



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Química**

---

**OBTENCIÓN DE PECTINA MEDIANTE  
EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS.**

**CURSO 2020/2021**

**Autor:**

**Diez Carrión, Alejandro**

**TUTORA:**

**GARCÍA CUBERO,  
MARÍA TERESA**

**COTUTORA:**

**COCA SANZ, MÓNICA**



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerse a mis tutoras, Mónica Coca Sanz y María Teresa García Cubero por el aguante que han tenido conmigo y por ayudarme en todo momento.

A mi familia, sobre todo a mis padres Enrique y Mercedes y a mi hermano Adrián, quienes me han apoyado siempre en cada decisión que he tomado y me han dado el lujo de poder estudiar una carrera universitaria. Gracias por soportarme en todos los momentos malos que me ha dado esta carrera ya que los habéis sufrido tanto o más que yo y por celebrar todos los buenos momentos que han ido llegando.

A mis amigos, en especial con los que he compartido estos años de aulario, un sitio que era lo más parecido a una segunda casa y que hacía el estudio lo más ameno posible.

A todo el resto de mis amigos y aquellos que han pasado durante estos años por animarme a no dejar esta carrera ni en mis peores momentos y creer en mí ni cuando yo mismo lo hacía.



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## Resumen y palabras claves

El propósito de este trabajo es el diseño de un proceso para la extracción de la pectina presente en residuos y/o subproductos de origen agroindustrial, mediante tecnologías de bajo coste y que sean respetuosas con el medio ambiente.

En primer lugar, se ha elaborado una revisión bibliográfica con el fin de realizar la selección de la materia prima (pulpa de remolacha) y la tecnología de extracción (extracción asistida por microondas), para la producción de pectina en una planta industrial ubicada en la localidad de Olmedo, Valladolid.

En la segunda parte se presenta el dimensionado de la planta, con capacidad para procesar 359 t/d de pulpa de remolacha. Utilizando HCl como agente de extracción a 60 °C durante 3 minutos y con una potencia de 297,7 kW, se consigue un flujo másico de pectina húmeda de 15,48 t/h (rendimiento del 21%). El coste total de la planta es de aproximadamente 2,28 M€.

**Palabras Clave:** Pectina, Pulpa de Remolacha, extracción, microondas, precipitación.

## Abstract and key words

The purpose of this work is the design of a project for the extraction of pectin presents in organic waste or subproduct from agroindustry, through low-cost technology and ecofriendly.

First of all, a bibliographic review has been elaborated in order to carry out a selection of the raw material (Sugar Beet Pulp) and the extraction technology (Microwave Assisted Extraction), for the production of pectin in an industrial plant situated in the location of Olmedo, Valladolid.

The second part presents the sizing of the plant, with processing capacity of 359,01 t/d of sugar beet pulp. Using HCl as an extraction agent at 60 °C during 3 minutes and with a power of 297,7 kW, it is aimed a mass flow of pectin of 15,48 t/h (yield of 21%). The total cost of the plant is around 2,28 M€.

**Key Words:** Pectin, Sugar Beet Pulp, extraction, microwave, precipitation.



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## Índice

### Tabla de contenido

1.	Introducción:.....	1
1.1.	Estructura de la pectina.....	3
1.2.	Propiedades de la pectina.....	6
1.3.	Materias primas utilizadas para la producción de pectina:.....	6
1.4.	Principales aplicaciones de la pectina.....	8
1.5.	Tecnologías de extracción de pectina.....	10
1.6.	Características de la pulpa de remolacha:.....	15
1.6.1.	Producción de remolacha azucarera.....	15
1.6.2.	Composición de la pulpa de remolacha:.....	15
1.6.3.	Usos de la pulpa de remolacha:.....	16
2.	Objetivos.....	18
3.	Selección de alternativas:.....	20
3.1.	Selección de la materia prima:.....	20
3.2.	Tecnologías de extracción de pectina:.....	20
3.3.	Condiciones de operación en la extracción de pectina mediante EMA: ...	21
3.4.	Proceso de recuperación de pectina:.....	24
3.5.	Ubicación y capacidad de la planta:.....	25
3.5.1.	Ubicación de la planta:.....	25
3.5.2.	Capacidad de la planta.....	28
4.	Dimensionado de la planta:.....	30
4.1.	Límites de batería:.....	30
4.2.	Diagrama de bloques:.....	31
4.3.	Balances de materia:.....	33
4.4.	Dimensionado de los principales equipos:.....	40
4.4.1.	Zona de recepción y descarga de materia prima:.....	40
4.4.2.	Agitación:.....	42
4.4.3.	Extracción Asistida mediante Microondas (EMA):.....	44



