[m-1][pos])
        end   = start + instance.pt[m][job]
        ct_all[m][pos] = end; avail[m] = end

```

```

schedule.append((m, job, start, end))

for m in range(6, 11):
    start = max(avail[6], ct_all[3][pos], ct_all[5][pos]) if m == 6 else max(avail[m], ct_all[m-1][pos])
    end = start + instance.pt[m][job]
    ct_all[m][pos] = end; avail[m] = end
    schedule.append((m, job, start, end))

# — Dibujo de la figura —————
fig, ax = plt.subplots(figsize=(16, 8))

for (m, job, start, end) in schedule:
    color = colores_lotes[job % len(colores_lotes)]
    ax.barh(m, end - start, left=start, height=0.6,
            color=color, edgecolor='white', linewidth=1.2)
    if (end - start) > 5:
        ax.text((start + end) / 2, m, f'L {job+1}',
                ha='center', va='center', fontsize=8,
                fontweight='bold', color='#2d3436')

# — Líneas y etiquetas de fase —————
ax.axhline(y=3.5, color='#b2bec3', linestyle='-', linewidth=1.0, alpha=0.6)
ax.axhline(y=5.5, color='#636e72', linestyle='--', linewidth=1.5, alpha=0.7)

estilo_bbox = dict(boxstyle='round,pad=0.3', facecolor='#dfe6e9', alpha=0.5)
ax.text(2, 1.5, 'FASE I\nProducción mermelada', fontsize=9, color='#2d3436', alpha=0.7, bbox=estilo_bbox)
ax.text(2, 4.8, 'FASE II\nPreparación envases', fontsize=9, color='#2d3436', alpha=0.7, bbox=estilo_bbox)
ax.text(2, 8.2, 'FASE III\nEnvasado y logística', fontsize=9, color='#2d3436', alpha=0.7, bbox=estilo_bbox)

# — Formato de ejes y título —————
ax.set_yticks(range(N_MAQUINAS))
ax.set_yticklabels(nombres_maquinas, fontsize=9)
ax.set_xlabel('Tiempo (minutos)', fontsize=11)
ax.set_title(
    'Diagrama de Gantt — Planta de Producción de Mermeladas\n'
    'TFG · Miguel Ángel Valero Moreno · Universidad de Sevilla (2026)\n'
    f'Makespan = {instance.Cmax(solution)} min | {N_LOTES} lotes | {N_MAQUINAS} operaciones',
    fontsize=12, fontweight='bold', pad=15
)
ax.invert_yaxis()
ax.grid(axis='x', linestyle='--', alpha=0.4)
ax.set_axisbelow(True)

leyenda = [Patch(facecolor=colores_lotes[i], edgecolor='white', label=f'Lote {i+1}')
            for i in range(N_LOTES)]
ax.legend(handles=leyenda, loc='lower right', ncol=N_LOTES, fontsize=9, framealpha=0.8)

```

```
# — Guardado de la imagen —————  
plt.tight_layout()  
OUTPUT_IMG = 'gantt_mermelada_5n.png'  
plt.savefig(OUTPUT_IMG, dpi=180, bbox_inches='tight', facecolor='white')  
print(f"\n✓ Gantt guardado como '{OUTPUT_IMG}'")
```

7. ANEXO C. VIABILIDAD ECONÓMICA

7.1. Declaración sobre el uso de herramientas de Inteligencia Artificial

Para la redacción del código Python recogido en este anexo se ha empleado una herramienta de inteligencia artificial generativa (Claude, de Anthropic, concretamente el modelo Sonnet 4.6) como apoyo en la escritura del script, la documentación mediante comentarios, la generación del código de visualización con la librería Matplotlib y el bloque de análisis de sensibilidad. El planteamiento del problema, la elección del modelo financiero, la definición de la estructura de financiación, la diferencia entre precio fabricante y PVP, la selección de los umbrales de viabilidad, la curva de arranque adoptada, los tiempos y cantidades de operaciones, los precios de venta finalmente adoptados y la interpretación de los resultados son aportaciones del autor y se fundamentan en los apartados 2 y 3 de este TFG.

Se declara este uso en cumplimiento de los criterios de transparencia académica establecidos por la Universidad de Sevilla sobre el empleo de IA en trabajos de titulación.

7.2. Objetivo y estructura del script

El script `análisis_Economico.py` implementa el modelo financiero completo descrito en el apartado 3 de la memoria. Se ha optado por lenguaje Python por su amplia disponibilidad de librerías para análisis financiero (`numpy_financial` para el cálculo de VAN y TIR, `pandas` para la manipulación tabular, `matplotlib` para la visualización gráfica).

El código se estructura en catorce bloques secundarios que replican el orden de la memoria: los bloques 1 a 6 definen los parámetros del modelo, los bloques 7 a 11 implementan las funciones de cálculo (amortización contable, cuota del préstamo, flujos de caja, criterios de evaluación, umbrales de precio, análisis de sensibilidad), los bloques 12 a 13 generan las tablas y las gráficas y el bloque 14 orquesta la ejecución principal.

Esta separación en bloques funcionales permite modificar cualquier parámetro del modelo sin alterar la lógica de cálculo, facilitando la realización del análisis de sensibilidad adicional.

7.3. Justificación de las decisiones de modelado

El código implementa varias decisiones de modelado que necesitan explicación:

- Separación entre curva de arranque y costes fijos: La función `factor_produccion(anio)` aplica la curva 50 % / 75 % / 100 % únicamente a los ingresos y al coste de materia prima y envases, mientras que el coste de personal se mantiene al 100 % desde el año 1.
- Amortización lineal diferenciada por grupos: La función `amortización_anual(anio)` implemente el método lineal diferenciado por tipología de activo (10 años para maquinaria, 25 para la nave, 5 años para equipos auxiliares).
- Préstamo francés con cuota constante: La función `cuota_prestamo` calcula la cuota anual mediante la fórmula cerrada del sistema francés. La tabla de amortización `tabla_amortizaciones_prestamo` desglosa cada cuota en intereses y amortización de capital ya que ambos tienen tratamiento diferente en el cálculo del flujo de caja: los intereses son gastos deducibles en el EBT, mientras que la amortización principal es un desembolso que no afecta al resultado contable pero sí al FCLA.
- Cálculo de umbrales por bisección: Los precios críticos que hacen $VAN = 0$ o $TIR = 12\%$ no tienen solución analítica cerrada, ya que el precio afecta a los ingresos y, a través del impuesto sobre

sociedades, al flujo de caja neto. La función buscar_precio_objetivo emplea un método de bisección con 60 iteraciones y tolerancia del orden de 10^{-4} para converger al precio que iguala el criterio objetivo, ejecutando repetidamente el modelo financiero completo hasta alcanzar la precisión requerida.

- Flujo de caja del accionista (FCLA): El modelo calcula el FCLA, es decir, el flujo disponible para el accionista después del servicio de deuda (intereses y amortización del principal), y lo descuenta al coste del capital ($K_e = 10\%$). Esta aproximación es coherente con el objetivo del análisis, que es determinar si la inversión es rentable para un accionista

7.4. Interpretación del contenido de la salida

La ejecución del script produce tres tipos de salida:

- Un informe por consola que replica la estructura de los apartados 3.1 hasta 3.7 del TFG.
- Un archivo Excel “viabilidad_mermeladas_25anos.xlsx” con la tabla completa de flujos de caja, la tabla de amortización del préstamo y el desglose de la inversión inicial.
- Un archivo gráfico “viabilidad_mermeladas_graficas.png” con cuatro paneles: ingresos frente a costes operativos a lo largo de los 25 años, beneficio neto anual, evolución del flujo de caja libre acumulado con indicación del año de recuperación y análisis de sensibilidad del VAN y la TIR frente a variaciones del precio de venta.

7.5. Código Python

