



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN Y CLARIFICACIÓN DE ZUMO DE GRANADA UTILIZANDO TÉCNICAS DE MEMBRANA (MF/UF). (Q = 300 L/día)

AUTOR: Sergio Borredá Borrell

TUTORA: María Isabel Iborra Clar

COTUTORA Esperanza María García Castelló

Curso Académico: 2019-20



RESUMEN

El zumo de granada no es uno de los productos más consumidos en España, pero estos últimos años se ha observado un aumento del consumo. Este aumento está asociado a las conclusiones obtenidas en distintos estudios que afirman que la granada posee propiedades antioxidantes, otros estudios han determinado que los polifenoles que contiene el zumo de granada podrían prevenir distintas enfermedades cardiovasculares y metabólicas.

El presente trabajo de final de grado recoge el diseño de una planta de producción y clarificación de zumo de granada. En este proyecto, a diferencia de la forma tradicional de producción, se emplean técnicas relacionadas con la tecnología de membranas, como son la microfiltración y la ultrafiltración. La elección de estas técnicas se justifica en que esta tecnología se utiliza frecuentemente en la industria de alimentos, pero la cual se encuentra en fase de crecimiento.

Para la aplicación de estas técnicas se desarrollan distintas experiencias, como son: la obtención del flux de permeado a través de las membranas, obteniendo las condiciones óptimas de operación o el ensuciamiento y la limpieza de las membranas.

Junto con el diseño de la planta, que tiene como objetivo la obtención de 300L/día de zumo, se elabora un presupuesto de la instalación, incluyendo los gastos tanto de los equipos como de los productos necesarios para la limpieza de las membranas y la mano de obra necesaria.

Palabras clave: zumo de granada, ultrafiltración, microfiltración, clarificación.

RESUM

El suc de magrana no és un dels productes més consumits a Espanya, però en els últims anys hi ha hagut un augment del consum. Aquest increment s'associa amb les conclusions obtingudes en diversos estudis que afirmen que la magrana té propietats antioxidants, altres estudis han determinat que els polifenols continguts en el suc de la magrana podrien prevenir diferents malalties cardiovasculars i metabòliques.

Aquest treball de final de grau inclou el disseny d'una planta de producció i clarificació del suc de magrana. Aquest projecte, a diferència de la manera tradicional de producció, utilitza tècniques relacionades amb la tecnologia de membranes, com la microfiltració i l'ultrafiltració. L'elecció d'aquestes tècniques es justifica en el mateix ús d'aquesta tecnologia en la indústria alimentària, però que encara es troba en fase de creixement.

Per a l'aplicació d'aquestes tècniques es desenvolupen diferents experiències, com ara: obtenció del flux d'impregnat a través de les membranes, obtenint les condicions de funcionament òptimes o el embrutar i neteja de les membranes.

Junt amb el disseny de la planta, que té com a objectiu obtenir 300L/dia de suc, es prepara un pressupost de la instal·lació, incloent els costos tant de l'equip com dels productes necessaris per a la neteja de les membranes i la mà d'obra necessària.

Paraules clau: suc de magrana, ultrafiltració, microfiltració, clarificació.

ABSTRACT

Pomegranate juice is not one of the most consumed products in Spain, but in recent years there has been an increase in consumption. This increase is associated with the conclusions obtained in various studies that claim that pomegranate has antioxidant properties, other studies have determined that polyphenols contained in pomegranate juice could prevent different cardiovascular and metabolic diseases.

This end-of-grade work includes the design of a pomegranate juice production and clarification plant. This project, unlike the traditional form of production, uses techniques related to membrane technology, such as microfiltration and ultrafiltration. The choice of these techniques is justified in the very use of this technology in the food industry, but which is in the growth phase.

For the application of these techniques different experiences are developed, such as: obtaining the permeate flux through the membranes, obtaining the optimal operating conditions or the soiling and cleaning of the membranes.

Together with the design of the plant, which aims to obtain 300L/day of juice, a budget of the installation is prepared, including the costs of both the equipment and the products necessary for the cleaning of the membranes and the labor costs.

Keywords: pomegranate juice, ultrafiltration, microfiltration, clarification.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

1. OBJETIVO DEL PROYECTO	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
2.1. Justificación técnica	3
2.2. Justificación académica	3
3. INTRODUCCIÓN.....	5
3.1. La granada y el zumo de granada	5
3.2. Antecedentes	7
3.2.1. Clarificación con enzimas pectolíticas.....	7
3.2.2. Clarificación convencional.....	7
3.3. Operaciones de separación por membranas	9
3.3.1. Fundamentos de las operaciones con membranas.....	9
3.3.2. Procesos con membranas	9
3.3.3. Parámetros característicos y de diseño.....	12
3.3.4. Ensuciamiento de membranas.....	15
3.3.5. Limpieza de membranas.....	17
3.3.6. Selección de los procesos de membranas más adecuado.....	19
4. PROCESO GENERAL DE ELABORACIÓN DEL ZUMO	21
4.1. Procesos de concentración sin membranas	25
4.1.1. Evaporación.....	25
4.1.2. Crioconcentración	29
4.2. Procesos de concentración mediante técnicas de membrana.....	30
5. DISEÑO DE LA PLANTA	33
6. CONCLUSIONES	49
7. BIBLIOGRAFÍA.....	51

ÍNDICE DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN.....	59
2. CUADRO DE PRECIOS DE MATERIALES, EQUIPOS Y MATERIA PRIMA.....	61
2.1. Reactivos	61
2.2. Equipos auxiliares	62
2.3. Materia prima	63
3. CUADRO DE PRECIOS DE LA MAQUINARIA EMPLEADA.....	65
4. CUADRO DE PRECIOS DE LA PLANTA PILOTO DE MEMBRANAS	67
5. CUADRO DE PRECIOS MANO DE OBRA.....	69
6. CUADRO DE PRECIOS COMPONENTES DE REPUESTO	71
7. PRESUPUESTO TOTAL	73

ÍNDICE DOCUMENTO III: PLANOS

1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INSTALACIÓN.....	59
2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INSTALACIÓN SIN PLANTA PILOTO.....	61
3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA PILOTO.....	65

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional de 100 gramos de granada.....	6
Tabla 2. Procesos con membranas y características.....	10
Tabla 3. Características técnicas y composición de los solutos que atraviesan los diferentes sistemas de filtración por membranas	32
Tabla 4. Características del vaciador de cajas continuo... ..	35
Tabla 5. Características de la cinta transportadora	36
Tabla 6. Características de la lavadora de frutas	36
Tabla 7. Características de los cepillos cilíndricos	37
Tabla 8. Características de la máquina de pelado... ..	37
Tabla 9. Características de la cinta transportadora nervada	38
Tabla 10. Características de la prensa de bandas Flottweg... ..	39
Tabla 11. Características del pasteurizador.....	40
Tabla 12. Características de los cartuchos de filtro de membranas de polipropileno plegado... ..	43
Tabla 13. Características técnicas del módulo de membrana tubular T-CUT Core Series 3710.....	45
Tabla 14. Composición general del zumo de granada clarificado y concentrado... ..	46
Tabla 15. Presupuesto reactivos utilizados en el proceso... ..	62
Tabla 16. Presupuesto equipos auxiliares utilizados en el proceso.....	62
Tabla 17. Presupuesto materia prima.....	63
Tabla 18. Presupuesto maquinaria	65
Tabla 19. Presupuesto planta piloto membranas	67
Tabla 20. Presupuesto mano de obra	69
Tabla 21. Presupuesto componentes de repuesto.....	71
Tabla 22. Presupuesto total del proceso de producción.....	73
Tabla 23. Presupuesto total de inversión... ..	73

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Fotografía de: (a) arbusto granado; (b) fruta granada.....	7
Figura 2. Esquema básico del funcionamiento de una membrana.....	10
Figura 3. Operaciones de separación por membranas.....	13
Figura 4. Esquema funcionamiento de una membrana	15
Figura 5. Variación del flujo de permeado en función del ensuciamiento.....	16
Figura 6. Ensuciamiento reversible e irreversible	17
Figura 7. Fenómeno de polarización por concentración y formación capa gel	17
Figura 8. Diagrama de bloques de la elaboración de zumos y concentrados	21
Figura 9. Evaporador de simple efecto.....	25
Figura 10. Evaporador de múltiple efecto.....	26
Figura 11. Termocompresión en un sistema de efecto múltiple	27
Figura 12. Recompresión mecánica del vapor.....	28
Figura 13. Esquema de las fases del proceso de concentración por congelación.....	29
Figura 14. Criocongelación.....	29
Figura 15. Diagrama de Gantt del proceso.....	29
Figura 16. Diagrama de bloques del proceso.....	34
Figura 17. Cartucho de filtro de membrana de polipropileno plegado.....	42
Figura 18. Módulo de membrana tubular T-CUT Core Series 3710.....	44

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

DOCUMENTO I:

MEMORIA TÉCNICA

1. Objetivo del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es diseñar una instalación en la que se lleve a cabo la producción y clarificación de zumo de granada utilizando para ello las técnicas de membranas ultrafiltración y microfiltración. Este proyecto se va a realizar teniendo como meta obtener un caudal de producto de 300 L/día.

Para alcanzar el objetivo principal, se plantean algunos objetivos más específicos, como son:

Recopilar información sobre la utilización de los procesos de membranas de microfiltración y ultrafiltración, para la obtención de zumos clarificados.

Hacer un estudio del proceso de extracción y clarificación del zumo de granada.

Realizar el diseño de una planta piloto para la extracción y clarificación del zumo, seleccionando los distintos componentes y calculando sus dimensiones.

Realizar un presupuesto de la instalación propuesta.

2. Justificación del proyecto

2.1. Justificación técnica

El consumo de la granada está aumentando considerablemente en los últimos años. En España nunca ha sido una de las frutas más comunes en cuanto al consumo diario, no obstante, los resultados obtenidos en distintos estudios que advierten de los grandes beneficios derivados del consumo de esta fruta han provocado un aumento considerable en su consumo.

Entre los beneficios que proporciona el consumo de la granada destacan su potencial efecto preventivo de distintas enfermedades cardiovasculares y metabólicas, debido al elevado contenido en antioxidantes en general y en polifenoles en particular de esta fruta.

Al no ser la granada una de las frutas más consumidas, esto provoca que los zumos de granada sean poco comunes. Por este motivo, se ha decidido realizar este proyecto para ampliar los conocimientos sobre la obtención de zumo de esta fruta y su procesado hasta el envasado para su consumo.

Este trabajo, se enfoca dentro de las recomendaciones de los objetivos de sostenibilidad 2030, más concretamente dentro del Objetivo 3 “Garantizar una vida sana y promover su bienestar de todos a todas las edades”, por tratarse de un producto con elevado contenido en antioxidantes que además presenta unas propiedades nutritivas muy beneficiosas para la salud.

2.2. Justificación académica

Además, este trabajo debe su justificación académica al RD 1393/2007 donde se establece que para la obtención del título de Graduado en Ingeniería Química es requisito indispensable la elaboración y defensa de un Trabajo Final de Grado (TFG).

Durante la realización de este se han reforzado algunas de las competencias adquiridas por el alumno en el grado, algunas de estas competencias son:

- Diseñar procesos en el ámbito de la Ingeniería Química, concretamente en la tecnología específica de Química Industrial.
- Resolver problemas de la Ingeniería Química a partir de métodos y conocimientos adquiridos en la titulación en asignaturas como “Operaciones y procesos unitarios en la industria de alimentos”.
- Transmitir conocimientos, habilidades, destrezas o informes técnicos de forma efectiva en el ámbito de la ingeniería química.
- Diseñar equipos e instalaciones en la industria química.
- Tomar decisiones, razonar de forma crítica y resolver problemas con iniciativa propia.
- Gestionar la información de diversas fuentes, utilizando las herramientas de búsqueda y clasificar los recursos bibliográficos.

3. Introducción

3.1. La granada y el zumo de granada.

La granada es un alimento que presenta unas propiedades nutritivas y antioxidantes muy beneficiosas para la salud y debido a esto su consumo está en aumento.

La granada es la fruta procedente de un árbol pequeño o arbusto, que puede llegar a los 5 metros de altura, llamado granado (*Punica granatum*). Este árbol pertenece a la familia de las Punicáceas, que destacan porque sus frutos presentan semillas prismáticas y rugosas. En cuanto a la granada, se trata de una fruta dulce que crece en climas semiáridos del Mediterráneo. También puede encontrarse en climas tropicales y subtropicales (1).



(a)



(b)

Figura 1: Fotografía de: (a) arbusto granado (2); (b) fruta granada (3)

España es uno de los principales productores de granada a nivel mundial y el mayor productor de Europa, concentrándose la producción principalmente en las regiones de Alicante y Murcia (4).

A principios de 2005 se creó el proyecto GRANATUM EUROPA cuyo objetivo era dar a conocer las propiedades del zumo de granada y el desarrollo tecnológico para desarrollar el primer zumo español de este fruto comercializado en la Unión Europea. Este zumo obtuvo las máximas puntuaciones de contenido en antioxidantes y sabor por consumidores de Estados Unidos, Europa y Asia, siendo elegido para un estudio financiado por la Universidad estatal de Kansas, cuyo objetivo era dar a conocer la calidad y aceptación de los zumos de granada (4).

Generalmente esta fruta se consume cruda, pero se puede consumir también como zumo y mezclarlo con otros zumos de fruta. El mayor inconveniente a la hora de hacer zumo de granada es sacar las semillas sin romperlas, ya que en caso de romperlas puede aparecer un sabor algo amargo.

Aparte de consumirlo como fruta o zumo, hay otras opciones que cada vez se están utilizando más en la industria alimentaria, entre las que destacan las mermeladas o confituras, los jarabes y las jaleas (1).

Una de las características principales de la granada, es su gran poder antioxidante. Se trata de una fruta rica en fitoquímicos, minerales y vitaminas, aunque estas últimas en pequeñas cantidades. La presencia de polifenoles ayuda a reducir el colesterol con lipoproteínas de baja densidad. Contiene pectina, la cual ayuda a la depuración natural del organismo, favoreciendo el tránsito intestinal. Es adecuada para los diabéticos, ya que posee un bajo índice glucémico. Además, es una fruta hipocalórica, por lo que está recomendada en dietas de pérdida de peso.

Tabla 1: Valor nutricional de 100 gramos de granada (1)

Calorías	83 kcal	Azúcares	13,67 g
Proteínas	1,67 g	Calcio	10 mg
Lípidos	1,17 g	Fósforo	36 mg
Hidratos de Carbono	18,7 g	Potasio	236 mg
Fibra	4 g	Vitamina C	10,2 mg

3.2. Antecedentes

El objetivo de las etapas de clarificación en los zumos es la eliminación de sustancias que causan turbidez, así como prevenir la sedimentación de estas durante el almacenamiento o los procesos de concentración.

Para poder llevar a cabo la clarificación de una disolución existen diversos métodos y cada uno de estos se adapta mejor a un tipo de disolución y a unas condiciones de operación determinadas. Algunos de los métodos de clarificación más utilizados en la industria alimentaria son los que se explican a continuación.

3.2.1. Clarificación con enzimas pectinolíticas

Algunos de los factores que definen la calidad de un zumo es su turbidez, los sedimentos que se pueden observar en la parte inferior del recipiente que lo contiene y los sólidos en suspensión. Esto está directamente relacionado con el contenido en pectinas del zumo.

Las pectinas son hidratos de carbono polimérico que existen de manera natural en las frutas y que, entre otras sustancias, les dan su textura y rigidez típica. Sin embargo, en un zumo la presencia de estas moléculas no es deseado y una de las opciones más empleadas para mejorar la calidad del zumo es el tratamiento enzimático con enzimas pectinolíticas de fuentes naturales y no sintéticas. La fuente natural más común para la obtención y extracción industrial de estas enzimas pectinolíticas es el hongo *Aspergillus niger*.

Las pectinasas son un conjunto de enzimas pectinolíticas que hidrolizan las pectinas naturales. Estas enzimas se emplean ampliamente en la industria de alimentos para aumentar la eficiencia de procesos extractivos, estabilización de productos y mejora del sabor; a su vez poseen una considerable aplicación comercial en la desintegración de tejidos de plantas, particularmente en el procesamiento de frutas y vegetales (5).

Al aplicar estas enzimas al zumo, se consigue un zumo de calidad y con buen posicionamiento y aceptación en el mercado (6).

3.2.2. Clarificación convencional

La clarificación convencional es un tratamiento químico que emplea agentes clarificantes directamente al zumo, el cual puede haber sido tratado previamente con enzimas o no. Los agentes clarificantes que se utilizan comúnmente en a la hora de clarificar zumos de frutas son la bentonita, gelatina, polivinilpirrolidona (PVPP) o combinaciones de estos (7).

La utilización de agentes requiere de una optimización de los métodos de preparación de forma que estas sustancias eliminen los compuestos que aportan turbidez, pero no eliminen los compuestos bioactivos que hay en los zumos.

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

La bentonita es efectiva para estabilizar proteínas, sin embargo, parece eliminar polifenoles, siendo esto negativo si se tiene como objetivo conservar las propiedades de la fruta. Este agente elimina fácilmente las proteínas termolábiles, pero no ejerce ninguna acción sobre las termoestables (8).

Además, la bentonita se ve afectada por distintos factores:

- El pH: Cuanto menor sea el pH, más energética será su acción.
- La acción de los taninos: Los taninos tienden a obstaculizar la interacción de la bentonita con las proteínas.

Otros estudios han observado que la bentonita influye sobre los antocianos. En varios estudios afirman que ejerce un efecto negativo sobre la concentración de antocianos, disminuyendo su porcentaje entre 30-80% (9).

3.3. Operaciones de separación por membranas

3.3.1. Fundamentos de las operaciones con membranas

Los procesos con membranas han aumentado su aplicación industrial notablemente desde los últimos 30-40 años. Actualmente reemplazan a operaciones convencionales como son la rectificación, evaporación o absorción. Mayoritariamente, esta tecnología se utiliza para potabilizar agua de mar, tratar efluentes industriales y eliminar toxinas, pero cada vez más se está introduciendo en el ámbito de la industria alimentaria. Algunos de los usos de membranas más frecuentes en la industria alimentaria son:

- Concentración de disoluciones: zumos, aceites o extractos naturales.
- Purificación o clarificación de vinos, cervezas, zumos o desmineralización de aguas.
- Fraccionamiento de proteínas y enzimas.