4.4.4. Filtración: .....	47
4.4.5. Membranas: .....	48
4.4.6. Centrifugación: .....	49
4.4.7. Destilación: .....	51
4.5. Diagrama de flujo: .....	56
5. Estudio tecno-económico .....	59
5.1. Coste total de la planta .....	59
5.2. Estudio viabilidad económica .....	61
6. Conclusiones .....	64
7. Bibliografía: .....	66
ANEXO I. Lista de equipos: .....	73
ANEXO II. Diagrama de flujos .....	74
ANEXO III. Cálculos para el flujo de Caja .....	75





UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## Índice Tablas

<b>Tabla 1-</b> Composición de la pectina según la materia prima utilizada expresada como porcentaje en peso de materia seca [14].....	5
<b>Tabla 2-</b> Principales ventajas y desventajas de los diferentes métodos extracción. [17, 19].....	13
<b>Tabla 3-</b> Resumen datos experimentales de las diferentes tecnologías de extracción. [17,19].....	14
<b>Tabla 4-</b> Composición química de pulpa de remolacha [22].....	16
<b>Tabla 5-</b> Condiciones de operación en extracción de pectina asistida por microondas para diferentes materias [26,27,28,31].....	23
<b>Tabla 6-</b> Flujo total másico y composiciones en la agitación [31].....	33
<b>Tabla 7-</b> Corrientes y composiciones de la entrada y salida de la etapa de agitación.....	34
<b>Tabla 8-</b> Corrientes y composiciones de EAM.....	35
<b>Tabla 9-</b> Corrientes y composiciones de entrada y salida de la etapa de filtración.....	35
<b>Tabla 10-</b> Corrientes y composiciones en el módulo de membranas.....	36
<b>Tabla 11-</b> Corrientes y composiciones de la precipitación.....	37
<b>Tabla 12-</b> Corrientes y composiciones etapa de centrifugación.....	38
<b>Tabla 13-</b> Corrientes y composiciones de la etapa de destilación.....	39
<b>Tabla 14-</b> Cálculo APD.....	44
<b>Tabla 15-</b> Parámetros centrífuga.....	49
<b>Tabla 16-</b> Datos equilibrio etanol-agua[50].....	52
<b>Tabla 17-</b> Datos de partida destilación.....	53
<b>Tabla 18-</b> Valores de operación del diagrama.....	54
<b>Tabla 19-</b> Valores del método Sowel-Lewis.....	54
<b>Tabla 20-</b> Estimación precio de los principales equipos de la planta.....	60
<b>Tabla 21-</b> Resumen partida de costes.....	61
<b>Tabla 22-</b> Precios totales materias primas y productos.....	61



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## Índice de Figuras

<b>Figura 1-</b> Incremento anual del valor de mercado de la pectina por continentes [5].....	2
<b>Figura 2-</b> Incremento anual del volumen de pectina en toneladas [6] .....	2
<b>Figura 3-</b> Estructura esquemática de la pectina que representa los polisacáridos más importantes. [12].....	4
<b>Figura 4-</b> Estructura de la pectina de alto metoxilo [12].....	4
<b>Figura 5-</b> Estructura de la pectina de bajo metoxilo [12].....	5
<b>Figura 6-</b> Aplicaciones del mercado global de la pectina [15].....	8
<b>Figura 7-</b> Ubicación municipio de Olmedo en la distancia [34].....	26
<b>Figura 8-</b> Principales productos de la Fábrica azucarera [35].....	26
<b>Figura 9-</b> Ubicación de ACOR de donde proviene la PDR [36].....	27
<b>Figura 10-</b> Ubicación de la planta de PDR [36].....	28
<b>Figura 11-</b> Diagrama de Bloques del proceso .....	31
<b>Figura 12-</b> Tolva receptora con tornillo sin fin [41].....	40
<b>Figura 13-</b> Cinta transportadora [42].....	41
<b>Figura 14-</b> RCTA [43].....	42
<b>Figura 15-</b> Valores de $K_T$ [43].....	43
<b>Figura 16-</b> Tecnología microondas asistida diseñada por Sairem [44].....	45
<b>Figura 17-</b> Generador de potencia diseñado por Sairem [45].....	46
<b>Figura 18-</b> Filtro prensa y marcos [46].....	47
<b>Figura 19-</b> Sistema de membranas [47].....	48
<b>Figura 20-</b> Centrifugadora-decantadora [48].....	50
<b>Figura 21-</b> Columna destilación [49].....	51
<b>Figura 22-</b> Diagrama de equilibrio .....	52
<b>Figura 23-</b> Diagrama McCabe-Thiele .....	55
<b>Figura 24-</b> Flujo de Caja Acumulado.....	62



