

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Ingeniería básica de una planta de producción zumo
de naranja ultracongelado

Autor: Elena Rodríguez Fernández

Tutor: Manuel Campoy Naranjo

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

Sevilla, diciembre 2022



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Ingeniería básica de una planta de producción zumo de naranja ultracongelado

Autor:

Elena Rodríguez Fernández

Tutor:

Manuel Campoy Naranjo

Profesor Titular de Universidad

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

Sevilla, diciembre 2022

A mi familia.

A mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mi familia todo el apoyo recibido siempre. Por todo lo que me han enseñado, por estar tanto en los buenos y malos momentos.

A todos mis profesores, en especial a mi tutor Manuel Campoy Naranjo, por haber sido capaz de encauzar el proyecto.

A mis compañeros y amigos cuyo apoyo ha sido imprescindible, por los buenos momentos compartidos durante esta etapa.

Elena Rodríguez Fernández

Sevilla, 2022

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es la realización de una ingeniería básica de una planta de zumo de naranja ultracongelado con una capacidad de 5000 kg/h. Dicha planta formará parte de una fábrica ya existente en la cual se producen varios tipos de zumos de cítricos, se tratará de una ampliación de está.

La producción anual de la planta es de 3.223,3 toneladas de zumo sin pulpa y de 893,41 toneladas de zumo con pulpa. Además del producto principal, la planta produce como subproducto, el aceite esencial de las naranjas, con una producción alrededor de 37,64 toneladas al año.

La planta se ha dividido en cinco zonas diferentes, en función del tipo de actividad que se lleve a cabo, estas son: la zona de recepción de las naranjas, la zona de elaboración y envasado del zumo, la zona de ultracongelado, la zona de almacenamiento y, por último, la zona de obtención del aceite esencial. Cada zona está compuesta por diferentes etapas. Existen tanto etapas continuas como discontinuas en el proceso.

Se explican los cálculos realizados para el diseño de los equipos de la planta de cada una de las etapas a partir de unos datos de partida y recomendaciones bibliográficas.

Finalmente se realiza un estudio del presupuesto para estimar la inversión inicial necesaria requerida por la instalación.

ABSTRACT

The objective of this project is to carry out a Basic Engineering of a deep-frozen orange juice plant with a capacity of 5000 kg/h. This plant will be part of an existing factory in which several types of citrus juices are produced, it will be an extension of that factory.

The annual production of the plant is 3,223.3 tonnes of juice without pulp and 893.41 tonnes of juice with pulp. In addition to the main product, the plant produces the essential oil from oranges as a by-product, with a production of around 37.64 tonnes per year.

The plant has been divided into five different areas, depending on the type of activity conducted: the orange reception area, the juice processing and packaging area, the deep-freezing area, the storage area and, finally, the area for obtaining the essential oil. Each area is made up of different stages through which the oranges pass until they leave the factory. There are both continuous and discontinuous stages in the process.

The calculations made for the design of the plant's equipment for each of the stages are explained based on the data from the baseline data and bibliographical recommendations.

Finally, a budget study is carried out to estimate the necessary initial investment required for the installation.

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivos</i>	1
1.2 <i>La naranja</i>	1
1.2.1 <i>Naranja y salud</i>	2
1.2.2 <i>Tipos de naranjas</i>	3
1.2.3 <i>Productos derivados de la naranja</i>	4
1.2.3.1 <i>Aceite esencial</i>	4
1.2 <i>Tipos de envases</i>	4
1.3 <i>Contextualización</i>	6
1.4 <i>Análisis del mercado</i>	8
1.5 <i>Análisis tecnológico</i>	11
1.5.1 <i>Zumos pasteurizados</i>	11
1.5.2 <i>Zumos refrigerados</i>	11
1.5.3 <i>Zumos ultracongelados</i>	12
2 Memoria descriptiva y justificativa	15
2.1 <i>Recepción y almacenamiento de las materias primas</i>	15
2.2 <i>Selección y lavado</i>	16
2.3 <i>Separación por tamaños</i>	17
2.4 <i>Extracción</i>	18
2.5 <i>Filtrado</i>	19
2.6 <i>Homogenización</i>	20
2.7 <i>Desaireación y enfriamiento</i>	20
2.8 <i>Obtención del aceite esencial de la cáscara</i>	20
2.9 <i>Envasado, etiquetado y fechado</i>	22
2.10 <i>Ultracongelación</i>	22
2.11 <i>Embalaje</i>	23
3 Memoria de cálculo	25
3.1 <i>Producción de la planta</i>	25
3.2 <i>Balance de materia</i>	25
3.2.1 <i>Recepción, lavado y selección</i>	25
3.2.2 <i>Extracción</i>	26
3.2.3 <i>Filtrado</i>	27
3.2.4 <i>Homogenización</i>	28
3.2.5 <i>Separación de la emulsión del aceite en agua</i>	29
3.3 <i>Balance de energía</i>	29

3.3.1	Enfriador	29
3.3.2	Túnel de ultracongelación	31
3.4	<i>Dimensionamiento de los equipos</i>	31
3.4.1	Zona de recepción	31
3.4.1.1	Acumulador de frutas	31
3.4.1.2	Cinta transportadora	32
3.4.1.3	Lavadora de cepillos	33
3.4.1.4	Mesa de selección	33
3.4.1.5	Elevador de cangilones	34
3.4.1.6	Calibrador	34
3.4.2	Zona de elaboración	34
3.4.2.1	Extractor	34
3.4.2.2	Finisher	35
3.4.2.3	Tanques pulmón	35
3.4.2.4	Homogeneizadores	36
3.4.2.5	Desaireadores	37
3.4.2.6	Enfriadores	38
3.4.3	Zona de envasado	40
3.4.3.1	Envasadora aséptica	40
3.4.4	Zona de ultracongelado	41
3.4.4.1	Túnel de ultracongelación	41
3.4.5	Zona de recuperación del aceite esencial	43
3.4.5.1	Tamiz emulsión de aceite-agua	43
3.4.5.2	Centrífuga emulsión de pila de discos 1	43
3.4.5.3	Centrífuga emulsión de pila de discos 2	43
4	Presupuesto	46
	Referencias	49
	Glosario	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cálculo nutricional de las naranjas	2
Tabla 2. Producción de cítricos t/año campaña 2021/22	6
Tabla 3. Consumo per cápita de los tipos de zumos y néctares	9
Tabla 4. Consumo de zumos de frutas y verduras (gramos/día)	10
Tabla 5. Dimensión ancho mínimo	33
Tabla 6. Clasificación por tamaños en el calibrador	34
Tabla 7. Factores Método Chilton	46
Tabla 8. Costes de los equipos	47
Tabla 9. Coste Total de la Planta	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anatomía de naranja	1
Figura 2. Tipos de naranja	3
Figura 3. Zumos y néctares de frutas de la UE por envase.	5
Figura 4. Producción de cítricos t/año campaña 2021/22.	6
Figura 5: Exportaciones de cada país (% del total de exportaciones mundiales)	7
Figura 6. Análisis provincial de superficie de naranjos.	7
Figura 7. Consumo de zumo de frutas en España en millones de litros.	8
Figura 8. Gráfica de la tendencia a largo plazo del mercado de zumo y néctar.	9
Figura 9. Diagrama de diferentes procesados del zumo de naranja.	12
Figura 10. Etapas de la planta	13
Figura 11. Descarga de naranjas.	16
Figura 12. Mesa de destrío.	17
Figura 13. Lavadora de cepillos.	17
Figura 14. Calibradora.	18
Figura 15. Partes de un extractor.	18
Figura 16. Proceso de extracción.	19
Figura 17. Funcionamiento del tamiz rotativo.	21
Figura 18. Separador de Pila de Discos.	21
Figura 19. Sopladora de botellas.	22
Figura 20. Esquema de túnel de ultracongelación.	23
Figura 21. Balance de materia en la fase lavado y fase selección.	26
Figura 22. Balance de materia en la fase de extracción.	26
Figura 23. Balance materia en la fase de filtrado.	27
Figura 24. Balance materia en la homogenización.	28
Figura 25. Balance de materia en las fases de obtención del aceite.	29
Figura 26. Intercambiador de carcasa y tubo.	29
Figura 27. Factor de corrección para intercambiador carcasa y tubo, dos pasos por carcasa, un paso por tubo.	30

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizará una introducción del proyecto. Ésta incluye varios apartados, donde se habla sobre los objetivos del proyecto y las características, beneficios, tipos y productos derivados de la naranja. Además, se realiza una breve explicación del método de conservación utilizado, la ultracongelación. También se lleva a cabo un análisis de mercado y una contextualización, que justifica la ubicación de la planta y se establecen los objetivos de ésta. Por último, se realiza un análisis tecnológico, en el que se comentan brevemente los diferentes métodos de la elaboración del zumo de naranja industrial.

1.1 Objetivos.

El objeto del proyecto es la realización de la ingeniería básica de una planta de zumo de naranja ultracongelado, se describirán los procesos y se realizará el diseño de los equipos principales de la misma. Esta planta constituirá de una ampliación de una fábrica de zumo de diferentes cítricos ya existente.

Para ello se ha llevado a cabo un trabajo de investigación donde se ha recopilado la información requerida para redactar este documento y un trabajo de diseño donde se ha realizado los cálculos que permiten realizar el dimensionamiento de la planta.

Por último, se ha realizado un estudio del presupuesto para estimar la inversión inicial necesaria requerida por la instalación.

En la planta habrá dos líneas de zumos diferentes, zumo con y sin pulpa, con una producción anual de 3223,3 toneladas el primero y una producción de 893,41 t/año el segundo. Además, como subproducto se obtendrá 37,64 t/año de aceite esencial de la cáscara de las naranjas.

La planta contará con un huerto de naranjas al lado de las instalaciones. Está situada en Aljaraque, Huelva.

1.2 La naranja.

La materia prima del zumo de naranja elaborado en esta planta es únicamente la naranja. Esta es la fruta más importante a nivel mundial y, junto a la piña, es la que ha registrado la tasa de crecimiento más alta en los últimos años [38]. La naranja pertenece a la familia de los cítricos, caracterizados fundamentalmente por sus frutos grandes que contienen elevadas cantidades de ácido cítrico, el cual les proporciona su sabor ácido propio [6]. Dependiendo de la variedad de naranja, su tamaño y peso varían, su diámetro está comprendido entre 6 y 10 centímetros y su peso oscila entre los 150 gramos hasta los 200 gramos sin piel [39].

La naranja, como se puede observar en la Figura 1, presenta diferentes partes: la parte exterior, la cáscara, también conocida como exocarpo o flavedo, es la más visible y cambia de color verde a naranja cuando el fruto está maduro. Su función es de capa protectora para el interior. Además, ahí se concentran las glándulas de aceite que hacen que el cítrico desprenda su olor.

El mesocarpio o albedo se trata de la parte blanca de la naranja: es lo que une la parte exterior con la interior. Es amarga y por eso no se recomienda llegar a ella, por ejemplo, cuando se ralla la piel con propósitos culinarios. La parte interior es el endocarpo se trata de la pulpa de la naranja e incluye las semillas. Los gajos (vesículas) es donde se almacena el zumo, se encuentran separados por las membranas o septos y su número difiere según la variedad [41].

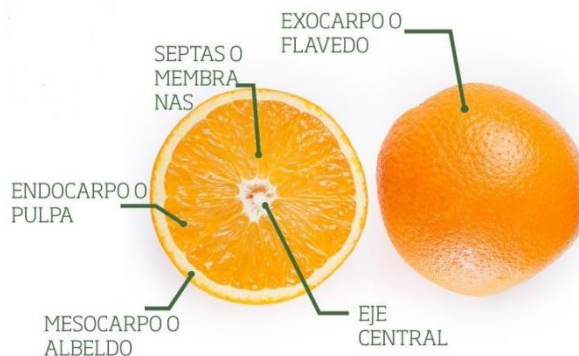


Figura 1: Anatomía de naranja [114].

1.2.1 Naranja y salud.

El consumo de naranjas se ha visto favorecido por las nuevas tendencias socioculturales, que producen cambios en los hábitos alimenticios y nutricionales de la sociedad, ya que estas tendencias cada vez se dirigen más a la búsqueda de nuevos productos con propiedades funcionales que puedan proporcionar además del valor nutritivo, otros componentes con actividad fisiológica que permitan un mejor estado tanto físico como mental. Lo que les da un mayor protagonismo a las verduras, los vegetales y las frutas, y se tiende a alimentos con el contenido mínimo de aditivos, conservantes y edulcorantes. Ésto hace que se desarrollen nuevos e inocuos métodos de conservación de los alimentos [12].

La naranja es una fruta que se caracteriza por sus numerosos beneficios que proporciona para la salud humana, siendo la principal propiedad, su elevado contenido en vitamina C. Esta vitamina resulta muy importante para la formación del colágeno¹, para la correcta absorción del hierro y el buen funcionamiento de los glóbulos rojos. Además, contribuye al sistema inmunitario y reduce el colesterol [115]. A diferencia de la mayoría de los mamíferos y otros animales, los humanos no tienen la capacidad de sintetizar la vitamina C y deben obtenerla de la dieta, se trata de una vitamina hidrosoluble, es decir, no se almacenan de forma considerable en el organismo, por lo tanto, la alimentación debe cubrir estos requerimientos vitamínicos diariamente [13, 14].

Esta fruta también es rica en vitamina A, ácido fólico, y en minerales tales como el potasio y magnesio. En la Tabla 1 se puede ver el cálculo nutricional de la naranja:

Tabla 1: Cálculo nutricional de las naranjas [102].

100g de naranja contiene	
Energía	40,37 Kcal
Agua	86,9 g
Proteína total	1,00 g
Grasas totales	0,10 g
Hidratos de carbono totales	8,25 g
Fibra	1,69 g
Magnesio	12,6 mg
Potasio	179 mg
Vitamina A total	40,01 mcg
Carotenoides	240,05 mcg
Ácido fólico	39 mcg
Vitamina C	52 mg

La vitamina A, a diferencia de la vitamina C se encuentra dentro del grupo de vitaminas liposolubles, es decir, esta vitamina se disuelve en las grasas, por lo que puede almacenarse en los tejidos adiposos². Resulta fundamental para el buen funcionamiento de la retina. Además, es importante para el sistema inmunitario, la reproducción y el crecimiento.

Otra de las vitaminas destacadas, es el ácido fólico también conocido como vitamina B9. Esta vitamina es necesaria para síntesis del ADN, transportadores de la información genética hasta las células y, además, tiene un papel importante en la formación de hematíes (glóbulos rojos).

Por último, a destacar, el potasio y el magnesio, se tratan de dos minerales imprescindibles para un correcto funcionamiento del organismo. Por un lado, la principal función del potasio es la generación del potencial de reposo de la membrana celular, siendo importante en el proceso de excitabilidad del tejido nervioso, corazón y músculos. Por otro lado, entre los beneficios del magnesio podemos destacar: su actuación como estabilizante de las enzimas en muchas reacciones que generan ATP³, modula la señal de transducción y proliferación celular de la insulina y es importante para la adhesión celular y el transporte de membrana [15, 16].

1.1.2 Tipos de naranja.

Existe una gran variedad de naranjas (más de 300) dependiendo del campo de cultivo. Una primera gran clasificación las divide en tres grupos (Figura 2), cada grupo se divide en diferentes subgrupos, cuyo tiempo de cosecha varía entre ellos.

- Naranjas navel.
- Naranjas sanguinas.
- Naranjas blancas.

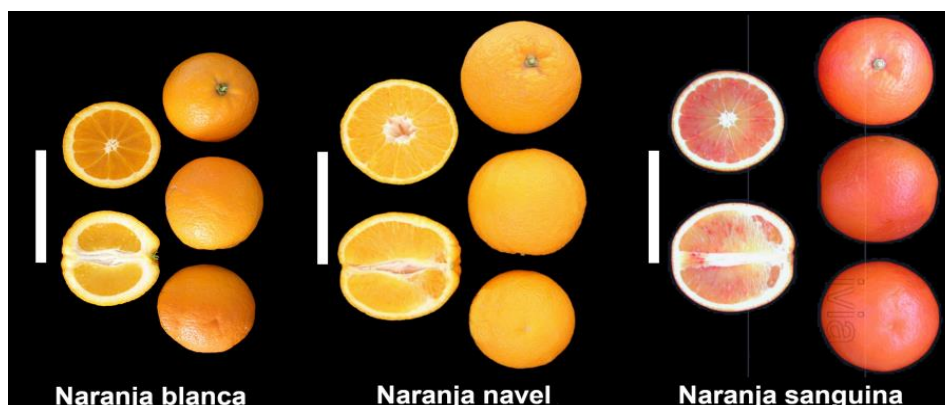


Figura 2: Tipos de naranja [19].

Naranjas navel.

Las naranjas navel representan más del 40% de la producción de cítricos en España. Las principales variedades de este subgrupo son: la navelina, la washington nave y la navelate. Las naranjas navel o naranjas ombligo reciben este nombre debido a la aparición de una forma de ombligo en la base del fruto, que realmente se trata de una segunda naranja. Se caracterizan por la ausencia de semillas y resultan fácil de pelar, lo que la hacen muy atractivas para el consumo de mesa. Presentan un gran tamaño, con forma redondeada o ligeramente ovalada. [21]

Naranjas sanguinas:

Las naranjas sanguinas destacan por su coloración roja intensa tanto externa como interna. Para que se dé esta coloración se requieren temperaturas frías. Su fruto es de tamaño pequeño-mediano, de forma redondeada y sin ombligo, además son de alto contenido en zumo. Representan una pequeña parte de la producción de cítricos en el área mediterránea [25].

Naranjas blancas:

Las naranjas blancas se tratan de naranjas de tamaño medio-grande con pocas semillas. Al igual que las naranjas sanguinas carecen del “ombligo”. Su fruto da zumo de una calidad excepcional, ya que son poco o nada amargas [21].

El tipo de naranja que se utilizará para la elaboración de los zumos en este proyecto serán las naranjas blancas, también conocidas como naranjas de zumo, debido a su calidad y abundante cantidad de zumo, su bajo contenido en semillas y tener menor contenido de limonoides⁴ que los otros tipos de naranja.

Dentro del grupo de naranjas blancas, concretamente resultan interesantes la variedad valencia-late y la variedad salustiana. El periodo de producción de la variedad salustiana está comprendido entre los meses de diciembre y marzo, y el de la variedad valencia-late entre marzo a junio, por lo que, en el periodo de junio a diciembre, la planta no producirá zumo de naranja. Parte de dicho tiempo se destinará al mantenimiento y limpieza, y en el tiempo restante la planta no tiene por qué encontrarse inactiva, ya que podría ser utilizada para la producción de otro tipo de zumo [23].

1.1.3 Productos derivados de la naranja.

Durante la revolución industrial surge la necesidad de transformar los alimentos para que puedan llegar a la población que se concentraba en las ciudades que no tenían acceso directo a determinados productos, esto unido al ritmo trepidante de las grandes urbes hace que surjan los zumos comerciales [29].

Los zumos de fruta, en su mayoría cítricos, han experimentado un incremento importante en el consumo durante los últimos años, debido a que además de ser una buena fuente de nutrientes, son una opción saludable para mantener hidratado el organismo. Esta expansión del zumo de cítricos también se debe al alto nivel tecnológico alcanzado por las industrias [11, 33].

La industria del zumo de naranja utiliza aproximadamente el 50% de la fruta, el jugo alimenticio, mientras que el otro 50% se trata de la pulpa, la cáscara y las semillas. Esta segunda parte es posible aprovecharla para la producción de una gran variedad de subproductos, de los cuales, este proyecto se va a centrar en el aceite esencial obtenido de la cáscara de la naranja. La producción de subproductos incrementa el beneficio al mismo tiempo que disminuye el impacto ambiental de la planta [3].

1.1.3. Aceite esencial.

El aceite esencial se forma en las partes verdes de la planta (partes con clorofila⁵), que al crecer son transportadas a otros tejidos. Su función no se encuentra determinada, puede ser desde un repelente para los insectos nocivos o un elemento de atracción de insectos para la polinización, hasta simplemente ser un producto metabólico intermedio [6].