La tecnología de membranas es un proceso físico que consiste en la separación de 2 corrientes fluidas. Entra una corriente de alimento al módulo de membrana poniéndose en contacto tangencial con la membrana. Ésta ejerce de barrera selectiva como se puede observar en la Figura 2, permitiendo el paso de algunas sustancias, pero rechazando el paso de otras.

De esta forma se obtienen dos corrientes de salida: una de ellas es el permeado, que pasa a través de la membrana, mientras que la otra es el rechazo, que es la fracción del alimento que no ha atravesado la membrana. La selectividad de la membrana varía en función de sus propiedades tanto físicas como químicas (10).

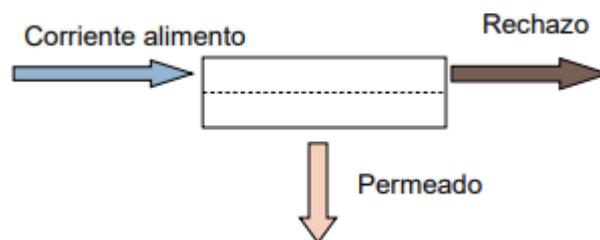


Figura 2: Esquema básico del funcionamiento de una membrana

3.3.2. Procesos con membranas

Los procesos con membranas se clasifican generalmente en función de sus características y del tipo de membrana que utilizan, estos procesos junto con sus características principales se han agrupado en la Tabla 2 a modo resumen. Los procesos de operaciones de separación por membranas más comunes son: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

Cada uno de estos procesos tiene asociado un tipo de membrana con unos tamaños de poro determinados, de forma que dependiendo del tamaño que tengan las partículas que queremos separar se utiliza un proceso u otro.

La **microfiltración (MF)** se utiliza para eliminar partículas de mayor tamaño, ya que es capaz de retener partículas con diámetros superiores a 0,1 μm .

En muchos casos no es necesario aplicarle ninguna presión, ya que pueden trabajar a presión atmosférica, pero se le puede añadir presiones de hasta 3 bar en caso de ser necesario. Este proceso se recomienda cuando se quiera obtener disoluciones libres de partículas de tamaño superior al tamaño de poro, o separar sólidos gruesos del líquido.

Los modelos de transporte en la microfiltración son los mismos que en la ultrafiltración que se comentará a continuación y estos son: modelo capilar, modelo nodular, modelo de resistencias y modelo de capa límite.

Tabla 2: *Procesos con membranas y características*

PROCESO	TAMAÑO DE PORO (μM)	FUERZA IMPULSORA (BAR)	ESTRUCTURA	ESPECIES RETENIDAS
MICROFILTRACION (MF)	>0,1	0,5 - 3	Macroporosa (Simétrica)	Materia en suspensión, bacterias...
ULTRAFILTRACIÓN (UF)	0,1 – 0,01	0,5 - 15	Mesoporosa (Asimétrica)	Macromoléculas, materia coloidal, virus, proteínas...
NANOFILTRACION (NF)	0,01 – 0,001	20 - 40	Microporosa (Mixta)	Moléculas de pequeño tamaño, iones...
ÓSMOSIS INVERSA (OI)	< 0,001	15 - 80	Densa (Mixta)	Salas y soluto de bajo peso molecular

La **ultrafiltración (UF)** permite separar partículas que en caso de aplicarle MF pasarían a través de sus poros al ser más pequeñas que estos.

Las membranas utilizadas en este proceso son capaces de retener macromoléculas y partículas pequeñas entre 0,005 y 0,05 μm y suelen operar a presiones de entre 0,5 y 15 bar de presión. Esta operación se recomienda para concentrar y separar macromoléculas, para filtrar y clarificar

disoluciones sin añadir coagulantes ni floculantes y para desinfectar sin necesidad de utilizar desinfectantes.

La **nanofiltración (NF)** utiliza membranas semiporosas, las cuales son capaces de retener partículas de tamaños entre 0,001 y 0,01 μm y suelen trabajar a presiones de 20 a 40 bar.

Generalmente se utilizan para retener moléculas de muy pequeño tamaño, sales bivalentes, y permiten el paso de iones de pequeño tamaño. Opera con un flujo tangencial, siendo el mecanismo de separación disolución-difusión. Las membranas que se utilizan en la nanofiltración suelen ser poliméricas asimétricas o compuestas con configuración espiral o tubular.

En último lugar se encuentra la **ósmosis inversa (OI)**, la cual se utiliza principalmente para desalar aguas de diferentes salobridades, tratar condensados de evaporadores contaminados, producir agua desionizada y concentrar disoluciones.

No son recomendables para eliminar sólidos o macromoléculas ya que se colmatarían y se volverían inservibles, por tanto, se debe aplicar un pretratamiento a disoluciones que contengan estas partículas, generalmente una ultrafiltración. En este proceso se deben aplicar presiones mayores a la presión osmótica del alimento, y por este motivo, se debe tener en cuenta que las disoluciones que se tratan no deben tener concentraciones elevadas de solutos, ya que esto imposibilitaría la operación.

La ósmosis inversa opera con flujo tangencial y con unas presiones de entre 15 y 60 bar. El tamaño de sus poros es inferior a 0,001 μm y las membranas son de tipo polimérica asimétrica o compuesta y su configuración es espiral o tubular.

En la Figura 3, que se muestra a continuación, se puede observar de manera esquemática y visual lo que se ha comentado anteriormente. Se observa claramente como el tamaño de los poros se va reduciendo, siendo mucho mayor en la microfiltración que en la ósmosis inversa. También se observa cómo disminuye progresivamente el tamaño de las partículas que pasan a través de las membranas en cada proceso, llegando finalmente a pasar sólo el agua en el proceso de ósmosis inversa (10).

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

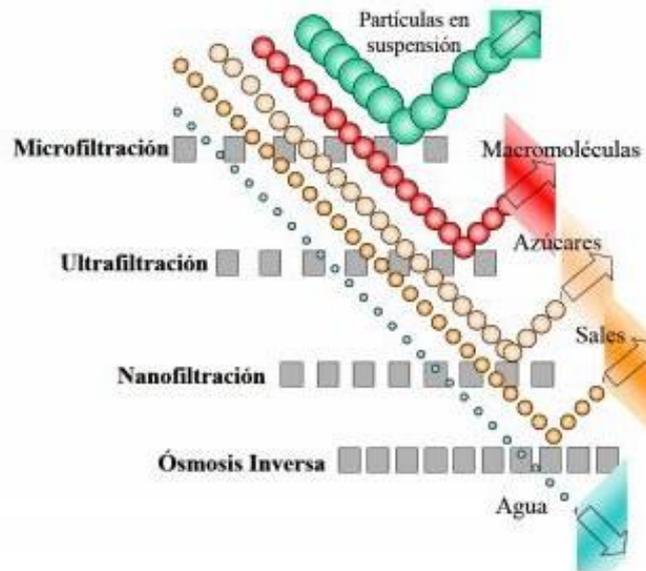


Figura 3: Operaciones de separación por membranas

3.3.3. Parámetros característicos y de diseño

Cuando se trabaja con membranas hay que tener en cuenta distintos parámetros de diseño o parámetros característicos de una membrana que condicionan el funcionamiento de esta. En los parámetros básicos de diseño se encuentran: la densidad de flujo de permeado o flux, el coeficiente de rechazo, el índice de recuperación, el factor de reducción de volumen y el factor de concentración. Entre los parámetros característicos se encuentran: la aplicación de los balances de materia, la permeabilidad, la selectividad, la recuperación o conversión y la estabilidad.

La **densidad de flujo de permeado o flux (Jp)** es la cantidad de flujo de permeado que se obtiene por unidad de área de membrana. Su valor se calcula utilizando la ecuación [1], que indica que el flux es proporcional al incremento de presión que se le aplica al proceso, es decir, la diferencia entre la presión osmótica de la disolución y la presión aplicada sobre la membrana, ya que la variable K de la ecuación es una constante que sólo varía en función del tipo de membrana, si la membrana es densa el valor de K es de $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{bar}$ mientras que cuando la membrana es porosa este valor es 100 veces mayor ($10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{bar}$).

$$J = K \cdot \Delta P \quad \text{Ec. [1]}$$

El **coeficiente de rechazo (R)** es el parámetro que define la capacidad que tiene una membrana de retener un determinado compuesto.

El valor de este coeficiente se puede determinar a partir de la ecuación [2] la que calcula la relación entre la concentración de un componente en el alimento y la concentración de ese mismo componente

en el permeado. Mediante esta ecuación, se obtiene el porcentaje de soluto que no ha atravesado la membrana, o lo que es lo mismo, el coeficiente de rechazo de esta.

Un valor de 0% implicaría que la membrana no es capaz de retener nada del componente mientras que un valor del 100% implica que la membrana retiene todo el componente.

$$R_i = \frac{C_{i,0} - C_{i,P}}{C_{i,0}} \cdot 100 \quad Ec. [2]$$

El **índice de recuperación (η)** sirve para conocer el rendimiento que tiene la membrana, ya que como se puede observar en la ecuación [3], su valor se obtiene de dividir el caudal que sale por el permeado entre el caudal que entra a la membrana o caudal de alimento, por lo que se obtiene el porcentaje de caudal de permeado y de rechazo.

$$\eta = \frac{Q_P}{Q_A} \quad Ec. [3]$$

El **factor de reducción de volumen (FRV)** proporciona información sobre la relación entre el volumen o caudal del alimento y el del rechazo, en función de si se trabaja por lotes (se calcula con el volumen de los lotes) o si se trabaja en continuo, que se calcula utilizando los caudales, como se puede observar en la ecuación [4].

$$FRV = \frac{Q_A}{Q_P} \quad Ec. [4]$$

Finalmente, dentro de los parámetros de diseño se encuentra el **factor de concentración (FC)**, el cual indica, como se puede observar en la ecuación [5], la relación entre la concentración de un componente en el rechazo y la concentración de este en el alimento.

$$FC = \frac{C_R}{C_A} \quad Ec. [5]$$

Algunos de los parámetros característicos o de funcionamiento están relacionados con los parámetros de diseño. Por ejemplo, la permeabilidad se define como la capacidad de producir un cierto caudal de permeado y se corresponde con el flux de permeado, pero la ecuación que se utiliza para definir esta característica no es la [1] sino que se utiliza otra ecuación [6] que obtiene el flux utilizando unas variables distintas y por tanto su valor tiene otras unidades.

$$J_p = \frac{Q_P}{A} \quad Ec. [6]$$

En este caso se obtiene un coeficiente que se corresponde con la división entre el caudal de permeado en L/h y el área efectiva de la membrana en m^2 , por lo que las unidades del flux son $L/h \cdot m^2$.

Otros dos parámetros que se encuentran relacionados son la selectividad con el coeficiente de rechazo, ya que la selectividad se define como la capacidad de la membrana de separar o rechazar ciertos componentes. Cuando la selectividad de una membrana a un componente determinado es del 90%, se considera este tamaño como el “cut-off” de la membrana. En este caso la ecuación que define la selectividad de una membrana se corresponde con la ecuación [2] que definía el coeficiente de rechazo.

Unos parámetros muy importantes a la hora de trabajar con membranas son los balances de materia, ya que nos permiten realizar cálculos con los caudales y las concentraciones tanto del alimento como del rechazo y del permeado, de forma que conociendo por ejemplo el caudal de alimento junto con el coeficiente de rechazo se pueden obtener los caudales de permeado y rechazo aplicando los balances de materia.

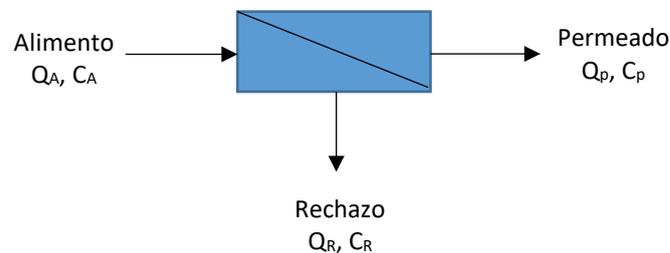


Figura 4: Esquema funcionamiento de una membrana

En la figura 4 se puede observar el funcionamiento de una membrana junto con los caudales y las concentraciones de cada corriente de forma que se puedan observar de forma más visual los balances de materia de las ecuaciones [7] y [8].

La ecuación [7] se corresponde con el balance de materia global aplicado a la Figura 4, de forma que cuando aplicamos el balance entrada igual a salida se obtiene que el caudal de alimento es igual al caudal de permeado más el de rechazo, mientras que la ecuación [8] se aplica para un componente en concreto (el soluto) y tiene en cuenta la concentración de este en las 3 corrientes.

$$Q_A = Q_P + Q_R \quad \text{Ec. [7]} \quad Q_A \cdot C_A = Q_P \cdot C_P + Q_R \cdot C_R \quad \text{Ec. [8]}$$

La recuperación o conversión también se encuentra relacionada con un parámetro de diseño, el índice de recuperación (η), ya que esta característica de la membrana se define como el porcentaje de permeado obtenido respecto del alimento introducido. La ecuación que define esta característica es la misma que define el índice de recuperación.

Finalmente, como parámetro característico de una membrana se encuentra la estabilidad de esta. La estabilidad de la membrana está definida por 3 factores, su estabilidad química, su estabilidad térmica y su estabilidad mecánica. La estabilidad química puede verse afectada por el pH y por los oxidantes (tolerancia al cloro), unos pH superiores o inferiores al rango recomendado por el fabricante para la membrana pueden provocar daños irreparables en la misma. La estabilidad térmica puede

reducirse debido a valores de temperatura fuera del rango soportado por la membrana. En cuanto a la estabilidad mecánica, un exceso de presión en las condiciones de trabajo puede provocar la rotura de la membrana, por lo que es muy importante trabajar siempre a presiones que se encuentren dentro del rango de valores recomendados (11).

3.3.4. Ensuciamiento de las membranas

El fenómeno de ensuciamiento es muy común en las membranas que se utilizan en la industria alimentaria. Este fenómeno se produce a causa de la interacción de las moléculas de suciedad entre ellas y con la superficie de la membrana.

La magnitud de las interacciones depende de las condiciones de operación como la velocidad tangencial, la presión transmembranal, la composición de la corriente de alimento o de la temperatura. Este fenómeno representa el mayor obstáculo para la difusión de la tecnología de membranas, reduciendo considerablemente la densidad del flujo (como se puede observar gráficamente en la figura 5) y disminuyendo la calidad del permeado producido, por lo que se incrementan los costes de operación.

Existe una repulsión electrostática entre las distintas moléculas de ensuciamiento que es debido a que, para un determinado valor de pH, todas poseen la misma carga superficial. En el caso de que las membranas tengan la misma carga superficial que las moléculas de suciedad, aparecerá una repulsión electrostática entre ellas disminuyendo la adsorción de la membrana sobre estas. Puede ocurrir también que los grupos funcionales sean similares, en este caso podrían producirse interacciones hidrofílicas o hidrofóbicas en función de la naturaleza de estos grupos.

Por tanto, el grado de ensuciamiento que se produce en las membranas está definido por el resultado de un balance de fuerzas entre la repulsión electrostática y las interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas.

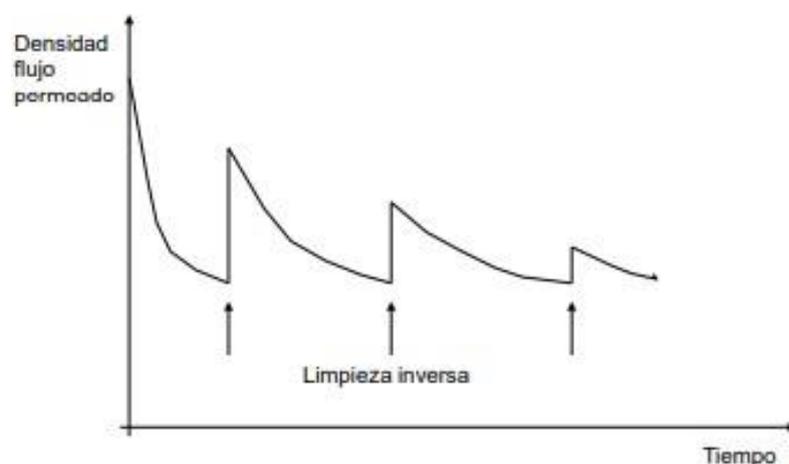


Figura 5: Variación del flujo de permeado en función el ensuciamiento

Existen 2 tipos de ensuciamiento, el reversible y el irreversible. El ensuciamiento reversible puede ser controlado utilizando altas velocidades tangenciales o promotores de turbulencia y utilizando cargas contrarias a la carga superficial de las moléculas de suciedad, minimizando las fuerzas de adhesión entre las moléculas y la membrana. Este tipo de ensuciamiento, como su nombre indica, es reversible, de forma que aplicando métodos de limpieza físicos como son la aireación o el contralavado se podría eliminar el ensuciamiento.

En cambio, el ensuciamiento irreversible no se puede eliminar con métodos físicos, se deberían utilizar para ello métodos químicos. Este ensuciamiento está provocado por partículas de menor tamaño que en el caso anterior y que penetran en la estructura porosa de la membrana. En la figura 6 se observa en qué parte de la membrana se da cada tipo de ensuciamiento.

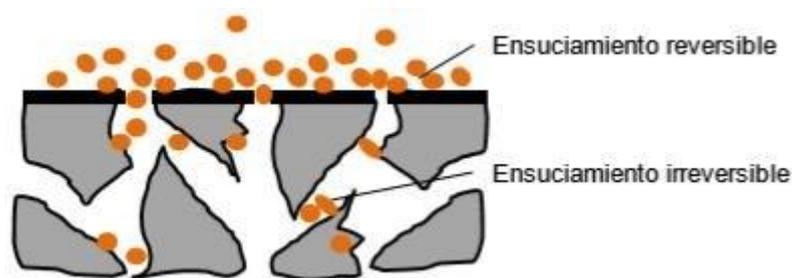


Figura 6: Ensuciamiento reversible e irreversible

Aparte del fenómeno de ensuciamiento, existe una acumulación de moléculas de soluto en las proximidades de la superficie de la membrana (capa límite). Esto se conoce con el nombre de polarización por concentración y está causado principalmente por limitaciones en los procesos difusivos. Estas acumulaciones de soluto en la superficie de la membrana, aumentan la concentración de este y pueden generar una capa gel sobre la superficie de la membrana. Este fenómeno se produce cuando la concentración del soluto sobre la membrana es mayor que la concentración del soluto en el alimento (figura 7) y la formación de esta capa viene determinada por la ecuación [9] (12).

$$CP = \frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} \quad \text{Ec. [9]}$$



Figura 7: Fenómeno de polarización por concentración y formación capa gel

3.3.5. Limpieza de membranas

Debido al ensuciamiento de las membranas, cada cierto tiempo deben limpiarse para evitar un grado de ensuciamiento muy elevado y que pueda influir negativamente en el proceso, disminuyendo tanto el caudal del flujo de permeado como su calidad. Todos los días deben realizarse procesos de limpieza en las membranas y tienen un coste considerable sobre los costes totales de producción, por lo que es muy importante seleccionar los mejores protocolos de limpieza y sus condiciones de operación.