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## 1. Introducción:

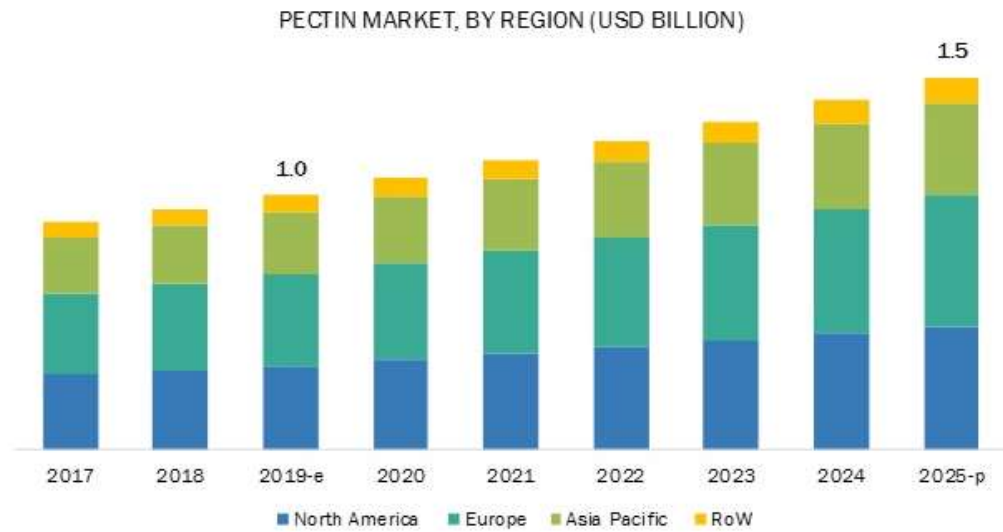
En España, la fruta ocupa el tercer puesto en el consumo después de carne y pescado ya que constituye uno de los productos básicos de la dieta mediterránea. En 2020, debido a la pandemia COVID-19, durante los meses de confinamiento (marzo – junio), se produjo un aumento del consumo de fruta fresca de hasta un 40%. [1]

Los residuos generados por la industria hortofrutícola son uno de los retos que más preocupan a nivel de contaminación medioambiental y, por tanto, es importante abordar su valorización mediante diferentes técnicas. La Ley 22/2011, de 28 julio, de residuos y suelos contaminados, fomenta la impulsión de medidas que prevengan la generación, a través de su reutilización, recuperación y reciclado. Esta ley, por lo tanto, será perfectamente aplicable a los residuos utilizados en la producción de pectina que serán abordados en este proyecto. [2,3]

La pectina se utiliza en la industria de alimentación, para la producción de gelatinas, helados o salsas o en la formulación de pastas o productos cárnicos, además de la industria farmacéutica cuando se necesita modificar la viscosidad de un producto, en la industria de plásticos o en la elaboración de productos espumantes. [4,5]

Como se observa en la **Figura 1**, en 2019, el valor del mercado de pectina se encontraba en torno a 1 billón de dólares, con una expectativa de crecimiento del 6,5% anual con lo que alcanzaría un valor de 1,5 billones de dólares en 2025.

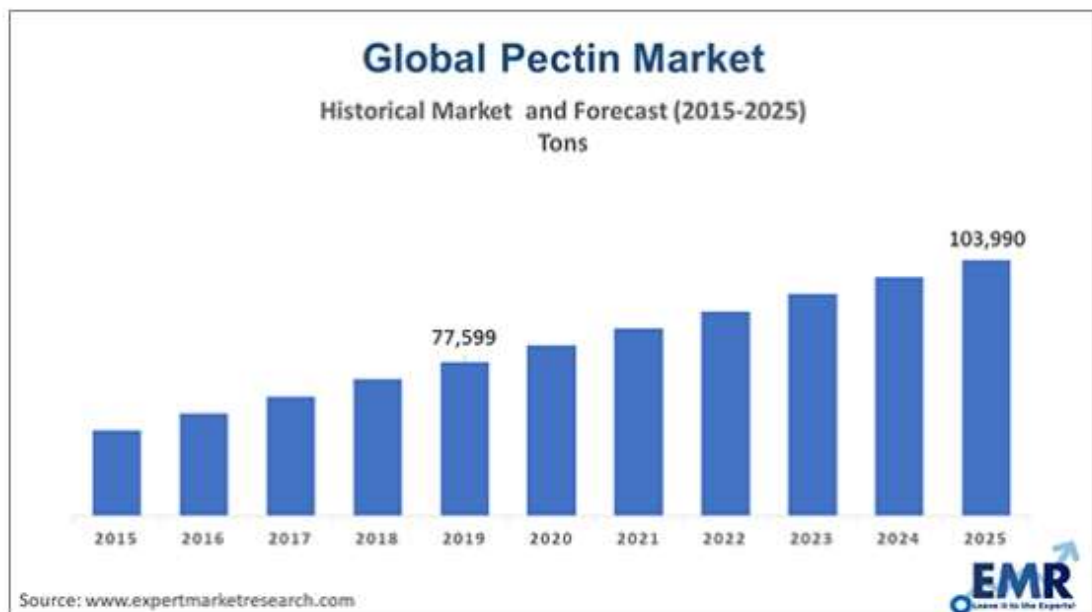
El crecimiento anual del mercado de pectina es debido a la mayor conciencia social en el consumo de alimentos más sanos y frescos por el auge en todo el mundo de lo que se denomina como “convenience food” (aquella comida que es adquirida de forma preparada, envasada y lista para ser consumida directamente). [5]