El aceite se obtiene de la emulsión agua-aceite obtenida del extractor, dicha emulsión se envía a un proceso de separación mecánica, para separar los dos líquidos de la emulsión.

Una emulsión es una dispersión termodinámicamente inestable de dos líquidos inmiscibles, normalmente de naturaleza apolar y polar, en la que uno de ellos forma gotas de pequeño tamaño, dicho líquido se denomina fase dispersa o interna y el otro, fase continua o externa. Dependiendo de la fase mayoritaria, las emulsiones pueden ser de agua en aceite (w/o) o de aceite en agua (o/w). En este caso se trata de una emulsión de aceite en agua, siendo el aceite, la fase dispersora y el agua, la fase continua o dispersante [7].

Muchos productos convencionales son emulsiones y se utilizan ampliamente en nuestra vida cotidiana, los ejemplos más comunes son la leche, mayonesa, productos farmacéuticos y cremas. Como ya se ha comentado, a diferencia de los productos anteriores, la emulsión en este proyecto se trata de un procedimiento intermedio que se emplea con la finalidad de obtener finalmente el aceite, no se trata del producto que se quiere obtener [5].

1.3 Tipos de envases

La elección del tipo de envases es de vital importancia, ya que estos tienen que cumplir funciones esenciales

para proteger y preservar la calidad e integridad del producto. Además, se tratan de un medio práctico para informar a los consumidores sobre el producto.

Los envases han evolucionado a lo largo del tiempo debido a la aparición de los nuevos materiales industriales como vidrio, metal y plástico. A continuación, se presentan los materiales más utilizados para el envasado de bebidas [71]:

- Vidrio.
Este material aporta transparencia y hermeticidad, aunque ésta depende del tipo de cierre. Además, es químicamente inerte al contenido y de uso reutilizable y reciclable. Dos de sus principales desventajas son el peso y la fragilidad.
- Metal.
Se suele utilizar el aluminio, este se distingue por su ligereza, hermeticidad y opacidad. También es reciclable. Sus principales inconvenientes son: su facilidad de deformación y deterioro, la falta de visión del interior del envase y no es totalmente inerte a los alimentos, ya que puede producir acidez.
- Plástico.
Los plásticos son materiales a los que se les puede dar forma mediante procesos térmicos. Se caracterizan por su alta relación entre resistencia y densidad. Es el material de envasado más común y uno de los más difíciles de eliminar. Existe una gran variedad de plásticos con diferentes propósitos. Todos ellos tienen en común que son buenos aislantes térmicos y eléctricos, presentan resistencia y ligereza, y tienen un precio reducido de fabricación [74].
- Cartón.
Destacan por sus favorables aspectos ecológicos. Los cartones para bebidas deben su eficacia a su fabricación en capas (laminado). Se resalta la combinación de cartón, polietileno y aluminio, que es especialmente adecuada para conservar aromas, vitaminas, colorantes y sustancias nutritivas. Combinando capas que tengan sólo la cantidad necesaria de cada material para satisfacer todas las funciones requeridas, el peso y el volumen del envase en su conjunto se reducen al mínimo, mientras que se garantiza la protección del producto y la funcionalidad y comodidad para los consumidores. El principal material de este tipo de envases es el papel, aunque el polietileno, el aluminio y las tintas también forman parte de su composición [77, 78].

En la Unión Europea el material para el envasado de zumo de cítricos más utilizado es el cartón seguido del plástico como se puede observar en la Figura 3.

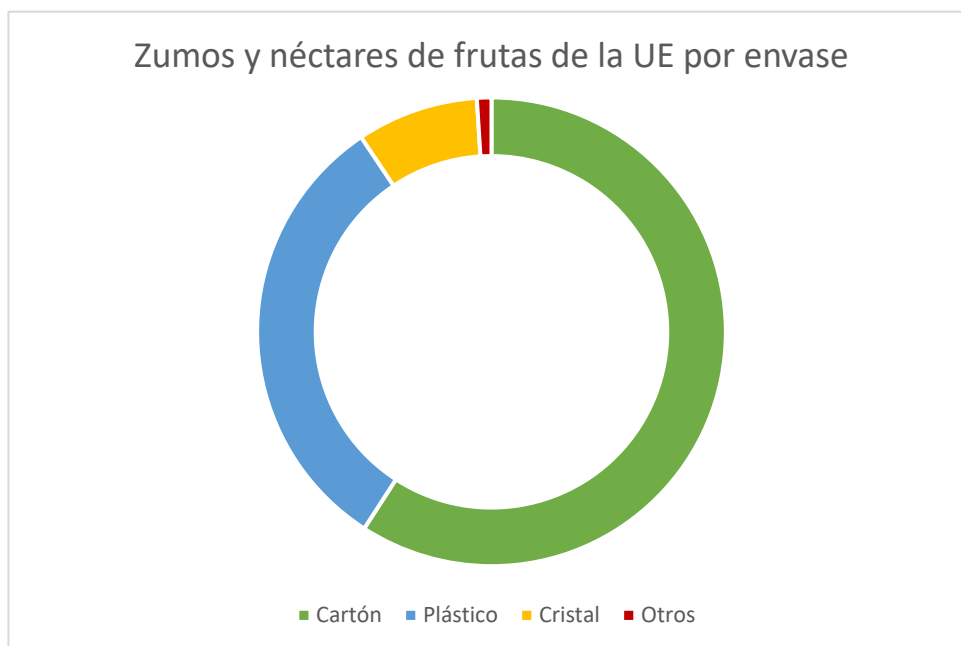


Figura 3: Zumos y néctares de frutas de la UE por envase [77].

El creciente interés por la innovación de los envases y, en particular, los envases de pequeño tamaño y translúcidos para que el consumidor pueda ver el producto antes de la compra, y formatos que son fácilmente portátiles, han ocasionado un aumento del plástico para el almacenamiento de este producto.

Para el envasado del zumo de este proyecto se ha seleccionado las preformas PET (Polietileno Tereftalato, un tipo de plástico), productos intermedios a través de cuales se consigue la fabricación de botellas. Debido a ser ligero, fuerte, seguro e irrompible. Además, las preformas PET destacan por tener una infraestructura que está bien establecida y puede ser reciclado múltiples veces, aunque para uso alimentario solo se permite un primer nivel de reciclaje, después de este nivel se puede utilizar en varios productos finales como: fibra, correas, y botellas y envases para usos no alimentarios como detergentes y productos fitosanitarios [75].

1.4 Contextualización.

El departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) estimó una producción mundial de naranjas para la campaña 2021/22 de 48,8 Mt, lo que supondría un incremento de 1,4 Mt (+3%) en relación con la pasada campaña. Según se señala en dicho informe, se esperan mayores cosechas en Brasil, México y Turquía; y una disminución en Egipto, la Unión Europea y los Estados Unidos [79].

A nivel nacional, en España se prevé que se produzcan incrementos en Cataluña y Andalucía. La Comunidad Valenciana se mantendría prácticamente en equilibrio con un moderado ascenso. La Región de Murcia descendería levemente. En cuanto a la producción del resto, bajarían de forma más acusada, aunque la repercusión total sería mínima, como se puede observar en la Tabla 2

Tabla 2: Producción de cítricos t/año campaña 2021/22 [79].

CCAA	2021/22 (prev**)	AFORO (t)	DIFERENCIA ESTIMACIONES VS AFORO (t)	DIFERENCIA ESTIMACIONES VS AFORO (%)
C. Valenciana	3.201.678	3.188.502	13.176 ↑	0,4%
Andalucía	2.457.925	2.401.291	56.634 ↑	2,4%
Murcia	927.803	934.569	-6.766 ↓	-0,7%
Cataluña	154.257	141.499	12.758 ↑	9,0%
Otras CC.AA.	36.475	39.294	-2.819 ↓	-7,2%
TOTAL ESPAÑA	6.778.138	6.705.155	72.983 ↑	1,1%

En la campaña 2021/22 (septiembre-marzo) de comercio exterior el saldo comercial superó los 2.500 millones, como aparece representado en la Figura 4, siendo la tasa de cobertura superior al 2.700 %.



Figura 4: Producción de cítricos t/año campaña 2021/22. Fuente: [79]

Las exportaciones de cítricos se redujeron en 2021, tras el extraordinario dato del año anterior, condicionado por el Covid-19. El valor de las exportaciones se redujo el año pasado un 3,9%, fruto del descenso tanto del precio medio de exportación (-1,2%) como de las ventas en volumen (-2,8%). Esto supone una corrección tras el

histórico dato del año anterior, cuando anotaron un crecimiento del 12,4%, el más intenso en casi dos décadas, gracias a que el precio medio se disparó un 18,1%, como consecuencia del tirón de la demanda y la escasez de producto durante los meses más duros de la pandemia.

En general, en los últimos años se viene observando una tendencia decreciente en las exportaciones de cítricos en volumen (-11,4% en 2015-2021), lo que significa una pérdida de peso en el comercio mundial como se muestra en el Figura 5. Sin embargo, en términos de valor las ventas se han incrementado en dicho periodo un 8,2%, gracias al intenso crecimiento del precio medio (22,1%) [100].

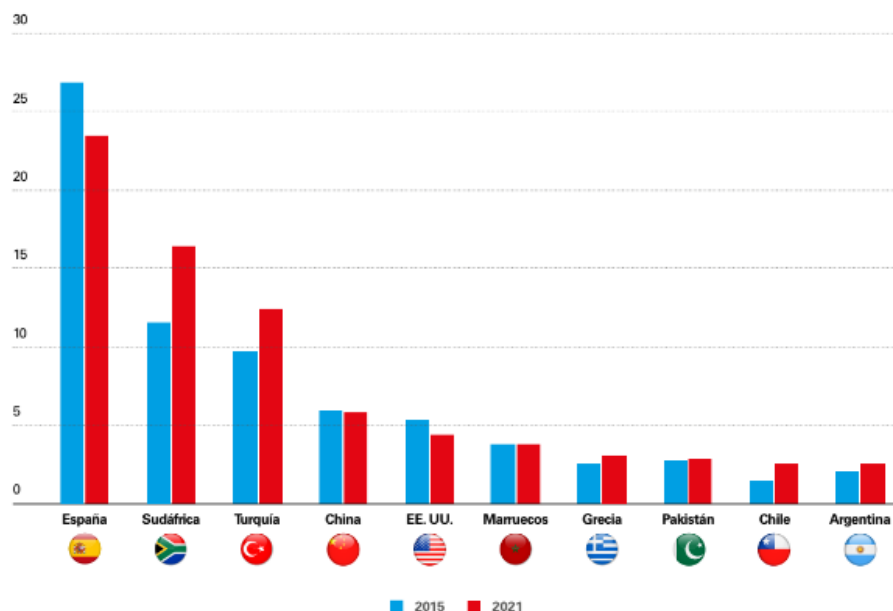


Figura 5: Exportaciones de cada país [100].

La alta producción y exportación de cítricos en España se debe al clima favorable del país para el cultivo de estos frutos. La superficie dedicada al cultivo de los cítricos en España es de 307.343 hectáreas, incrementándose en los últimos años a un ritmo de 1.600 ha/año, con una producción que oscila alrededor de los 6 millones de toneladas, de las cuales el 54% corresponde a las naranjas, el 33% a las mandarinas y con una proporción menos importante destacan los limones y el pomelo. Por lo que el mercado de producción y exportación de naranjas es uno de los más destacados en la agricultura española, siendo el mayor exportador de naranjas de la Unión Europea seguido de Grecia e Italia [24, 25].

El naranjo se trata de una especie subtropical por lo que se desarrolla en los climas cálidos y templados, no soporta heladas. Este árbol frutal no requiere horas de frío para la floración y tampoco requiere reposos invernales, sino una parada del crecimiento debido a las bajas temperaturas, conocida como quiescencia, que provoca la inducción de ramas. Requiere altas temperaturas en verano para la correcta maduración de los frutos y además necesita elevadas precipitaciones, las cuales pueden sustituirse por el riego asistido. Por lo cual, el cultivo de los cítricos en España se realiza principalmente en las zonas costeras del este y en el sur de la península y se localiza sobre todo en lugares próximos al litoral y en los valles de los ríos, ya que fuera de esta zona, con alguna excepción, el cultivo está limitado por las heladas [26].

Es una especie que necesita una gran cantidad de luz para los procesos de floración y fructificación. Es muy sensible al viento, produciéndose pérdidas de frutos en precosecha por este factor. En cuanto a suelos son preferibles los suelos drenados con un pH comprendido entre 5,5 y 7 y con salinidad baja [23].

Las principales regiones en España donde existen huertos de naranjo son: Valencia, Andalucía, Murcia y Cataluña, como se puede observar en la Figura 6, que representa las hectáreas ocupadas por el cultivo de los naranjos en España.

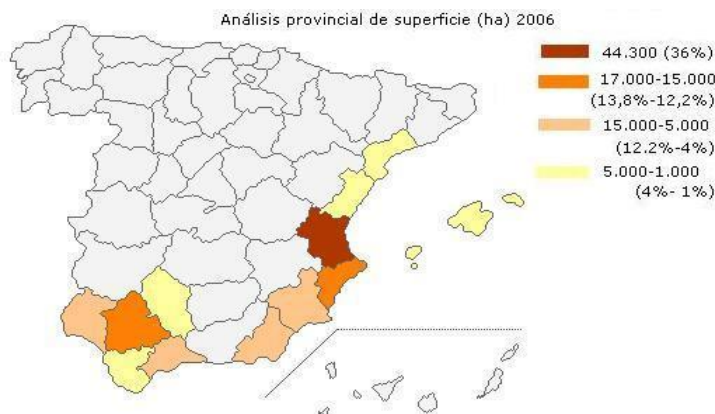


Figura 6: Análisis provincial de superficie de naranjos [27].

La ubicación de la instalación de este proyecto se localizará en la provincia de Huelva, ya que cumple los requisitos climatológicos. En concreto se situará en la frontera de Aljaraque con Gibrleón.

1.5 Análisis del mercado.

Según un informe anual de la Asociación Europea de Zumos de Frutas (AIJN), el consumo de zumos y néctares en Europa fue de 9.067 millones de litros en 2018. Este valor supone una disminución de alrededor del 1,4% con respecto al año anterior.

En cuanto a volumen, el país con mayor consumo es Alemania, con 2.321 millones de litros, seguida de Francia, Gran Bretaña y Polonia. España ocupa el quinto lugar con un consumo de 799 millones de litros de zumos y néctares en 2018. Sin embargo, en términos de consumo per cápita anual, nuestro país queda fuera del ranking y los cinco primeros países son Chipre, Malta, Alemania, Suecia y Polonia [76].

Por otro lado, la posición de España como exportador en Europa se está estabilizando. Según el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, España encabeza la Unión Europea con un volumen de exportación de zumos y néctares de casi 786 millones de kilos por valor de 771,9 millones de euros en 2018. Por sabores, el zumo de naranja lidera el ranking de las exportaciones. En segundo lugar, se sitúan las mezclas de sabores que han experimentado un notable aumento en los últimos años. Los otros sabores que, representando un porcentaje menor del total, han experimentado una subida han sido el de manzana y el de tomate [69, 70].

Al igual que en Europa, en el consumo de zumos y néctares en España se observa un declive continuo y progresivo disminuyendo en el año 2018 un 1,2% respecto al año anterior, produciéndose en concreto una bajada del 1,6% en los néctares y una del 0,7% en los zumos [76].

Clasificando los zumos por su temperatura de almacenamiento distinguimos entre zumos a temperatura ambiente y zumos refrigerados, que a su vez se pueden dividir en concentrados y no concentrados. En las Figuras 7 y 8 se puede observar que la disminución del consumo es debida a el descenso notorio del consumo de los zumos concentrados. Por el contrario, la venta de los zumos refrigerados no concentrados se ha visto incrementada a lo largo de los últimos años debido probablemente a la búsqueda del consumidor de productos que considera más saludables, más naturales, adaptados a su estilo de vida y producidos con respeto por el medio ambiente [76].

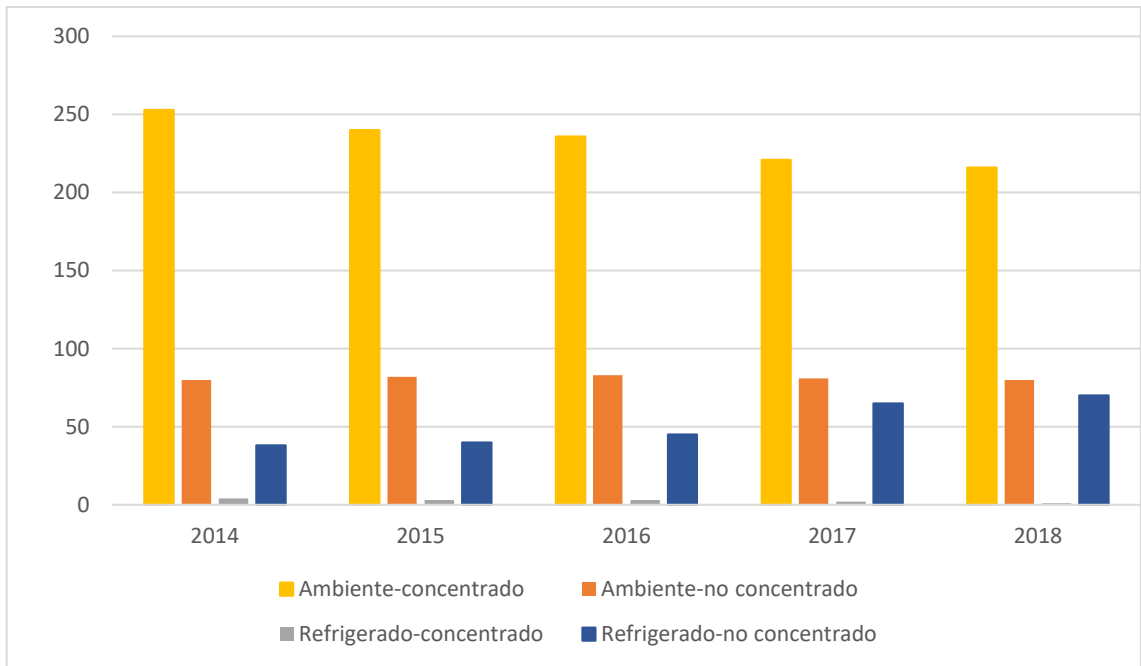


Figura 7: Consumo de zumo de frutas en España en millones de litros [76].

Este descenso se observa desde el año 2010 (a excepción del año 2020, en el que el consumo aumenta un 1,9%).

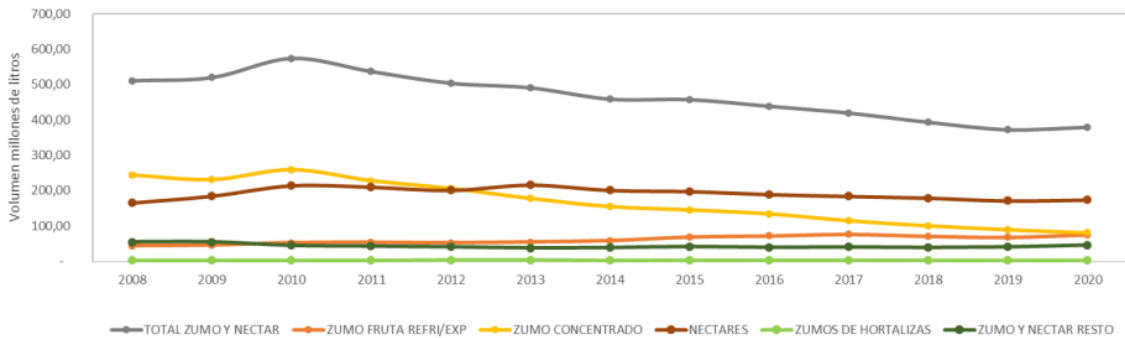


Figura 8: Gráfica de la tendencia a largo plazo del mercado de zumo y néctar [68].

Al cierre del año 2020, el consumo per cápita de zumos y néctares fue de 8,21 litros por persona, con una desviación del 1,7% respecto al año anterior. El consumo per cápita de todos los zumos examinados se encuentran en continuo crecimiento excepto el zumo concentrado que disminuye como se puede observar en la Tabla 3 [68, 70].