Los métodos de limpieza se pueden dividir en 2 tipos: los físicos y los químicos. Los métodos físicos son aquellos que aplican esfuerzos mecánicos para eliminar las partículas absorbidas sobre la superficie de la membrana (ensuciamiento reversible) (13). Mientras que los métodos químicos son los más utilizados a nivel industrial por su mayor eficacia respecto a los métodos de limpieza físicos (14).

La principal ventaja de los fenómenos físicos es que no utilizan reactivos, por lo que no suponen un elevado impacto ambiental de las aguas residuales que se generan. Otra ventaja es que son más rápidos que los químicos y degradan menos las membranas, aunque su eficacia es menor. Algunos de los métodos físicos más importantes son (13):

- Backflushing: consiste en aplicar presión en el lado del permeado para que vuelva a atravesar la membrana en sentido contrario. Depende de la naturaleza del ensuciamiento, la frecuencia y la intensidad con la que se invierte el flujo de permeado. Es de los más utilizados.
- Aireación: se introduce aire de forma periódica que debilita la capa de suciedad (15).
- Promotores de turbulencias: se mejoran las condiciones hidrodinámicas en las proximidades de la superficie de la membrana, incrementando la transferencia y disminuyendo la polarización por concentración (16).
- Ultrasonidos: se basa en el fenómeno de cavitación, según el cual las burbujas colapsan y explotan. Su eficacia depende de la potencia y frecuencia de aplicación de los ultrasonidos (17).
- Campos eléctricos: se fundamenta en la diferente carga que presentan las proteínas y la membrana en un determinado intervalo de pH (18).

Los métodos químicos son muy eficaces a la hora de eliminar el ensuciamiento irreversible ocasionado en las membranas. Estos métodos incluyen distintos agentes químicos que se detallan a continuación:

- Alcalis: son los más utilizados, especialmente efectivos a la hora de eliminar materia orgánica, ya que se producen reacciones de hidrólisis y solubilización al aumentar la carga orgánica del elemento a eliminar por efecto del incremento del pH de la disolución (19).
- Ácidos: cuando el ensuciamiento se produce por especies de naturaleza inorgánica (20).
- Surfactantes o tensioactivos: poseen grupos hidrofílicos o hidrofóbicos para mejorar la solubilidad de especies poco solubles y poder eliminar estas especies de la membrana. Son

menos agresivos que los anteriores, por lo que se aplican a membranas con limitaciones de pH (21).

- Agentes complejantes: rompen la estructura de la capa de ensuciamiento con enlaces con los cationes divalentes presentes en la capa, que actúan como agentes de entrecruzamiento de las moléculas orgánicas (22).
- Enzimas: se aplican en membranas con baja resistencia térmica, química o de pH, ya que son capaces de limpiar la membrana en condiciones de operación más suaves (23).
- Desinfectantes: se utilizan en el caso de crecimientos de microorganismos en la membrana. No pueden utilizarse en membranas sensibles a elevadas temperaturas (24).

La efectividad de la limpieza de las membranas depende en gran parte de las condiciones de operación, ya que unas condiciones de operación que no sean adecuadas para el método de limpieza que se le aplique a la membrana van a influir negativamente en la limpieza y el estado de la membrana (20). Algunos de los factores para tener en cuenta a la hora de aplicar los procesos de limpieza son:

- Temperatura: generalmente temperaturas elevadas favorecen los procesos de transferencia de materia, de forma que la velocidad con la que las moléculas de suciedad cambian de la superficie de la membrana a la disolución aumenta. Además, se debilita la estructura de la capa de ensuciamiento, facilitando su hinchamiento y eliminación. Finalmente, una temperatura elevada aumenta la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar (25).
- Velocidad tangencial: a mayor velocidad, aumenta el efecto cortante que se genera sobre la capa de suciedad, provocando su erosión. También aumenta la turbulencia y, por tanto, favorece la migración de las moléculas de suciedad a la disolución de limpieza (26).
- Presión transmembranal: cuanto menor sea la presión, menor atracción hacia la membrana tendrán las moléculas de suciedad y del agente de limpieza, evitando la compactación de la capa de ensuciamiento y la acumulación de moléculas de agente de limpieza sobre ella (13).
- Concentración del agente de limpieza: varios estudios han determinado que existe un valor óptimo, por lo que aumentar la concentración hacia el valor óptimo es positivo, pero superar este valor óptimo podría ser perjudicial y contraproducente en lo respectivo a la eliminación de partículas de suciedad.
- pH y fuerza iónica: cuando hay especies cargadas, las interacciones soluto-soluto o soluto-membrana pueden variar en función del pH y de la fuerza iónica (27).

3.3.6. Selección de los procesos de membranas más adecuados

Como se ha comentado anteriormente, hay distintos procesos con membranas que pueden utilizarse para clarificar zumos. No obstante, algunos son más adecuados que otros ya que permiten conservar mejor las propiedades que posee la fruta.

En la figura 3, que se ha comentado anteriormente, se podían distinguir los tipos de moléculas que pasaban y los que eran rechazados por cada tipo de proceso de membranas. A partir de esta figura y de la explicación de cada proceso se puede afirmar que los procesos óptimos para la clarificación de zumos en la industria alimentaria son la microfiltración y la ultrafiltración, ya que son capaces de eliminar las partículas en suspensión conservando las propiedades y características de la fruta.

En el caso de la nanofiltración que sería el siguiente proceso, perderíamos propiedades y características de la fruta como por ejemplo el color. En el caso del zumo de granada al aplicarle nanofiltración no se obtendría un zumo de color rojo (color de la granada) sino que perdería ese color tan característico, cosa que seguramente influiría negativamente en su venta, tampoco pasarían el proceso los azúcares, que saldrían en el rechazo, por lo que su sabor tampoco sería el mismo.

4. Proceso general de elaboración del zumo.

En este apartado se profundiza sobre el proceso general de elaboración de zumos y concentrados desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento del zumo, pasando por los distintos procesos que hay entre ambos y comentando los residuos que se obtienen en alguno de estos procesos.

Para explicar el proceso se va a seguir el diagrama de bloques de la figura 8 en el que se pueden observar todos los procesos ordenados, con indicaciones de si necesitan agua o electricidad para que se pueda realizar y con los vertidos o residuos que producen

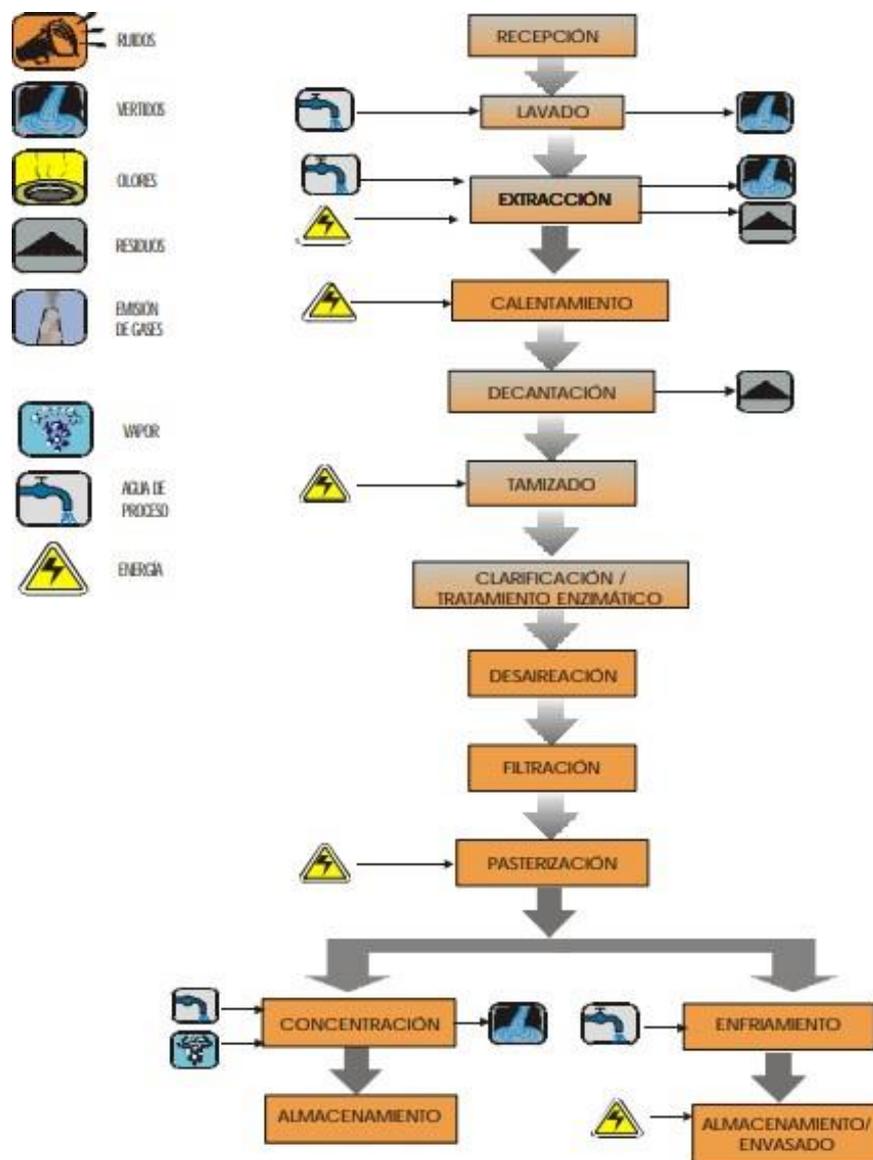


Figura 8: Diagrama de bloques de la elaboración de zumos y concentrados (28)

A continuación, se describen estas etapas con algo más de detalle.

Recepción de la materia prima.

La materia prima procedente del campo llega a la industria en la que se elabora el zumo. Existen distintas formas de recepción dependiendo del tipo de producto (frágil, resistente) o del tipo de almacenaje (más tiempo o menos, preservado o no de la humedad, refrigerado o a temperatura ambiente)

En esta etapa se generan algunos residuos como pueden ser restos vegetales, tierra, piedras que se hayan transportado junto con la materia prima o materia prima en mal estado que no sea válida para obtener el zumo. Otro residuo que puede aparecer en esta etapa es el agua, pero sólo en casos concretos si se utilizan como recepción de materia prima una balsa de inmersión de agua.

Algunos de los sistemas de recepción más comunes son: a granel, en contenedores, bunker de descarga, silos de almacenamiento o balsas de inmersión de agua (29).

Lavado del fruto.

El lavado consiste en “separar” los contaminantes que puede presentar la materia prima. Esta etapa puede realizarse varias veces durante el proceso. En algunos casos, se realiza una primera vez para eliminar la suciedad de “mayor tamaño” como sería la tierra, las piedras o las ramas y posteriormente se podría aplicar otra vez para eliminar la carga microbiana. Además, en algunos casos se aplica después del corte o pelado del producto.

Existen 2 tipos de limpieza dentro de los cuales hay una gran variedad de técnicas. En función del tipo de limpieza aplicado (en seco o en húmedo) se generarán unos residuos u otros. Los métodos más utilizados en seco son: tamizado, cepillado, aspiración, ventiladores o rodillos giratorios. Estos métodos tienen la ventaja de ser relativamente baratos y no consumir agua, sin embargo, sirven únicamente para eliminar contaminantes de gran tamaño como hojas, piedras o ramas. Además, en algunos casos puede dañarse la materia prima. En el caso de la limpieza en húmedo, algunos de los métodos más utilizados son: inmersión, aspersion, rociado, flotación o duchas. Esta limpieza es muy efectiva para eliminar partículas y suciedad adherida, pero presentan la desventaja del elevado consumo de agua que suponen.

El lavado genera distintos residuos como son las aguas residuales del lavado húmedo, residuos orgánicos e inorgánicos. En casi todos los procesos se aplican ambos tipos de limpieza, primero se aplica la limpieza en seco para retirar los contaminantes de mayor tamaño y posteriormente se aplica la limpieza en húmedo para retirar los contaminantes que puedan estar adheridos a la materia prima (29).

Pelado del fruto.

Una vez la fruta está limpia el siguiente paso sería realizar el pelado de ésta, para poder pasar a la siguiente etapa que consiste en la extracción del zumo.

Extracción de zumo.

En la etapa de extracción se realiza la trituración de la fruta con o sin precalentamiento y se extrae el jugo mediante prensado o tamizado. Esta etapa puede ser más o menos compleja en función de cómo se realice, si se realiza en una misma operación la extracción y el tamizado (prensado o centrifugación) o si se realizan por separado.

Algunas de los métodos de extracción más comunes son: el sistema de extracción in line, los exprimidores, la prensa tornillo o hidráulica, centrifugadoras, difusión, tamices y refinadores.

En esta etapa hay un gasto energético y de agua importante. Que haya un gasto en agua implica que se generan aguas residuales. En este caso se generan volúmenes pequeños de agua residual, pero con alto contenido en carga orgánica por los restos de zumo y de materia prima que se disuelven y le confieren altos contenidos en sólidos en suspensión y una elevada DBO y DQO. Aparte del agua residual se generan residuos sólidos orgánicos como restos de fruta o pepitas (29).

Decantación del zumo.

La decantación se realiza en aquellos zumos que requieren de un elevado grado de transparencia para su consumo. Esta etapa se basa en la precipitación y eliminación de sustancias disueltas que pueden provocar turbidez en el zumo. Se obtienen cantidades considerables de residuos y fangos (29).

Clarificación-filtración.

La clarificación-filtración se pueden realizar simultáneamente si se utilizan técnicas de membrana. La clarificación consiste en la eliminación de todas las materias pépticas, proteicas y gomosas que se encuentran en los zumos y pueden dificultar la filtración. Puede realizarse mediante centrifugación o filtrado. La generación de residuos no es muy significativa.

En algunos zumos se puede realizar una operación de filtración, de forma que se mejore el aspecto del zumo y también se alargue su vida útil. Para la filtración se pueden utilizar filtros de prensa o filtros rotativos al vacío (29).

Desaireación.

La desaireación tiene como objetivo mejorar el aroma y el color del producto, disminuyendo la cantidad de espuma que se pueda generar y reduciendo la separación de sólidos en suspensión.

Esta operación se basa en eliminar el oxígeno y otros gases como el dióxido de carbono que pueden estar disueltos por el jugo, aplicando para ello vacío.

Esta operación requiere de un gasto energético, aunque no es muy significativo (29).

Pasteurización.

La pasteurización es el método general de conservación de zumos y concentrados. Este método consiste en el calentamiento del zumo a temperaturas entre 60 y 100 °C durante un tiempo variable. Este proceso se puede aplicar a casi todos los zumos ya que la mayoría tienen un pH relativamente bajo. Se puede aplicar tanto antes de envasar el zumo como sobre los envases cerrados conteniendo el zumo.

Esta etapa consiste en elevar su temperatura a 82-90 °C durante unos 5 o 10 segundos. Posteriormente se enfría a la temperatura adecuada para su llenado en envases esterilizados. Cuando el llenado es aséptico, se realiza una esterilización, para eliminar casi la totalidad de los gérmenes. En la esterilización se produce un mayor calentamiento del producto o envase.

Hay algunos casos en los que se puede utilizar la microfiltración como una técnica de “pasterización” en frío.

Se puede generar como residuo aguas residuales. No obstante, esto se puede evitar si se dispone de sistemas de recuperación del agua que tratarían el agua para poder volver a utilizarla (29).

Concentración.

La etapa de concentración se aplica en los alimentos líquidos con el objetivo de aumentar su vida útil o de incrementar su valor. Esta etapa consiste en la desactivación de las enzimas, los microorganismos y la eliminación de una gran cantidad del agua que contiene. Para obtener los concentrados se pueden aplicar dos procesos diferentes (31):

- Procesos sin membrana, como la evaporación y la crioconcentración.
- Procesos con membrana que utilizan una membrana como medio de separación. Dentro de estos procesos destacan las técnicas de filtración: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.

En función de la técnica utilizada para llevar a cabo la concentración se requiere de un gasto energético mayor. Se generan aguas residuales y su contenido en carga contaminante varía en función de la técnica utilizada.

La concentración es un proceso de mucho interés en la industria, ya que los concentrados que se obtienen se pueden utilizar para muchas más cosas que únicamente para zumos, algunos ejemplos son: helados, gelatinas, siropes, etc. Además, los concentrados son más estables microbiológicamente que los naturales al tener menor cantidad de agua, reduciendo el rango de actuación de los microorganismos. Otro beneficio de los concentrados es que ocupan menos espacio al almacenarlos que los naturales, por lo que se reduce el coste de transporte y de manejo. Finalmente, se puede destacar también que los concentrados tienen un mayor contenido en azúcar, por lo que pueden aguantar más tiempo sin refrigeración (29).

4.1. Procesos de concentración sin membrana

Los procesos de concentración sin membrana también se conocen con el nombre de procesos convencionales, ya que son procesos con más tradición en la industria que los procesos de membranas, bastante más recientes. Entre estos procesos destacan la evaporación y la crioconcentración.

4.1.1. Evaporación

La concentración por evaporación es el sistema tradicional más utilizado en la industria. Este método presenta varias ventajas respecto a la criocongelación y a los procesos con membranas.

Las plantas modernas son muy efectivas utilizando pequeñas cantidades de vapor para producir una elevada eliminación de agua.

Otra ventaja es el grado de concentración que se puede alcanzar, ya que utilizando la evaporación se alcanzan concentraciones de 80-85 % de sólidos, mientras que en los otros procesos se encuentran limitados por efectos de transferencia de masa a niveles mucho más bajos de concentración.