e - Estimated; p - Projected  
Source: Related Research Publications, Government Publications, Company Press Releases, Company Annual Reports, Company Websites, Company Publications, and MarketsandMarkets Analysis

**Figura 1.** Incremento anual del valor de mercado de la pectina por continentes. [5]

El volumen de mercado de pectina también aumenta anualmente. En 2020 se estimó que alcanzó el valor de 81.479 toneladas, y el pronóstico es que la tasa de crecimiento se establezca en un 5% anual, como se representa en la **Figura 2:** [6]



**Figura 2.** Incremento anual del volumen de pectina en toneladas [6]



## 1.1. Estructura de la pectina.

La pectina es un heteropolisacárido (macromoléculas que cumplen unas funciones esenciales para la vida de los seres vivos), que está presente en la naturaleza de los sistemas celulares de las plantas [3].

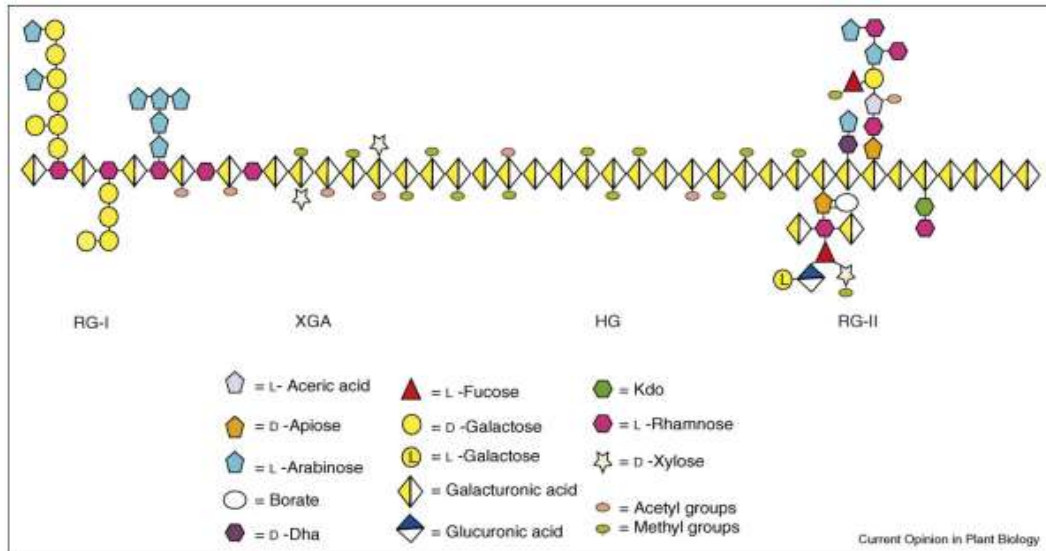
Estructuralmente, la pectina está formada por diferentes moléculas, con hasta 17 diferentes monosacáridos organizados en distintas estructuras unidas mediante enlaces covalentes, como se puede ver en la **Figura 3** [7].

Está constituida por cadenas lineales de ácido D-galacturónico, que representa el 70% de la pectina, con enlaces  $\alpha$  (1-4) que tienen ramificaciones de azúcares de muy diversos tipos.