```
"""
```

Análisis de viabilidad económica — Planta de producción de mermeladas de frutas.

Polígono Industrial La Isla, Dos Hermanas (Sevilla).

Trabajo Fin de Grado — Miguel Ángel Valero Moreno.

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales, mención Organización Industrial.

Universidad de Sevilla, curso 2025/2026.

El modelo calcula, a lo largo de los 25 años de vida útil del proyecto:

los flujos de caja anuales, los criterios clásicos de evaluación de inversiones

(VAN, TIR, período de recuperación descontado e índice de rentabilidad),

los umbrales de precio mínimo viable y un análisis de sensibilidad del

resultado frente a variaciones del precio de venta.

Datos numéricos:

Tabla 25 -> inversión inicial (sección 3.1)

Tabla 26 -> personal y salarios (sección 3.2)

Tabla 27 -> materias primas y envases (sección 3.3)

Sección 3.4 -> parámetros financieros y financiación bancaria

Sección 3.5 -> benchmark de mercado y precio fabricante adoptado

Requisitos: numpy, numpy-financial, pandas, tabulate, openpyxl, matplotlib.

```
"""
```

```
import numpy as np
import numpy_financial as npf
import pandas as pd
from tabulate import tabulate
import matplotlib.pyplot as plt
import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")
```

```
# -----
# 1. Parámetros generales de producción (sección 2 de la memoria)
# -----
```

```
PRODUCCION_ANUAL_KG = 210_000
TARROS_ANUALES_NETOS = 420_000
TARROS_CON_MARGEN = 441_000
ETIQUETAS_MARGEN = 882_000
CAJAS_ANUALES = 21_563
TARROS_POR_VARIEDAD = 140_000
```

```
# -----
# 2. Inversión inicial (tabla 25, sección 3.1)
# -----
```

```
inversion_inicial = {
    "Nave industrial (390 m2 x 648 €/m2)": 252_700.00,
    "Adecuación higiénico-sanitaria": 50_000.00,
    "Cámara frigorífica positiva (25 m2)": 7_000.00,
    "Lavadora de fruta (comparable 3.000 kg/h)": 8_249.89,
    "Dos cocederos industriales de 500 L": 112_900.00,
    "Resto de línea de producción": 150_000.00,
    "Equipos auxiliares y puesta en marcha": 50_000.00,
}
INVERSION_TOTAL = sum(inversion_inicial.values()) # 630.849,89 €
```

```

activos_por_grupo = {
    "Maquinaria": {"importe": 278_149.89, "vida_util": 10},
    "Nave_Adecuacion": {"importe": 302_700.00, "vida_util": 25},
    "Otros": {"importe": 50_000.00, "vida_util": 5},
}

```

```

# -----

```

```

# 3. Personal (tabla 26, sección 3.2)

```

```

# Convenio Colectivo Conservas Vegetales — tabla salarial 2025 (BOE)

```

```

# SS a cargo de empresa:

```

```

# 23,60 % contingencias comunes

```

```

# + 5,50 % desempleo

```

```

# + 0,20 % FOGASA

```

```

# + 0,60 % formación profesional

```

```

# + 0,67 % MEI

```

```

# + 3,20 % AT/EP (industria alimentaria)

```

```

# = 33,77 %

```

```

# -----

```

```

SS_EMPRESA = 0.3377

```

```

personal = {

```

```

    "Director de planta": (1, "1.1", 23_699.40),

```

```

    "Responsable de producción": (1, "1.6", 20_509.05),

```

```

    "Técnico de calidad": (1, "1.3", 21_884.10),

```

```

    "Operario Fase I": (2, "1.13", 17_688.75),

```

```

    "Operario Fase II": (1, "1.14", 17_688.75),

```

```

    "Operario Fase III": (2, "1.13", 17_688.75),

```

```

    "Operario de almacén": (1, "1.13", 17_688.75),

```

```

    "Técnico de mantenimiento": (1, "1.10", 18_497.25),

```

```

    "Administrativo": (1, "1.11", 18_379.65),

```

```

}

```

```

SALARIO_BRUTO_TOTAL = sum(n * s for n, _, s in personal.values())

```

```

COSTE_PERSONAL_ANUAL = SALARIO_BRUTO_TOTAL * (1 + SS_EMPRESA)

```

```

# -----

```

```

# 4. Materias primas y materiales de envasado (tabla 27, sección 3.3)

```

Fuentes: cotizaciones MAPA (fruta) y referencias comerciales públicas.