Pese a las ventajas que posee, la evaporación tiene efectos negativos en cuanto al valor nutricional del zumo obtenido, ya que hay algunos compuestos con actividad biológica, como las vitaminas y los compuestos antioxidantes en general que de alguna forma ven afectada su acción biológica tras sufrir tratamientos térmicos.

También, como desventaja, está el impacto medioambiental, como el elevado consumo de energía, de agua de refrigeración y la producción de vertidos procedentes de los condensados de la evaporación (aceites esenciales, compuestos orgánicos). Para intentar disminuir el impacto ambiental de este proceso se han introducido modificaciones en el proceso de evaporación clásico, de forma que se han desarrollado varios métodos cuyo objetivo principal es la reutilización de la energía contenida en el vapor. Hay que tener en cuenta que, si se aplica este sistema a productos con compuestos termolábiles, se podría producir la degradación de estos.

El método más simple de evaporación es el evaporador de simple efecto. Su funcionamiento consiste en que el vapor se alimenta al interior de la cámara de vapor, el concentrado y el vapor producidos se eliminan y ese vapor se condensa hasta agua caliente. En la figura 9 se presenta un esquema del funcionamiento de un evaporador de simple efecto (29).

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). ($Q = 300 \text{ L/día}$)

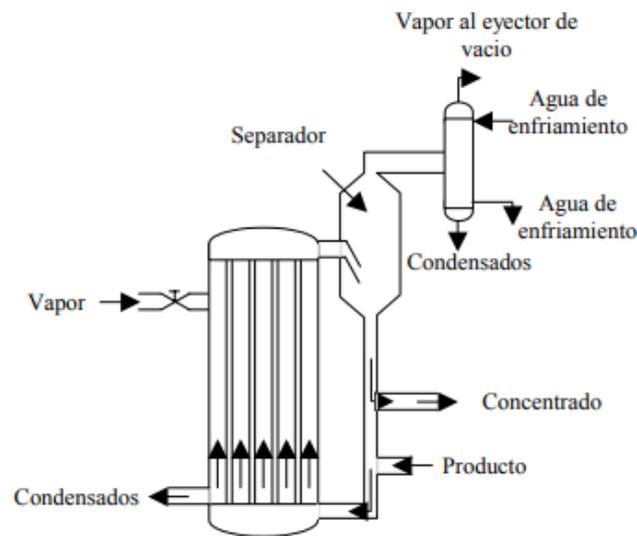


Figura 9: Evaporador de simple efecto (29)

En el evaporador de simple efecto los vapores producidos se separan sin utilizar posteriormente su contenido calorífico. Una mejora respecto a este evaporador sería reutilizar estos vapores y esto es algo que los evaporadores de múltiple efecto sí que incluyen.

Estos evaporadores utilizan el vapor generado en la primera evaporación como medio de calentamiento (vapor primario) en el siguiente paso de la evaporación, por este motivo el evaporador se conoce como evaporador de múltiple efecto. El objetivo de este tipo de evaporador es la recuperación de energía, disminuyendo de esta forma el gasto energético que supone la evaporación de simple efecto. En la figura 10 se puede observar un esquema de un evaporador de múltiple efecto (29).

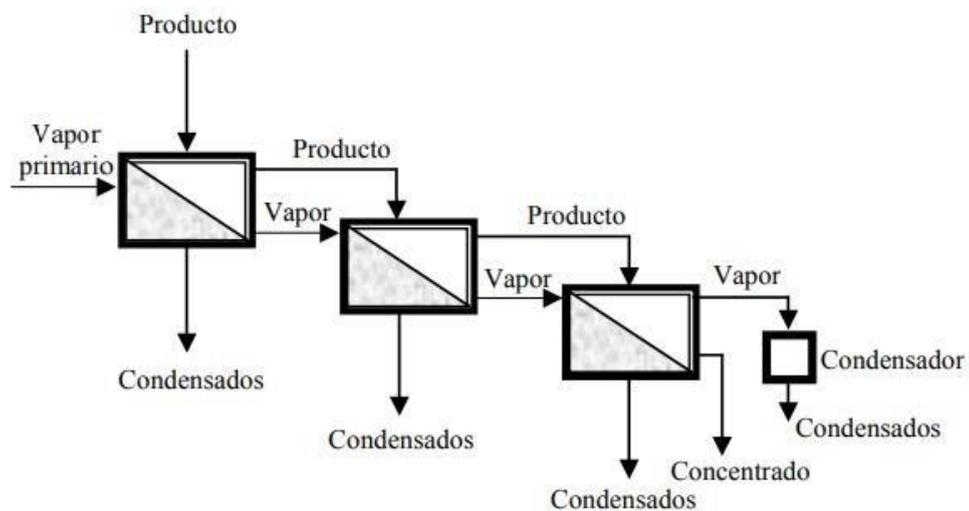


Figura 10: Evaporador de múltiple efecto (29)

Existen otros sistemas de recuperación que pueden utilizarse en evaporadores de múltiple efecto como la recompresión térmica de vapor y la recompresión mecánica de vapor.

La recompresión térmica de vapor consiste en reciclar el vapor secundario, al menos parcialmente, reinyectándolo en el evaporador como vapor de calentamiento. Para que esto sea posible es necesario compensar la caída de entalpía entre vapor de calentamiento y secundario, volviendo a comprimir el vapor a reciclar, utilizando para ello un termocompresor.

La recuperación de la energía depende de la relación entre el caudal de vapor que se aspira y el caudal de vapor motriz.

Cuando se aplica la termocompresión, generalmente se consiguen reducir los costes de la instalación, ya que instalar un termocompresor supone un coste inferior a instalar un efecto adicional y mantiene la eficiencia energética que este efecto adicional puede proporcionar. Además, este sistema es simple y fácil de mantener. No obstante, su uso está limitado cuando el punto de ebullición es muy elevado, cuando no se dispone de vapor motriz a alta presión (>400 kPa) o cuando es importante la flexibilidad del evaporador, debido a que el termocompresor se diseña para trabajar en unas condiciones fijas y variaciones muy grandes en estas compresiones imposibilitan su utilización. En la figura 11 se puede observar un esquema de cómo sería la incorporación de un termocompresor a un sistema de efecto múltiple (29).

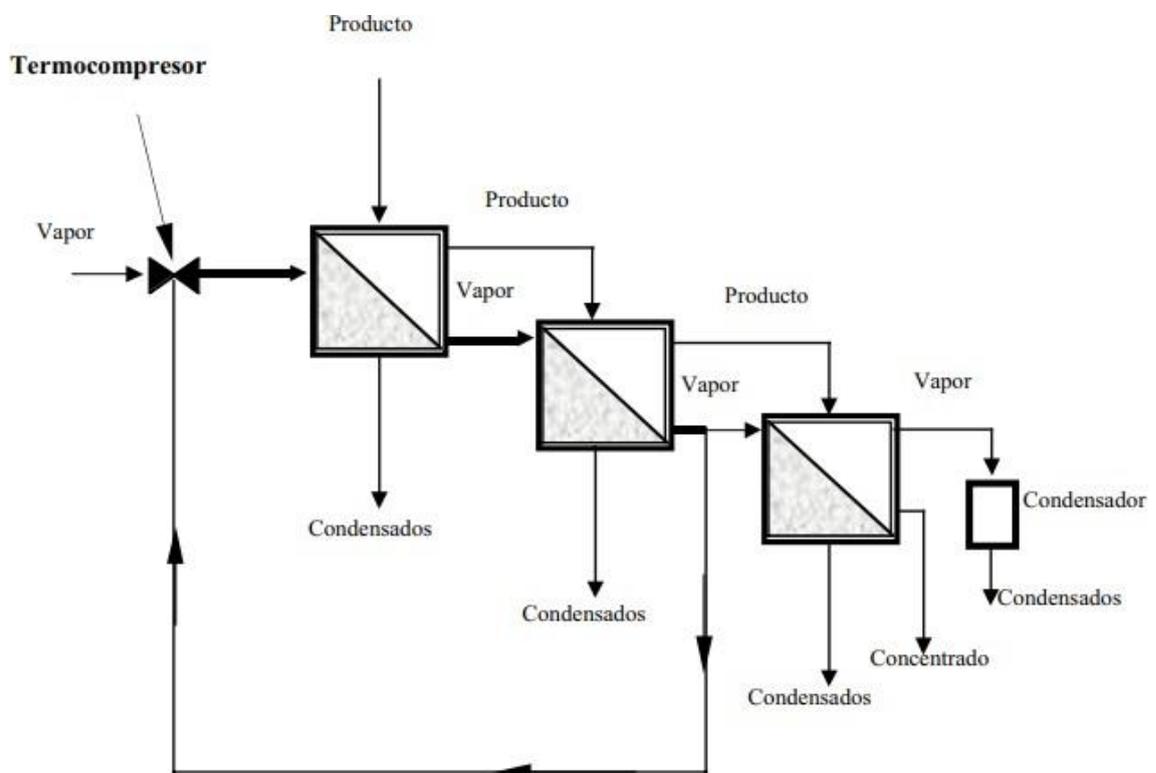


Figura 11: Termocompresión en un sistema de efecto múltiple (29)

Otra forma de mejorar la utilidad (presión, temperatura y contenido energético) de los vapores producidos durante la evaporación es la compresión mecánica. En este caso los vapores de efecto se comprimen para alcanzar una presión alta, en un compresor mecánico y después son reutilizados.

En vez de reciclar sólo una parte del vapor secundario, es posible conseguir un reciclado prácticamente total gracias a la utilización del compresor mecánico que permite llevar su entalpía al nivel de la del vapor primario. Sólo es necesaria una pequeña fracción del vapor motriz para compensar las inevitables pérdidas de energía. Aquí, la economía de energía se consigue por un incremento doble de la inversión, ya que es necesario un equipo de evaporación con una superficie elevada y hay que invertir en el compresor, cuyo coste puede ser el equivalente al del resto de la instalación.

Pese a estos costes, la compresión mecánica se ha desarrollado a partir de los años ochenta gracias al espectacular ahorro de energía que se consigue utilizando este método. En la figura 12 se puede observar un esquema del funcionamiento de un sistema de recompresión mecánica del vapor (29).

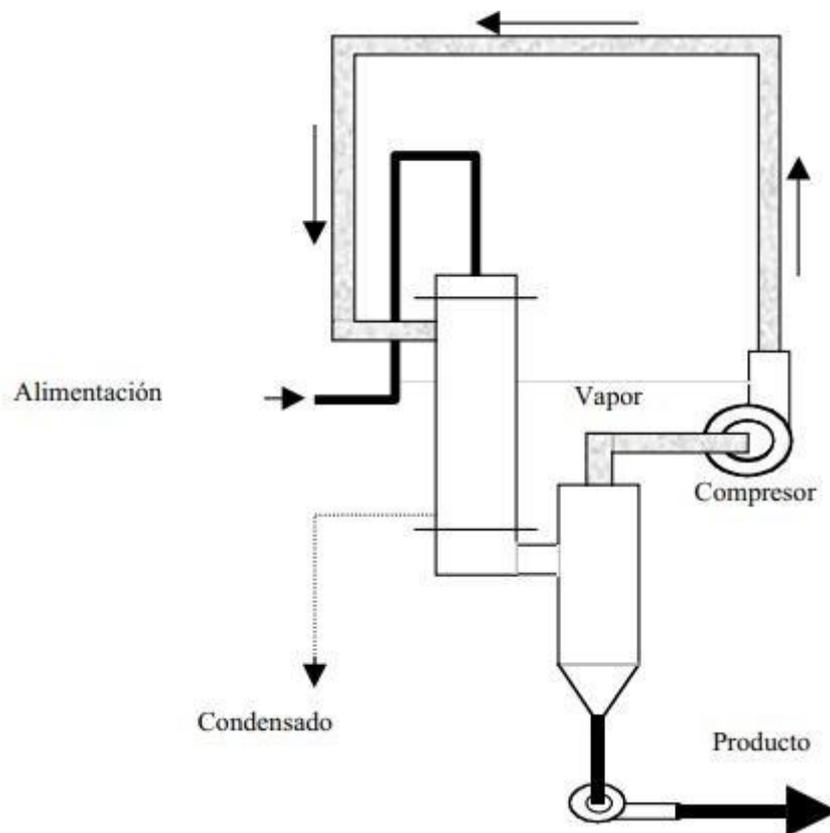


Figura 12: *Recompresión mecánica del vapor (29)*

4.1.2. Criocongelación

Cuando se quiere concentrar los alimentos líquidos por congelación, hay que disminuir la temperatura del producto de una forma controlada, para poder conseguir una congelación parcial del alimento, hasta que se obtiene una mezcla de cristales de hielo en un fluido concentrado.

Estos cristales, si se forman bajo las condiciones apropiadas, van a ser muy puros, lo que significa que llevarán muy poco producto incorporado entre ellos. Estos cristales de hielo formados, al llevar muy poco producto, en caso de eliminarlos se obtendría el alimento concentrado, por lo que una vez se consiguen los cristales de hielo puros hay que separarlos. Para separar estos cristales se pueden usar la centrifugación o alguna otra técnica que ayude a conseguir un producto líquido concentrado.

Esta técnica es aplicable a muchos alimentos. Comercialmente se ha utilizado para la concentración de zumo de naranja. En la figura 13 se puede observar un esquema con las fases que componen el proceso de concentración por congelación.



Figura 13: Esquema de las fases del proceso de concentración por congelación (29)

Las principales ventajas que presenta la concentración por congelación o criocongelación, frente a la evaporación o a la ósmosis inversa son las bajas temperaturas del proceso y la ausencia de una interfase líquido-vapor en la separación. En la figura 14, al final de este apartado, se puede observar un sistema de criocongelación.

Operar a bajas temperaturas permite la concentración de alimentos térmicamente sensibles sin perder calidad. Otro beneficio de trabajar a bajas temperaturas es que en la separación líquido-sólido no se producen pérdidas de sabor y de aromas volátiles como sí que ocurre en la evaporación. Estas son las razones que provocan que los productos obtenidos por este sistema generalmente presentan calidades superiores a las de los productos obtenidos por evaporación y similares a las obtenidas por ósmosis inversa. Otra ventaja es la temperatura a la que se obtiene el producto, que al ser baja hace que el producto sea compatible con la liofilización y procesos similares que requieren sistemas de enfriamiento.

Pese a las ventajas que posee este sistema frente a la evaporación, los procesos de concentración por congelación siempre van a estar limitados en el grado de concentración que se va a alcanzar. Esta limitación se debe generalmente al incremento de viscosidad que se produce a las bajas temperaturas de congelación.

Los principales efectos medioambientales que causa este sistema son el elevado consumo energético y la producción de disoluciones con elevado contenido en sólidos solubles debido al arrastre en los cristales. Este gasto energético limita mucho la utilización de este sistema pese a que las calidades obtenidas son muy elevadas.

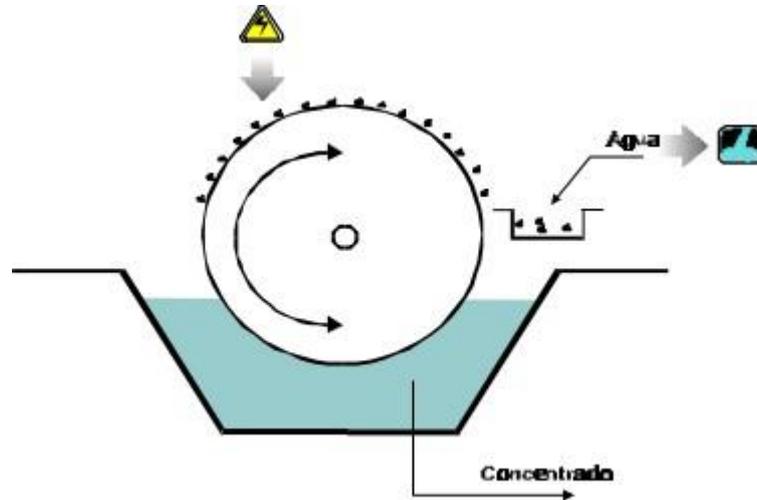


Figura 14: Criocongelación (28)

Las aguas residuales que se generan en esta operación tienen una carga contaminante que varía en función de la tecnología utilizada, pudiendo llegar a tener elevadas demandas de oxígeno y alto contenido en sólidos solubles (29).

4.2. Procesos de concentración mediante técnicas de membrana

La concentración de zumos utilizando técnicas de membrana consisten en la eliminación selectiva de agua y sólidos disueltos en la misma mediante el paso del zumo a través de una membrana semipermeable por medio de la aplicación de un gradiente de presión al líquido a concentrar.

Algunas de las principales ventajas que presenta la concentración por membranas respecto a la evaporación son:

- Las pérdidas organolépticas y de valor nutritivo son mínimas, especialmente la pérdida de sustancias volátiles, que en la evaporación sí que se producían, pero con este sistema no. Esto se debe a que generalmente las técnicas de membranas se realizan a temperaturas reducidas <50 °C, por lo que no se produce degradación térmica de los nutrientes, solo algunos de estos nutrientes con bajo peso molecular, por ejemplo, la vitamina C, se pierden a través de las membranas de ultrafiltración, mientras que en las membranas de ósmosis inversa no se pierde ninguno. Con lo comentado se puede afirmar que la calidad de los alimentos obtenida mediante este método es superior a la obtenida por otras tecnologías de congelación.
- En los procesos de membrana no se producen cambios de fase de líquido a gas, por lo que los consumos energéticos de este sistema son menores que en evaporación o congelación.
- No se necesitan grandes volúmenes de agua para el enfriamiento posterior a la concentración.

En cuanto a las desventajas de este sistema respecto a la evaporación:

- Una limitación muy importante que presenta la concentración por membranas respecto a la evaporación es que no se obtienen grados de concentración tan elevados como con la evaporación. Utilizando membranas se obtienen entre 30 y 35 °Brix mientras que con la evaporación se obtienen entre 70 y 75 °Brix.
- Implican mayores costes de inversión.
- Las membranas pueden obstruirse durante el proceso por polímeros, lo que reduce el tiempo de funcionamiento efectivo entre dos sesiones de limpieza consecutivas.