Tabla 3: Consumo per cápita de los tipos de zumos y néctares [68].

	Consumo per cápita (l)	
	2019	2020
TOTAL ZUMO Y NECTAR	8,08	8,21
ZUMO FRUTA REFRI/EXP	1,47	1,64
ZUMO CONCENTRADO	1,94	1,74
NECTARES	3,72	3,77
ZUMOS DE HORTALIZAS	0,06	0,07
ZUMO Y NECTAR RESTO	0,89	1,00

Un estudio de ANIBES, determinó que un 31,2% de la población española consume algún tipo de zumo. Dentro de los zumos de frutas y verduras, el más consumido en España es el zumo de naranja constituyendo más de la mitad de los zumos consumidos en el país, en la Tabla 4 se indica el consumo de los diferentes tipos frutas y verduras expresado en gramos por día [67].

Tabla 4. Consumo de zumos de frutas y verduras (gramos/día) [67].

Zumos de frutas y verduras (total)	49,6
Bebida de zumo de frutas y leche	2,6
Zumo de uva	0,7
Zumo de manzana	0,7
Zumo de melocotón	1,3
Zumo de naranja	28,9
Zumo de naranja sin azúcar	1,2
Zumo de piña	7,0
Zumo de varias frutas	4,3
Zumo de fruta N.E.	2,0
Otros zumos	1,0

Conclusiones del análisis de mercado

Para finalizar, tras realizar el estudio del mercado, se enunciarán una serie de conclusiones, que han ayudado a definir y dimensionar este proyecto.

El zumo de naranja es un producto establecido y de gran consumo en España, donde el consumidor busca una alternativa a la propia naranja como una fuente de vitaminas y minerales. Se encuentran en claro aumento los zumos más naturales, con menos añadidos y procesados, por ello, se ha decidido que el zumo realizado no sea concentrado, sino ultracongelado en este proyecto.

El zumo de naranja es el más demandado, tanto a nivel mundial como nivel nacional, por lo que se plantea un posible aumento de capacidad de la planta, para futuras exportaciones, si la planta genera los beneficios esperados los primeros años de funcionamiento.

La planta, en un inicio, se diseñará para procesar 5.000 kg de naranjas por hora, como se acaba de comentar las instalaciones estarán capacitadas para un posible aumento de su capacidad, incorporando nuevas variedades como puede tratarse de zumos de mezclas, siendo estos los segundos más consumidos en España.

1.6 Análisis tecnológico

La fruta es sometida a un proceso de seguimiento en el campo para recogerla en el punto óptimo de madurez. Una vez finalizada la recogida, la fruta es recibida en la planta y a través de un lavado enérgico con agua se eliminan materiales extraños y los tallos que aún estaban unidos a los frutos. Posteriormente las naranjas se analizan antes de pasar a la línea de procesado para certificar que cumple las condiciones de madurez óptimas establecidas y seguidamente se clasifica mediante un proceso de selección por tamaños.

Para la extracción del zumo serán necesarios extractores específicos, en los que se separa la cascara y semilla del zumo y la pulpa. Seguidamente el zumo extraído estará sometido a un proceso adicional de tamizado, la criba, con objetivo de obtener un zumo limpio y libre de pulpa. De forma paralela, la corteza se someterá a un tratamiento para obtener sus aceites esenciales.

Se pueden distinguir diferentes tipos de zumos dependiendo del método de conservación empleado, a continuación, se presentan los más comunes [28, 29].

1.6.1 Zumos pasteurizados.

La pasteurización normalmente es referida a un tratamiento térmico que origina una reducción importante en varios patógenos relevantes para la Salud Pública, aunque en 2004 el Comité Consultivo Nacional sobre criterios microbiológicos para los alimentos (NACMCF) definió la pasteurización como “cualquier proceso, tratamiento o combinación de ambos que, aplicado a un alimento, reduce los microorganismos más resistentes, relevantes para la Salud Pública, a un nivel en el que no es probable que supongan un riesgo para ésta bajo condiciones normales de distribución y almacenaje” [30].

Concretamente la pasteurización del zumo de naranja se trata de una pasteurización térmica debido a que ésta elimina la posibilidad de daño microbiológico (no elimina todos los elementos patógenos, sino que disminuye su nivel) y reduce la actividad enzimática, de manera que aumenta la vida útil del mismo.

El proceso de la pasteurización del zumo de naranja consiste en calentar el zumo de naranja filtrado a una temperatura entre 110 y 120°C durante 3 segundos, posteriormente se enfría el zumo, mediante una camisa que rodea los tubos por la que circula agua glicolada⁶ a -4°C. El zumo pasa a la siguiente etapa, con una temperatura de 4°C [29].

Los parámetros críticos de la pasteurización son: el tiempo de pasteurización y la temperatura a la que se calienta, ya que, si el tratamiento es excesivo, el producto pierde propiedades nutricionales y puede llegar a contraer características organolépticas desfavorables. El proceso óptimo es el señalado en el párrafo anterior [31].

Tras la pasteurización, el zumo pueda estar sometido a la etapa de concentración, la cual consiste en eliminar el agua del zumo, de manera que disminuye considerablemente su volumen y facilita el almacenamiento y transporte de este. Justo antes de la etapa de envasado final se añade el agua previamente extraída. Actualmente es el método de elaboración de zumo más empleado en España, pero como ya se ha mencionado previamente en este texto, se encuentra en claro declive [37].

Otra opción es mantener refrigerado el zumo pasteurizado hasta su posterior envasado. De esta forma, su vida útil será aproximadamente de nueve meses [29].

La principal desventaja de la pasteurización es que afecta la calidad del producto, produciendo pérdidas de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos. Aunque sea el principal método de elaboración de zumo de cítricos, existen otras alternativas [31].

1.6.2. Zumos refrigerados.

Los zumos refrigerados, al no estar sometidos al proceso de pasteurización, deben conservarse a bajas temperaturas (0-5°C). La vida útil de estos productos es bastante corta, debido a la acción de las enzimas y a la disminución de su sabor debido a procesos degradativos, por lo que debe de ser consumido antes de 18 días tras su extracción [33].

1.6.3. Zumos ultracongelados.

La ultracongelación se trata de un proceso en el cual los alimentos se someten a un enfriamiento brusco para exceder rápidamente la temperatura de la máxima cristalización, en un tiempo menor a cuatro horas, lo que mejora la conservación de la textura y la rápida inactivación de los procesos enzimáticos. Se utilizan sustancias congelantes como son el nitrógeno, el anhídrido carbónico o el aire, que deben estar autorizadas por la directiva No. 98/108 de la Unión Europea. Dichas sustancias son fluidos suficientemente inertes para que, aún en contacto directo con los alimentos, no cedan componentes que puedan suponer un peligro para la salud del consumidor ni originen una modificación inaceptable en la composición del alimento o, altere sus características organolépticas⁷.

Esta técnica innovadora de conservación es capaz de garantizar la completa optimización del proceso de producción y ofrecer grandes ventajas al productor y consumidor, ya que además de las previamente mencionadas, la ultracongelación permite la conservación de los alimentos sin aditivos ni conservantes al producto. Por lo que, se recomienda la ultracongelación en la industria de zumos, ya que garantiza la inocuidad y no provoca pérdidas significativas en nutrientes y propiedades organolépticas de los mismos. Además, según un estudio de la UCAM las pérdidas de vitamina C en los zumos tratados por ultracongelación fueron del 8% mientras que los sometidos a la pasteurización (método de elaboración de zumo predominante en la industria) fueron mucho más elevadas, del 30% [17, 18].

Entre sus numerosas ventajas destacan: un menor gasto de instalación en comparación con los sistemas de frío mecánico, los equipos empleados en la ultracongelación utilizan menos espacio físico, consumen menos energía y se originan menos pérdidas de peso del producto por deshidratación, no obstante, tiene un alto gasto económico y los fluidos inertes se evaporan al contactar con el alimento, por lo que no son reutilizables [34].

Además de las ventajas que lleva consigo el proceso de la ultracongelación, un estudio relativamente reciente de la Universidad de Sevilla demostró que los zumos de cítricos ultracongelados que se descongelaron a temperatura ambiente o en el microondas son potencialmente mejores para aumentar los niveles de carotenoides en el organismo, a diferencia del resto de tratamientos térmicos que generan pérdidas de carotenoides. En dicho estudio se demostró que, aunque la concentración de carotenoides en los zumos ultracongelados fue menor que la del zumo fresco, la disminución del tamaño de partícula y la destrucción del material celular que producen estos tratamientos térmicos hacen que la cantidad de carotenoides que pueden ser absorbidos por el intestino sea mayor, es decir, el zumo fresco es el zumo que mayor concentración de carotenoides tiene, pero no es el que aumenta más los niveles de carotenoides en sangre y tejidos [35].

Este proceso utiliza como congelante un fluido a temperaturas criogénicas para que el enfriamiento sea muy rápido [36].

En el siguiente punto se tratará con detalle el procedimiento de la planta de producción de zumo de naranja ultracongelado.

La Figura 9 se trata de un diagrama de bloques que presenta de manera genérica los procesos que se acaban de describir.

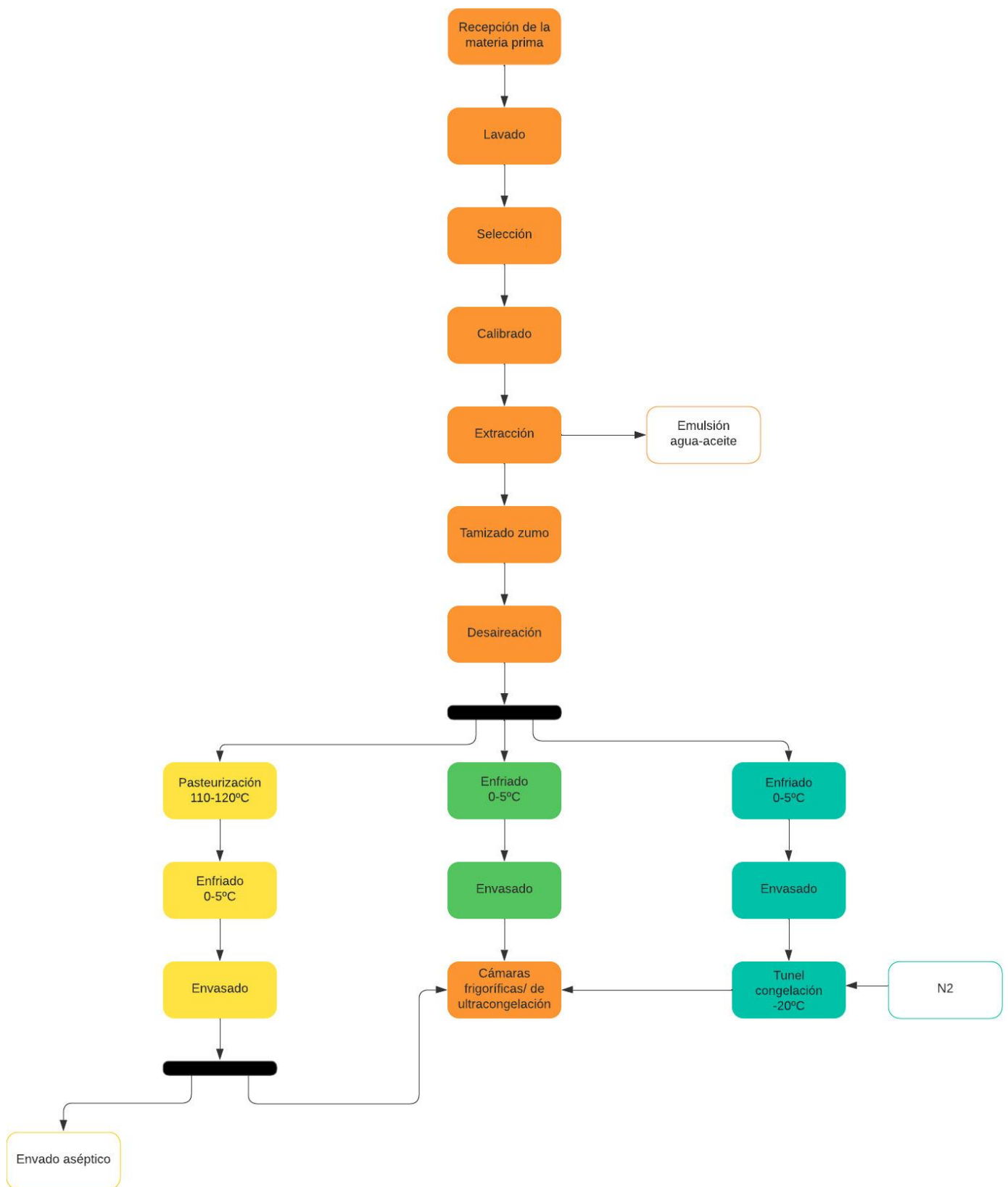


Figura 9: Diagrama de diferentes procesados del zumo de naranja. Fuente: Realización propia.

2 MEMORIA DESCRIPTIVA Y JUSTIFICATIVA

En este apartado se va a realizar la descripción del proceso industrial de la planta, es decir se van a explicar cada una de las etapas a la que la fruta está sometida, desde su entrada a la planta hasta su almacenamiento en forma de zumo.

En la Figura 10 se representan todas etapas de la planta, donde las flechas simbolizan:

- Flechas naranjas: naranjas.
- Flechas violetas: zumo.
- Flecha verde: pulpa.
- Flechas rojas: pérdidas.
- Flecha amarilla: emulsión agua-aceite.
- Flecha negra: aceite esencial de la naranja.

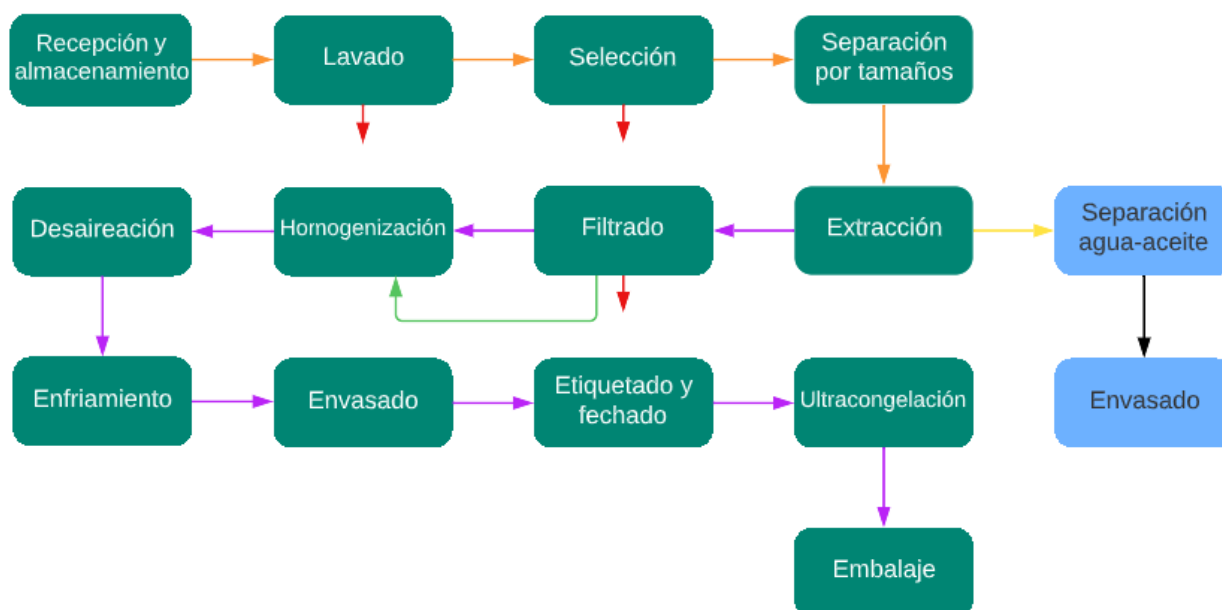


Figura 10: Etapas de la planta. Fuente: Elaboración propia.

2.1 Recepción y almacenamiento de las materias primas.

Las naranjas son recolectadas mediante máquinas de recolección inteligentes, se tratan de máquinas innovadoras cuyo objetivo es una recolección mecanizada que evite la manual debido a su alto coste, sumado a la baja disponibilidad de mano de obra y el bajo precio del producto que ponen en compromiso la rentabilidad del cultivo y, por tanto, la campaña. Dichas máquinas recogen solo las naranjas que están en su momento de maduración idóneo para ser exprimidas, es decir, cuando su sabor es más dulce (cuando el ratio entre azúcares y acidez alcanza un valor mínimo de 12), dejando en el árbol las naranjas que necesitan todavía más sol [52].

Las naranjas son trasladadas a granel en camiones de dos ejes, con capacidad de remolque de 8 toneladas, a la planta. Los camiones depositan la fruta en el acumulador de fruta, como aparece en la Figura 11, para almacenamiento y posterior descarga del producto. El tiempo máximo que la fruta puede permanecer en el acumulador es de 24 horas para que no se modifiquen sus características que puedan alterar la calidad del producto. En la temporada en la que la fruta sea importada, los camiones, de la misma forma, depositan la fruta en el acumulador.

El acumulador consta de una cinta transportadora inferior que trabaja de forma coordinada con el mismo por donde circularán 5000 kg/h. Este equipo también cuenta con detectores de posición para fijar las posiciones extremas de la bandeja y para la detectar la presencia de fruta. Además, posee una cortina de retención a la salida [53].



Figura 11: Descarga de naranjas [29].

En esta etapa se realiza el primer proceso de control de calidad mediante una muestra de 0,25% de las naranjas (debido a su reducido valor no se consideran que producen pérdidas), en el cual se determina el grado de madurez de los frutos, así como otros parámetros entre lo que destacan los dos siguientes: el porcentaje de azúcar y el porcentaje de acidez. Se deben cumplir los parámetros mínimos de calidad en zumos y emplear los métodos de análisis aplicables establecidos en el Real Decreto 1518/2007 [29, 43].

2.2 Lavado y selección.

Una vez en la línea principal de la planta, la fruta llega, mediante la cinta transportadora, a la zona de lavado, donde se eliminan los materiales extraños restantes, tales como tierra, hojas, o tallos. Esta limpieza se realiza mediante una lavadora de cepillos especial, como la que aparece en la Figura 12, para el tratamiento de cítricos que utiliza agua a presión. En esta etapa se producen pérdidas de 250 kg/h.

La lavadora de cepillos se trata de una máquina destinada a la eliminación de impurezas y residuos todavía presentes en las naranjas. Se realiza un lavado de forma superficial mediante pulverizadores de agua, mientras que la fruta se desplaza mediante un sistema de rodillos que se sitúan a lo largo de toda la lavadora. En la parte final de la máquina habrá una zona de secado constituida por ventiladores situados en la parte superior.

De esta forma se realiza un lavado enérgico y exhaustivo que deja a la fruta libre de los restos de suciedad, para poder ser exprimida.

Debajo de la lavadora se recogerán los residuos en una bandeja que posteriormente serán llevados a la tolva de desechos [29, 57].



Figura 12: Lavadora de cepillos [57].

Al final del proceso de lavado, la fruta limpia pasa a otra cinta transportadora que la lleva a la siguiente etapa, la selección, donde a partir de una mesa de destrío se descarta de forma manual la fruta que se encuentre en mal estado, es decir, la que no presente una calidad suficiente, esta fruta de baja calidad representa aproximadamente el 10% de las naranjas que llegan a la etapa de selección.

La mesa de selección consiste en un elevador de rodillos en posición horizontal y una cinta transportadora para la fruta descartada en un plano inferior. La transmisión de rodillos hace girar la fruta permitiendo así una mejor visualización de esta.

Los operarios se situarán en los laterales de la mesa con una separación aproximada de 1 metro entre cada uno de ellos. Se divide la fruta en varias zonas de selección para que el operador vea menos cantidad de fruta posibilitando también una mejor visualización (Figura 13).

A partir de unos buzones, la mesa de selección está conectada a la cinta transportadora previamente mencionada, por donde la fruta es llevada a la tolva de desechos [56].



Figura 13: Mesa de destrío [56].