```
materias_primas_envases = {
    "Naranja (fruta bruta)": (110_600, 0.2987),
    "Fresa (fruta bruta)": ( 47_900, 2.9654),
    "Melocotón (fruta bruta)": ( 55_000, 1.0519),
    "Azúcar": (134_300, 0.8500),
    "Pectina": ( 2_268, 45.2800),
    "Ácido cítrico (E-330)": ( 342, 3.5500),
    "Tarros de vidrio (580 mL)": (441_000, 0.6800),
    "Tapas twist-off TO 82": (441_000, 0.1960),
    "Etiquetas adhesivas": (882_000, 0.0510),
}
```

5. Precios de venta fabricante (sección 3.5)

#

Los precios recogidos en este diccionario son PRECIOS EX-WORKS, es decir,

el precio al que la planta factura al distribuidor o al minorista.

NO son precios de venta al público (PVP). Para el segmento tradicional

consolidado en España (Hero de temporada, La Vieja Fábrica: PVP en torno

a 8,5-9 €/kg), el precio fabricante se sitúa típicamente entre el 50 %

y el 60 % del PVP tras descontar margen de canal (35-50 %) e IVA (10 %).

#

La diferenciación por variedad refleja el coste directo de la materia

prima: la fresa, con cotización MAPA de 2,97 €/kg, requiere un precio

de venta ligeramente superior al de naranja y melocotón.

```
precio_venta_fabricante = {
```

```
    "Naranja": 2.90,
```

```
    "Fresa": 3.20,
```

```
    "Melocotón": 2.90,
```

```
}
```

```
INGRESOS_BASE = sum(TARROS_POR_VARIEDAD * p for p in precio_venta_fabricante.values())
```

6. Parámetros financieros (sección 3.4)

VIDA_UTIL = 25

TASA_INFLACION = 0.025

TASA_IS = 0.25

CREC_VENTAS = 0.00

Curva de arranque comercial — factor de producción sobre capacidad nominal

curva_arranque = {1: 0.50, 2: 0.75} # del año 3 en adelante, 100 %

def factor_produccion(anio: int) -> float:

"""Devuelve el porcentaje de capacidad nominal utilizada en un año dado."""

return curva_arranque.get(anio, 1.00)

Financiación (línea ICO Empresas y Emprendedores, sector agroalimentario)

FRACCION_DEUDA = 0.70

DEUDA_INICIAL = INVERSION_TOTAL * FRACCION_DEUDA

CAPITAL_PROPIO = INVERSION_TOTAL - DEUDA_INICIAL

TIPO_INTERES_DEUDA = 0.05

PLAZO_DEUDA = 10

COSTE_CAPITAL_PROPIO = 0.10 # hipótesis: rentabilidad exigida al capital propio

WACC — coste medio ponderado del capital, con efecto fiscal sobre deuda

WACC = (FRACCION_DEUDA * TIPO_INTERES_DEUDA * (1 - TASA_IS)

+ (1 - FRACCION_DEUDA) * COSTE_CAPITAL_PROPIO)

TASA_DESCUENTO = round(WACC, 4)

7. Funciones de cálculo

def amortizacion_anual(anio: int) -> float:

"""Dotación contable a amortización del año, método lineal por grupos."""

total = 0.0

for g in activos_por_grupo.values():

if anio <= g["vida_util"]:

```

    total += g["importe"] / g["vida_util"]
return total

def cuota_prestamo(principal: float, tipo: float, plazo: int) -> float:
    """Cuota anual constante de un préstamo francés."""
    if tipo == 0:
        return principal / plazo
    return principal * tipo / (1 - (1 + tipo) ** (-plazo))

def tabla_amortizacion_prestamo():
    """Devuelve una lista con (año, intereses, amort_capital, saldo_final)."""
    cuota = cuota_prestamo(DEUDA_INICIAL, TIPO_INTERES_DEUDA, PLAZO_DEUDA)
    saldo = DEUDA_INICIAL
    tabla = []
    for anio in range(1, PLAZO_DEUDA + 1):
        intereses = saldo * TIPO_INTERES_DEUDA
        amort_capital = cuota - intereses
        saldo -= amort_capital
        tabla.append((anio, intereses, amort_capital, max(saldo, 0.0)))
    return tabla

def coste_mp_envases_100pct() -> float:
    """Coste anual de MP + envases a plena capacidad (año 1, sin inflación)."""
    return sum(qty * price for qty, price in materias_primas_envases.values())

def inflactar(valor: float, anio: int) -> float:
    return valor * (1 + TASA_INFLACION) ** (anio - 1)

def ingresos_anio(anio: int, precios=None) -> float:
    """Ingresos del año considerando curva de arranque, inflación y crecimiento."""
    if precios is None:
        precios = precio_venta_fabricante
    ing_base = sum(TARROS_POR_VARIEDAD * p for p in precios.values())

```

```

return (ing_base
        * factor_produccion(anio)
        * (1 + TASA_INFLACION) ** (anio - 1)
        * (1 + CREC_VENTAS) ** (anio - 1))

```

```

def coste_mp_anio(anio: int) -> float:
    """Coste anual de MP + envases considerando curva de arranque e inflación."""
    return (coste_mp_envases_100pct()
            * factor_produccion(anio)
            * (1 + TASA_INFLACION) ** (anio - 1))

```

```

def coste_personal_anio(anio: int) -> float:
    """Personal: fijo al 100 % desde el año 1, sólo afectado por inflación."""
    return COSTE_PERSONAL_ANUAL * (1 + TASA_INFLACION) ** (anio - 1)

```

```

# -----
# 8. Simulación de flujos de caja (sección 3.6)
# -----

```

```

def generar_tabla_flujos(precios=None):
    """
    Construye la proyección de flujos de caja a 25 años.

```

Estructura anual:

```

    Ingresos
    - Personal                (inflactado, al 100 % desde año 1)
    - Materias primas y envases (escalado por curva, inflactado)
    EBITDA
    - Amortización contable    (lineal por grupos de activos)
    EBIT
    - Intereses del préstamo   (sólo años 1 a 10)
    EBT
    - Impuesto sobre sociedades (25 %, sólo si EBT > 0)
    Beneficio neto
    + Amortización            (no es salida de caja)

```

- Amortización del principal (sí es salida de caja)

Flujo de caja libre del accionista (FCLA)

"""

amort_prestamo = tabla_amortizacion_prestamo()

tabla_int = {a: i for a, i, _, _ in amort_prestamo}

tabla_amc = {a: c for a, _, c, _ in amort_prestamo}

filas = []

flujos_cfe = [-CAPITAL_PROPIO]

acum = -CAPITAL_PROPIO

Año 0: desembolso inicial de capital propio