Las composiciones de la corriente que atraviesa la membrana varían en función del tamaño de poro, por lo que varían en función de la técnica de membrana que se utilice. Cuanto menor es el diámetro del poro, mayores deben ser las presiones que se deben alcanzar para que se pueda realizar la filtración, y a medida que el zumo se va concentrando, mayores deben ser las presiones aplicadas. Este factor es el responsable de que estos procesos se encuentren limitados a la hora de alcanzar grados de concentración elevados (29).

Finalmente, para poder comparar los tres procesos de forma más rápida, en la tabla 3 se recogen las ventajas y desventajas más significativas de cada uno de estos procesos.

Tabla 3: Características técnicas y composición de los solutos que atraviesan los diferentes sistemas de filtración por membrana (29)

PROCESOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EVAPORACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Muy efectiva sin necesidad de grandes cantidades de vapor. - Se alcanzan grados de concentración elevados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos negativos en el valor nutricional del zumo. - Importante impacto ambiental.
CONGELACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - No hay pérdidas de calidad del zumo. - No hay pérdidas de sabor y aromas volátiles. - Compatible con liofilización y procesos similares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de concentración limitado por el incremento de viscosidad. - Gasto energético muy elevado.
MEMBRANAS	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdidas organolépticas y de valor nutritivo mínimas. - Consumo energético bajo. - No se necesitan grandes volúmenes de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se pueden obtener grados de concentración muy elevados. - Elevado coste de inversión - Las membranas pueden obstruirse disminuyendo el tiempo de funcionamiento

5. Diseño de la planta

A la planta de producción llega la materia prima en grandes cantidades que se almacenan en cámaras con las condiciones ambientales adecuadas de atmósfera y temperatura para mantenerlos en buen estado hasta su posterior procesamiento. El hecho de que sea un fruto no climatérico facilita que pueda estar almacenado durante más tiempo siempre que la temperatura, humedad y atmósfera de almacenamiento sean óptimos. La granada se almacena en cajas de 10 kilogramos dentro de una cámara climatizada.

La planta está diseñada de forma que cada día se procesan los kilogramos de granada necesarios para producir zumo durante un día y se realiza todo el proceso de lavado, pelado, troceado, es decir, los procesos necesarios para la obtención del zumo y a continuación se realizan los procesos de microfiltración y la ultrafiltración necesarios para su clarificación y concentración.

Los procesos de producción de zumo se realizan durante 6 horas, de forma que las 2 horas restantes del día se dedican a limpiar las membranas para evitar que se acumule el ensuciamiento y poder volver a trabajar con ellas al día siguiente.

Para diseñar la planta es necesario tener en cuenta los distintos parámetros que influyen en su correcto funcionamiento como por ejemplo los kilogramos de granada usados, los distintos caudales que hay en el proceso o las membranas utilizadas.

El principal objetivo que tiene la planta es tratar unos 300 L al día de zumo de granada para clarificarlo y concentrarlo por ultrafiltración y microfiltración. Para obtener esta cantidad de zumo es necesario tratar unos 900 kg de granada al día, ya que para conseguir 1 L de zumo de granada son necesarios 3 kg de granada (30).

Teniendo en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas, pero 2 de estas horas están destinadas a la limpieza de las membranas, hay 6 horas para producir el zumo. Dentro de las 6 horas, hay que tener en cuenta que los procesos de MF y UF no puede empezar hasta que se ha extraído el zumo de la granada y se le ha aplicado el tratamiento enzimático, por tanto, durante la 1ª hora del día los procesos de UF y de MF no trabajan, sino que se retira el agua desionizada que se utilizó el día anterior para limpiar la membrana de UF.

Durante la 1ª hora de la jornada laboral se extrae el zumo y se le aplican tanto la pasteurización como el tratamiento enzimático de forma que cuando llega al tanque de alimento para empezar con el tratamiento de este zumo con las membranas ha pasado sólo la 1ª hora de la jornada laboral. En el diagrama de Gantt de la figura 15 se puede observar la duración de cada una de las tareas a lo largo de la jornada laboral.

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

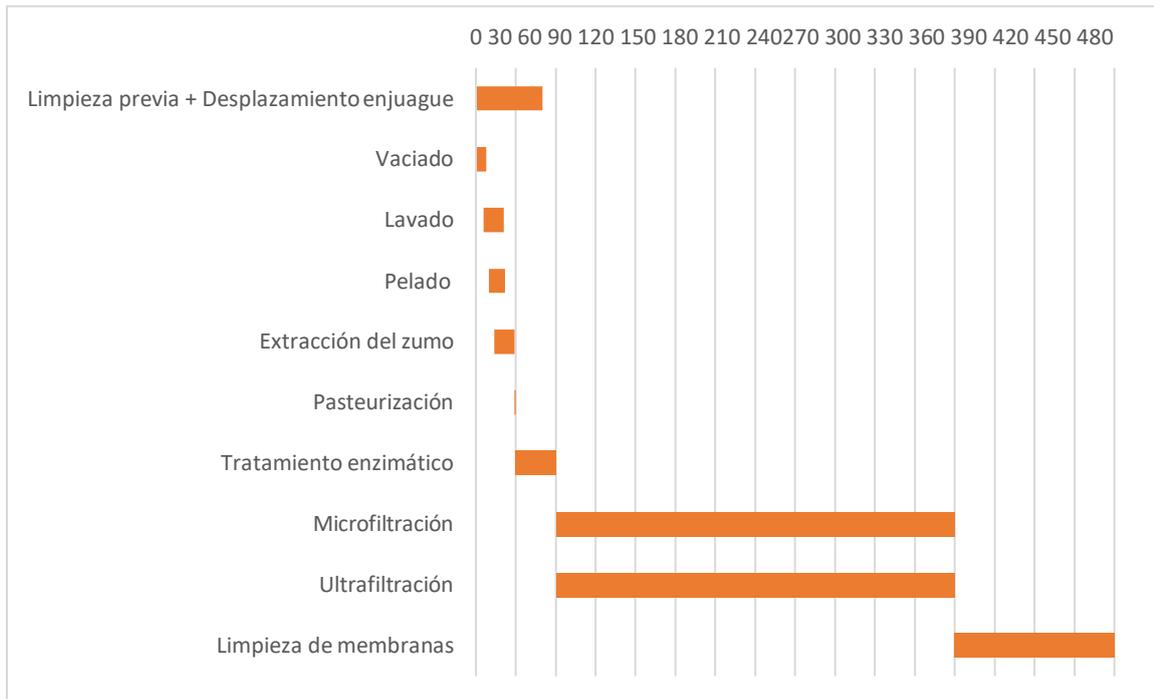


Figura 15: Diagrama de Gantt del proceso

A continuación, en la figura 16, se pueden observar las distintas etapas que componen el proceso en un diagrama de bloques de este y se van a explicar cada una de las etapas que componen este diagrama de bloques, comentando los cálculos que sean necesarios y la maquinaria para llevarla a cabo.

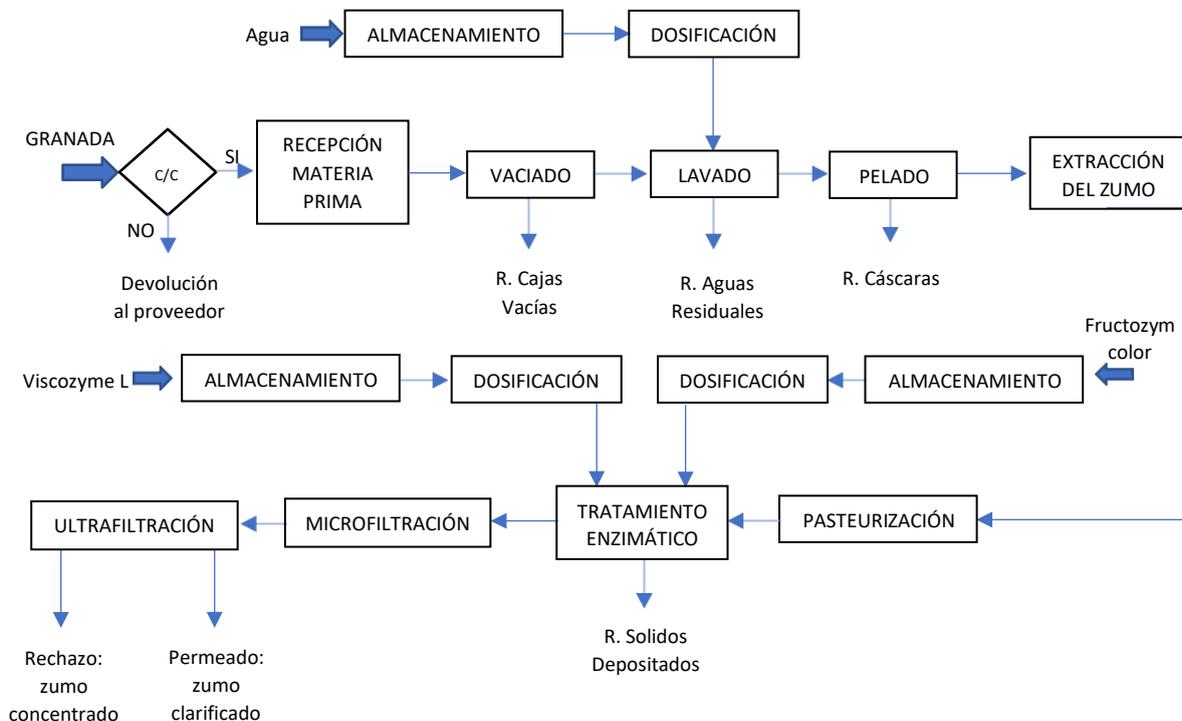


Figura 16: Diagrama de bloques del proceso

RECEPCIÓN

Cuando llega el producto a la fábrica lo primero que se hace es seleccionar algunas granadas para realizarles el control de calidad y ver si cumplen con los requisitos exigidos o no. Una vez superan el control de calidad se puede descargar el producto. El producto se descarga y se almacena en una cámara climatizada para que la granada se conserve en las condiciones adecuadas.

VACIADO

En este proceso sacan de la cámara climatizada las cajas de 10 kilogramos que contienen la granada y se introducen en un vaciador de cajas cuyas características se pueden observar en la tabla 4.

El número de cajas que se introducen en el vaciador al día se pueden calcular sabiendo que cada caja contiene 10 kg de granada, de forma que realizando un cálculo obtenemos el número de cajas totales que se van a introducir.

$$\frac{900kg}{10 \frac{kg}{caja}} = 90 \text{ cajas}$$

El funcionamiento de este vaciador de cajas continuo consiste en introducir las cajas por la parte inferior gracias a unas bandas. Estas cajas llegan a la zona de volcado dónde se mantienen en contacto con la banda inferior por la presión de la banda superior cuya tensión está asegurada con un contrapeso. Las cajas vacías se evacúan por la parte superior del tambor por la rampa de caída de cajas y a continuación se recogen por el sistema de evacuación mecánico. La fruta se recoge en una cinta transportadora que llega hasta la lavadora de fruta, dónde se inicia la siguiente etapa que consiste en el lavado de la granada.

La cinta transportadora que se utiliza para conectar el vaciador con la piscina es el modelo R400/2000 de Omnitrack y sus características están en la tabla 5. Durante el transporte de la fruta hay 2 operarios en la cinta que se encargan de retirar las granadas que se encuentren en mal estado.

Tabla 4: Características del vaciador de cajas continuo (32)

Cadencia	De 300 a 1400 cajas/hora	Potencia eléctrica	6 kW
Formato cajas	500x300 a 600x400 mm	Alimentación	400 V trifásico
Altura cajas	120 a 350 mm	Peso del conjunto	1200 kg

Tabla 5: Características de la cinta transportadora (33)

Tipo	Flexible con rodillos	Altura	650-1100 mm
Anchura	400 mm	Carga máxima por pie	80 kg
Longitud extendido	2000 mm	Peso máximo del eje	125 kg
Longitud retraído	940 mm	Peso	150 kg

LAVADO

Cada día se van a tratar unos 900 kg de granadas que serán procesadas para la obtención del zumo.

La cinta transportadora lleva la granada hasta la lavadora de fruta, lugar dónde empieza la etapa de lavado. En esta etapa, además de lavar la granada en la lavadora, cuando la granada sale de esta pasa a una cinta transportadora como la del apartado anterior. En esta cinta hay unos cepillos cilíndricos que eliminan sustancias que puedan estar adheridas a la granada.

Para que la granada una vez dentro de la lavadora llegue hasta el final de esta y salga por la cinta, además de la corriente de agua que genera, dispone de un sistema compartimental de paletas de velocidad variable, de forma que estas paletas empujan la granada hasta el final de la lavadora. En la parte inferior del tanque de lavado hay una cinta transportadora modular que permite un transporte controlado de productos que no flotan. Para reforzar la acción de lavado, este modelo dispone de un sistema especial de agitación por aire que intensifica el resultado de lavado y limpieza. Finalmente, el agua que se usa se recoge en un tanque separado dotado de una bomba y pasa por un tamiz antes de su recirculación. Algunas de sus características principales se encuentran recogidas en la tabla 6.

Tabla 6: Características de la lavadora de frutas (34)

Modelo	FW-100
Tamaño máximo producto	250 mm
Capacidad	Variable
Tiempo de residencia	Ajustable
Velocidad	Ajustable

Los cepillos son utilizados para el lavado y secado de todo tipo de frutas. La gama estándar de rodillo cepillo cilíndrico son módulos que encajan mediante 4 ó 6 pestañas salientes, pudiendo unir varios módulos hasta cubrir el ancho de la cinta transportadora. Las especificaciones de estos cepillos se encuentran recogidas en la tabla 7.

Tabla 7: Características de los cepillos cilíndricos (35)

Modelo	Cepillo técnico – All Future XXI	Largo módulos	250-300 mm
Diámetros de cuerpo	40-50-65-70-75 mm	Diámetro mínimo	60 mm
Diámetro ejes	20-25-30-35 mm	Diámetro máximo	500 mm

PELADO

Las granadas una vez pasan los cepillos siguen por la cinta transportadora hasta llegar a la máquina de pelado, en la que se va a retirar la piel de la granada y se va a separar de las semillas de granada, ya que en caso de exprimirla cáscara con las semillas se mezclarían los sabores, algo negativo para el proceso ya que la cáscara contiene un sabor amargo que destruiría el sabor de la granada.

Para llevar a cabo esta etapa se dispone de una máquina peladora y extractora cuyas características se encuentran resumidas en la tabla 8. Esta máquina se compone de una tolva, una trituradora, un tambor de separación, un sistema de accionamiento y un bastidor.

En esta etapa las granadas llegan por la cinta transportadora y se introducen a la máquina por la tolva. A continuación, las granadas son trituradas en 4 piezas por la trituradora y después la piel y las semillas se separan en el tambor de separación.

La piel es un residuo del proceso y se le puede aplicar un proceso de extracción para obtener flavonoides, los cuales tienen un alto valor biológico. (7)

Tabla 8: Características máquina de pelado

Capacidad	3 - 5,5 - 10 toneladas/hora
Potencia	8 – 10 – 11 kW
Tamaño	1800x1300x2200 mm

Las semillas pasan a otra cinta que las llevará hasta la siguiente etapa en la cual se va a extraer el zumo que contienen en su interior. Esta cinta no es como la cinta de rodillos que se utilizaba para transportar la granada, en este caso es mejor una cinta nervada, la cual tiene unas bandas en forma de V que ayudan al transporte de las semillas de la granada. Sus características están resumidas en la tabla 9.

Tabla 9: Características de la cinta transportadora nervada

Modelo	Refortbelt Nevada 16 MOR EP400/3 3 – 1.5
Ancho	1200 +/- 12 mm
Espesor recubrimiento superior	3 mm
Espesor recubrimiento inferior	1.5 mm

EXTRACCIÓN DEL ZUMO

Una vez se ha separado la semilla de la cáscara, utilizando una cinta transportadora nervada se trasladan las semillas de granada hasta una prensa hidráulica que extraerá el zumo de las semillas.

Para seleccionar la mejor prensa y manera de realizar el prensado, se han observado los resultados de un estudio realizado en una Tesis Doctoral (7) que estudiaban el rendimiento de realizar el prensado con o sin cáscara y qué tipo de prensa es mejor. La conclusión fue que al prensar la granada con la cáscara se obtenía una gran cantidad de zumo, pero tenía un sabor amargo a causa de algunas sustancias que componen la cascara, en caso de una licuadora para tratar la granada con cáscara el zumo obtenido tenía un color marrón, también debido a la presencia de la cáscara. Finalmente, en las pruebas sólo con los arilos de la granada (semillas), se concluyó que el mayor rendimiento se obtenía al utilizar una prensa de bandas para los arilos.

Para extraer el zumo de los arilos se ha seleccionado la prensa de bandas Flottweg. Su funcionamiento consiste en un rodillo, el cual distribuye los arilos de forma continua y uniforme sobre la banda inferior, extrayendo el primer jugo. A continuación, se unen las dos bandas de filtro extrayendo el jugo de forma progresiva.

En el área de prensado, un rodillo en forma de L deshidrata los arilos mediante presión, garantizando un drenaje rápido del líquido y obteniendo grandes cantidades de zumo. A este rodillo le siguen rodillos de prensa cuyo diámetro disminuye gradualmente. Estos siguen presionando los arilos. Al final del proceso, de forma opcional, se pueden aplicar rodillos transversales.

A continuación, hay una tabla con las características principales de la prensa (Tabla 10).

Tabla 10: Características de la prensa de bandas Flottweg (36)

Rendimiento	Hasta el 90%
Velocidad extracción	Rápida extracción del jugo
Resistencia	Muy resistente con larga vida útil
Seguridad de operación	Alta
Seguridad del personal	Alta
Nivel de higiene	Alto
Gastos de operación	Mínimos

PASTEURIZACIÓN

La pasteurización del zumo tiene como objetivo reducir los microorganismos presentes a unos niveles que hagan que no haya problemas microbiológicos, consiguiendo de esta forma alargar la vida útil del producto si se realiza finalmente un llenado en condiciones asépticas. No obstante, este proceso tiene aspectos negativos y uno de los más importantes es que el sabor y algunas propiedades del zumo se pueden ver afectadas.

Existen tres tipos de pasteurización distintas: la pasteurización lenta (LTLT), la rápida (HTST) y la ultrapasteurización (UHT). Para este proceso se va a aplicar la pasteurización rápida o HTST, ya que esta es la más común en la industria, debido a que produce unas mínimas alteraciones organolépticas y nutricionales del alimento y es un método bastante rápido en comparación con la pasteurización lenta. Este sistema consiste en someter al zumo a unas temperaturas entre 85 y 90 °C durante unos 15 o 30 segundos (37).