2.3 Separación por tamaños.

Las naranjas a continuación se clasifican por tamaños a través de una calibradora, este equipo se trata de un selector de frutas cuyo objetivo es clasificar las naranjas por el diámetro que presenten. En este caso consiste en un sistema de cuatro rodillos con perforaciones circulares, cada uno de ellos con un tamaño de perforación diferente, ordenados de menor a mayor diámetro de la perforación, como el que se observa en la Figura 14.

Los rodillos giran sobre su propio eje, desplazando las naranjas sobre ellos, hasta que caigan por una de las perforaciones, dependiendo de su tamaño, siendo, razonadamente, la fruta de menor tamaño la que caerá por el primer rodillo. Cada rodillo estará conectado a una cinta transportadora que transportará la fruta hasta un elevador de cangilones, que la llevará a la unida de extracción [58].

Se clasifican en tres tamaños diferentes: pequeño, para naranjas con un diámetro menor a 5 centímetros, mediano, hasta 8 centímetros y grande, hasta 11 centímetros. Si el tamaño es superior al máximo permitido en

el proceso de extracción, la fruta se descarta para la producción de zumo y mediante otra cinta transportadora es llevada a un acumulador para su posterior venta, estas naranjas representan una escasa parte de la fruta que llega a esta etapa, por lo que no se consideran pérdidas.

Esta máquina resulta necesaria debido a la sensibilidad que presenta los extractores a la diferencia de tamaño para su correcta actividad.



Figura 14: Calibradora [58].

2.4 Extracción.

En el caso de esta planta se contará con un extractor equipado con diferentes configuraciones de extracción para los diferentes tamaños de fruta. El extractor cuenta con cinco copas, cada una de ellas presenta la estructura representada en la Figura 15:

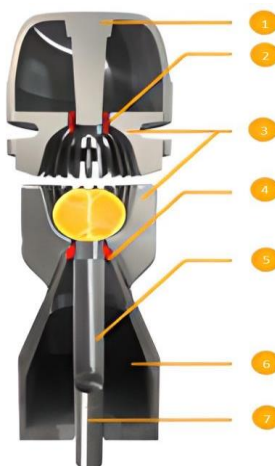


Figura 15: Partes de un extractor [45].

- 1- Porta copas.
- 2- Cortador superior.
- 3- Copa superior e inferior.
- 4- Cortador inferior.
- 5- Tubo filtro.
- 6- Colector de zumo.
- 7- Pistón.

La fruta es introducida en las copas inferiores cuando las copas superiores se encuentran en su punto más alto, permitiendo que se aloje en el fondo de las copas inferiores. Esta operación se realiza por mediación de ejes giratorios que están sincronizados con la posición de las copas.

Los cortadores realizan incisiones en forma de disco en la parte superior e inferior de la fruta, para permitir la salida del zumo a través del tubo filtro hacia el colector del zumo cuando la copa superior e inferior exprimen la fruta, de esta manera la piel nunca está en contacto con el zumo, y por ello el zumo presenta una mayor calidad.

Este proceso aparece representado en la Figura 16.

El tubo filtro se utiliza como un “pre-filtrado” del zumo, se trata de un tubo con múltiples perforaciones que permiten la separación del zumo de parte de la pulpa y del resto de la fruta, que en el caso de un contacto prolongado con el zumo, pueden alterar sus características y empeorar su calidad. Del tubo filtro sale un caudal de zumo de 1926,74 kg/h con un 12,6% de pulpa.

A través del pistón se produce la extracción del zumo y se descarga el contenido de la fruta no filtrado (pulpa y semillas) a una tolva de desechos.

El extractor de zumo realiza en una sola operación la extracción del zumo y del aceite esencial sin contacto entre ambos. La corriente de agua introducida (1666,67 kg/h) en este equipo arrastra la corteza triturada en la que se encuentra el aceite esencial, y mediante un tamiz que forma parte del extractor, se separa la mayor parte de los sólidos (corteza) del fluido, esta corriente se tratará de la emulsión agua-aceite [45, 46, 59, 60].

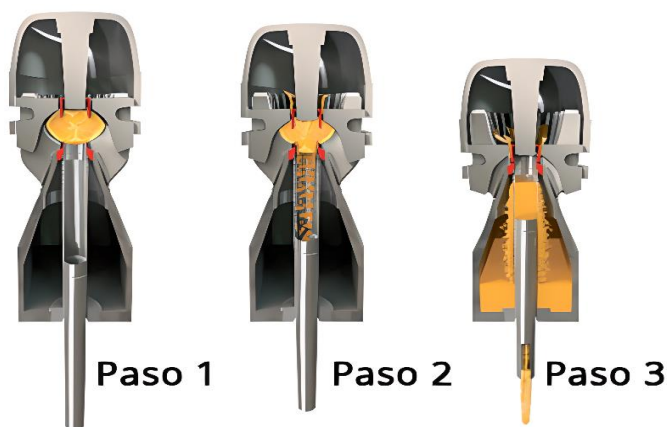


Figura 16: Proceso de extracción [45].

2.5 Filtrado.

El objetivo de la etapa de filtrado, también conocida como tamizado, es reducir el contenido de pulpa del zumo de un 12,6% a un 9%. El zumo extraído (con pulpa) llega a la despulpadora o finisher mediante una bomba hidráulica de desplazamiento positivo.

Según llega el producto a la entrada del equipo, gracias a la presión de bombeo, el zumo va ingresando hacia el interior del tamiz. Dentro del tamiz, un rotor formado por un eje giratorio que incorpora unas aspas que hacen contacto contra el propio tamiz, se encarga de centrifugar el producto hacia la malla, produciéndose de esta manera la extracción de forma continuada, siendo el caudal de zumo 1790,73 kg/h. El zumo filtrado pasa un tanque pulmón.

El nivel de pulpa deseado es menor del 10% (entre 8-10%), éste puede regularse variando la presión ejercida o el calibre de los agujeros de la malla.

La propia presión del producto no tamizado a través de la malla empuja la pulpa (136,01 kg/h) hacia un tornillo sin fin que la conduce a una tolva de almacenamiento para su posterior reutilización para la elaboración de zumo con pulpa [51].

Parte de la pulpa rechazada se aprovecha, como se acaba de comentar, para la elaboración de zumo con pulpa, simplemente con añadirla a parte del zumo filtrado en la etapa homogenización. En este proyecto se presentarán la producción de dos tipos de zumo de naranja: con y sin pulpa. La pulpa sobrante a partir de una bomba de desplazamiento positivo será llevada hacia la misma tolva de desechos donde también se almacenan las semillas y las cáscaras [29].

2.6 Homogenización.

La fabricación de bebidas como los zumos o néctares requiere una homogeneización fiable para lograr estabilidad y para mejorar el sabor, el aspecto óptico y la textura [47].

La homogenización se trata de un proceso de agitación continua por medio de un agitador centrado y de deflectores colocados en las paredes dentro del tanque de acero inoxidable, cuyo objetivo es evitar que los sólidos de suspensión caigan al fondo, y así obtendremos un producto homogéneo y estandarizado [48]. El tiempo de residencia del zumo en esta etapa es de 15 minutos, para de esta manera asegurar una mezcla homogénea.

La planta contará con dos tanques de homogenización, el primero destinado al zumo sin pulpa, con volumen de 200 L y en el segundo se agregará parte de la pulpa extraída para la elaboración del zumo con pulpa, 50 L.

2.7 Desaireación y enfriamiento

El zumo, a través de una bomba de desplazamiento positivo, se transporta a un tanque de desaireación. La alimentación al tanque se encuentra en el fondo, ya que evita salpicaduras y favorece al proceso. Dentro del tanque, se lleva a cabo una inyección del nitrógeno gaseoso procedente de la etapa de ultracongelación, mediante difusores en forma de corriente cruzada. Este equipo presenta una salida de gases para no provocar una sobrepresión en él.

Se hará circular a una corriente continua de nitrógeno que asegure que todo el aire del zumo está siendo desplazado. Este proceso se basa en la transferencia de masa.

Con ello se consigue desplazar el oxígeno y dejar el zumo en contacto con una atmósfera inerte, y como consecuencia se evitan reacciones enzimáticas y contaminaciones fúngicas y microbianas, que provocan cambios indeseables como la eliminación de la vitamina C o alteraciones en sabor y color, lo que hace indispensable esta etapa. El tiempo de residencia del zumo en el desaireador es de 15 minutos.

Posteriormente, el zumo se almacena en tanques pulmón con el objetivo de regular la entrada al enfriador. Y el nitrógeno se recoge en cámaras, para su subsiguiente venta, la cual queda fuera del alcance de este proyecto.

En el proceso de enfriado, el zumo se enfría a 0°C, a partir de un intercambiador de carcasa y tubos, mediante la transmisión térmica generada al cruzarse los dos fluidos por diferentes compartimentos, como refrigerante se utiliza, agua glicolada con una temperatura de entrada al intercambiador de -20°C [49].

2.8 Obtención del aceite esencial de la cascara.

La emulsión formada en la etapa de extracción se separa mediante un proceso de tamizado y centrifugados. Este procedimiento de obtención del aceite permite obtener un mayor rendimiento que otras técnicas como la destilación al vapor y mejor comportamiento medioambiental que otros tales como la filtración mecánica, ya que las centrifugas tienen como ventaja que pueden ser herméticas y pueden operar efectivamente sin contaminar las corrientes de producto ni los efluentes [7, 9].

Este proceso está compuesto por las siguientes etapas [61]:

- 1- Tamizado: filtrado de la emulsión.
- 2- Centrifugado: eliminación de la mayor parte del agua.
- 3- Centrifugado 2: obtención del aceite libre de humedad.
- 4- Almacenado: almacenado en depósitos de decantación.

La primera etapa, el tamizado, se realiza mediante un tamiz giratorio que separa de manera continua los sólidos que están en suspensión. Su funcionamiento se puede observar en la Figura 17:

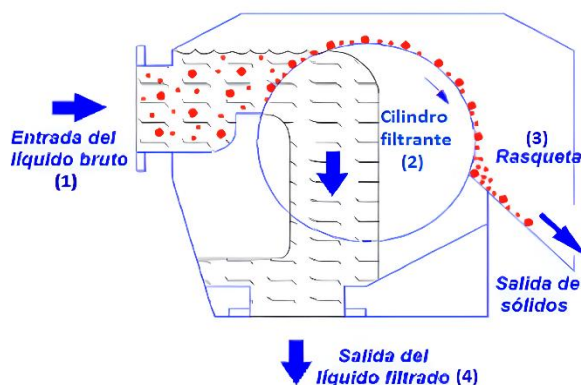


Figura 17: Funcionamiento del tamiz rotativo [62].

La emulsión entra al tamiz por la parte superior a través de una tubería (1). El líquido se distribuye uniformemente a lo largo de todo el cilindro filtrante (2), el cual gira continuamente. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del cilindro, obteniéndose un líquido libre de estas (4). Por la rotación del cilindro, las partículas retenidas son desplazadas hacia las rasquetas (3) que son las encargadas de separarlas y depositarlas sobre la bandeja de descarga, en el tamizado se obtiene un caudal de 8,41 kg/h de partículas retenidas [62, 63].

El tipo de separación centrífuga que se emplea en la segunda y tercera etapa es la separación centrífuga por sedimentación. Un sedimentador centrífugo consiste en una pared cilíndrica o cónica rotando sobre un eje vertical. Esta configuración permite la separación de los líquidos inmiscibles como aceite y agua, ya que el separador utiliza fuerza mecánica y gravitatoria para dividir la mezcla en función de sus densidades. Se utiliza un separador de pila de discos, debido a su operación continua. En la primera separación centrífuga se elimina la mayor parte del agua de la emulsión (1589,56 kg agua/h) y en la segunda, la restante (66,93 kg agua/h) [10], de forma que se producen 16,73 kg aceite/h.

La emulsión fluye hacia el interior del separador a través de una tubería de alimentación. El distribuidor acelera el fluido hasta alcanzar la velocidad de rotación del tambor del separador. El distribuidor lleva el producto hasta la pila de discos (platos de forma troncocónica), donde tiene lugar la separación entre la fase pesada y la liviana. El fluido clarificado fluye hacia la parte superior de la cámara, donde una bomba centrípeta fija, bajo presión, lo impulsa al conducto de salida, y la fase pesada fluye hacia la periferia de los discos (Figura 18). El aceite conseguido se almacena en tanques para su posterior venta. Los sólidos separados son colectados en la parte periférica del bowl, y se descargan continuamente [64]. El envasado, embalaje y almacenamiento del aceite quedan fuera de los objetivos de este proyecto.

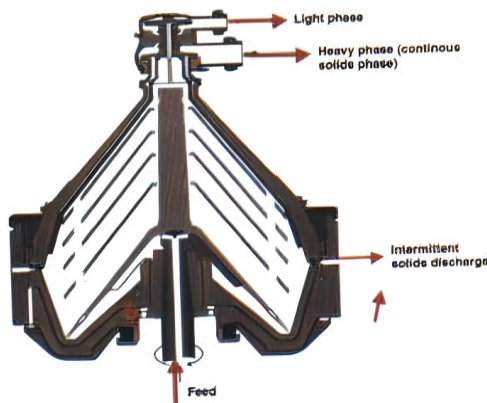


Figura 18: Separador de Pila de Discos [10].

2.9 Envasado, etiquetado y fechado.

El zumo frío se transporta mediante tuberías de acero inoxidable, que conectan el enfriador a la envasadora. Para el envasado, como ya se ha mencionado, se parte de preformas PET. Dichas preformas son sometidas a un proceso de moldeo e inyección por soplado de gran precisión con el cual las botellas obtendrán la forma deseada, mediante una sopladora de botellas PET como la que aparece en la Figura 19. Las botellas tendrán una capacidad de 1 litro.

Una vez las botellas tenga la forma deseada, se esterilizan para evitar cualquier problema de contaminación. La próxima fase se trata del llenado de botellas y seguidamente se le pondrán tapas de aluminio para que no pierda la esterilidad el envase y se le colocarán los tapones [29, 49].

A continuación, se le aplica calor a la etiqueta para que se amolde al envase y mediante una etiquetadora autoadhesiva rotativa se realiza el etiquetado. Por último, el fechado se colocará en el tapón de las botellas mediante una fechadora.



Figura 19: Sopladora de botellas PET [78].

2.10 Ultracongelación.

Esta fase se basa en congelar de manera rápida el producto, para ello, se utiliza el nitrógeno líquido a -196°C como fluido criogénico. El nitrógeno es inyectado en un equipo conocido como túnel criogénico a través de un conjunto de pulverizadores cuyo caudal es proporcional a la cantidad de producto que lo atraviesa. El nitrógeno criogénico se pulveriza directamente sobre las botellas, vaporizándose cuando se produce el contacto con ellas.

El gas frío, al ser más denso, se desliza hacia la entrada del túnel, siendo impulsado por un conjunto de ventiladores de circulación. De esta forma tiene lugar un intercambio térmico en contracorriente, entre el gas que se calienta y el producto que se enfría, resultando una “pre-refrigeración” superficial del producto tratado en la primera parte de túnel, antes de recibir la lluvia de nitrógeno líquido. El producto se congela y se equilibra sus temperaturas entre el centro y la superficie en la zona llamada de estabilización. La gran diferencia de temperatura entre producto y nitrógeno líquido permite lograr, grandes velocidades de congelación y, con ello, un producto congelado de la más alta calidad alimentaria que mantiene inalteradas sus propiedades organolépticas [49, 87].

Se trata de un equipo que trabaja de manera continua, es decir, el producto se congela durante su paso por el túnel, a medida que avanza por él a través de la cinta.

El nitrógeno, que sale en forma gaseosa del túnel de ultracongelación, es reutilizado para el proceso de desaireación haciendo pasar esta corriente gaseosa por unas tuberías que desembocan al tanque de desaireación.

En la Figura 20 se puede ver un esquema del túnel descrito.

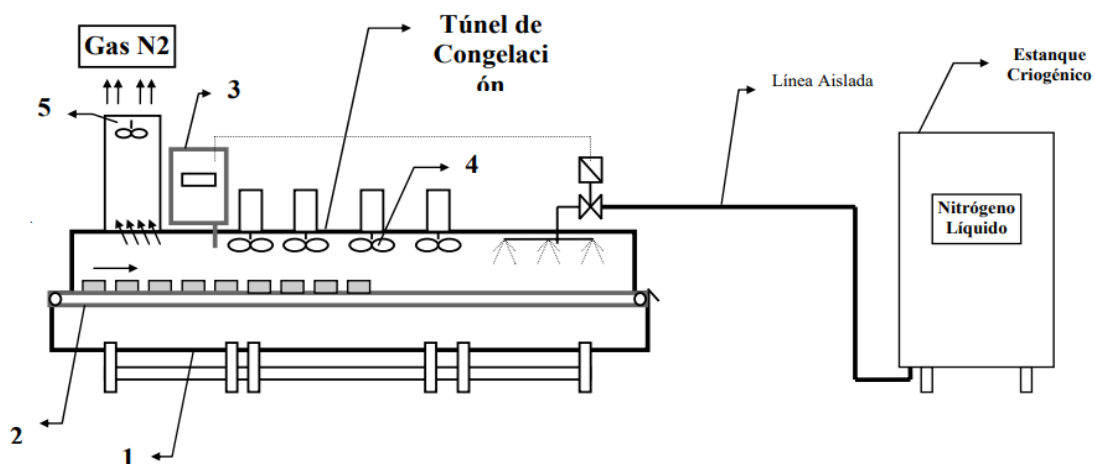


Figura 20: Esquema de túnel de ultracongelación [87].

Siendo:

1. Estructura soportante del túnel (acero inoxidable).
2. Cinta transportadora de los productos alimenticios.
3. Display y teclado de control del túnel.
4. Ventiladores y turbina.
5. Extractor de gases.
6. Aspersores de inyección de nitrógeno.

2.11 Embalaje.

Después de la ultracongelación, las botellas se agrupan en embalajes de cartón, capaces de soportar muy bajas temperaturas y mediante un sistema de Wrap-Around se conforman en cajas. Posteriormente, mediante un paletizador automático de cajas, estas se agrupan para luego colocarlas en el almacén.

El zumo se almacena en cámaras de conservación hasta su posterior distribución y comercialización, manteniéndose siempre a una temperatura de -18°C o inferior para no romper la cadena de frío [49, 50].

3 MEMORIA DE CÁLCULO

En este capítulo se procede a detallar los cálculos realizados para el diseño de la planta. En primer lugar, se van a describir los cálculos referidos al balance de materia y al balance de energía de la planta, y posteriormente se detallan los cálculos para el dimensionamiento de los equipos.

3.1 Producción de la planta.

Debido a la estacionalidad de esta fruta, la planta no producirá zumo de naranja en el periodo comprendido entre los meses de julio y noviembre y se abastecerá de naranjas procedentes de su propio huerto durante siete meses, de diciembre a junio. Por tanto, la planta producirá zumo de naranja 30 semanas al año.

El resto de las semanas la planta no tendrá por qué estar inactiva, ya que al ser una parte de una fábrica puede ser utilizada para la realización de otro tipo de zumo. Asimismo, cuatro semanas al año se dedicarán a la limpieza y al mantenimiento de la planta y de todos los equipos.

Cada semana tendrá cinco días laborables, de lunes a viernes. La jornada laboral de cada trabajador será de 8,5 horas diarias, con un descanso de 30 minutos y existirán dos turnos, de mañana y de tarde. El tiempo de producción de la planta será de 15 h/día, el tiempo restante se dedicará al arranque, mantenimiento y limpieza de equipos.

La planta es capaz de procesar 5.000 kg naranjas/h, es decir 11.250 t naranjas/año. El rendimiento de extracción del zumo de naranja es del 45,07%, en otras palabras, por cada 100 kg de naranjas se obtienen 45,07 kg de zumo (con pulpa). El zumo recién exprimido al salir del tubo filtro del exprimidor contiene 12,6% de pulpa y tras la etapa de filtrado se reducirá al 9%. Se obtendrá, tras la etapa de filtrado, 1790,73 kg/h de zumo, del cual un 80% irá destinado a la producción de zumo sin pulpa y al 20% restante se le añadirá parte de la pulpa anteriormente retirada para la producción de zumo con pulpa. Además, de la emulsión agua-aceite producida en la etapa de extracción, se consigue producir 16,73 kg/h de aceite esencial.