```
filas.append({
    "Año": 0, "Factor prod.": 0.0, "Ingresos": 0.0,
    "Personal": 0.0, "MP+Envases": 0.0, "Costes op.": 0.0,
    "EBITDA": 0.0, "Amortización": 0.0, "EBIT": 0.0,
    "Intereses": 0.0, "EBT": 0.0, "IS": 0.0, "Bfcio. neto": 0.0,
    "Amort. capital": 0.0, "FCLA": -CAPITAL_PROPIO, "FCLA acum.": -CAPITAL_PROPIO,
})
```

for anio in range(1, VIDA_UTIL + 1):

ing = ingresos_anio(anio, precios)

c_per = coste_personal_anio(anio)

c_mp = coste_mp_anio(anio)

c_tot = c_per + c_mp

amort = amortizacion_anual(anio)

ebitda = ing - c_tot

ebit = ebitda - amort

inter = tabla_int.get(anio, 0.0)

ebt = ebit - inter

imp = max(0.0, ebt * TASA_IS)

bn = ebt - imp

a_cap = tabla_amc.get(anio, 0.0)

fcla = bn + amort - a_cap

acum += fcla

flujos_cfe.append(fcla)

```

filas.append({
    "Año":      anio,
    "Factor prod.": round(factor_produccion(anio), 2),
    "Ingresos": round(ing, 2),
    "Personal": round(c_per, 2),
    "MP+Envases": round(c_mp, 2),
    "Costes op.": round(c_tot, 2),
    "EBITDA":    round(ebitda,2),
    "Amortización": round(amort, 2),
    "EBIT":      round(ebit, 2),
    "Intereses": round(inter, 2),
    "EBT":      round(ebt, 2),
    "IS":      round(imp, 2),
    "Bfcio. neto": round(bn, 2),
    "Amort. capital": round(a_cap, 2),
    "FCLA":      round(fcla, 2),
    "FCLA acum.": round(acum, 2),
})

```

```

return pd.DataFrame(filas), flujos_cfe

```

```

# -----
# 9. Criterios de evaluación (sección 3.7)
# -----

```

```

def criterios_evaluacion(flujos):

```

```

    """VAN (descontado al coste del capital propio), TIR, PRD e IR."""

```

```

    res = {}

```

```

    van = npf.npv(COSTE_CAPITAL_PROPIO, flujos)

```

```

    res["VAN"] = round(van, 2)

```

```

    try:

```

```

        tir = npf.irr(flujos)

```

```

        res["TIR"] = round(tir * 100, 2) if (tir is not None and not np.isnan(tir)) else None

```

```

    except Exception:

```

```

    res["TIR"] = None

    acum = 0.0
    prd = None
    for t, f in enumerate(flujos):
        acum += f / (1 + COSTE_CAPITAL_PROPIO) ** t
        if acum >= 0 and prd is None:
            prd = t
    res["PRD"] = prd if prd is not None else None

    res["IR"] = round(1 + van / CAPITAL_PROPIO, 4) if CAPITAL_PROPIO else None

    return res

# -----
# 10. Umbrales de precio mínimo viable y TIR objetivo
# -----

def evaluar_con_precio_uniforme(precio_medio: float):
    """Evalúa el modelo con un precio medio uniforme aplicado a las 3 variedades."""
    precios = {v: precio_medio for v in precio_venta_fabricante}
    _, flujos = generar_tabla_flujos(precios)
    return criterios_evaluacion(flujos)

def buscar_precio_objetivo(criterio, valor_objetivo, p_min=1.0, p_max=5.0, tol=1e-4):
    """Encuentra, por bisección, el precio medio que alcanza el criterio."""
    def f(p):
        c = evaluar_con_precio_uniforme(p)
        if criterio == "VAN":
            return c["VAN"] - valor_objetivo
        if criterio == "TIR":
            tir = c["TIR"]
            return (-1e9) if tir is None else tir - valor_objetivo
        raise ValueError(criterio)

    lo, hi = p_min, p_max

```

```

f_lo = f(lo)
f_hi = f(hi)
if f_lo * f_hi > 0:
    return None

for _ in range(60):
    mid = (lo + hi) / 2
    if abs(hi - lo) < tol:
        return mid
    f_mid = f(mid)
    if f_lo * f_mid <= 0:
        hi, f_hi = mid, f_mid
    else:
        lo, f_lo = mid, f_mid
return (lo + hi) / 2

```

```
def calcular_umbrales_precio():
```

```
    """Devuelve los cuatro umbrales relevantes de precio fabricante medio."""
```

```
    # Precio umbral operativo: cubre MP+envases+personal a plena capacidad (año 3)
```

```
    factor_a3 = 1.0
```

```
    ing_por_tarro = (coste_personal_anio(3) + coste_mp_anio(3)) / (TARROS_ANUALES_NETOS *
factor_a3)
```

```
    # Precio umbral contable: añade la amortización
```

```
    amort_a3 = amortizacion_anual(3)
```

```
    p_contable = (coste_personal_anio(3) + coste_mp_anio(3) + amort_a3) / TARROS_ANUALES_NETOS
```

```
    # Precio umbral financiero (VAN = 0): por bisección
```

```
    p_van0 = buscar_precio_objetivo("VAN", 0.0)
```

```
    # Precio para TIR objetivo 12 %: por bisección
```

```
    p_tir12 = buscar_precio_objetivo("TIR", 12.0)
```

```
    return {
```

```
        "Umbral operativo (MP + personal, año 3)":    round(ing_por_tarro, 4),
```

```
        "Umbral contable (+ amortización, año 3)":    round(p_contable, 4),
```

```
        "Precio para VAN = 0 (descuento = Ke 10 %)":    round(p_van0, 4) if p_van0 else None,
```

```

    "Precio para TIR = 12 % (objetivo sectorial)": round(p_tir12, 4) if p_tir12 else None,
}