La pasteurizadora que se ha seleccionado para este proceso es un pasteurizador HSTS de la empresa Inoxpa. Sus principales características se encuentran resumidas en la tabla 11.

El producto llega al pasteurizador y se introduce en un tanque de balance (BTD) donde una bomba lo envía a un intercambiador de placas para calentarlo hasta la temperatura de pasteurización, la cual depende del producto y de los requerimientos del proceso. A continuación, el producto pasa al tubo retenedor donde se mantiene esta temperatura durante un tiempo para asegurar una correcta pasteurización. Finalmente, el producto suele pasar por una etapa de enfriamiento para disminuir la temperatura del producto hasta los 4 °C. Si debido a algún problema la temperatura de pasteurización es inferior a la deseada, una válvula de desvío automática retoma el producto al depósito de balance o BTD, evitando problemas de contaminación microbiológica en el producto final.

Tabla 11: Características del pasteurizador (38)

Tipo	HSTS
Caudal de trabajo	500 – 1000 – 2000 – 3000 – 5000 (L/h)
Temperatura entrada producto	4 °C
Temperatura pasteurización	72 °C
Temperatura salida producto	4 °C
Tiempo de retención	15 segundos
Temperatura agua caliente	74 °C
Temperatura agua glicolada	4 °C

TRATAMIENTO ENZIMÁTICO

El tratamiento enzimático se aplica con el objetivo de obtener la mayor cantidad de zumo posible. Además, con este tratamiento se consigue reducir en gran medida la viscosidad y reducir el volumen de desechos (39).

Para seleccionar las enzimas que se utilizan en este proceso se ha obtenido información de un estudio en el que realizaron hidrólisis enzimáticas del zumo de granada con dos cócteles enzimáticos. Uno de ellos contenía 350 ppm de Viscozyme L y 150 ppm de Fructozym color, mientras que el otro tratamiento consistía en intercambiar las cantidades, 150 ppm de Viscozyme L y 350 ppm de Fructozym color. La primera enzima, Viscozyme L, tiene actividad celulasa y hemicelulasa, mientras que la otra, Fructozym color, tiene actividad pectinasa.

El ensayo consistió en introducir la granada en un tanque y se calentó a 25 °C. Una vez alcanzada esta temperatura se añadieron los cócteles enzimáticos manteniéndose la mezcla en recirculación durante 30 minutos a una temperatura entre 27 – 30 °C. Cuando terminó el proceso enzimático, se analizaron las muestras obtenidas y se concluyó que el mejor tratamiento era el segundo, ya que se consigue preservar mejor los compuestos y el color del zumo y con la degradación que produce se consigue incrementar algunos de los parámetros. Gracias al tratamiento enzimático, se aumenta el rendimiento de filtración con la membrana de ultrafiltración, mientras que no produce ninguna diferencia en el proceso de microfiltración. El tratamiento enzimático del zumo puede producir una degradación de determinados compuestos presentes en el mismo produciendo que durante la ultrafiltración estos compuestos puedan ser eliminados (7).

Por tanto, observando los resultados que se han obtenido en el estudio, es este proceso el que se va a seguir para realizar el tratamiento enzimático. A continuación, se calculan las cantidades de cada

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

enzima que se necesitan para llevar a cabo el tratamiento enzimático, teniendo en cuenta que se necesitan 150 ppm de Viscozyme L y 350 ppm de Fructozym color.

Cada día se clarifican 300 L de zumo, por lo que a partir de los ppm necesarios de cada cóctel enzimático para realizar el tratamiento enzimático, se puede calcular los mL que se necesitan de estos cócteles para tratar los 300 L de zumo.

Para obtener 150ppm de Viscozyme L en 300 L de zumo se necesitan:

$$300 \text{ L zumo} \cdot \frac{150\text{mL}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} = 45 \text{ mL}$$

Para obtener 350ppm de Fructozym color en 300 L de zumo se necesitan:

$$300 \text{ L zumo} \cdot \frac{350\text{mL}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} = 105 \text{ mL}$$

Las cantidades que se deben introducir en el tanque son de 45 mL para la enzima Viscozyme L y de 105 mL para la enzima Fructozym color.

El procedimiento que se sigue para realizar el ensayo enzimático es el mismo que en el estudio que se ha comentado anteriormente. Para dosificar las cantidades de las enzimas que se introducen por hora se dispone de 2 tanques de 5 L en los que se introduce la enzima separadamente y que disponen de una válvula reguladora en la parte inferior para regular la cantidad de complejo enzimático que se introduce.

Se introduce el zumo junto con los cócteles enzimáticos en un tanque troncocónico, el cual se encuentra en continua agitación durante los 30 minutos que dura el tratamiento enzimático. Una vez termina el tratamiento, se deja reposar hasta que sedimentan en la parte inferior del tanque los sólidos en suspensión y el zumo se retira del tanque. Cuando se ha extraído completamente el zumo, se procede a la descarga de los sólidos que se han depositado en el fondo.

MICROFILTRACIÓN

Esta etapa del proceso consiste en realizar un filtrado usando para ello una membrana microporosa, de forma que se separa el zumo de sustancias que provocan turbidez. El tamaño de poro que suele aplicarse a este proceso es de 0,1 a 20 micras. La MF se caracteriza por eliminar principalmente sólidos en suspensión, manteniendo los sólidos disueltos en la solución, además no es necesario aplicar presión para trabajar.

En esta etapa, a diferencia de la ultrafiltración, no se va a utilizar una membrana, sino que se van a utilizar baterías de cartuchos de diferente luz de malla, de forma que se van a eliminar las sustancias

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

progresivamente. En el caso de tener sólo cartuchos de un mismo tamaño, si se tuvieran que retener partículas mucho mayores a este se podría colmatar fácilmente el cartucho, por tanto, para evitar esto, se van a introducir 3 baterías de cartuchos, con 2 cartuchos cada una y con tamaños de poro de 20 μm , 5 μm y 0,1 μm .

Los datos de los cartuchos que se van a instalar para realizar la microfiltración se han obtenido del proveedor Hawach scientific y el modelo concreto de cartuchos de membrana es de cartuchos de polipropileno plegados. Estos cartuchos usan fibra de polipropileno ultrafina como medio de filtrado y generalmente se aplican a procesos de prefiltrado.

La fibra ultrafina tiene una precisión de filtración estable, puede interceptar eficazmente partículas pequeñas e impurezas coloidales, y la eficiencia de filtración de es hasta el 99%. En la figura 17 se puede observar una imagen del cartucho de polipropileno seleccionado y en la tabla 12 un resumen de las características principales que presentan estos cartuchos (40).



Figura 17: Cartucho de filtro de membrana de polipropileno plegado

Tabla 12: Características de los cartuchos de filtro de membranas de polipropileno plegado

Tamaños de poro (μm)	0,1 – 0,2 – 0,45 – 0,65 – 1 – 2 – 3 – 5 – 10 – 30 – 40 – 50 – 70 – 100
Temperatura de funcionamiento	Normal: <55 °C - Máxima: <80 °C
Presión de dirección de flujo normal	4,2 bar (a 25 °C)
Presión de dirección de flujo inverso	2,1 bar (a 25 °C)
Compatibilidad de valor de pH	1 – 13
Esterilización	A vapor 30 minutos a 135 °C

ULTRAFILTRACIÓN

Después de realizar un primer paso de filtración, en el que se han utilizado cartuchos de microfiltración de 3 tamaños de poro distintos en los cuales se van reduciendo la cantidad de partículas en suspensión progresivamente para evitar la colmatación de los cartuchos, el zumo llegará a la membrana de ultrafiltración, de forma que el zumo que llega a la membrana ya ha pasado por una primera filtración que ayuda a evitar un ensuciamiento excesivo de la membrana de ultrafiltración.

En esta etapa de ultrafiltración se van a obtener dos corrientes de salida de la membrana: el permeado y el rechazo, siendo el permeado la corriente clarificada, que se va a estabilizar y almacenar para su posterior venta como zumo 100% de granada, y el rechazo, la corriente con el zumo concentrado y sin clarificar. Esta corriente se puede utilizar para mezclar con zumos de otras frutas, ya que no es muy común encontrar zumo 100% de granada o bien como fuente de obtención de polifenoles antioxidantes, para la industria farmacéutica.

DESCRIPCIÓN PLANTA PILOTO DE MEMBRANAS

Para poder realizar la clarificación y concentración del zumo es necesario instalar una planta piloto.

Esta planta piloto contiene un sistema de eliminación de partículas mayores, mediante unos cartuchos de microfiltración y una etapa posterior de ultrafiltración. Aparte de los cartuchos de MF y la membrana de UF, la planta piloto está compuesta de tres tanques de almacenamiento, uno es el tanque de alimentación al proceso y los otros dos tanques para la recogida de permeado y rechazo que se obtienen de la membrana. Todos los tanques son de acero inoxidable, tapados, refrigerados y en agitación continua. La capacidad de estos tanques es de 200 litros.

Esta planta piloto dispone también de válvulas de seguridad, de compuerta, manómetros para controlar la presión en distintos puntos críticos de la planta, termómetros en los tanques para controlar la temperatura, caudalímetro en la línea del rechazo y una bomba centrífuga para introducir

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

el zumo en la instalación, de forma que se encuentra a la presión adecuada para un buen funcionamiento de la membrana.

Además, la planta piloto dispone de dos tanques para la limpieza de la membrana, uno de estos tanques contiene agua desionizada y el otro contiene una disolución de limpieza de NaOH 0,1 N.

La membrana de ultrafiltración que se ha seleccionado para llevar a cabo el filtrado del zumo de granada es una membrana de la empresa alemana Burket fluid control systems, concretamente es un módulo de membrana tubular T-CUT Core Series 3710 que se usa para ultrafiltración (41).

En la figura 18 se puede observar una imagen de la membrana. Este módulo tubular ha demostrado ser efectivo para la clarificación de zumos. La gran sección transversal de la membrana hace que sea ideal para este tipo de procesos. Las membranas están hechas de polímero, lo que evita la acumulación de sustancias y permite una fácil extracción. En la tabla 13 se encuentran resumidas las principales características técnicas que presenta este modelo de membranas.



Figura 18: Módulo de membrana tubular T-CUT Core Series 3710

Algunos de los principales beneficios que presenta este modelo de membrana tubular son:

- Procesamiento de alto contenido de sólidos.
- Alto rendimiento de filtrado.
- Fácil enjuague o limpieza.
- Superficies suaves.
- Alta estabilidad mecánica.
- Contacto con alimentos compatible.
- Fácil instalación.

Tabla 13: Características técnicas del módulo de membrana tubular T-CUT Core Series 3710

Longitud del módulo	3050 mm
Diámetro del módulo	107 mm
Área de membrana	4,3 m ²
Material	Polisulfona
Tamaño de poro	50 – 100 – 150 – 200 kDa
Diámetro interior de la membrana	12,5 mm

El proceso de clarificación se realiza por lotes. De forma que cada hora llega al tanque de alimento el zumo de granada para tratar con microfiltración y ultrafiltración. En la microfiltración se retienen las partículas de mayor tamaño y el permeado pasa directamente, previa medida de presión, a la etapa de ultrafiltración, donde se obtiene el permeado que se almacena para su posterior venta y el rechazo, el cual pasa por una válvula que recircula parte de este rechazo y otro lo retira del proceso.

El rendimiento de la membrana se mide con el índice de recuperación, de forma que se obtiene la relación que existe entre el volumen de permeado que se obtiene y el de alimento.

En este caso se ha considerado un valor de recuperación del 80%, lo que quiere decir que de cada 100 L que se introducen en el sistema, se obtienen como permeado 80 L de zumo clarificado y el resto como rechazo (o concentrado). Una parte de este rechazo volverá al tanque de alimento para mantener condiciones de operación en la entrada del proceso. No se recircula todo el rechazo al tanque de alimento para poder ajustar siempre la concentración en el tanque de alimento y evitar un mayor ensuciamiento de la membrana. El rechazo que no se recircula, puede ser almacenado y vendido a otras empresas con el fin de utilizarlo en productos cosméticos. En la tabla 14 se puede observar la composición general del zumo, comparando el zumo fresco, el permeado de la UF y el rechazo.

Tabla 14: Composición general del zumo de granada clarificado y concentrado (42)

	Zumo fresco	Permeado UF	Rechazo UF
Sólidos en suspensión	4,8	0	5,3
Ácidos totales (g/L)	3,75	3,78	3,74
Sólidos solubles (g/kg)	0,41	0,35	0,44
Ácido ascórbico (mg/L)	68,0	47,0	71,0
Ácido málico (g/L)	1,90	1,82	2,01
Ácido cítrico (g/L)	1,47	1,45	1,24
Polifenoles totales (g/L)	1,57	1,31	1,70

Este proceso se realiza durante 5 horas y empieza en la segunda hora de la jornada laboral, por lo que termina en la sexta hora de la jornada laboral y las 2 horas restantes son para el proceso de limpieza de la membrana de UF. Los primeros litros del zumo se utilizan para desplazar esta disolución, siendo desechados del sistema y conducidos a la EDARI tras el paso por la membrana.

La presión se mantiene constante tanto para MF como para UF, esta presión es la que se proporciona en la bomba que hay antes de la MF. La presión de trabajo en la planta será de 3 bar.

Para calcular el área de membrana es necesario conocer el caudal que pasa por la membrana. Para ello, conociendo el volumen total de zumo que se trata (300 L) y sabiendo que el rendimiento de la membrana es del 80%, se calcula el volumen de permeado total que atraviesa la membrana en un día y este es de 240 L. Para conocer el caudal que pasa por la membrana se divide el valor obtenido entre las 5 h de trabajo, de forma que se obtiene un caudal de 48 L/h.

Se selecciona como dato estable para 2 bar el flujo de permeado de 10 L/m²·h (43), por tanto, para obtener el flujo a 1 bar se divide el flujo entre la presión y se obtiene que para 1 bar de presión el flujo es de 5 L/m²·h. Como en este proceso se trabaja a 3 bar, el flujo sería de 15 L/m²·h.

Para obtener el área de membrana, dividimos los litros por hora que se tratan en la planta entre el flujo de permeado estable, de forma que se obtiene un área de membrana de 3,2 m². Como el área de la membrana que se ha seleccionado es de 4,3 m² con un módulo de membrana será suficiente para llevar a cabo la UF.

Tanto el zumo de granada clarificado como concentrado se almacenan para venderlos con el fin de mezclarlos con otros productos. En el caso del zumo clarificado, se puede mezclar con otros tipos de zumos, ya que el zumo clarificado 100% de granada no es un producto muy consumido, sino que suele comprarse mezclado con zumos rojos u otros zumos que se venden clarificados. En el caso del zumo concentrado, generalmente se vende para mezclar con productos cosméticos, gracias a los

polifenoles totales que contiene y sus las propiedades antioxidantes. Se obtienen aproximadamente 60 litros de zumo de granada concentrado al día, por lo que se pueden obtener los gramos de polifenoles totales que contienen estos 60 litros.

$$60 L \cdot 1,70 \frac{g}{L} = 102 g$$

En los 60L de zumo concentrado hay 102 gramos de polifenoles. Aparte de utilizarse en productos cosméticos, el concentrado puede venderse como suplemento alimenticio en cápsulas de pequeñas cantidades.

LIMPIEZA ULTRAFILTRACIÓN

Una vez se termina el proceso de ultrafiltración, se debe limpiar la membrana para que al día siguiente se encuentre limpia y lista para trabajar. Para ello se dispone de dos horas en las cuales se va a aplicar un tratamiento de limpieza con agua osmotizada y con una solución de limpieza química. El fabricante recomienda soluciones químicas ácidas con un pH de 2 o básicas, con un pH de 11, generalmente álcalis como el NaOH y que la solución permanezca en el módulo 30 minutos para posteriormente retirarla.

Para el proceso de limpieza de la membrana es necesario disponer de dos tanques de distintos volúmenes. El del agua destilada será de 150 L mientras que el que contiene la disolución de limpieza de NaOH será de 50 L. Los tanques deben disponer también de termómetro y de pH-metro. El tanque de agua debe estar refrigerado para evitar que el agua se caliente y así asegurarnos que el agua entra al proceso a la misma temperatura que se realiza la clarificación. En cambio, el tanque de hidróxido sódico estará calentándose hasta alcanzar la temperatura indicada.

Para realizar la limpieza de la membrana de ultrafiltración se sigue un protocolo de limpieza que consiste en introducir agua desionizada cuando el zumo se encuentra en los tanques. Con esta agua se enjuagan las membranas durante 30 minutos. A continuación, se comprueba la permeabilidad de la membrana al agua, si esta permeabilidad coincide con la inicial (la que se debe calcular al instalar las membranas) no es necesario realizar un tratamiento químico con una disolución de limpieza. En caso de no tener la misma permeabilidad, a partir de un 5% de permeabilidad inferior a la inicial se procede a realizar la limpieza con la disolución de limpieza de NaOH durante otros 30 minutos. Finalmente se vuelve a enjuagar con agua desionizada durante otros 30 minutos y se comprueba de nuevo su permeabilidad. En caso de utilizar la disolución de limpieza, entre el primer enjuague con agua y el segundo hay que cambiar el agua del tanque, ya que se trata de un circuito cerrado, de forma que el agua que entra a enjuagar vuelve al tanque.

Cuando el proceso de limpieza de la membrana finaliza, se vacían los tanques de agua desionizada y de NaOH si se ha utilizado para su posterior tratamiento. En el caso del agua desionizada, esta se envía a la EDARI para que la traten, mientras que la solución de limpieza se envía a la gestión de residuos.

En cuanto a la limpieza de la microfiltración es externa al equipo, ya que se deben retirar los cartuchos para realizar su limpieza.

6. Conclusiones

El objetivo de este proyecto es el diseño de una instalación para la obtención de dos fracciones diferentes de zumo de granada, una clarificada para su venta como zumo y una segunda fracción como concentrado rico en antioxidantes y polifenoles.

En este proyecto, se tratan 300 litros de granada al día, de forma que, tomando este valor como dato de partida, y sabiendo que éste será el volumen a tratar, se ha realizado el diseño de una instalación en la que se procesa la fruta, para en primer lugar obtener el zumo y posteriormente clarificarlo en una planta piloto que incluirá la dos etapas: microfiltración y la ultrafiltración.