A continuación, se van a realizar los balances de materia y energía, con los que se detallará el cálculo de la cantidad de zumo y aceite que se obtiene en la planta, así como el calor necesario aportar o retirar en los equipos en los que se produce un intercambio de calor.

Para los cálculos se considera la densidad del zumo de naranja 1,04 kg/L y la del agua es 1 kg/L y que éstas son constantes respecto a la temperatura.

3.2 Balance de materia.

3.2.1 Recepción, lavado y selección.

A la planta llegan 5.000 kg/h de naranjas procedentes de los camiones. Para los cuales, se necesita un caudal de agua de 150 L/h (30 L agua/t fruta) en la etapa de lavado [80].

Aproximadamente, las pérdidas de fruta que se producirán en la fase de lavado serán del 5% y en la siguiente, la fase de selección manual, las naranjas descartadas por los operarios representarán un 10% sobre las totales que llegan a esa etapa. No se producirán pérdidas apreciables en la etapa de calibrado.

El agua utilizada en el proceso de lavado, tras cumplir su función, pasa por un sistema de filtración compuesto por un “pre-filtrado”, en el que se retiran los elementos de gran tamaño, como los tallos, que puedan dañar el filtro, y por un hidrociclón para eliminar partículas tipo arena (diámetro mayor de 1 mm), el agua saliente del hidrociclón se utiliza para el regadío del huerto [81]. En la Figura 21 se representa el balance de materia de estas etapas.

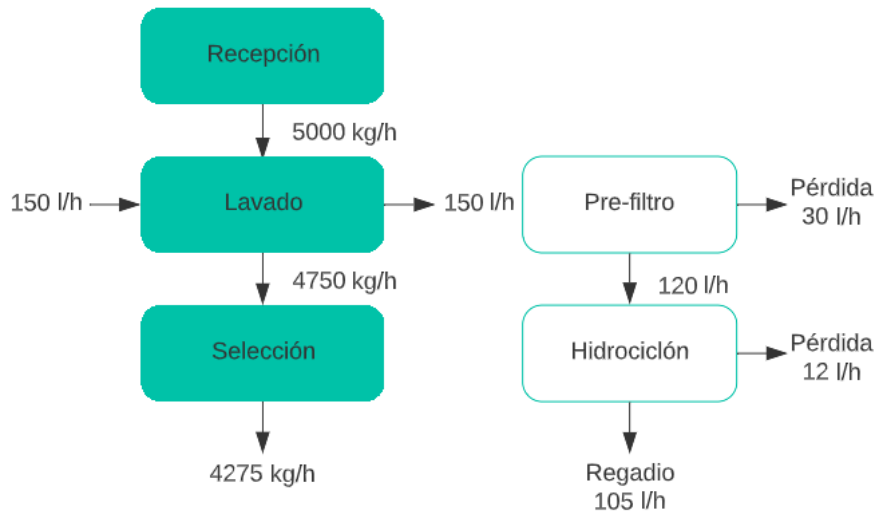


Figura 21: Balance de materia en la fase lavado y fase selección. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Balance de materia en el extractor.

El caudal másico que llega a la fase extracción es de 4275 kg/h, sabiendo el rendimiento (cantidad de zumo obtenido por la cantidad de naranja) y el caudal de agua añadida, se puede realizar los cálculos requeridos para obtener la cantidad de zumo, emulsión y cáscaras resultantes.

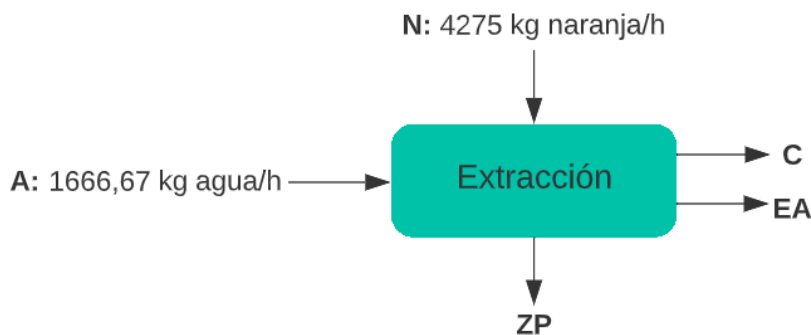


Figura 22. Balance de materia en la fase de extracción. Fuente: Elaboración propia.

Siendo en la Figura 22:

- N: Naranjas que llegan a la etapa de extracción.
- A: Cantidad de agua utilizada para la emulsión.
- C: Cáscaras y desechos.
- EA: Emulsión de aceite.
- ZP: Zumo extraído (con pulpa).

La cantidad de zumo se calcula sabiendo la relación de la cantidad de zumo obtenido por la cantidad de naranja:

$$ZP = N \cdot \frac{45,07 \text{ kg zumo}}{100 \text{ kg naranjas}} = 4275 \frac{\text{kg naranjas}}{\text{h}} \cdot \frac{45,07 \text{ kg zumo}}{100 \text{ kg naranjas}} = 1926,74 \frac{\text{kg zumo}}{\text{h}}$$

La emulsión será la suma del 0,7% de aceite contenido en la cáscara más el agua añadida.

$$\begin{aligned}
 EA &= A + N \cdot \frac{0,7 \text{ kg aceite}}{100 \text{ kg naranjas}} \cdot \frac{0,5 \text{ kg cáscara}}{1 \text{ kg naranja}} \\
 &= 1666,67 \frac{\text{kg agua}}{\text{h}} + 4275 \frac{\text{kg naranjas}}{\text{h}} \cdot \frac{0,7 \text{ kg aceite}}{100 \text{ kg naranjas}} \cdot \frac{0,5 \text{ kg cáscara}}{1 \text{ kg naranja}} \\
 &= \mathbf{1681,63 \frac{\text{kg emulsión agua - aceite}}{\text{h}}}
 \end{aligned}$$

A partir del balance global se calcula la cantidad no aprovechada del zumo:

$$N + A = C + EA + ZP$$

$$C = N + A - EA - ZP = 4275 + 1666,67 - 1681,63 - 1926,74 = \mathbf{2333,3 \frac{\text{kg desechos}}{\text{h}}}$$

En la fase de extracción, se obtiene zumo que presenta un 12,6% de sólidos [82].

3.2.3 Balance de materia en el filtrado.

La etapa de filtrado tiene como objetivo reducir el nivel de pulpa del zumo de un 12,6% a un 9%. De esta etapa se obtiene el zumo con la concentración señalada y una corriente denominada pulpa con una concentración de pulpa del 60%.

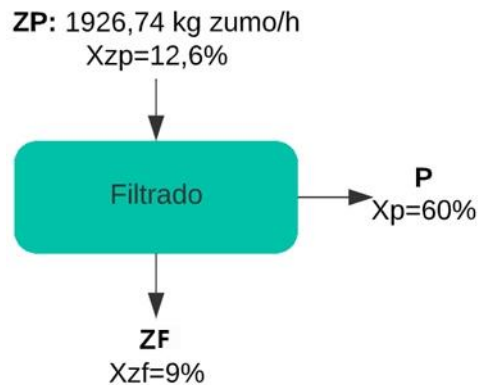


Figura 23: Balance materia en la fase de filtrado. Fuente: Elaboración propia.

Donde en la Figura 23:

- P: Pulpa.
- ZF: Zumo filtrado.
- Xzp: Concentración de pulpa en zumo extraído.
- Xp: Concentración de pulpa en la corriente de pulpa.
- Xzf: Concentración de pulpa en zumo filtrado.

A continuación, se plantea el balance de materia global y el balance de materia de sólidos.

Balance global de materia:

$$ZP = P + ZF$$

Balance de materia de sólidos:

$$ZP \cdot Xzp = P \cdot Xp + ZF \cdot Xzf$$

Para calcular la cantidad de zumo filtrado y de la pulpa se realiza mediante un sistema de dos ecuaciones (los balances de materia planteados) y dos incógnitas. Cuyo resultado es:

$$\mathbf{ZF=1790,73 \frac{\text{kg zumo tamizado}}{\text{h}}}$$

$$P=136,01 \frac{\text{kg pulpa}}{\text{h}}$$

3.2.4 Balance de materia en la homogenización.

Antes de la etapa de homogenización, la corriente de zumo se divide en dos con el objetivo de producir zumo con y sin pulpa, añadiendo en el homogeneizador de una de las corrientes parte de la pulpa extraída en la etapa de filtrado. Como el zumo sin pulpa es el más demandado, el 80% de zumo extraído se destinará a la producción del zumo sin pulpa y el resto a la producción de zumo con pulpa.

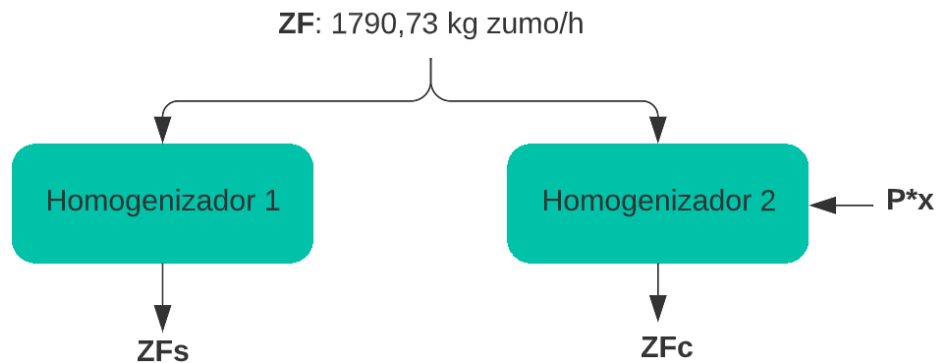


Figura 24: Balance materia en la homogenización. Fuente: Elaboración propia.

Siendo en la Figura 24:

- ZFs: Zumo filtrado sin pulpa.
- ZFc: Zumo filtrado con pulpa.
- x: Porcentaje de pulpa utilizado de la corriente rechazada en el filtrado.

Se resuelve el balance de materia en el primer homogeneizador sabiendo que se trata del 80% del zumo saliente de la etapa de filtrado:

$$ZFs = ZF \cdot 0,8 = 1790,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,8 = 1432,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el cálculo de la cantidad de zumo con pulpa, se plantea el siguiente sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas, donde las dos variables son la cantidad de zumo con pulpa (ZFc) y el porcentaje de pulpa utilizado de la corriente rechazada en el filtrado (x). Se sabe que la concentración de pulpa del zumo del segundo homogeneizador es del 14%.

$$ZFc = ZF \cdot 0,2 + x \cdot P$$

$$ZFc \cdot Xzfc = ZF \cdot 0,2 \cdot Xzf + x \cdot P \cdot Xp$$

De donde se obtiene:

$$ZFc = 397,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$x = 28,62\%$$

Por último, se calcula la cantidad de zumo total producida en la planta:

$$ZT = ZFs + ZFc = 1432,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 397,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1829,65 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.2.5 Balance de materia en la separación de la emulsión del aceite en agua.

La fase de obtención del aceite esencial está formada por tres etapas de separación, conociendo el rendimiento de cada una de estas etapas, se calcula el aceite resultante. En la Figura 25 se representa el balance de materia de esta etapa.

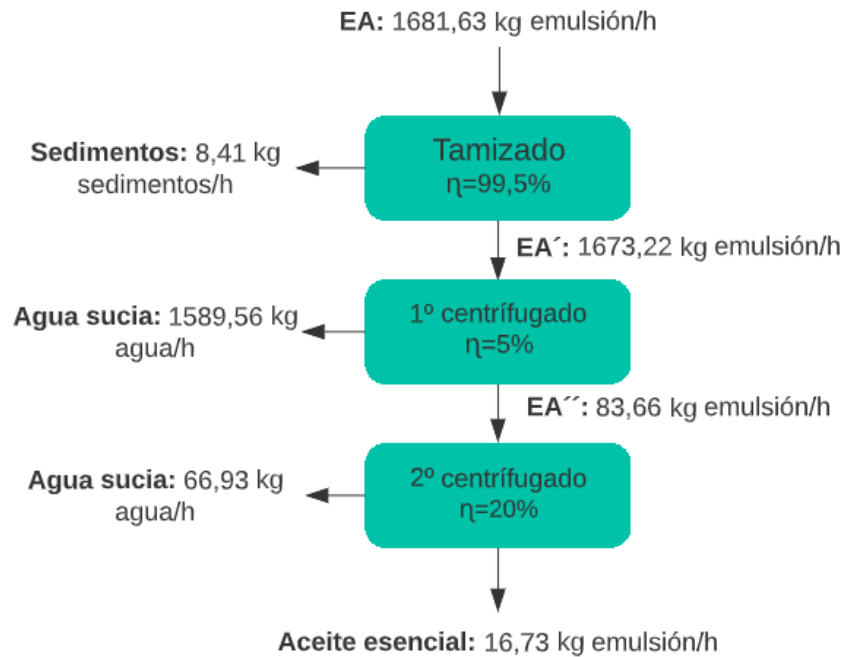


Figura 25: Balance de materia en las fases de obtención del aceite. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Balances de energía.

3.3.1 Enfriador.

Se utilizan dos enfriadores, uno para cada tipo de zumo (con y sin pulpa). Ambos se tratan de intercambiadores de calor de carcasa y tubo, este tipo de intercambiador están compuestos por tubos cilíndricos, montados dentro de una carcasa también cilíndrica, con el eje de los tubos paralelos al eje de la carcasa, como aparece en la Figura 26. Un fluido circula por el interior de los tubos, el zumo, y el otro, el agua glicolada por el exterior (por la carcasa).

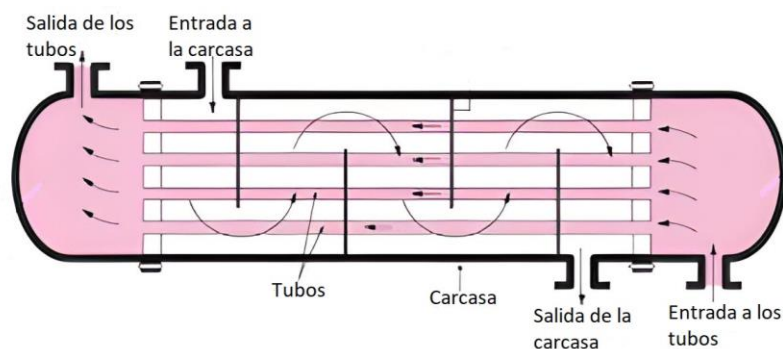


Figura 26: Intercambiador de carcasa y tubo [119].

En ambos enfriadores, las temperaturas de entrada y salida del intercambiador son las representadas en la Figura 27:

- Temperatura entrada zumo: 25°C.
- Temperatura salida zumo: 0°C
- Temperatura entrada agua glicolada: -20°C

- Temperatura salida agua glicolada: 10°C.

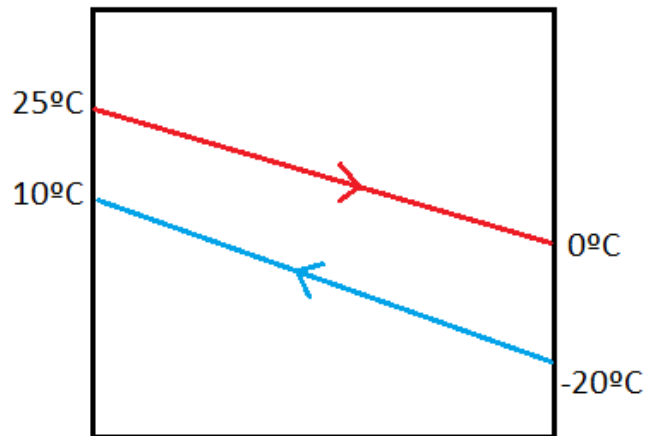


Figura 27: Perfil de temperatura enfriador.

El zumo presenta un calor específico de 3,89 kJ/kg°C (se considera el mismo para los diferentes zumos), y el agua glicolada presenta un calor específico de 3,76 kJ/kg°C.

El calor intercambiado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = m \cdot p \cdot |(T_e - T_s)|$$

Siendo:

- Q: Calor intercambiado.
- m: Caudal másico.
- cp: Calor específico.
- $\Delta T = (T_e - T_s)$: Incremento o decremento de la temperatura.

Enfriador 1:

Se calcula el calor intercambiado en el enfriador del zumo sin pulpa, sustituyendo los datos:

$$Q_1 = m_{zs} \cdot c_{pz} \cdot (T_{ez} - T_{sz}) = 1432,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 3,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25 - 0)^\circ\text{C} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \mathbf{38,7 \text{ kW}}$$

Con la misma ecuación, pero aplicada al fluido frío, se calcula el caudal másico de agua glicolada requerida en el primer intercambiador:

$$Q_1 = \mathbf{ma_1} \cdot c_{pa} \cdot (T_{sa} - T_{ea}) = 38,7 \text{ kW} = ma_1 \cdot 3,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (10 - (-20))^\circ\text{C} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\mathbf{ma_1 = 1245,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}$$

Enfriador 2:

De manera análoga, se calcula el calor intercambiado en el segundo intercambiador y el agua glicolada necesaria en este:

$$Q_2 = m_{zc} \cdot c_{pz} \cdot (T_{ez} - T_{sz}) = 397,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 3,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25 - 0)^\circ\text{C} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \mathbf{10,73 \text{ kW}}$$

$$Q_2 = \mathbf{ma_2} \cdot c_{pa} \cdot (T_{sa} - T_{ea}) = 10,73 \text{ kW} = ma_2 \cdot 3,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (10 - (-20))^\circ\text{C} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\mathbf{ma_2 = 345,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}$$

3.3.2 Túnel de ultracongelación.

Las temperaturas de entrada y salida son las siguientes:

- Temperatura entrada zumo: 0°C.
- Temperatura salida zumo: -20°C.
- Temperatura entrada nitrógeno (líquido): -196°C.
- Temperatura salida nitrógeno (gaseoso): -30°C

Se calcula el calor intercambiado en el túnel, para ello se sustituye los datos del flujo caliente (zumo) en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} Q &= m_{zt} \cdot (c_{pgz} \cdot (T_{eb_z} - T_{s_z}) + \Delta H_{fusión_z} + c_{plz} \cdot (T_{e_z} - T_{eb_z})) \\ &= 1829,65 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (2,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (-0,92^\circ\text{C} - (-18^\circ\text{C})) + 291,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 3,89 \cdot (0 \\ &\quad - (-0,92^\circ\text{C})) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \mathbf{168,84 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Donde:

- Calor específico del zumo gaseoso: c_{pgz} .
- Calor específico del zumo líquido: c_{plz} .
- Calor latente de vaporización del zumo: $\Delta H_{fusión_z}$.

El líquido pulverizado se vaporiza con el contacto con las botellas, por lo que se produce en el nitrógeno también, un cambio de fase. Se utiliza la fórmula anterior para el cálculo del caudal másico del nitrógeno:

La fórmula del calor intercambiado en el túnel referida al nitrógeno es la siguiente:

$$\begin{aligned} Q &= m_{N_2} \cdot (c_{p_{N_2}} \cdot (T_{eb_{N_2}} - T_{e_{N_2}}) + \Delta H_{fusión_{N_2}} + c_{pl_{N_2}} \cdot (T_{s_{N_2}} - T_{eb_{N_2}})) = 168,84 \text{ kW} \\ &= m_{N_2} \cdot (2,024 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (-196 - (-196))^\circ\text{C} + 204,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 3,652 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (-30 \\ &\quad - (-196))^\circ\text{C} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \\ &\qquad\qquad\qquad m_{N_2} = \mathbf{749,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \end{aligned}$$

Siendo:

- Calor específico del nitrógeno gaseoso: $c_{p_{N_2}}$.
- Calor específico del nitrógeno líquido: $c_{pl_{N_2}}$.
- Calor latente de vaporización del nitrógeno: $\Delta H_{fusión_{N_2}}$.

3.4 Dimensionamiento de los equipos.

3.4.1 Zona de recepción.

Debido a que los equipos no funcionan al 100% de su capacidad instalada, se diseñaran los equipos para procesar un caudal de naranja de 5555,56 kg/h, en lugar del caudal real, 5000 kg/h.