# -----
# 11. Análisis de sensibilidad al precio
# -----

def sensibilidad_precio(variaciones=(-0.20, -0.10, -0.05, 0.0, 0.05, 0.10, 0.20)):
    """Calcula VAN, TIR, PRD para distintas variaciones sobre el precio base."""
    filas = []
    for var in variaciones:
        precios = {v: p * (1 + var) for v, p in precio_venta_fabricante.items()}
        _, flujos = generar_tabla_flujos(precios)
        crit = criterios_evaluacion(flujos)
        p_medio = sum(precios.values()) / len(precios)
        filas.append({
            "Variación precio (%)": round(var * 100, 1),
            "Precio medio (€/tarro)": round(p_medio, 3),
            "VAN (€)": crit["VAN"],
            "TIR (%)": crit["TIR"],
            "PRD (años)": crit["PRD"],
            "IR": crit["IR"],
        })
    return pd.DataFrame(filas)

# -----
# 12. Impresión de resultados
# -----

def fmt(v):
    return f"{v:,.2f} €"

def imprimir_inversion():
    print("\n3.1. Inversión inicial (tabla 25)")
    print("-" * 68)

```

```

for partida, importe in inversion_inicial.items():
    print(f' {partida:<52} {fmt(importe)}')
print(f' {'-' * 64}')
print(f' {'TOTAL INVERSIÓN INICIAL':<52} {fmt(INVERSION_TOTAL)}')
print(f'\n Capital propio (30 %): {fmt(CAPITAL_PROPIO)}')
print(f' Deuda ICO (70 %): {fmt(DEUDA_INICIAL)}')
print(f' Plazo deuda: {PLAZO_DEUDA} años, tipo fijo {TIPO_INTERES_DEUDA*100:.2f} %')
print(f' Cuota anual constante: {fmt(cuota_prestamo(DEUDA_INICIAL, TIPO_INTERES_DEUDA,
PLAZO_DEUDA))}')

```

```

def imprimir_personal():
    print("\n3.2. Gastos anuales en personal (tabla 26)")
    print("-" * 68)
    cabecera = ["Puesto", "N.º", "Nivel", "Bruto/año (€)", "Coste empresa/año (€)"]
    filas_p = []
    for puesto, (n, nivel, salario) in personal.items():
        ct = n * salario * (1 + SS_EMPRESA)
        filas_p.append([puesto, n, nivel, f'{salario:,.2f}', f'{ct:,.2f}'])
    filas_p.append(["TOTAL", 11, "--",
                    f'{SALARIO_BRUTO_TOTAL:,.2f}', f'{COSTE_PERSONAL_ANUAL:,.2f}'])
    print(tabulate(filas_p, headers=cabecera, tablefmt="simple"))

```

```

def imprimir_mp():
    print("\n3.3. Gastos anuales en materia prima y envases (tabla 27)")
    print("-" * 68)
    cabecera = ["Concepto", "Cantidad anual", "Precio unitario", "Importe (€)"]
    filas_m = []
    total = 0.0
    for concepto, (qty, price) in materias_primas_envases.items():
        imp = qty * price
        total += imp
        ud = "ud" if any(x in concepto for x in ["Tarros", "Tapas", "Etiquetas"]) else "kg"
        filas_m.append([concepto, f'{qty:,.0f} {ud}', f'{price:.4f} €/ {ud}', f'{imp:,.2f}'])
    filas_m.append(["TOTAL", "--", "--", f'{total:,.2f}'])
    print(tabulate(filas_m, headers=cabecera, tablefmt="simple"))

```

```

def imprimir_parametros():
    print("\n3.4. Parámetros financieros")
    print("-" * 68)
    print(f" Vida útil económica:      {VIDA_UTIL} años")
    print(f" Tasa de inflación:      {TASA_INFLACION*100:.1f} % (proyección BCE)")
    print(f" Impuesto sobre sociedades:    {TASA_IS*100:.0f} % (art. 29.1 Ley 27/2014)")
    print(f" Fracción financiada con deuda: {FRACCION_DEUDA*100:.0f} %")
    print(f" Coste deuda (ICO, tipo fijo):  {TIPO_INTERES_DEUDA*100:.2f} %")
    print(f" Coste del capital propio (Ke): {COSTE_CAPITAL_PROPIO*100:.2f} %")
    print(f" WACC (coste medio ponderado): {WACC*100:.2f} %")
    print(f" Curva de arranque:           {int(curva_arranque[1]*100)}% / {int(curva_arranque[2]*100)}% / 100%")
    print(f" Amortización activos:       10/25/5 años (maquinaria/nave/otros)")

def imprimir_precios():
    print("\n3.5. Precios de venta fabricante adoptados")
    print("-" * 68)
    for v, p in precio_venta_fabricante.items():
        # Factor 1.833 = margen de canal 40 % + IVA reducido 10 %
        # Razonable para venta directa de PYME a cadenas regionales sin mayorista
        pvp_estimado = p * 1.833
        print(f" {v:<12} {p:.2f} €/tarro fabricante (PVP estimado: {pvp_estimado:.2f} €/tarro,"
              f" {pvp_estimado*2:.2f} €/kg)")
    print(f"\n Ingresos año 3 a plena capacidad: {fmt(INGRESOS_BASE)}")

def imprimir_umbrales():
    print("\nUmbrales de precio mínimo viable (medio, €/tarro 500 g, fabricante)")
    print("-" * 68)
    for nombre, valor in calcular_umbrales_precio().items():
        if valor is not None:
            print(f" {nombre:<52} {valor:>6.3f} €")
        else:
            print(f" {nombre:<52} --")
    precio_medio_adoptado = sum(precio_venta_fabricante.values()) / 3
    print(f"\n Precio medio ADOPTADO en el modelo: {precio_medio_adoptado:.3f} €")

```

```

# -----
# 13. Gráficas
# -----

def generar_graficas(df, crit, sens_df):
    fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(16, 10))
    fig.suptitle(
        "Análisis de viabilidad económica - Planta de mermeladas (TFG 2026)",
        fontsize=13, fontweight="bold",
    )

    anios = df["Año"].values
    ingresos = df["Ingresos"].values
    costes = df["Costes op."].values
    bn = df["Bfcio. neto"].values
    fcla_ac = df["FCLA acum."].values
    M = 1e6

    # Gráfica 1: ingresos vs costes operativos
    ax = axes[0, 0]
    x = anios[1:]
    ax.plot(x, ingresos[1:] / M, color="#1976D2", lw=2, label="Ingresos")
    ax.plot(x, costes[1:] / M, color="#E53935", lw=2, label="Costes operativos")
    ax.fill_between(x, ingresos[1:]/M, costes[1:]/M,
        where=(ingresos[1:] >= costes[1:]), alpha=0.15, color="#43A047")
    ax.fill_between(x, ingresos[1:]/M, costes[1:]/M,
        where=(ingresos[1:] < costes[1:]), alpha=0.15, color="#E53935")
    ax.set_title("Ingresos vs costes operativos", fontweight="bold")
    ax.set_xlabel("Año"); ax.set_ylabel("M€")
    ax.legend(); ax.grid(alpha=0.3)