Al zumo de granada, se le aplica en primer lugar un tratamiento enzimático para hacer precipitar sólidos en suspensión y evitar de esta forma que las membranas se ensucien más rápido y se colmaten. Con este tratamiento se consigue alargar la vida útil de las membranas, sobre todo la de microfiltración, ya que los sólidos de mayor tamaño se eliminan en esta etapa.

En el diseño de la planta piloto, se propone para la etapa de microfiltración 3 baterías de 2 cartuchos cada una, de distinto tamaño de poro, de forma que se eliminarán casi la totalidad las partículas reduciendo el ensuciamiento de la etapa posterior que es la ultrafiltración. Donde se propone un sólo módulo de membrana de configuración tubular.

Como resultado de esta etapa obtendremos, además del zumo clarificado (objeto de este TFG), una segunda corriente concentrada en antioxidantes, susceptible de aplicación en la industria farmacéutica y nutrición.

Así pues, se propone la venta del zumo clarificado para la mezcla con otros zumos clarificados, generalmente zumos de frutos rojos que normalmente se demandan así por el consumidor, y en cuanto al zumo concentrado, con una importante cantidad de polifenoles y propiedades antioxidantes, se propone la venta para mezclarlo con otros productos y utilizarlo en la industria cosméticas o como suplementos alimenticios. De esta manera el retorno de la inversión realizada será más rentable con esta doble fuente de ingreso.

7. Bibliografía

- (1) Fruta pasión: Granada fruta, el antioxidante del deseo. Recuperado de: <https://frutapasion.es/granada-fruta-deseo-antioxidante/#comment-76>. Consulta:22/05/2020.
- (2) Wordpress paisajismolmg: Punica granatum granado. Recuperado de: <https://paisajismolmg.wordpress.com/2017/07/24/punica-granatum-granado/>. Consulta:29/05/2020.
- (3) Worldhealthdesign: Granada la fruta anticolesterol. Recuperado de: <https://worldhealthdesign.com/granada-la-fruta-anti-colesterol/>. Consulta:29/05/2020.
- (4) Zumo de Granada: Zumo de Granada. Recuperado de <https://zumodegranada.com/zumo-de-granada/>. Consulta:22/05/2020.
- (5) Rodríguez, O. y Serrat, M. (2008). Poligalacturonasas de levaduras: un producto biotecnológico de grandes potencialidades. Tecnología Química. Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, 28 (1), 87.
- (6) Martínez, K.; Cazorla, A.; Escobar, J.; Alvarado, C. (2017). Revista Ingeniería y Sociedad UC Vol.12 No.1 ISSN 1856-352X: Preparación de un jugo clarificado de frutas utilizando un concentrado enzimático de guayaba y papaya.
- (7) Vergara S. (2014) Estrategias tecnológicas para optimizar la producción y vida útil de zumo de granada. (Tesis doctoral). Universidad Miguel Hernández, Elche, España.
- (8) Fang, Z., Zhang, M., Sun, Y., Sun, J., 2006. How To Improve Bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) Juice Color Quality: Effect of Juice Processing on Bayberry Anthocyanins and Polyphenolics. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54(1), 99-106.
- (9) Balik, J., 2003. *Effect of bentonite clarification on concentration of anthocyanins and colour intensity of red and rose wines*. Horticultural Science 30(4), 135-141.
- (10) Richard W. Baker (2000). *Membrane Technology and applications*, California, Estados Unidos, McGraw-Hill.

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

(11) Marcel Mulder (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*, University of Twente, Enschede, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

(12) Corbatón M.J. (2015). *Limpieza de membranas de ultrafiltración aplicadas en la industria alimentaria por medio de técnicas no convencionales y caracterización del ensuciamiento de membranas*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

(13) ZHAO. et al. (2000). *Fouling and cleaning of membrane-a literatura review*. Journal of Environmental Sciences, vol. 12, p. 241-251.

(14) KAZEMIMOGHADAM M. y MOHAMMADI T. (2007). *Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry*. Desalination, vol. 204, p. 213-218.

(15) WANG Z. et al. (2014). *Membrane cleaning in membrane bioreactors: A review*. Journal of Membrane Science, vol. 468, p. 276-307.

(16) KRSTIĆ D.M. et al. (2002). *The effect of turbulence promoter on cross-flow microfiltration of skim milk*. Journal of Membrane Science, vol. 208, p. 303-314.

(17) MUTHUKUMARAN S. et al. (2004). *The use of ultrasonic cleaning for ultrafiltration membranes in the dairy industry*. Separation and Purification Technology, vol. 39, p. 99-107.

(18) TARAZAGA C.C., CAMPDERRÓS M.E. y PÉREZ PADILLA A. (2006). *Physical cleaning by means of electric field in the ultrafiltration of a biological solution*. Journal of Membrane Science, vol. 278, p. 219-224.

(19) ANG W.S., LEE S. y ELIMELECH M. (2006). "Chemical and physical aspects of cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranes" en Journal of Membrane Science, vol. 272, p. 198-210.

(20) BLANPAIN-AVET P., MIGDAL J.F. y BÉNÉZECH T. (2009). *Chemical cleaning of a tubular ceramic microfiltration membrane fouled with a whey protein concentrate suspension – characterization of hydraulic and chemical cleanliness*. Journal of Membrane Science, vol. 337, p. 153-174.

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

(21) NAIM R., LEVITSKY I. y GITIS V. (2012). *Surfactant cleaning of UF membranes fouled by proteins*. Separation and Purification Technology, vol. 94, p. 39-43.

(22) HONG S. y ELIMELECH M. (1997). *Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranas*. Journal of Membrane Science, vol. 132, p. 159-181.

(23) ARGÜELLO M.A. et al. (2003). *Enzymatic cleaning of inorganic ultrafiltration membranes used for whey protein fractionation*. Journal of Membrane Science, vol. 216, p. 121-134.

(24) PAUGAM L. DELAUNAY D. y RABILLER-BAUDRY M. (2010). *Cleaning efficiency and impact on production fluxes of oxidising disinfectants on a PES ultrafiltration membrane fouled with proteins*. Food and Bioproducts Processing, vol. 88, p. 425-429.

(25) LEE S. y ELIMELECH M. (2007). *Salt cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranas*. Water Research, vol. 41, p. 1134- 1142.

(26) SMITH P.J. et al. (2006). *Productivity enhancement in a cross-flow ultrafiltration membrane system through automated de-clogging operations*. Journal of Membrane Science, vol. 280, p. 82-88.

(27) MATZINOS P. y ÁLVAREZ R. (2002). *Effect of ionic strength on rinsing and alkaline cleaning of ultrafiltration inorganic membranes fouled with whey proteins*. Journal of Membrane Science, vol. 208, p. 23-20.

(28) Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes: Mejores técnicas disponibles: Otros documentos técnicos: La industria de elaborados vegetales. AINIA: Instituto tecnológico agroalimentario. (2004)

(29) Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes: Mejores técnicas disponibles: Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España, por sectores (MAGRAMA): Guía MTD Sector Transformados Vegetales. (2004)

(30) LaMejorNaranja: Zumo de granada 1 litro. Recuperado de: <https://www.lamejornaranja.com/comprar-zumo-de-granadas-1litro-100x100natural#:~:text=Sobre%20el%20zumo%20de%20granada%3A&text=Es%20un%20zumo%20obtenido%20de,zumo%20se%20utilizan%20unos%203kg>. Consulta: 08/06/2020

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

(31) Pinto, C., Laespada, M., Pavon, J., Cordero, B. (1999). Analytical applications of separation techniques through membranes. Lab. Automation and Information Management. 34; pp.115130.

(32) Cedismafrut: Productos: Vaciador de cajas continuo. Recuperado de: <http://www.cedismafrut.com/productos/vaciadores-cajas-y-bins-o-palots/vaciador-de-cajas-continuo>. Consulta: 12/06/2020

(33) Omnitrack: Sistemas transportadores flexibles: Rodillos. Recuperado de: https://omnitrack.es/product/r400-2000-bola-de-poliuretano/?gclid=CjwKCAjw2uf2BRBpEiwA31VZjx5q8x8nY-Uz3XSdVNmaJIUyhqovfxdPjcg927rIRSQI3vUEYWW48BoCSrUQAvD_BwE. Consulta: 12/06/2020

(34) Sormac: Productos: Limpieza y lavado: Lavadora de frutas. Recuperado de: <https://www.sormac.eu/es/maquinaria/lavadora-de-frutas/>. Consulta: 12/06/2020

(35) Interempresas: Alimentación (equipamiento): Lavadoras de frutas y hortalizas: Cepillo técnico. Recuperado de: <https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Cepillo-cilindrico-All-Future-XXI-CC-176296.html>. Consulta: 12/06/2020

(36) Tico: Maquinariis: Pelado y extracción de frutas. Recuperado de: <http://www.juicemakingmachine.com/products/fruit-peeling-and-extracting-machine.html>. Consulta: 15/06/2020

(37) Inoxpa: Productos: Tratamiento térmico: Pasteurizador. Recuperado de: <https://www.inoxpa.es/productos/equipos/tratamiento-termico/pasteurizador-htst>. Consulta: 16/06/2020

(38) Inoxpa: Uploads: Documents.: Equipos: Pasteurizador HSTS. Recuperado de: <https://www.inoxpa.es/uploads/document/Fitxa%20tecnica/Equips/Pasteuritzador/FTsolHTST.2 ES.pdf>. Consulta: 16/06/2020

(39) Quesada Salas, Maria Catalina (2013). Determinación de las condiciones óptimas del tratamiento enzimático acoplado a un proceso de microfiltración tangencial a ser aplicado en una empresa procesadora de frutas y vegetales para la obtención de jugo clarificado de piña (Ananas comosus) (Trabajo Final de Grado). Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica.

Diseño de una instalación para la producción y clarificación de zumo de granada utilizando técnicas de membrana (MF/UF). (Q = 300 L/día)

(40) Hawach Scientific: Products: Filtration System: PP Pleated Membrane Filter Cartridges. Recuperado de: <https://www.hawachfiltration.com/product/pp-pleated-membrane-filter-cartridges/>. Consulta: 18/06/2020

(41) Bürkert Fluid Control Systems: CUT filtration modules: T-CUT Core tubular modules for ultrafiltration. Recuperado de: https://juice-filtration.com/en_US/product/#1487885034725-85e72200-2a6e. Consulta: 20/06/2020

(42) Cassano, A., Conidi, C., Drioli, E. (2011). Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum* L.) using membrane processes. *Journal of Food Engineering* 107(3):366-373.

(43) Mirsaeedghazi, H., Mohammad, S., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K., Aroujalian, A., Navidbakhsh, M. (2012). Comparison between ultrafiltration and microfiltration in the clarification of pomegranate juice. *Journal of Food Process Engineering* 35: 424-436

DOCUMENTO II:

PRESUPUESTO

1. Introducción

El objetivo de realizar un presupuesto es conocer el coste total que supone la producción del zumo. Este presupuesto incluye los costes de la maquinaria necesaria en el proceso, los materiales necesarios, la materia prima, la mano de obra de los trabajadores y los distintos productos que se utilizan para realizar tratamientos sobre el zumo o limpieza de membranas.

El presupuesto se ha dividido en distintas secciones, de forma que se han englobado en grupos los costes que se generan en el proceso. Las secciones en las que se divide el presupuesto son: cuadro de precios de materiales y equipos, cuadro de precios de la maquinaria, cuadro de precios de la mano de obra.

Este presupuesto se va a calcular para un año entero, es decir, se calculan los costes de la materia prima, reactivos, mano de obra para un año. Para poder calcular el coste total en un año es necesario conocer los días laborables que tiene un año. Un año tiene 365 días, de los cuales 104 son fines de semana, por lo que esos días no se trabaja. Aparte de los fines de semana, al año hay unos 12 días festivos, pueden ser más o menos en función de qué días sean las festividades ese año, que tampoco se trabaja. Por tanto, el cálculo de los costos será sobre 253 días laborables.

2. Cuadro de precios de materiales, equipos y materia prima

2.1. Reactivos

En el proceso de obtención de zumo clarificado se utilizan distintos reactivos con el fin de realizar un tratamiento enzimático al zumo que le permita conservar sus propiedades y otros que se utilizan para realizar la limpieza de las membranas.

Para el tratamiento enzimático se utilizan dos cócteles enzimáticos, el Viscozyme L y el Fructozym color. Cada hora se introducen 9 gamos del primer cóctel y 21 gramos del segundo, por lo que realizando algunos cálculos se pueden calcular los gramos que se necesitan al año de cada uno de estos cócteles.

$$45 \frac{mL}{día} \cdot \frac{253 \text{ días}}{año} = 11385 \text{ mL de Viscozyme L}$$

$$105 \frac{mL}{día} \cdot \frac{253 \text{ días}}{año} = 26565 \text{ mL de Fructozym color}$$

Se necesitan al año 11,385 L de Viscozyme L y 26,565 L de Fructozym color. Conociendo las cantidades necesarias se puede calcular el coste económico que suponen.

Para la limpieza de las membranas se utiliza una solución de NaOH 0,1 N. Se necesita conocer la cantidad total de NaOH que se utiliza en un año para calcular el coste que supone este producto. Cada día para la limpieza de las membranas se utilizan 25 L de la solución, con este valor y conociendo los días que se trabajan al año se pueden conocer los litros de solución que se utilizan en un año.

$$25 \frac{L}{día} \cdot 253 \frac{días}{año} = 6325 \frac{L}{año}$$

Haciendo el cálculo se obtiene que se necesitan 6325 litros de solución NaOH 0,1 N para la limpieza de la membrana de ultrafiltración durante un año.

Tabla 15: Presupuesto reactivos utilizados en el proceso

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
46	ud	250 mL Viscozyme L	265,00	12190,00
27	ud	1 L Fructozym color	69,78	1884,06
6325	ud	1 L Solución NaOH 0,1 N	7,11	44970,75
Precio total reactivos				59044,81

2.2. Equipos auxiliares

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos materiales y equipos que son necesarios para la producción del zumo de granada pero que no se encuentran dentro de la plana piloto de ultrafiltración y microfiltración, ya que esta se calculará en un cuadro de precios aparte. En este apartado tampoco se incluye la maquinaria empleada en la producción del zumo, que se encuentra en otro punto del presupuesto.

Lo que sí que se incluye en este apartado son los tanques que suministran los cócteles enzimáticos al proceso. Para ello se necesitan dos tanques de 5 L cada uno de acero inoxidable y con una válvula dosificadora en la parte inferior de los mismos que permitan introducir las cantidades exactas que se requieren para el tratamiento enzimático del zumo.

Otro equipo que se incluye en este apartado es la cámara climatizada en la cual se almacenan las granadas que se utilizan ese día cuando llegan con el camión.

Tabla 16: Presupuesto equipos auxiliares utilizados en el proceso

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
2	ud	Tanque de 5 L de acero inoxidable	200,00	400,00
1	ud	Cámara climatizada 1000 kg capacidad	3045,57	3045,57
Precio total equipos auxiliares				3445,57

2.3. Materia prima

Cada día se utilizan 900 kilogramos de granada para la obtención de aproximadamente los 300 L de zumo de granada que se van a tratar en MF y UF. Con el mismo cálculo que se ha realizado anteriormente se pueden calcular los kilogramos totales de granada que se van a procesar cada año para obtener el zumo.

$$900 \frac{kg}{día} \cdot 253 \frac{días}{año} = 227700 \frac{kg}{año}$$

Realizando el cálculo se obtiene que se necesitan 227700 kg de granada al año para producir todos los días los 300 L de granada que se tratan con MF y UF.

Tabla 17: Presupuesto materia prima

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
22770	ud	10 kg de granada	20	455400
		Precio total materia prima		455400

3. Cuadro de precios de la maquinaria empleada

En este apartado se incluye toda la maquinaria necesaria para producir el zumo de granada a excepción de aquella maquinaria que forma parte de la planta piloto de MF y UF. Por tanto, en este apartado se encuentran los precios la maquinaria necesaria para la recepción, transporte de la granada entre la distinta maquinaria, pelado, extracción, etc.

Tabla 18: Presupuesto maquinaria

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
1	ud	Vaciador de cajas contínuo	10000	10000
2	ud	Cinta transportadora rodillos	734,03	1468
1	ud	Lavadora de frutas	8000	8000
3	ud	Cepillos cilíndricos	50	150
1	ud	Máquina de pelado	8500	8500
1	ud	Cintra transportadora nervada	1500	1500
1	ud	Prensa de bandas Flottweg	5000	5000
1	ud	Pasteurizador HSTS	4000	4000
1	ud	Tanque troncocónico 100 L	2000	2000
Precio total maquinaria				40618

4. Cuadro de precios planta piloto de membranas

En este apartado incluyen los costes de la maquinaria necesaria para el funcionamiento de la planta piloto de membranas y se obtiene el coste total de esta.

Tabla 19: Presupuesto planta piloto membranas

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
3	ud	Tanque refrigerado 500 L acero inoxidable	450	1350
2	ud	Cartuchos membrana MF 20 µm	30	60
2	ud	Cartuchos membrana MF 5 µm	40	80
2	ud	Cartuchos membrana MF 0,1 µm	60	120
5	ud	Termómetro	150	750
2	ud	Caudalímetro	177	354
5	ud	Válvula reguladora de caudal	200	1000
6	ud	Válvula de seguridad	300	1800
13	ud	Válvula de 3 vías	250	3250
1	ud	Tanque refrigerado 150 L acero inoxidable	1500	1500
1	ud	Tanque refrigerado 50 L acero inoxidable	500	500
6	ud	Manómetro	100	600
5	ud	pH-metro	300	1500
1	ud	Bomba centrífuga	2500	2500
1	ud	Módulo membrana UF	1500	1500
1	ud	Membrana UF	350	350
Precio total planta piloto				17214

5. Cuadro de precios mano de obra

En este apartado se incluyen todos los trabajadores que realizan alguna tarea en el proceso de obtención del zumo. Para poder calcular el coste total de la mano de obra es necesario conocer los trabajadores que intervienen en el proceso.

Aparte de los dos operarios que se encargan del control de calidad de la granada, en la instalación hay un operario que se encarga de revisar los volúmenes de los tanques, por si es necesario introducir más. Los operarios de control de calidad junto con este se encargan de poner en marcha la limpieza y de extraer los residuos. Hay otro operario que se encarga del mantenimiento de la instalación.