3.4.1.1 Acumulador de fruta.

El acumulador de fruta está compuesto por un silo⁸ cuadrático dotado de una tolva⁹ piramidal que se encarga de almacenar las naranjas procedentes de los camiones y de descargarlas a la cinta transportadora.

Se considera que el 20% del espacio es ocupado por huecos entre las naranjas, y se estima que las propiedades medias de las naranjas son las siguientes:

- Peso medio: 0,2 kg.
- Diámetro medio: 0,08 m.

- Forma esférica.

Por lo que el volumen de una naranja es igual a:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{0,08 \text{ m}}{2}\right)^3 = 0,000268 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad naranja} = \frac{0,2 \text{ kg}}{0,000268 \text{ m}^3} = 746,27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A continuación, se calcula el volumen total ocupado en una hora:

$$Q = 5555,56 \frac{\text{kg naranja}}{\text{h}} \cdot 0,000268 \frac{\text{m}^3}{\text{naranja}} \cdot \frac{\text{naranja}}{0,2 \text{ kg naranja}} \cdot \frac{1}{1 - 0,2} = 9,31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se utilizará un acumulador capaz de almacenar durante 15 horas la fruta procedente de los camiones:

$$V_{\text{acumulador}} = 9,31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 15\text{h} = \mathbf{139,65 \text{ m}^3}$$

Diseño:

- Silo:
 - o Largo: 5 m.
 - o Ancho: 5 m.
 - o Alto: 5 m.
 - o Volumen: $L \cdot w \cdot h = 125 \text{ m}^3$.
- Tolva:
 - o Largo máximo: 5 m.
 - o Ancho máximo: 5 m.
 - o Largo mínimo: 1 m.
 - o Ancho mínimo: 1 m.
 - o Alto: 2m.
 - o Volumen = $\frac{1}{3} \cdot (L_{\text{máx}} \cdot W_{\text{máx}} \cdot h_{\text{máx}} - L_{\text{mín}} \cdot W_{\text{mín}} \cdot h_{\text{mín}}) = 16 \text{ m}^3$.
- Volumen total: 141 m^3 .
- Material: acero inoxidable

3.4.1.2 Cinta transportadora.

Cinta transportadora: banda que se mantiene tensa entre dos tambores externos y es accionada por motores. Es la encargada de transportar la fruta desde el acumulador hasta la máquina de lavado [103].

Diseño:

- Diferencia de cotas: 0 m.
- Distancia/longitud: 15 m.
- Forma de la banda: plana.
- Aspecto superficie: liso
- Cuenta con dos barandillas cilíndricas, de diámetro 4,5 cm, (una a cada lado de la cinta). Se colocan paralelas a la cinta, de manera que su eje esté a 3 cm sobre esta.
- Poleas desnudas.
- Arco de contacto: 180° .
- Accionamiento simple: Tracción en cabeza por un único tambor.
- Tipo de tensor: de tornillo.
- Ancho de banda: 475 mm (Calculado a partir de la Tabla 5).

Tabla 5: Dimensión ancho mínimo [103].

Ancho de la banda	Clase y dimensión del material		PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL EN KG/M ³				Separación rodillos de retorno
	Uniforme	Con finos	450	900	1.200/1.600	2.000/2.400	
mm	mm	mm	Separación entre rodillos de ida				mm
300	38	100	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
350	48	115	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
400	60	130	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
450	75	150	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
500	90	165	1.650	1.500	1.500	1.300	3.000
550	100	185	1.650	1.500	1.450	1.250	3.000
600	115	200	1.650	1.500	1.400	1.225	3.000
650	125	230	1.525	1.370	1.200	1.225	3.000
700	140	260	1.525	1.370	1.200	1.225	3.000
750	155	290	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
800	170	320	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
850	185	350	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
900	200	380	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
950	215	410	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
1.000	230	440	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
1.050	245	470	1.370	1.370	1.200	1.060	2.750
1.100	260	500	1.370	1.200	1.200	1.060	2.750
1.150	275	540	1.370	1.200	1.200	1.060	2.750
1.200	290	600	1.370	1.200	1.200	1.060	2.750
1.250	305	660	1.370	1.200	1.100	1.060	2.750
1.300	320	720	1.300	1.100	1.100	1.000	2.750
1.380	335	800	1.300	1.100	1.100	1.000	2.750

- Número de rodillos: 2 (al inicio y al final de la cinta).
- Distancia entre rodillos: 15m.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Potencia: 0,95 CV.
- Material: acero inoxidable.

3.4.1.3 Lavadora de cepillos.

Lavadora de cepillos: máquina destinada a la eliminación de impurezas y residuos presentes en las naranjas. Se realiza un lavado de forma superficial mediante pulverizadores de agua a presión, mientras que la fruta se desplaza mediante un sistema de rodillos que se sitúan a lo largo de toda la lavadora.

Diseño:

- Longitud: 4 m.
- Ancho: 0,5 m.
- 3 aspersores por línea.
- 10 línea de aspersores.
- Caudal de agua (para 5555,56 kg/h): 166,67 l/h.
- Cuenta con dos barandillas cilíndricas, de diámetro 4,5 cm, (una a cada lado de la cinta). Se colocan paralelas a la cinta, de manera que su eje esté a 3 cm sobre esta.
- Distribución simétrica de los aspersores y líneas.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable.

3.4.1.4 Mesa de selección.

Mesa de selección: se trata de un transportador de rodillos, que permite a los operarios la visualización de la fruta para el descarte de la que se encuentre en mal estado.

Diseño:

- Longitud: 4m.
- Ancho: 0,8m.
- En los laterales presenta conductos para descartar la fruta rechazada. Estos conductos llevan las naranjas a una cinta transportadora que las transporta a la tolva de desechos.
- Cuenta con dos barandillas cilíndricas, de diámetro 4,5 cm, (una a cada lado de la cinta). Se colocan paralelas a la cinta, de manera que su eje esté a 3 cm sobre ésta.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable

3.4.1.5 Elevador de cangilones.

Elevador de cangilones: equipos diseñados para transporte en vertical, constan de una serie de cestas o cangilones montados sobre cadenas cerradas que engranan en dos parejas de ruedas dentadas: una superior motriz y una inferior local [103].

Diseño:

- Descarga: por gravedad.
- Celdas con pendiente.
- Altura: 4,2 m.
- Dimensión celda:
 - o Longitud: 0,8 m.
 - o Ancho: 0,3 m.
 - o Altura máxima: 0,3m
 - o Separación entre cangilones: 0,3m
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Potencia instalada: 0,25 CV.
- Material: Acero inoxidable.

3.4.1.6 Calibrador

Calibrador: compuesto por cuatro rodillos perforados, cada uno con un tamaño de perforación diferente, ordenados de menor a mayor tamaño de perforación. La fruta se desplazará por el calibrador hasta que caiga por alguno de los rodillos dependiendo de su tamaño. Bajo cada cilindro habrá una cinta transportadora.

Diseño:

- Longitud: 3m.
- Ancho: 1m.
- Diámetro rodillos: 0,5m.
- Cuenta con una barandilla de altura 15 cm.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable.

3.4.2 Zona de elaboración.

3.4.2.1 Extractor

Se contará con un extractor, configurado con diferentes calibrados. Las naranjas quedan divididas en tres grupos en función de su tamaño, las dimensiones de los diferentes grupos se encuentran definidas en la Tabla 6 [106].

Tabla 6: Clasificación por tamaños en el calibrador.

TIPO	TAMAÑO COPA	CALIBRE
Naranjas pequeñas	< 5 cm	2,25"

Naranjas medianas	5 – 8 cm	3"
Naranjas grandes	8 – 11 cm	4"

Cálculo del rendimiento necesario en frutas/min:

$$Q = 5555,56 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ fruta}}{0,2 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 462,96 \frac{\text{fruta}}{\text{min}}$$

Diseño:

- Número de copas: 5
- Capacidad: 500 frutas/min.
- Consumo de agua: 1000 – 1500 l/h dependiendo de los requerimientos de la emulsión agua-aceite.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable.

3.4.2.2 Finisher.

Es un tamiz rotatorio que separa el zumo en dos fases a partir de sus diferentes pesos específicos, (separa los sólidos del líquido).

Diseño:

- Rendimiento: 2000 kg/h.
- Dimensiones: 1800x850x1620 mm.
- Rejillas de acero inoxidable con perforación.
- Número de revoluciones: 550 rpm.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable.

3.4.2.3 Tanques pulmón.

Se tratan de tanques asépticos muy utilizados para el almacenamiento intermedio para productos alimenticios de baja acidez, en condiciones aséptica. El primer tanque almacenará el zumo que sale de la etapa de extracción, el segundo y el tercero almacenarán el zumo de salida de los enfriadores, y servirán para que, en caso de algún imprevisto, la planta siga en funcionamiento. Se diseñan para que la planta tenga un suministro de zumo durante 3 horas.

Cálculos:

Tanque pulmón 1.

$$1790,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1040 \text{ kg}} \cdot 3 \text{ h} = 5,2 \text{ m}^3$$

Tanque pulmón 2.

$$1432,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1040 \text{ kg}} \cdot 3 \text{ h} = 4,15 \text{ m}^3$$

Tanque pulmón 3.

$$397,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1040 \text{ kg}} \cdot 3 \text{ h} = 1,15 \text{ m}^3$$

Diseño:

Tanque pulmón 1:

- Altura: 3 m.
- Diámetro: 1,5 m.
- Volumen: 5,3 m³.

- Visor de vidrio en la pared del tanque.
- Material: acero inoxidable.

Tanque pulmón 2:

- Altura: 2,2 m.
- Diámetro: 1,55 m.
- Volumen: 4,15 m³.
- Visor de vidrio en la pared del tanque.
- Material: acero inoxidable.

Tanque pulmón 3:

- Altura: 1 m.
- Diámetro: 1,25 m.
- Volumen: 1,2 m³.
- Visor de vidrio en la pared del tanque.
- Material: acero inoxidable.

3.4.2.4 Homogeneizadores.

Homogeneizador: Se trata de un tanque vertical cilíndrico que posee una agitación continua por medio de un agitador centrado y de deflectores colocados en las paredes.

Ambos homogeneizadores presentan un tiempo de llenado y de vaciado de 480 s, y un tiempo de residencia de 900 s. Por lo que el tiempo total que dura esta etapa es:

$$T_{\text{ciclo homogeneizador}} = t_{\text{llenado}} + t_{\text{residencia}} + t_{\text{vaciado}} = 450 \text{ s} + 900 \text{ s} + 450 \text{ s} = 1800 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 30 \text{ min}$$

A continuación, se calcula el número de etapas o ciclos que se dan al día:

$$\text{Número de ciclos al día} = \frac{15 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ ciclo}}{30 \text{ min}} = 30 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}$$

Cálculos:

Homogeneizador 1:

$$V = 1432,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1040 \text{ kg}} \cdot 450 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \approx 0,2 \text{ m}^3$$

Homogeneizador 2:

$$V = 397,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1040 \text{ kg}} \cdot 450 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \approx 0,05 \text{ m}^3$$

Diseño:

Homogeneizador 1:

- Altura: 0,8 m.
- Diámetro: 1 m.
- Volumen: 0,63 m³.
- Capacidad: 1690 $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$.
- Trayectoria axial.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.

- Material: acero inoxidable.

Homogeneizador 2:

- Altura: 0,8 m.
- Diámetro: 0,5 m.
- Volumen: $0,16 \text{ m}^3$
- Capacidad: $420 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
- Trayectoria axial.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable.

3.4.2.5 Desaireadores.

Desaireador: equipo encargado de eliminar el oxígeno del zumo, a partir del nitrógeno saliente de la torre de ultracongelación.

Cálculos:

Imponemos los tiempos de residencia de ambas corrientes para los dos desaireadores:

- Tiempo de llenado/vaciado: $t_{\text{llen/vac}} = 7,5 \text{ min}$
- Tiempo de residencia del zumo: $t_{\text{liq}} = 15 \text{ min}$.
- Tiempo de residencia del nitrógeno: $t_{\text{N}_2} = 0,5 \text{ s}$.

El tiempo total del zumo en el desaireador es igual a la suma de los tiempos de llenado, residencia y vaciado:

$$T_{\text{ciclo homogeneizador}} = t_{\text{llenado}} + t_{\text{residencia}} + t_{\text{vaciado}} = 7,5 \text{ min} + 15 \text{ min} + 7,5 \text{ min} = 30 \text{ min}$$

A continuación, se calcula el número de etapas o ciclos que se dan al día:

$$\text{Número de ciclos al día} = \frac{15 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ ciclo}}{30 \text{ min}} = 30 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}$$

Desaireador 1:

$$V = 1432,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{1,04 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 7,5 \text{ min} \approx 0,2 \text{ m}^3$$

$$V = \text{Largo} \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Alto} = l \cdot w \cdot h$$

Para el cálculo de la altura (h) es necesario obtener la velocidad terminal de nitrógeno, vt_{N_2} .

$$T_{\text{N}_2} = \frac{h}{vt_{\text{N}_2}}$$

$$vt_{\text{N}_2} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot D}{C_D \cdot \rho}}$$

Siendo:

- ρ_s : Densidad del zumo $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
- ρ : Densidad del aire a 0°C $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
- D: Diámetro partícula m.
- C_D : Coeficiente de resistencia.

El coeficiente de resistencia depende del número de Reynolds y este depende a su vez de la velocidad terminal, por lo que este problema se resuelve por iteración, o por algún parámetro observable.

En este caso se utilizará la segunda opción, siendo el parámetro observable: $C_D \cdot Re^2$.

$$C_D \cdot Re^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot \rho \cdot D^2}{\mu^2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{9,8 \cdot (1040 - 1,43) \cdot 1,43 \cdot (10^{-3})^2}{1,516 \cdot 10^{-5}} = 1280,08$$

Donde:

- g: Gravedad $\frac{m}{s^2}$.
- μ : Viscosidad aire $\frac{kg}{m \cdot s}$.

A partir de este valor, se obtiene, a partir de tablas:

$$C_D = 2,37$$

$$vt_{N_2} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot D}{C_D \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{9,8 \cdot (1040 - 1,43) \cdot 10^{-3}}{1,43 \cdot 2,37}} = 2 \frac{m}{s}$$

$$h = 0,5 \text{ s} \cdot 2 \frac{m}{s} = 1 \text{ m}$$

$$S = l \cdot w = \frac{V}{h} = \frac{0,2}{1 \text{ m}} = 0,2 \text{ m}^2$$

$$l = 1 \text{ m} \quad w = 0,2 \text{ m}$$

Desaireador 2:

$$V = 397,07 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \frac{1 \text{ l}}{1,04 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 7,5 \text{ min} = 0,05 \text{ m}^3$$

$$V = \text{Largo} \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Alto} = l \cdot w \cdot h$$

La velocidad terminal del nitrógeno es la misma en ambos intercambiadores, por lo que la altura también lo será.

$$S = l \cdot w = \frac{V}{h} = \frac{0,05 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$l = 0,5 \text{ m} \quad w = 0,1 \text{ m}$$

Diseño:

Desaireador 1:

- Largo: 1 m.
- Ancho: 0,2m.
- Alto: 1 m.
- Volumen: $0,5 \text{ m}^3$.
- Material: acero inoxidable

Desaireador 2:

- Largo: 0,5 m.
- Ancho: 0,1 m.
- Alto: 1 m.
- Volumen: $0,135 \text{ m}^3$.
- Material: acero inoxidable

3.4.2.6 Enfriadores.

Enfriadores: se tratan de dos intercambiadores de carcasa y tubos, en que el zumo se enfría hasta una temperatura de 0°C .

Cálculos:

Enfriador 1:

El calor intercambiado en este equipo ya ha sido previamente calculado: $Q=38,7$ kW. A partir de él, se calcula la longitud que debe tener el intercambiador de carcasa y tubo, sabiendo que el diámetro exterior de la carcasa será de 460 mm y los tubos presentaran un diámetro exterior de 19,05 mm [118]:

$$Q=F \cdot A \cdot U \cdot \text{DTLM}$$

Donde:

- F: grado de desviación de la verdadera diferencia de temperatura. Depende de la disposición de los fluidos por los tubos y por la carcasa, para determinar su valor se utilizará un método gráfico (Figura 27) para el cual es necesario el cálculo de los siguientes parámetros dependientes de la temperatura:

$$S = \frac{T_{F2} - T_{F1}}{T_{C1} - T_{F1}} = \frac{0 - (-20)}{25 - (-20)} = 0,44$$

$$R = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{F2} - T_{F1}} = \frac{25 - 0}{0 - (-20)} = 1,25$$

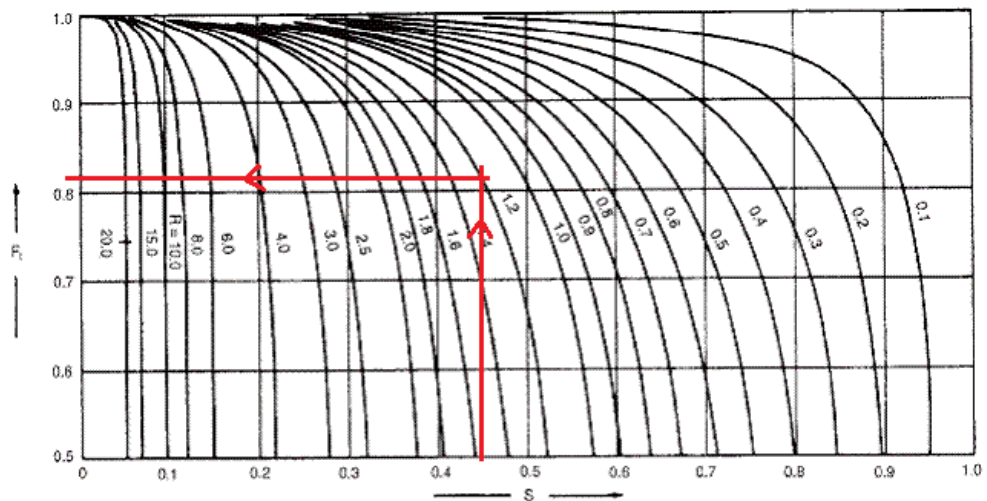


Figura 27: Factor de corrección para intercambiador carcasa y tubo, dos pasos por carcasa, un paso por tubo [118].

A partir de la anterior tabla se obtiene un valor de $F=0,82$.

- A: Área de transferencia de calor, en el caso, al tratarse de un cilindro, viene dada por la fórmula:

$$2 \pi \cdot r \cdot L$$

Siendo:

- o r: el radio exterior de los tubos, m.
- o L: la longitud total del intercambiador, m.
- U: coeficiente de transferencia de calor, por definición es el inverso de la resistencia térmica total. Se estima que este coeficiente (debido al tipo de intercambiador y de fluidos) tiene un valor de $1000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ [118].
- DTLM: Diferencia de temperaturas media logarítmica, $^\circ C$.

$$\text{DTLM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{(25 - 10) - (0 - (-20))}{\ln((25 - 10) / (0 - (-20)))} = 17,38^\circ C$$

Siendo:

- o $\Delta T_{1,2}$: La diferencia de temperatura entre los flujos en ambos extremos del intercambiador.

Por último, se despeja el área de la ecuación de transferencia de calor y se calcula la longitud del intercambiador:

$$A = \frac{Q}{F \cdot U \cdot \text{DTLM}} = \frac{38,7 \text{ kW}}{0,82 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 17,38^\circ\text{C}} = 2,72 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{2 \pi r \cdot Nt} = \frac{2,72 \text{ m}^2}{2 \pi \cdot \frac{0,01905}{2} \text{ m} \cdot 20} = 2,27 \text{ m}$$

Enfriador 2:

Se realizan los mismos cálculos que en el primer intercambiador.

El calor intercambiador en este enfriador es igual a: $Q=29,62 \text{ kW}$.