    # Gráfica 2: beneficio neto anual
    ax = axes[0, 1]
    colores = ["#43A047" if b >= 0 else "#E53935" for b in bn[1:]]
    ax.bar(anios[1:], bn[1:] / M, color=colores, alpha=0.85)
    ax.axhline(0, color="black", lw=0.8)
    ax.set_title("Beneficio neto por año", fontweight="bold")

```

```

ax.set_xlabel("Año"); ax.set_ylabel("M€")
ax.grid(axis="y", alpha=0.3)

# Gráfica 3: FCLA acumulado (payback)
ax = axes[1, 0]
ax.plot(anios, fcla_ac / M, color="navy", lw=2.5, marker="o", ms=3)
ax.axhline(0, color="red", lw=1.5, ls="--", label="Break-even")
ax.fill_between(anios, fcla_ac/M, 0, where=(fcla_ac >= 0), alpha=0.18, color="#43A047")
ax.fill_between(anios, fcla_ac/M, 0, where=(fcla_ac < 0), alpha=0.18, color="#E53935")
pb = crit.get("PRD")
if isinstance(pb, int):
    ax.axvline(pb, color="darkorange", lw=1.5, ls=":", label=f"Payback = año {pb}")
ax.set_title("FCLA acumulado (payback descontado al Ke)", fontweight="bold")
ax.set_xlabel("Año"); ax.set_ylabel("M€")
ax.legend(fontsize=8); ax.grid(alpha=0.3)

# Gráfica 4: sensibilidad VAN/TIR al precio
ax = axes[1, 1]
ax2 = ax.twinx()
varpc = sens_df["Variación precio (%)"].values
van_vals = sens_df["VAN (€)"].values / M
tir_vals = [t if t is not None else np.nan for t in sens_df["TIR (%)"].values]
l1 = ax.plot(varpc, van_vals, "-o", color="#1976D2", label="VAN (M€)", lw=2)
l2 = ax2.plot(varpc, tir_vals, "-s", color="#E53935", label="TIR (%)", lw=2)
ax.axhline(0, color="#1976D2", lw=0.5, ls=":")
ax2.axhline(COSTE_CAPITAL_PROPIO * 100, color="#E53935", lw=0.5, ls=":")
ax.set_title("Sensibilidad al precio de venta", fontweight="bold")
ax.set_xlabel("Variación del precio (%)"); ax.set_ylabel("VAN (M€)", color="#1976D2")
ax2.set_ylabel("TIR (%)", color="#E53935")
ax.grid(alpha=0.3)
ax.legend(l1 + l2, [l.get_label() for l in l1 + l2], loc="upper left", fontsize=9)

plt.tight_layout()
archivo = "viabilidad_mermeladas_graficas.png"
plt.savefig(archivo, dpi=150, bbox_inches="tight")
print(f"\n Gráficas guardadas -> {archivo}")

```

```

# -----
# 14. Ejecución principal
# -----

def main():
    print("=" * 68)
    print(" ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA")
    print(" Planta de producción de mermeladas de frutas")
    print(" TFG -- Miguel Ángel Valero Moreno -- Universidad de Sevilla, 2026")
    print("=" * 68)

    imprimir_inversion()
    imprimir_personal()
    imprimir_mp()
    imprimir_parametros()
    imprimir_precios()
    imprimir_umbrales()

    mp_100 = coste_mp_envases_100pct()
    total_100 = COSTE_PERSONAL_ANUAL + mp_100
    print("\nResumen costes a plena capacidad (base año 1, sin inflación)")
    print("-" * 68)
    print(f" Personal (con SS empresa):    {fmt(COSTE_PERSONAL_ANUAL)}")
    print(f" MP + envases al 100 %:          {fmt(mp_100)}")
    print(f" Total costes operativos:         {fmt(total_100)}")
    print(f" Amortización año 1:              {fmt(amortizacion_anual(1))}")
    print(f" Ingresos a plena capacidad:      {fmt(INGRESOS_BASE)}")
    print(f" EBITDA a plena capacidad:        {fmt(INGRESOS_BASE - total_100)}")

    print("\n3.6. Proyección de flujos de caja (25 años)")
    print("-" * 68)
    df, flujos = generar_tabla_flujos()

    cols = ["Año", "Factor prod.", "Ingresos", "Costes op.",
            "EBITDA", "Amortización", "EBIT", "Intereses",
            "Bfcio. neto", "FCLA", "FCLA acum."]
    print(tabulate(df[cols], headers="keys", tablefmt="simple",
                  floatfmt=",.2f", showindex=False))

```

```

nombre_excel = "viabilidad_mermeladas_25anos.xlsx"
with pd.ExcelWriter(nombre_excel, engine="openpyxl") as writer:
    df.to_excel(writer, index=False, sheet_name="Flujos de caja")
    pd.DataFrame({
        "Partida": list(inversion_inicial.keys()) + ["TOTAL"],
        "Importe (€)": list(inversion_inicial.values()) + [INVERSION_TOTAL],
    }).to_excel(writer, index=False, sheet_name="Inversión inicial")
    pd.DataFrame(tabla_amortizacion_prestamo(),
        columns=["Año", "Intereses", "Amort. capital", "Saldo final"]
    ).to_excel(writer, index=False, sheet_name="Préstamo ICO")

print(f"\n Excel exportado -> {nombre_excel}")

print("\n3.7. Criterios de evaluación de la inversión")
print(f" Descuento = coste capital propio Ke = {COSTE_CAPITAL_PROPIO*100:.1f} %")
print("-" * 68)
crit = criterios_evaluacion(flujos)
for k, v in crit.items():
    if v is None:
        print(f" {k:<30} --")
    elif k == "VAN":
        print(f" {k:<30} {v:>14,.2f} €")
    elif k == "TIR":
        print(f" {k:<30} {v:>14,.2f} %")
    elif k == "PRD":
        print(f" {k:<30} {v:>14} años")
    else:
        print(f" {k:<30} {v:>14,.4f}")

van = crit["VAN"]; tir = crit["TIR"]; ir = crit["IR"]; pb = crit["PRD"]
print()
print(f" VAN {'> 0 --> proyecto crea valor' if van > 0 else '<= 0 --> destruye valor'}")
if tir is not None:
    estado = "RENTABLE" if tir > COSTE_CAPITAL_PROPIO * 100 else "NO rentable"
    print(f" TIR ({tir:.2f} %) {'>' if tir > COSTE_CAPITAL_PROPIO*100 else '<'} "
        f"{COSTE_CAPITAL_PROPIO*100:.0f} % --> {estado}")
if pb is not None:

```