Finalmente, durante los primeros 4 meses hay un ingeniero químico, que se encarga de revisar toda la instalación antes de su puesta en marcha y que sigue en la empresa hasta que se establezca la producción.

$$4 \text{ operarios} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 253 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8096 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$1 \text{ ingeniero químico} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 85 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 680 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Tabla 20: Presupuesto mano de obra

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
8096	h	Operarios	8	129536
680	h	Ingeniero químico	30	20400
Precio total mano de obra				149936

6. Cuadro de precios componentes de repuesto

En este apartado se van a incluir repuestos que siempre se deben tener en la instalación para poder sustituir los componentes que la forman lo más rápido posible, de forma que no se tenga que detener el proceso de producción durante mucho tiempo.

Componentes como la bomba centrífuga, las membranas, válvulas, manómetros, pH-metros, caudalímetros o termómetros son muy importantes a la hora de controlar el proceso o hacer que funcione, por tanto, siempre es importante tener algún repuesto para estos componentes.

Tabla 21: Presupuesto componentes de repuesto

Cantidad	Unidad	Concepto	Precio (€/ud.)	Importe (€)
1	ud	Bomba centrífuga	2500	2500
1	ud	Cartuchos membrana MF 20 µm	30	30
1	ud	Cartuchos membrana MF 5 µm	40	40
1	ud	Cartuchos membrana MF 0,1 µm	60	60
2	ud	Termómetros	150	300
1	ud	Caudalímetro	177	177
2	ud	Válvula reguladora de caudal	200	400
2	ud	Válvula de seguridad	300	600
2	ud	Válvula de 3 vías	250	500
1	ud	Manómetro	100	100
2	ud	pH-metro	300	600
1	ud	Membrana UF	350	350
Precio total componentes de repuesto				5657

7. Presupuesto total

Tabla 22: Presupuesto total del proceso de producción

Capítulo	Concepto	Importe (€)
2.1	Cuadro de precios reactivos	59044,81
2.2	Cuadro de precios equipos auxiliares	3445,57
2.3	Cuadro de equipos materia prima	455400
3	Cuadro de precios maquinaria	40618
4	Cuadro de precios planta piloto	17214
5	Cuadro de precios mano de obra	149936
6	Cuadro de precios componentes de repuesto	5657
	Precio total Presupuesto de Ejecución Material	731315,38

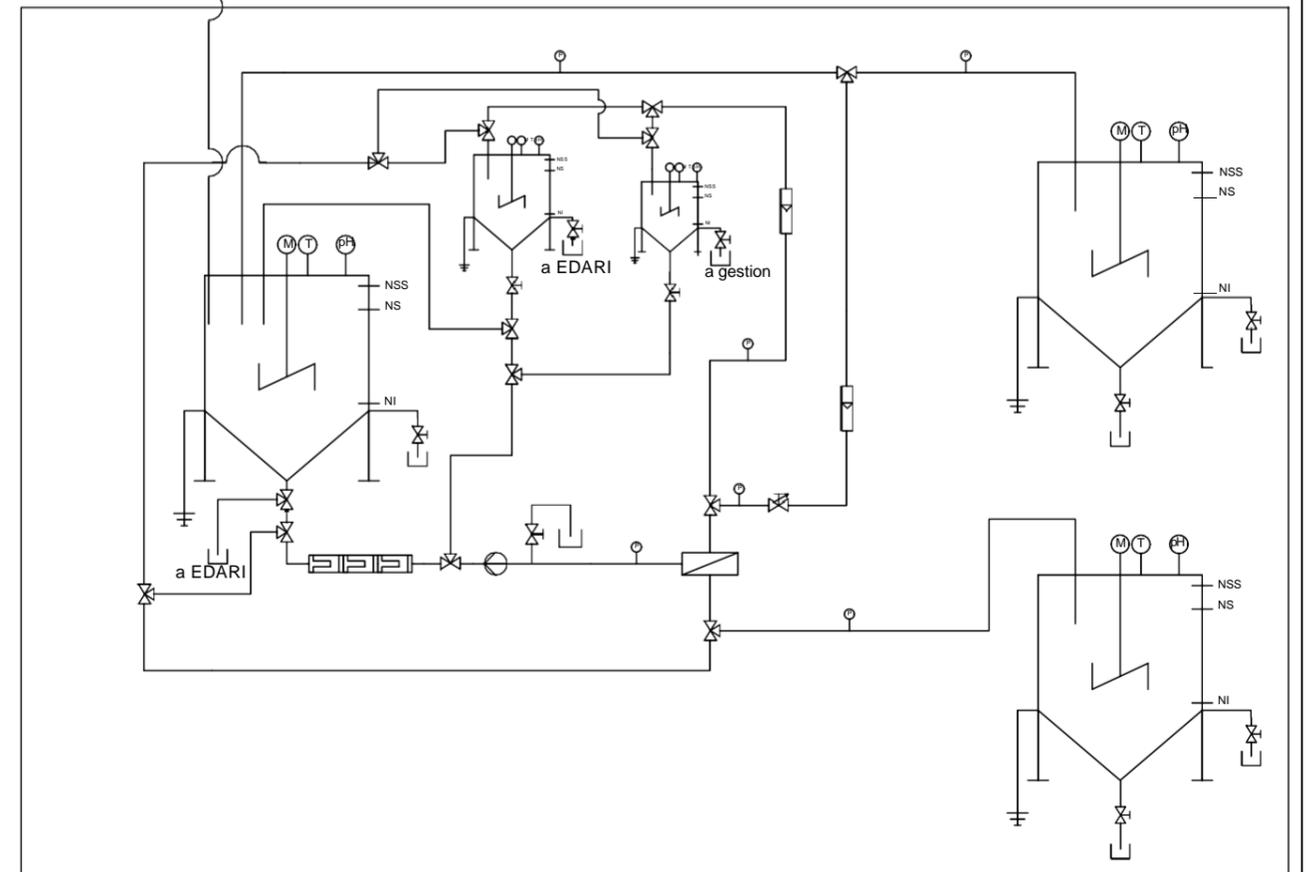
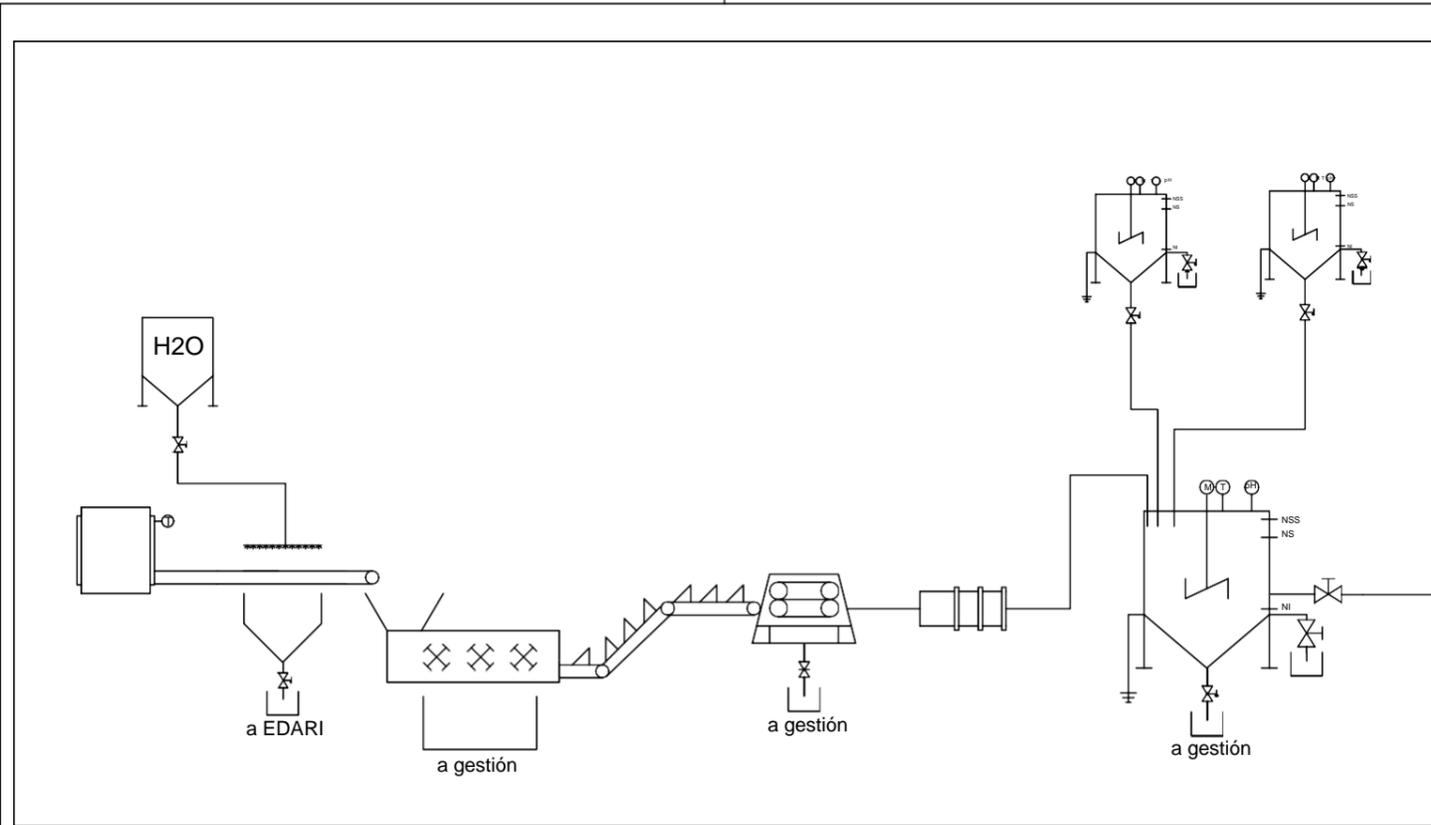
Tabla 23: Presupuesto total de inversión

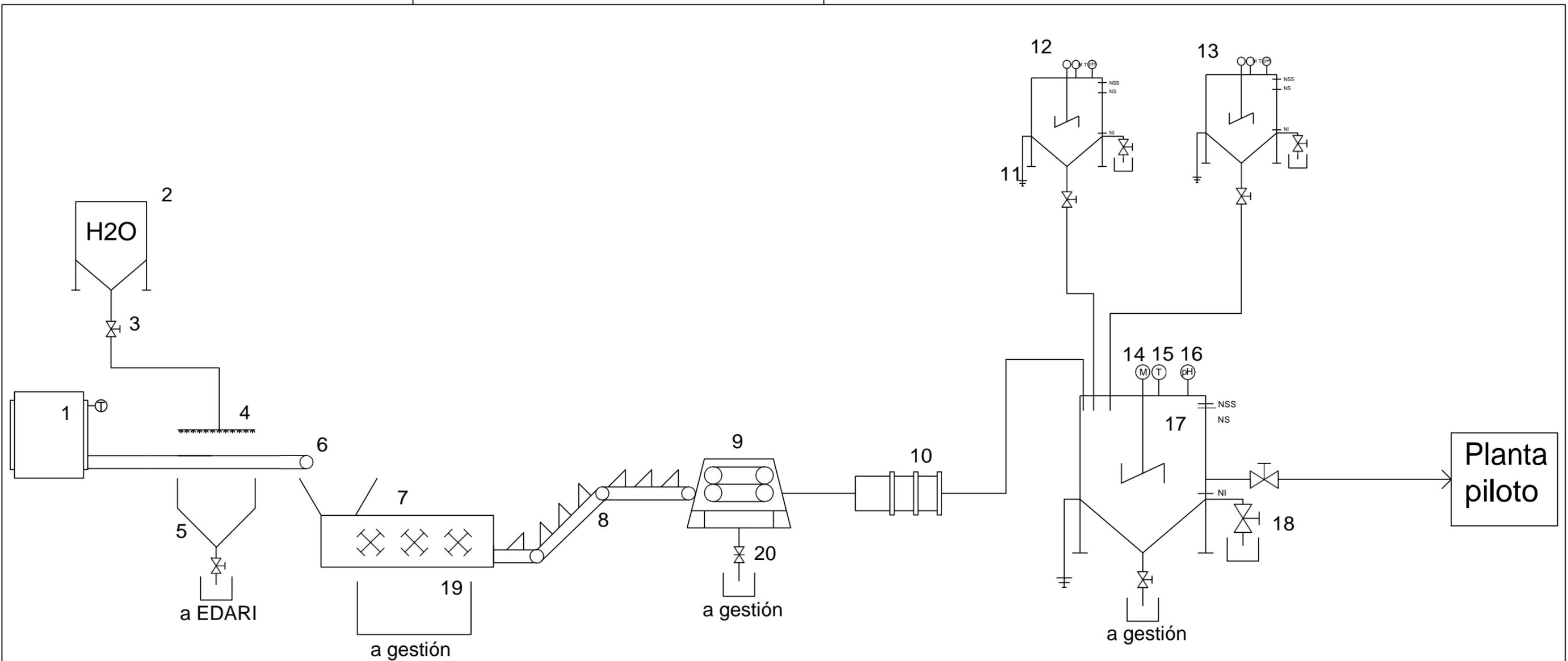
Concepto	Importe (€)
13 % Gastos Generales	95071
6 % Beneficio Industrial	43878,92
Suma	870265,3
21 % IVA	182755,71
Presupuesto total de inversión	1053021

El presupuesto total de inversión incluyendo el IVA asciende a la cantidad de UN MILLÓN CINCUENTA Y TRES MIL VEINTIUNO euros.

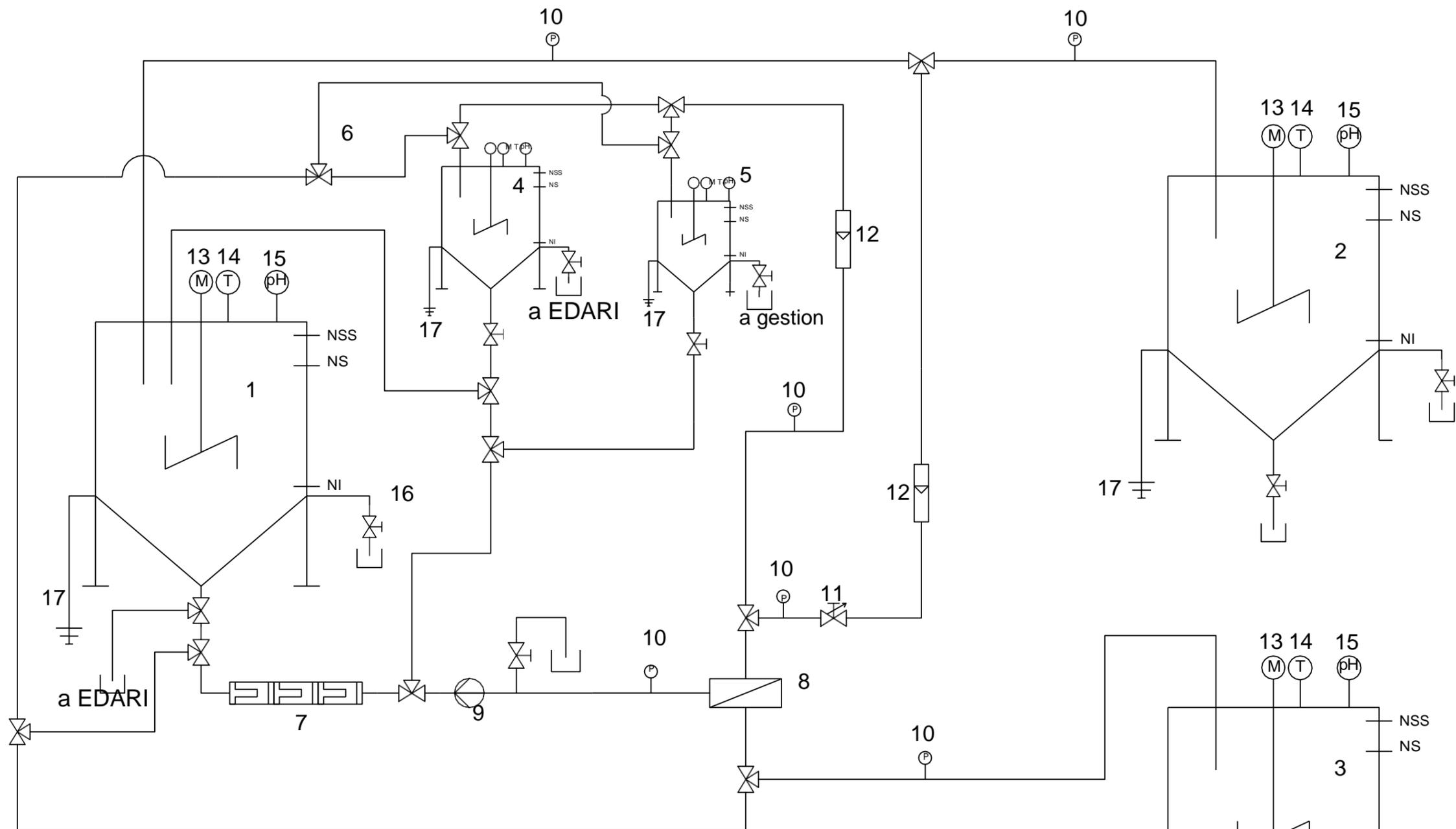
DOCUMENTO III:

PLANOS





1	Cámara climatizada	11	Toma tierra
2	Tanque de agua	12	Tanque Viscozym L
3	Válvula reguladora de caudal	13	Tanque Fructozym color
4	Lavadora de frutas	14	Agitador (motorizado)
5	Depósito recogida agua de lavado	15	Termómetro
6	Cinta transportadora de rodillos	16	pH-metro
7	Peladora	17	Tanque troncocónico
8	Cinta transportadora nervada	18	Válvula de seguridad
9	Prensa de bandas Flottweg	19	Depósito recogida de cáscaras
10	Pasteurizador HSTS	20	Válvula de compuerta



1	Tanque de alimento	10	Manómetro
2	Tanque de rechazo	11	Válvula reguladora de caudal
3	Tanque de permeado	12	Caudalímetro
4	Tanque de agua desionizada	13	Agitador (motorizado)
5	Tanque de NaOH	14	Termómetro
6	Valvula de 3 vías	15	pH-metro
7	Cartuchos de membranas MF	16	Válvula de seguridad
8	Membrana UF	17	Toma tierra
9	Bomba centrífuga		