Este intercambiador presenta la misma geometría transversal que el anterior. Por lo que presentan el mismo coeficiente de transferencia de calor. Y, al ser las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos iguales, también presentan el mismo DTLM.

$$A = \frac{Q}{F \cdot U \cdot \text{DTLM}} = \frac{10,73 \text{ kW}}{0,82 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 17,38^\circ\text{C}} = 0,75 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{2 \pi r} = \frac{0,75 \text{ m}^2}{2 \pi \cdot \frac{0,01905}{2} \text{ m} \cdot 20} = 0,63 \text{ m}$$

Diseño:

Intercambiador 1:

- Configuración: triangular.
- Número de tubos: 20.
- Radio carcasa interno: 438 mm.
- Radio carcasa externo: 460 mm.
- Radio tubo interno: 15 mm.
- Radio tubo externo: 19,05 mm.
- Longitud: 2,27 m.
- Material: acero inoxidable.

Intercambiador 2:

- Configuración: triangular.
- Número de tubos: 20.
- Radio carcasa interno: 438 mm.
- Radio carcasa externo: 460 mm.
- Radio tubo interno: 15 mm.
- Radio tubo externo: 19,05 mm.
- Longitud: 0,63 m.
- Material: acero inoxidable.

3.4.3 Zona de envasado

3.4.3.1 Envasadora aséptica.

Envasadora: equipo que se ocupa del embotellado y etiquetado de las botellas:

Diseño:

- Capacidad: 2000 envases/h.
- Suministro de aire comprimido: 4-6 bar.

- Potencia: 24 kW.
- Dimensiones: 6000 x 1600 x 400 mm.
- Accionamiento: motor-reductor: 50 Hz, 220/380 V, Trifásica.
- Material: acero inoxidable.

3.4.4 Zona de ultracongelación.

3.4.4.1 Túnel de ultracongelación.

Túnel de ultracongelación o criogénico: equipo dotado de una cinta transportadora la cual se encarga conducir las botellas de zumo ya frías (0°C) a su interior donde son rociadas con nitrógeno líquido procedentes de los pulverizadores colocados en el techo del túnel.

El túnel opera como un intercambiador de calor. Es donde se produce la congelación del zumo. Se divide en tres tramos diferentes, en el primero el zumo se enfría hasta su temperatura de fusión, en el segundo se produce el cambio de fase del zumo y en el último se enfría hasta una -18°C. A continuación, se diseña cada tramo por separado.

Para el cálculo de las dimensiones del túnel, se calcula el tiempo necesario que el zumo debe de permanecer en cada tramo. Para ello, en el primer y el último tramo se utilizará la ecuación de transferencia de calor sin cambio de fase:

$$M \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} = U \cdot A \cdot (T_1 - T)$$

Siendo:

- M: masa de una botella, kg.

$$M = 1 \text{ L} \cdot \frac{1,04 \text{ kg}}{\text{l}} + 0,034 \text{ kg} = 1,074 \text{ kg}$$

- Cp: calor específico del zumo, $3,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.
- dT: diferencial de temperatura, °C.
- dt: diferencial del tiempo, s.
- U: coeficiente de transferencia de calor, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$.

En un túnel de ultracongelación es difícil descomponer cuantitativamente las diferentes resistencias de transferencia de calor durante la congelación. Esto se debe a la complejidad de las interfaces entre el producto y el envase, el espacio entre el envase primario y el secundario, así como las resistencias térmicas de contacto [104].

Debido a que el coeficiente de transferencia de calor por convección externa es dominante frente a los otros, se puede considerar que:

$$U \approx h_o = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

- A: área de transferencia de calor:
 $A = 2 \pi \cdot (r \cdot h + r^2) = 2 \pi \cdot (0,085/2 \cdot 0,228 + (0,085/2)^2) = 0,0722 \text{ m}^2$.
- T₁: Temperatura media del ambiente, la consideramos constante en cada tramo.
- T: Temperatura del zumo.

Tramo I: Pre-enfriamiento.

- Temperatura de entrada: 0°C.
- Temperatura de salida: -0,92°C.

$$\frac{dT}{(T_1 - T)} = \frac{U \cdot A}{M \cdot C_p} dt$$

Se integra la anterior ecuación entre la temperatura de entrada y la salida del tramo, que se trata de la

temperatura de fusión del zumo:

$$-\int_0^{-0,92} \frac{dT}{90 + T} = \int_0^t 1,73 \cdot 10^{-4} dt$$

$$t = 59,39 \text{ s}$$

Tramo III: Enfriamiento.

- Temperatura de entrada: $-0,92^\circ\text{C}$.
- Temperatura de salida: -18°C .

Al igual que en el tramo anterior, se integra entre la temperatura de entrada y la salida del tramo:

$$-\int_{-0,92}^{-18} \frac{dT}{150 + T} = \int_0^t 1,73 \cdot 10^{-4} dt$$

$$t = 703,36 \text{ s} = 11,72 \text{ min}$$

Para el cálculo del tiempo que tarda el cambio de fase, se utilizara la ecuación Plank-Ende [88, 89]:

Tramo II: Cambio de fase.

$$T = \frac{\lambda \rho}{T_F - T_M} \cdot \left[P \cdot L \cdot \left(\frac{1}{h} + \frac{x}{k'} \right) + \frac{R \cdot L^2}{k} \right]$$

Siendo:

- λ : Calor latente de fusión, kJ/kg.
- ρ : Densidad del producto congelado, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
- T_F : Temperatura del medio, $^\circ\text{C}$.
- T_M : Temperatura de congelación, $^\circ\text{C}$.
- P y R: Constantes de la ecuación de Plank, en función de su forma, en este caso se considera forma de cilindro infinito.
- L: Diámetro de las botellas, m.
- h: Coeficiente convectivo de transferencia de calor, $\frac{\text{W}}{^\circ\text{C m}^2}$.
- x: Espesor del plástico, m.
- k': Conductividad del plástico, $\frac{\text{W}}{^\circ\text{C K}}$
- k: Conductividad térmica del producto congelado, $\frac{\text{W}}{^\circ\text{C K}}$.

El modelo propuesto por Plank, presenta las siguientes asunciones:

- El alimento se encuentra inicialmente en su punto de congelación, pero no está congelado.
- Las propiedades térmicas y físicas como la conductividad térmica y el calor específico son constantes en estado no congelado y varían a otro valor constante.
- La densidad del alimento no cambia.
- Existe constante remoción de calor latente a temperatura constante y única.
- La transferencia de calor por conducción ocurre lentamente y ocurre en condiciones pseudo-estables.
- La Temperatura de congelación constante.

$$T = \frac{291,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 1088 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{-150^\circ\text{C} - 196^\circ\text{C}} \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{1}{10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} + \frac{10^{-3} \text{m}}{0,24 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \right) + \frac{1}{16} \cdot (0,1\text{m})^2 \right] = 8\text{s}.$$

Sabiendo que la cinta transportadora desplazada las botellas en filas de seis, se puede calcular la longitud del

túnel para el caudal determinado.

$$Q = 1829,65 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \frac{1 \text{ envase}}{1,074 \text{ kg}} = 1893 \frac{\text{envases}}{\text{h}}$$

$$L = 1893 \frac{\text{envases}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ fila}}{6 \text{ envases}} \cdot \frac{0,1 \text{ m}}{1 \text{ fila}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot (59,39 + 8 + 703,36) \text{ s} = 6,75 \text{ m.}$$

Diseño:

- Longitud: 6,75 m.
- Ancho: 0,6 m.
- Material: acero inoxidable.

3.4.5 Zona de recuperación del aceite esencial.

3.4.5.1 Tamiz emulsión de aceite-agua.

Se trata de un tamiz giratorio que separa de manera continua los sólidos que están en suspensión en el líquido.

Diseño:

- Diámetro del cilindro: 270 mm.
- Longitud del cilindro: 250 mm.
- Potencia del motor: 0,25 kW.
- Ancho total: 520 mm.
- Fondo total: 670mm.
- Altura total: 470mm.
- Material: acero inoxidable.

3.4.5.2 Centrifuga emulsión de pila de discos 1.

Separan de manera permanente las dos fases líquidas (agua-aceite) de densidades diferentes y una fase sólida (sedimentos restantes) [94].

Diseño:

- Capacidad: 700-2000 l/h.
- Potencia: 4 kW.
- Dimensiones: 810 x 850 x 1350 mm.
- Material: acero inoxidable.

3.4.5.3 Centrifuga emulsión de pila de discos 2.

Mismo funcionamiento que la anterior. [95]

Diseño:

- Capacidad: 55-90 l/h.
- Potencia: 2 kW.
- Dimensiones: 425 x 425 x 600 mm.
- Material: acero inoxidable.

4 PRESUPUESTO

El presupuesto se elabora en base a las siguientes presuposiciones:

- Se han realizado el presupuesto de los equipos de la planta (Tabla 8) a partir de datos recogidos de la bibliografía.
- El coste de las materias primas y el coste de construcción/terreno no se han incluido al tratarse de una parte de una fábrica ya construida y con su propio huerto de naranjas.
- Se utiliza el método Chilton, que pondera el valor de los costes de la instalación con una serie de factores a partir del coste total de los equipos (Tabla 9) [119].
- Está expresado en euros.

4.1 Método Chilton.

Se ha utilizado este método debido a su simplicidad, su reducido error (10-15%) y que es más completo que otros métodos, como el método de Lang o el método Hand.

El método de Chilton es una forma de calcular el coste de un sistema completo a partir del coste de los equipos principales del proceso mediante una serie de factores. Los factores de Chilton provienen del estudio de numerosos procesos existentes, los principales se muestran en la Tabla 7 [119]:

Tabla 7: Factores Método Chilton [119].

FACTORES MÉTODO CHILTON	
Concepto	Factor
Costes Directos	
Equipos	$1 \cdot C_{equipo}$
Instrumentación	$0,1 \cdot C_{equipo}$
Transporte	$0,05 \cdot C_{equipo}$
Costes Directos de la instalación	
Cimentación	$0,12 \cdot C_{directos}$
Obra civil	$0,04 \cdot C_{directos}$
Pintura	$0,01 \cdot C_{directos}$
Electricidad	$0,01 \cdot C_{directos}$
Tuberías	$0,3 \cdot C_{directos}$
Costes Indirectos de la instalación	
Ingeniería	$0,1 \cdot C_{directos}$
Gastos de Construcción	$0,1 \cdot C_{directos}$
Honorarios del contratista	$0,1 \cdot C_{directos}$
Puesta en marcha	$0,01 \cdot C_{directos}$
Pruebas de funcionamiento	$0,01 \cdot C_{directos}$
Contingencia	$0,3 \cdot C_{directos}$
Imprevistos	$0,1 \cdot C_{directos}$

4.2 Coste Total de la Planta

Tabla 8: Costes de los equipos. Fuente: Elaboración Propia.

EQUIPOS		
Acumulador de frutas	1 ud	44.250 €
Cinta transportadora	1 ud	7.500 €
Lavadora de cepillos	1 ud	12.000 €
Mesa de selección	1 ud	8.000 €
Elevador de cangilones	1 ud	22.250 €
Calibradora	1 ud	2.500 €
Extractor	1 ud	100.000 €
Finisher (3)	1 ud	25.000 €
Homogeneizador 1	1 ud	3.250 €
Homogeneizador 2	1 ud	3.000 €
Desaireador 1	1 ud	70.500 €
Desaireador 2	1 ud	25.000 €
Enfriador 1	1 ud	5.000 €
Enfriador 2	1 ud	2.000 €
Envasadora aséptica	1 ud	55.000 €
Túnel de ultracongelación	1 ud	50.000 €
Tamiz emulsión de aceite-agua	1 ud	3.000 €
Centrífuga emulsión de pila de discos 1	1 ud	25.000 €
Centrífuga emulsión de pila de discos 2	1 ud	15.000 €
Bomba centrífuga	1 ud	800 €
Bomba de desplazamiento positivo	10 ud	20.000 €
TOTAL		499.050 €

Tabla 9: Coste Total de la Planta. Fuente: Elaboración Propia.

COSTES DIRECTOS		
Coste equipos principales	$1 \cdot C_{equipo}$	499.050 €
Instrumentación	$0,1 \cdot C_{equipo}$	49.905 €
Transporte	$0,05 \cdot C_{equipo}$	24.952,5 €
Total Costes Directos		573.907,5 €
COSTES DIRECTOS INSTALACIÓN		
Electricidad	$0,01 \cdot C_{directos}$	5.739,075 €
Tuberías	$0,3 \cdot C_{directos}$	172.172,25 €
Total costes directos instalación		177.911,325 €
COSTES INDIRECTOS		
Ingeniería	$0,1 \cdot C_{directos}$	57.390,75 €
Honorarios del contratista	$0,1 \cdot C_{directos}$	57.390,75 €
Contingencia	$0,03 \cdot C_{directos}$	17.217,225 €
Puesta en marcha	$0,01 \cdot C_{directos}$	5739,075 €
Prueba de funcionamiento	$0,01 \cdot C_{directos}$	5739,075 €
Imprevistos	$0,1 \cdot C_{directos}$	57.390,75 €
Total costes indirectos		200.867,625 €
TOTAL		952.686,45 €

REFERENCIAS

- [1] Muñoz, J., Alfaro, M. D., y Zapata, I. (2007). Avances en la formulación de emulsiones. *Grasas y aceites (Universidad de Sevilla)*, 58(1), 64-73.
- [2] Cerón-Salazar, I., y Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y ciencia (Universidad EAFIT)*, 7(13), 65-86.
- [3] Jablonski, A., de Moraes-Crizel, T., de Oliveira-Rios, A., Rech, R., y Flôres, S. H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT-Food Science and Technology (Federal University of Rio Grande do Su)*, 53(1), 9-14.
- [4] Lull-Maria, L., *Estabilización de emulsiones de aceite en agua con subproductos de naranja*. [Trabajo de fin de máster universitario de ciencia y tecnología química, Universidad de las Illes Balears].
- [5] Costa, C., Medronho, B., Filipe, A., Mira, I., Lindman, B., Edlund, H., y Norgren, M. (2019). Emulsion formation and stabilization by biomolecules: The leading role of cellulose. *Polymers*, 11(10), 1570.
- [6] Rueda, X. Y., Mancilla, L. L., y Parada, D. P. (2007). Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia). *Bistua: Revista de la facultad de Ciencias Básicas (Universidad de Pamplona)*, 5(1), 3-8.
- [7] M., Guerra-Hernández, E. J., del Carmen Razola-Díaz, García-Villanova, B., y Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry (Universidad de Granada)*, 354, 129575.
- [8] Juárez, J. R., Castro, A. J., Jaúregui, J. F., Lizano, J. V., Carhuapoma, M., Choquesillo, F. F., Félix, L. M., Cotillo, P. A., López, J. P., Jaramillo, M. R., Córdova, A. I., Ruíz, J. R., y Ramos, N. J. (2010). Composición química, actividad antibacteriana del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. (naranja dulce) y formulación de una forma farmacéutica. *Ciencia e investigación (Universidad Nacional Mayor de San Marcos)*, 13(1), 9-13.
- [9] Morales-Ramírez, M. E. (2017). *Optimización del proceso de recuperación de aceites centrifugados de limón, en la etapa de centrifugación*. Instituto Tecnológico de Colima.
- [10] Lenntech. (2022). *Centrifugación y Centrifugas*.
<https://www.lenntech.es/biblioteca/centrifugation.htm>
- [11] Martínez, P. N. (2013). *Evaluación de parámetros de calidad y seguridad en zumos de mandarina* [Tesis doctoral, Universidad Católica San Antonio de Murcia].
- [12] Cortés, M., Chiralt, A., y Puente, L. (2005). Alimentos funcionales: una historia con mucho presente y futuro. *Revista de la facultad de química farmacéutica (Universidad de Antioquia, Medellín)*

- Colombia), 12(1), 5-14.
- [13] Oregon state University. (2019). *Vitamina C*.
<https://ipi.oregonstate.edu/es/mic/vitaminas/vitamina-C>
- [14] Mollinedo-Patzi, M. A., y Carrillo-Larico, K. J. (2014). Absorción, excreción y metabolismo de las vitaminas hidrosolubles. *Revista de Actualización Clínica (UMSA)*, 41(1), 2146-2150.
- [15] Gladys, B. C., y Grover, C. P. (2013). Electrolitos. *Revista de Actualización Clínica (UMSA)*, 39(1), 2017-2022.
- [16] Baca-Ibáñez S. Y., Ríos-Paico, P. E., y Rojas-Naccha, J. C. (2015). Importancia del magnesio en la dieta humana. *Agroindustrial Science (Universidad Nacional de Trujillo)*, 5(2), 177-189.
- [17] Vásquez, S. T. Q., & Garzón, M. A. B. (2018). La ultracongelación como método de preservación y conservación de la granadilla (*Passiflora ligularis juss*). *Revista Tecnología y Productividad*, 4(4), 195-204.
- [18] Martínez, P. N. (2013). *Evaluación de parámetros de calidad y seguridad en zumos de mandarina* [Tesis doctoral, Universidad Católica San Antonio de Murcia].
- [19] Fernández-Carrillo, J. (2018). *Obtención de marcadores moleculares para la identificación de variedades de naranjas navel*. [Trabajo de fin de grado en biotecnología, Universidad de Valencia].
- [20] Ortiz, J. M., Tadeo, J. L., y Estelles, A. (1987). Características fisicoquímicas de " Navelina", " Washington Navel" y " Navelate" y su evolución durante la maduración. *Fruits (IVIA)*, 42(7-8), 435-441.
- [21] Grupo Naturesa. (2020). *Variedades de Cítricos*.
<http://www.gruponaturesa.com/naturesa-citricos/grupo-naturesa/variedades-de-citricos/>
- [22] Porras Castillo, I., Conesa Martínez, A., Martínez-Nicolás, J. J., Jara Rodríguez, F. J., Manera Bassa, F. J., Medina, A., y Brotons Martínez, J. M. (2014). Estudio preliminar de diversas variedades de naranjas sanguinas. II: Color interno. *Levante Agrícola*, (421), 89-95.
- [23] Infoagro. (2010). *Variedades de cítricos de interés para la industria de zumo*.
https://www.infoagro.com/documentos/variedades_citricos_interes_industria_zumo.asp
- [24] Zaragoza-Adriaenssens, S. (1999). Variedades de mandarinas y naranjas cultivadas en España. *Simposio Internacional de Fruticultura (IVIA)*, 47-85.
- [25] Laguna, R. (2022, 23 de abril). La UE importará cítricos con plagas para transformarlos en zumo en los Países Bajos. *Valencia Plaza*.
- [26] Infojardín. (2020). *Cultivo del naranjo - Cultivo de naranjos. Citrus sinensis*.
<https://articulos.infojardin.com/Frutales/fichas/naranjoscultivonaranjo.htm#:~:text=Clima%20y%2>

[Osuelo%20para%20el%20cultivo%20del%20naranja%3A.%C2%BAC%20bajo%20cero%20sufr e%20bastante](#)

- [27] Ministerio de Agricultura y Pesca. Material vegetal. (2006). *Naranja*.
<https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=12>
- [28] Bastida Albaladejo, F. J. (2011). *Zumolit, S.A: modelo ABC. Aplicación de técnicas de reducción de costes*. [Caso práctico, Universidad de Murcia].
- [29] Televisión española. (2019, 24 de abril). *Elaboración industrial de jugo de naranja*. [Video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=jHZLAL1tcY&list=LL&index=4&t=1s>
- [30] Alonso, C., Álvarez, I., Bjorkroth, J., y Cápita, R. (2009). *Nuevas tecnologías en la conservación y transformación de los alimentos*. International Marketing and Communication, S.A.
- [31] Aucayauri Meza, E. N. (2011). *Estudio de la Cinética de Degradación térmica del ácido ascórbico durante la pasteurización del zumo de naranja valencia (Citrus sinensis)*. [Trabajo de fin de grado para optar el título profesional de: ingeniera en ciencias agrarias, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- [32] Tecnosoluciones. (2020, 28 de julio). *Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de pasteurización*.
<https://tecnosolucionescr.net/blog/226-ventajas-y-desventajas-de-los-diferentes-tipos-de-pasteurizacion>
- [33] Pássaro Carvalho, C. P., y Londoño Londoño, J. A. (2012). *Industrialización de cítricos y valor agregado*. Editorial Lasallista.
- [34] Gimferrer Morató, N. (2009, 11 de mayo). Ultracongelación de alimentos. *Consumer*.
<https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ultracongelacion-de-alimentos.html>
- [35] Universidad de Sevilla. (2018, 7 de agosto). *La ultracongelación de los zumos de naranja puede aumentar la absorción de compuestos beneficiosos para la salud*.
<https://www.us.es/actualidad-de-la-us/la-ultracongelacion-de-los-zumos-de-naranja-puede-aumentar-la-absorcion-de>
- [36] Quintero Vásquez, S. T., y Bonilla Garzón, M. A. (2018). La ultra congelación como método de preservación y conservación de la granadilla (*Passiflora ligularis juss*). *Revista Tecnología y Productividad*, 4(4), 195-204.
- [37] Codex STAN 247-2005. (2005). Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas.
- [38] Gómez Cruz, M. A., y Schwentesius Rindermann, R. (1997). *La agroindustria de naranja en México*. Ciestaam.
- [39] Illanes Esparza, J. F. (2004). *Envases flexibles plásticos: Uso y aplicación en la industria alimentaría* [Tesis doctoral, Universidad austral de Chile].