```
print(f" Recuperación inversión en el año {pb} "
      f'({ 'dentro' if pb <= VIDA_UTIL else 'fuera' } de los {VIDA_UTIL} años)')
if ir is not None:
    print(f" IR = {ir:.4f} --> { 'acepta' if ir > 1 else 'rechaza' } la inversión")

print("\nAnálisis de sensibilidad al precio de venta")
print("-" * 68)
sens_df = sensibilidad_precio()
print(tabulate(sens_df, headers="keys", tablefmt="simple",
               floatfmt=",.2f", showindex=False))

try:
    generar_graficas(df, crit, sens_df)
except Exception as e:
    print(f"\n No se pudieron generar las gráficas: {e}")

print()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

BIBLIOGRAFÍA

- [1] España. Real Decreto 863/2003, de 4 de julio, por el que se aprueba la norma de calidad para la elaboración, comercialización y venta de confituras, jaleas, “marmalades” de frutas y crema de castañas. Boletín Oficial del Estado. 2003. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-13473>
- [2] España. Real Decreto 670/1990, de 25 de mayo, por el que se aprueba la norma de calidad para confituras, jaleas y mermeladas de frutas. Boletín Oficial del Estado. 1990. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1990-12154>
- [3] Unión Europea. Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre aditivos alimentarios. Diario Oficial de la Unión Europea. 2008. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32008R1333>
- [4] Unión Europea. Reglamento (UE) nº 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. Diario Oficial de la Unión Europea. 2011. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32011R1169>
- [5] España. Código Alimentario Español aprobado por Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre. Boletín Oficial del Estado. 1967. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1967-16485>
- [6] Unión Europea. Reglamento (CE) nº 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea. 2004. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32004R0852>
- [7] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Calendarios de siembra, recolección y comercialización / frutas de temporada. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/calendarios-siembras-recoleccion/>
- [8] BEDCA. Base de Datos Española de Composición de Alimentos. <https://www.bedca.net/bdpub/>
- [9] Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA). Publicaciones agrarias y frutícolas. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/>
- [10] Fundación Española de la Nutrición (FEN). Melocotón. <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/melocoton.pdf>
- [11] Fundación Española de la Nutrición (FEN). Fresa. <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/fresa.pdf>
- [12] Unión Europea. Reglamento (CE) nº 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos. Diario Oficial de la Unión Europea. 2004. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32004R1935>
- [13] España. Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio, por el que se aprueba la Norma general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios. Boletín Oficial del Estado. 1999. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-17001>
- [14] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Estadísticas de producción agroalimentaria: conservas vegetales y mermeladas. Madrid: MAPA. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/>
- [15] Alimarket. Informe del sector de mermeladas y confituras en España. Madrid: Alimarket. Disponible en: <https://www.alimarket.es/>

- [16] Eurostat. Production statistics of processed fruit and vegetables. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Disponible en: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database>
- [17] NielsenIQ. Informe de mercado de mermeladas y confituras en España. Madrid: NielsenIQ. Disponible en: <https://nielseniq.com/global/es/>
- [18] Kantar. Worldpanel: consumo de mermeladas y confituras en España. Madrid: Kantar. Disponible en: <https://www.kantar.com/es>
- [19] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Panel de Consumo Alimentario. Madrid: MAPA. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/>
- [20] Organización de Consumidores y Usuarios (OCU). Análisis de precios de mermeladas y confituras. Madrid: OCU. Disponible en: <https://www.ocu.org/>
- [21] Mercasa. Alimentación en España: producción, industria, distribución y consumo. Madrid: Mercasa. Disponible en: <https://www.mercasa.es/>
- [22] Instituto Nacional de Estadística (INE). Cifras de población. Madrid: INE; 2024. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981
- [23] Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Directorio de establecimientos con actividad económica en Andalucía. Sevilla: Junta de Andalucía; 2024. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>
- [24] Ayuntamiento de Dos Hermanas; Ayuntamiento de Alcalá de Guadaira; Ayuntamiento de Utrera. Información de polígonos industriales municipales. 2024. Disponible en los respectivos portales municipales.
- [25] Idealista. Precios de suelo industrial en la provincia de Sevilla. Madrid: Idealista; 2024. Disponible en: <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/industrial/>
- [26] Fundación Española de la Nutrición (FEN). Naranja. Madrid: FEN. Disponible en: <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/naranja.pdf>
- [27] Ibarz A, Barbosa-Cánovas GV. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Madrid: Mundi-Prensa; 2005.
- [28] Unión Europea. Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases. Diario Oficial de la Unión Europea. 1994. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:31994L0062>
- [29] España. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Boletín Oficial del Estado. 2001. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276>
- [30] España. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Boletín Oficial del Estado. 2022. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>
- [31] España. Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases. Boletín Oficial del Estado. 2022. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-22832>