- [40] Comisión Europea. (2015). *Materiales en Contacto con Alimentos*. Salud y seguridad alimentaria.
- [41] Naranjas Don Gusto. (2022). Anatomía de una naranja: las partes principales de este cítrico.
<https://naranjasdongusto.com/anatomia-de-una-naranja-las-partes-principales-de-este-citrico/>
- [42] La Vanguardia. (2018, 17 de junio). *Planta de Don Simón en Huelva*. [Video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=fDgHLiMiDN8>
- [43] Real Decreto 1518/2007, de 16 de noviembre, por el que se establecen parámetros mínimos de calidad en zumos de frutas y los métodos de análisis aplicables. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* «BOE» núm. 294, de 8 de diciembre de 2007.
- [44] Johnson, T. (2001). La producción de zumo de cítricos y la aplicación de tecnología al mercado de productos frescos. *FMC FoodTech, Citrus Systems*, 79-86.
- [45] Bucher Exzel. (2022). *Extractor de jugo cítrico Exzel*.
<https://www.bucherexzel.com/productos.php>
- [46] Pérez Alaya, M. (2005). *Línea de elaboración de zumo de naranja pasteurizado y refrigerado de 6.000 L/h en Lorquí (Murcia)*. [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena].
- [47] Hielscher Ultrasonics. (2022). *Homogeneización de jugos y batidos con ultrasonidos de potencia*.
<https://www.hielscher.com/es/juice-and-smoothie-homogenization-using-power-ultrasonics.htm>
- [48] Intranox. (2022). *Tanques de mezcla*.
<https://www.intranox.com/tanques-de-almacenamiento/tanques-de-mezcla>
- [49] Meléndez Martínez, A. J. (2005). *Estudio de los carotenoides y del color de zumo de naranja*. [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla].
- [50] Barrera Ayear, R. A., Lazos Ramos, F. H., y Pérez Ramos, J. L. (2013). *Diseño y automatización de máquina auxiliar formadora de cajas Wrap Around en presentación de 12 briks (cajas de 1 litro), en el área de empaçado*. [Reporte técnico de residencia profesional, Universidad pública en Tuxtla Gutiérrez].
- [51] Gémina. (2022). *Finisher o despulpadora*.
<https://www.geminacomponentes.com/es/product/645/finisher-o-despulpadora>
- [52] Interempresas. (2020, 18 de junio). *Nuevas cosechadoras para la recolección de cítricos*.
<https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/307028-Nuevas-cosechadoras-para-la-recoleccion-de-citricos.html>
- [53] Sienz. (2018). *Acumulador de frutas*.
<https://sienz.com/wp-content/uploads/2018/02/Acumulador-de-fruta.pdf>

- [54] Sienz. (2018). *Transportador de frutas*.
<https://www.sienz.com/wp-content/uploads/2018/02/Sienz-Transportadores-ESP.pdf>
- [55] Talleres y maquinarias Ramos. (2022). *Maquinaria frutas - cítricos - maquina cintas transportadoras*.
<http://www.talleres-ramos.com/productos.php?CAT=1&SUB=10&PRO=107cint>
- [56] Sienz. (2018). *Mesa de selección*.
<https://sienz.com/wp-content/uploads/2018/02/Sienz-Mesas-de-seleccion-ESP.pdf>
- [57] Sienz. (2018). *Máquina de cepillos lavadora*.
<https://sienz.com/wp-content/uploads/2018/02/Maquina-de-cepillos-lavadora.pdf>
- [58] Alibaba. (2022). *Máquina clasificadora de tamaño, máquina separadora de limón*.
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/Lemon-Sorter-Machine-Size-Sorting-Machine-62098411618.html>
- [59] Direct Industry. (2022). *Extractor de zumos de cítricos 291B/391B*.
<https://www.directindustry.es/prod/jbt-corporation/product-236433-2388604.html>
- [60] Técnico agrícola. (2011, 23 de septiembre). *Obtención de zumos cítricos de alta calidad 3*.
<https://www.tecnicoagricola.es/obtencion-de-zumos-citricos-de-alta-calidad-3/>
- [61] Díaz Aranda, L., Díaz Aranda, L., y Díaz-Aranda, V. Implementación de un sistema de extracción de aceite esencial con tecnología JBT. *Revista interdisciplinaria de ingeniería sustentable y desarrollo social (Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache)*, 7(1), 86-100.
- [62] Gedar-Tratamiento de aguas. (2022). *Tamiz Rotativo*.
<https://www.gedar.com/residuales/desbaste/tamizrotativo.htm#:~:text=El%20tamiz%20rotativo%20es%20una.a%20su%20dise%C3%B1o%20de%20construcci%C3%B3n.>
- [63] Direct Industry. (2022). *Colector de niebla de aceite Lina 500*.
<https://www.directindustry.es/prod/3nine/product-37037-1535359.html>
- [64] Centrifugas & decanters. (2012). *Centrifugas de platos*.
<http://www.centrifugesdecanter.com.ar/Centrifdeplato.htm>
- [65] Czech. Brewery system. (2022). *HMHT-1000 Tanque mezclador homogeneizador para 1000 kg de miel*.
<https://eshop.czechminibreweries.com/es/product/hmht-1000/>
- [66] Gémina. (2022). *Tanques asépticos de proceso*.
https://www.gemina.es/files/catalogue/pdf/03_TanquesProceso.pdf
- [67] Rodríguez Alonso, P., Durán Villalobos, A., Ruiz Moreno, E., Valero Gaspar, T., Ávila Torres, J. M., y Varela Moreiras, G. (2018). *Datos actuales sobre el consumo de zumos de frutas en España y sus*

propiedades nutricionales. Fundación Española de la Nutrición (FEN).

- [68] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Material vegetal. (2020). *Informe del consumo en alimentación en España 2020*.
https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/informe-anual-consumo-2020-v2-nov2021-baja-res_tcm30-562704.pdf
- [69] Zumos y Gazpachos de España. (2018). *Datos de mercado de zumos y néctares en Europa*.
<https://www.zumosygazpachos.com/sector/cifras/>
- [70] Zumos y Gazpachos de España. (2019). *Informe del sector 2019*.
https://www.zumosygazpachos.com/informe/actualidad/informe-del-sector-2019_10995_229_26313_0_1_in.html
- [71] Davila Chicaiza, A. L. (2014). *Elaboración de chicha de jora y establecer un tipo de envase para promover su consumo en restaurantes de la ciudad de Riobamba 2012* [Trabajo de fin de grado previo a la obtención del título de licenciada en gestión gastronómica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- [72] Cáceres, L., Guevara, P., Ortega, E., Castillo, Y., Morales, J., Cañizales, M., y Valdés, A. (2021). Envases: Tetra pak. *Semilla científica: Revista de investigación formativa (Facultad de ciencias náuticas)*, 109-118.
- [73] Aimplas. (2019, 15 de marzo). *Clasificación e identificación de materiales plásticos*.
<https://www.aimplas.es/blog/clasificacion-e-identificacion-de-materiales-plasticos/#:~:text=En%20funci%C3%B3n%20de%20sus%20caracter%C3%ADsticas,en%20termopl%C3%A1sticos%2C%20termoestables%20y%20elast%C3%B3meros>
- [74] Hachi Quintana, J. G., y Rodríguez Mejía, J. D. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil*. [Tesis previa a la obtención del título de ingeniero industrial, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador].
- [75] Pita López, M. (2019). *Diseño, cálculo y presupuesto de línea para la elaboración de zumo de arándano de alta calidad, con capacidad de 500.000 l/año en Castropol (Asturias)*. [Trabajo de fin de grado previo a la obtención del título del grado en ingeniería alimentaria, Universidad Politécnica de Madrid].
- [76] European fruit juice association. (2019). *Market report 2019*.
https://www.aijn2019report.com/aijn2019report/country_profiles
- [77] Paisaje limpio. (2022). *Cartón para bebidas*.
<https://paisajelimpio.com/por-que-reciclar/carton-para-bebidas/>
- [78] The Food Tech. (2009). *Tecnologías para envasado de líquidos en cartón*.
<https://thefoodtech.com/diseño-e-innovación-para-empaque/tecnologías-para-ensado-de-liquidos-en-carton/>

- [79] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Material vegetal. (2022). *Información Subsectorial*.
https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/Informacion_subsectorial.aspx
- [80] Tortosa Martínez, S. (2020). *Caracterización y evaluación de la calidad de las aguas de vertido de lavadoras industriales de fruta en centrales cítricas del arco mediterráneo español*. [Trabajo de fin de grado previo a la obtención del título del grado en ciencias ambientales, Universitat Politècnica de València].
- [81] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Material vegetal. (2022). *Sistemas de filtrado*.
<https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/filtrado.aspx>
- [82] Naranjas Ribera del Júcar. (2013). *Composición de la naranja*.
<https://www.naranjasriberadeljucar.com/blog/composicion-de-la-naranja/>
- [83] Porcar Muñoz, M. (2016). *Estudios de vida útil de zumos de fruta envasados*. [Trabajo de fin de grado previo a la obtención del título del grado en ingeniería agroalimentaria y del medio rural, Universitat Politècnica de València].
- [84] Barboza Vergara, M. E., y Ordosgoitia Arrieta, J. A. (1995). *Diseño y construcción de un túnel de congelación para pescado a escala de laboratorio*. [Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniero mecánico, Universidad Politécnica de Cartagena]
- [85] Cruz, J. (2006). Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector matadero y transformados de pollo y gallina. *Eurocarne: La revista internacional del sector cárnico*, (147), 19-36.
- [86] Florida Reynaga, J. L. (2021). *Diseño de un sistema de refrigeración para túnel de congelamiento continuo de 500 Kg/h de tallo de Concha de Abanico*. [Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de ingeniero pesquero, Universidad nacional Agraria La Molina]
- [87] León, J. V. (2010). *Diseño y evaluación de una planta de congelación de alimentos*. [Proyecto para optar al título de ingeniero civil químico, Universidad católica de Valparaíso].
- [88] Herrera Garay, C. P. (2016). Evaluación de la cinética de congelación de zumo de mango a diferentes concentraciones de las variedades chato de Ica y Haden. [Para optar el título profesional de: ingeniero en industrias alimentarias, Universidad nacional del centro del Perú]
- [89] Gómez-Sánchez, A. I., Cerón-Carrillo, T. G., Rodríguez-Martínez, V., y Vázquez-Aguilar, M. M. (2007). Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos (Universidad de las Américas-Puebla)*, 1, 80-96.
- [90] Teach Food Engineering. (2013). *Congelación*.
<https://sites.google.com/site/jmvidaurruiz/congelacion>
- [91] Berlin Packing. (2022). *Ana Pet 1000 ml boca 38 mm (48 grs.)*.
https://www.berlinpackaging.eu/es/94/botellas-de-plastico-pet/515/ana-pet-1000-ml-boca-38-mm-48-grs?utm_medium=cpc&utm_source=Google-Ads&utm_campaign=17236229443&utm_term=&gclid=Cj0KCQjwj7CZBhDHARIsAPPWv3eI

- [N-
ioRXRAKWYQ9ejXBQsJvBWZf1X1FplM3Ox70q9mRl8mefFhq4MaA& adin=01790839064](https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf)
- [92] GEDAR. Gestión de Aguas y Residuos. (2012). *Tamiz rotativo*.
<https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf>
- [93] Macfuge. (2012). *Macfuge 710*
<https://www.macfuge.com/es/productos-separadores-centrifugos/centrifugas-de-descarga-automatica/macfuge-710>
- [94] Alibaba. (2022). *Separador de aceite y agua de alta calidad, centrífuga de aceite esencial, separador centrífugo industrial*.
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/High-quality-oil-water-separator-centrifuge-1600480002605.html>
- [95] Made-in-China. Connecting Buyers with Chinese Suppliers. (2022). *La pila de discos continua separador centrífugo proporciona Servicio Posventa*.
https://es.made-in-china.com/co_dlreyes/product/Continuous-Disk-Stack-Centrifuge-Separator-After-Sales-Service-Provided_uoysihsgsg.html
- [96] JBT. (2022). *Extractor de cítricos*.
<https://www.jbtc.com/foodtech/es/products-and-solutions/products/juicers-finishers-and-extractors/citrus-juice-extractor/>
- [97] Morentín Guedea, A. G., y Hernández Farías, M. I. (2008). *Control y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales del campamento técnico de CFE*. [Memoria de residencia profesional para obtener el título de: Ingeniero Bioquímico, Instituto Tecnológico de Colima].
- [98] GUASCH. Componentes y electrónica de potencia. *Características del líquido de refrigeración*.
https://www.e-guach.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN090903_c.pdf
- [99] Pereira, C. G., y Resende, J. V. (2020). Behavior of the effective heat transfer coefficient and global thermal resistance in freezing of fruit juice model solutions in cylindrical packages. *Food Science and Technology (Universidad Federal de Lavras)*, 40, 993-999.
- [100] Álvarez, P y Sergio Díaz, S. (2020, 7 de septiembre). El sector sufre las consecuencias de la guerra en Ucrania. *Agroalimentario Informe Sectorial. CaixaBank Research*.
- [101] Cerón Salazar, I., y Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y ciencia*, 7(13), 65-86.
- [102] Carreira, M. (2021, 11 de agosto). *Beneficios y propiedades de la naranja para la salud*. Salud Mapfre.
<https://www.salud.mapfre.es/nutricion/alimentos/naranja-vitaminas-nutrientes/>

- [103] Cañadas Serrano, L. (2021). *Apuntes de la asignatura: Operaciones básicas con sólidos y fluidos*. Universidad de Sevilla.
- [104] Kaiser Kraft. (2022). *EUROKRAFTpro – Silo*.
https://www.kaiserkraft.es/recipientes-de-almacenaje/contenedores-con-trampilla-silos/silo/capacidad-1-m-con-cierre-deslizante-en-la-parte-frontal/p/M1082574/?kk=a4c6293-183dad6ab5c-a3b51&gclid=CjwKCAjwKmaBhBMEiwAyINuWM6k5RorlB0sL0Psptw3E-0Tvjuo9xsD7maZ7M85SohnQmMyWRt2hoCOIUQAvD_BwE&articleNumber=927162&utm_source=kelkoo&utm_medium=cpc&utm_term=927162
- [105] Manutan. (2022). *Cinta transportadora con banda motorizada MIB – Somefi*.
<https://www.manutan.es/es/mas/cinta-transportadora-con-banda-motorizada-mib-somefi>
- [106] Mano mano. (2022). *Pasamanos barandilla baranda de acero inoxidable 50 x Ø4,2 cm pasamanos de pared montaje en pared pasamanos de escalera barandilla escalera*.
https://www.manomano.es/p/pasamanos-de-acero-inoxidable-pasamanos-de-pared-barandilla-de-escalera-barandilla-de-escalera-110cm-15868462?model_id=16222382#description
- [107] Mil anuncios. (2022). *Lavadora de frutas y cítricos*.
<https://www.milanuncios.com/otros-motor/lavadora-de-frutas-y-citricos-315367810.htm>
- [108] Ferplast, materiales y máquinas de embalaje. (2022). *Transportador con rodillos motorizados D50-P85 serie FM*.
<https://www.fer-plast.com/es/productos/manipulacion-y-almacenamiento/rodillos-y-cintas/rodillos-locos/rulliere-standard-motorizzate-detail>
- [109] Mil anuncios. (2022). *Elevador de cangilones 10m y 360mm*
<https://www.milanuncios.com/otros-motor/elevador-de-cangilones-466141161.htm>
- [110] La casa de chef. (2022). *Despulpadora, coladora, deshuesadora para frutas*.
<https://lacasadelchef.net/mermeladas-salsas-y-cremas/despulpadoras-deshuesadoras-coladoras-frutas/despulpadora-coladora-deshuesadora-para-frutas-2000-kg-h-mod-d2000.html>
- [111] Made-in-China. Connecting Buyers with Chinese Suppliers. (2022). *Lianhe máquina mezcladora Batidora con homogeneizador*.
https://es.made-in-china.com/co_gzlhjx/product_Lianhe-Blender-Mixing-Machine-with-Homogenizer_ruihnyrog.html
- [112] Alibaba. (2022). *Deaerator tank Promociones*.
https://spanish.alibaba.com/promotion/promotion_deaerator%20tank-promotion-list.html
- [113] Jimei, maquinaria para la industria alimentaria. (2022). *Máquinas de llenado de envases asépticos de cartón JMB-2000 1000 ml*.
<http://beverages-machine.com/2-1-1-1000ml-carton-aseptic-packaging-machine/176133/>

- [114] IGP Cítricos Valencianos [@CValencianos]. (2021, 16 de abril). *Anatomía de una naranja*. [Tweet]. <https://twitter.com/cvalencianos/status/1382936799664762882?lang=ar-x-fm>
- [115] Higuera, G. (2022, 23 de julio). *Todo sobre la naranja: propiedades, beneficios y calorías*. <https://www.menshealth.com/es/nutricion-dietetica/a40631581/naranja-propiedades-beneficios-calorias/>
- [116] Solís Guzmán, J. (2005). *Línea de Producción de Zumo de Fruta*. [Trabajo de fin de grado, Universidad de Sevilla].
- [117] Barrera Naranjo, V. (2015). *Proceso Industrial de Elaboración de Zumo de Naranja*. [Trabajo de fin de grado, Universidad de Sevilla].
- [118] Sanchidrián Blanco, J.A. (1999). *Transferencia de calor*. Fundación Gómez-Pardo.
- [119] Martínez Galera, S (2013). *Valorización y optimización energética de la glicerina mediante reformado con agua supercrítica. estudio tecno-económico del proceso global. Capítulo 4: Evaluación tecno-económica del proceso de reformado y reformado autotérmico de glicerina con agua supercrítica*. [Trabajo de fin de master, Universidad de Sevilla].

GLOSARIO

- 1- Colágeno: Proteína fibrosa que se encuentra en los cartílagos y otros tejidos conjuntivos.
- 2- Tejido adiposo: Tejido compuesto de unas células llamadas adipocitos donde se almacena la energía en forma de grasa.
- 3-ATP: Adenosín trifosfato o trifosfato de adenosina, es un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular.
- 4- Limonoides: Fitoquímicos abundantes en frutos de cítricos y otras plantas de las familias Rutaceae y Meliaceae.
- 5- Clorofila: Pigmento de color verde que se halla presente en las hojas y tallos de muchos vegetales y que es responsable del proceso de fotosíntesis; se emplea en farmacia y cosmética.
- 6- Agua glicolada: Mezcla de agua con glicol etilénico empleada en equipos de refrigeración para prevenir la formación de hielo en los intercambiadores de los refrigeradores ubicados en los circuitos hidráulicos.
- 7- Características organolépticas: Color, sabor, olor y textura.
- 8- Silo: Los silos son contenedores de distintas formas que pueden tener una capacidad de unos pocos metros cúbicos o de unos centenares, y que pueden ser abiertos o herméticamente cerrados; se utilizan para el almacenamiento o conservación de una extensa gama de productos.
- 9- Tolva: Recipiente en forma de pirámide o cono invertido, con una abertura en su parte inferior, que sirve para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha.