- [32] Unión Europea. Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, que establece la lista de residuos de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea. 2000. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32000D0532>
- [33] Comisión Europea. Documento de referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la industria de alimentos, bebidas y leche (FDM BREF). Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea; 2006. Disponible en: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/food-drink-and-milk-industries>
- [34] Unión Europea. Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas; 1991. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:31991L0271>
- [35] España. Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado, núm. 312; 1995. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-27963>
- [36] Andalucía. Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 155; Boletín Oficial del Estado, núm. 208; 2010. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-13465>
- [37] EMASESA. Reglamento de los servicios de saneamiento. Sevilla: Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla; 2022. Disponible en: <https://www.emasesa.com/wp-content/uploads/2022/03/reglamento-saneamiento.pdf>
- [38] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Procesado de frutas tropicales: mermeladas, jaleas y conservas. Roma: FAO; 1993. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x5029s/x5029s00.htm>
- [39] Braddock RJ. Handbook of citrus by-products and processing technology. Nueva York: John Wiley & Sons; 1999.
- [40] Encyclopaedia of food sciences and nutrition. Citrus processing. Amsterdam: Elsevier; 2003. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780122270550>
- [41] Codex Alimentarius Commission. Norma del Codex para los zumos (jugos) y néctares de frutas (CXS 247-2005). Roma: FAO/OMS; 2005. Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2Fcodex%2Fstandards%2FCXS%20247-2005%2FCXS_247s.pdf
- [42] United States Department of Agriculture (USDA). FoodData Central. Washington D.C.: USDA; 2024. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/>
- [43] FAO/INFOODS. Edible Portion Database. Roma: FAO; 2012. Disponible en: <https://www.fao.org/infoods/infoods/tablas-y-bases-de-datos/en/>
- [44] Tetra Pak. Fruit and Berry Processing. Lund: Tetra Pak Processing Systems; 2002.
- [45] Kader AA. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3ª ed. Oakland: University of California Agriculture and Natural Resources; 2002.
- [46] United States Department of Agriculture (USDA). Agriculture Handbook No. 102: Food Yields Summarized by Different Stages of Preparation. Washington D.C.: USDA; 1975. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/80400525/Data/misc/AH102.pdf>
- [47] Food Northwest. Water and Wastewater Use in the Food Processing Industry. Seattle: Food Northwest; 2014. Disponible en: <https://www.foodnorthwest.org/>

- [48] Alfa Laval. Principles of Cleaning and CIP. Lund: Alfa Laval; 2020. Disponible en: <https://www.alfalaval.com/>
- [49] Solenis. Tunnel Pasteurizer Water Treatment. Wilmington: Solenis; 2021. Disponible en: <https://www.solenis.com/>
- [50] CFT Group. Tunnel for Thermal Treatment: Technical Description. Parma: CFT Group; 2022. Disponible en: <https://www.cft-group.com/>
- [51] Sormac. FW Canal Washer: Technical Datasheet. Venlo: Sormac BV; 2023. Disponible en: <https://www.sormac.com/>
- [52] Bertuzzi Food Equipment. CitroEvolution 3: Technical Datasheet. Piacenza: Bertuzzi Food Equipment; 2023. Disponible en: <https://www.bertuzzi.it/>
- [53] Maurer Gép. MK500 Pulper-Finisher: Technical Datasheet. Budapest: Maurer Gép Kft; 2023. Disponible en: <https://maurergep.eu/>
- [54] Maurer Gép. MLF 500L Mixing Tank: Technical Datasheet. Budapest: Maurer Gép Kft; 2023. Disponible en: <https://maurergep.eu/>
- [55] CDA. K-line S Filling Machine: Technical Datasheet. Lyon: CDA; 2023. Disponible en: <https://cdafrance.com/>
- [56] Emérito. Cerradora 1.8: Ficha Técnica. Disponible en: <https://emeritofoodtechnology.com/>
- [57] Emérito. Enjuagadora lineal U1: Ficha Técnica. Disponible en: <https://emeritofoodtechnology.com/>
- [58] Emérito. Sistemas de enfriamiento y secado de envases: Ficha Técnica. Disponible en: <https://emeritofoodtechnology.com/>
- [59] CDA. Ninon 1500/2500 Labelling Machine: Technical Datasheet. Lyon: CDA; 2023. Disponible en: <https://cdafrance.com/es/etiquetadoras-automaticas-semi-automaticas/ninon-1500-2500/>
- [60] España. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Boletín Oficial del Estado. 1997. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>
- [61] Cype Ingenieros. Generador de precios de la construcción: revestimientos de suelos industriales. Alicante: Cype Ingenieros; 2024. Disponible en: <https://www.generadordeprecios.info/>
- [62] Maurer Gép. Precios de maquinaria de cocción industrial: cocedero 500L. Budapest: Maurer Gép Kft; 2023. Disponible en: <https://maurergep.eu/>
- [63] España. Resolución de 22 de enero de 2025, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el Convenio colectivo estatal para las industrias de elaboración del arroz, conservas vegetales, comidas preparadas y derivados del tomate. Boletín Oficial del Estado. 2025. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2025-2200>
- [64] Ministerio de Inclusión, Seguridad Social y Migraciones. Bases y tipos de cotización 2025. Madrid: Seguridad Social; 2025. Disponible en: <https://www.seg-social.es/wps/portal/wss/internet/Trabajadores/CotizacionRecaudacionTrabajadores/10721>
- [65] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Precios en origen y destino de productos agrarios: cotizaciones semanales. Madrid: MAPA; 2025-2026. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/precios-medios-nacionales/>

[66] Elaboración propia a partir de precios orientativos de mercado consultados en distribuidores especializados y portales de venta industrial (2025-2026).

[67] España. Ley 27/2014, de 27 de noviembre, del Impuesto sobre Sociedades. Boletín Oficial del Estado. 2014. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-12328>

[68] Banco Central Europeo (BCE). Proyecciones macroeconómicas para la zona del euro. Fráncfort: BCE; 2025. Disponible en: <https://www.ecb.europa.eu/pub/projections/html/index.es.html>

[69] Instituto de Crédito Oficial (ICO). Línea ICO Empresas y Emprendedores 2026. Madrid: ICO; 2026. Disponible en: <https://www.ico.es/web/ico/ico-empresas-y-emprendedores>

[70] Banco de España. Euribor: tipos de referencia del mercado interbancario. Madrid: Banco de España; 2026. Disponible en: <https://www.bde.es/webbde/es/estadis/infoest/tipos/tipos.html>

[71] Damodaran A. Damodaran Online: Implied Equity Risk Premiums and Cost of Capital by Sector. Nueva York: New York University Stern School of Business; 2025. Disponible en: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

[72] Brealey RA, Myers SC, Allen F. Principios de finanzas corporativas. 13ª ed. Madrid: McGraw-Hill; 2020.

[73] España. Ley 37/1992, de 28 de diciembre, del Impuesto sobre el Valor Añadido. Boletín Oficial del Estado. 1992. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-28740>

[74] Elaboración propia a partir de precios observados en los lineales de los principales canales de distribución en España (Mercadona, supermercados especializados y comercio electrónico). Datos recogidos en abril de 2026.