Entre los diferentes tipos de pectina que se pueden encontrar en las paredes celulares se puede distinguir, por su importancia, las siguientes:

- Homogalacturonano (HG): Es el polisacárido péctico más importante ya que representa aproximadamente el 65% de la pectina. Es un homopolímero lineal constituido por ácido galacturónico con enlaces  $\alpha$  (1-4). El HG está esterificado de manera parcial con metilo en el carboxilo C-6.
- Rhamnogalacturonano I (RG-I): Representa el 20-35 % de la pectina, el esqueleto consta de un disacárido repetido [ $\alpha$ -D-GalA-12-  $\alpha$ -L-Rha-1-4]
- Rhamnogalacturonano II (RG-II): Es la estructura de la pectina más compleja y representa el 10% de ella. Suele existir en las plantas.
- Otros componentes que se encuentran en menor proporción son el xilogalacturonano (XGA) y el apiogalacturonano (AG). [8]





**Figura 3.** Estructura esquemática de la pectina que representa los polisacáridos más importantes. [9]

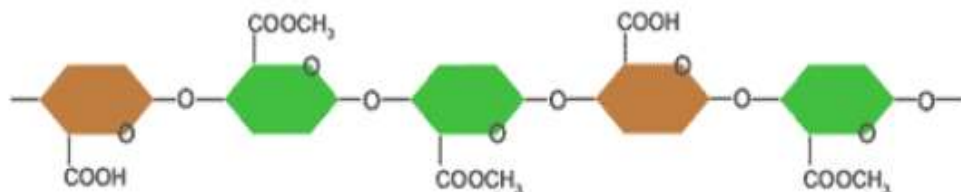
La pectina se puede clasificar en dos tipos según el grado de metoxilación (DM), que es la relación entre los grupos metóxilos y todos los ácidos libres presentes en la cadena molecular de la pectina. Esto influye en las propiedades de la pectina y, por lo tanto, en la manera en la que va a gelificar [9]

- Pectinas de alto metóxilo (**HM**):

Son aquellas en las que más de un 50% de los grupos carboxilos del ácido están esterificados con metanol. Estas pectinas son capaces de dar geles en unas condiciones de pH que se encuentran entre 2,8 y 3,5 y un contenido de azúcares promedio de 65%.

Las pectinas de alto metoxilo se dividen a su vez en dos grupos:

- De gelificación rápida: El proceso de gelificación aparece en un tiempo menor de 5 minutos y su grado de esterificación con metanol se encuentra entre un 68-75%.
- De gelificación lenta: Su gelificación aparece en un tiempo posterior a cinco minutos y tienen un 60-68% de esterificación con metanol. [11]



**Figura 4.** Estructura de la pectina de alto metóxilo. [12]



- Pectinas de bajo metóxilo (**LM**):  
Para la formación de gel es necesaria la presencia de iones calcio. El mecanismo de formación de los geles es completamente distinto al anterior. Estas, gelifican con o sin presencia de azúcar debido a dichos cationes divalentes ( $\text{Ca}^{+2}$ ). En este tipo, menos del 50% de los grupos carboxílicos están esterificando con alcohol, además el pH no afecta en la textura final del gel, puede estar comprendido entre 1-7. Las pectinas LM han ido ganando cada vez más importancia debido a la aceptación del consumidor gracias a su bajo contenido en calorías y a la incorporación en ellas de un nutriente como es el calcio (aunque su proporción sea muy pequeña).

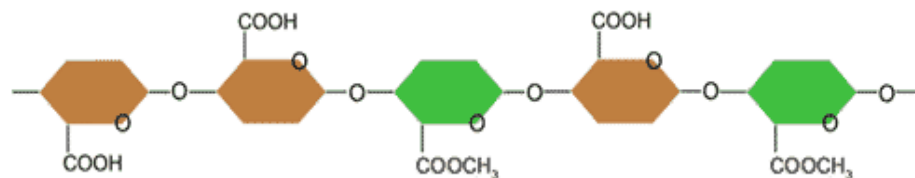


Figura 5. Estructura de la pectina de bajo metoxilo. [12]

La mayor parte de la pectina se localiza en la denominada laminilla media, que es una capa que cementa las paredes celulares de las plantas, y en las paredes celulares principales.

En cuanto a la composición de pectina, se ha recogido en la **Tabla 1** los porcentajes más importantes expresados sobre materia seca de algunos residuos ricos en pectina como son la cáscara de limón y la piel de manzana:

**Tabla 1.** Composición de la pectina según la materia prima utilizada expresada como porcentaje en peso de materia seca [14]

Componente	Cáscara de Limón (%)	Piel de Manzana (%)
Ácido Galacturónico	76,40	60,80
Grupos Metil éster	4,40	3,60
Grupos Acetilos	0,26	0,72
Azúcares totales	8,50	27,00
Proteínas	3,00	1,60
Fenoles	0,18	0,59
Cenizas	2,38	1,89
<b>Total</b>	<b>95,12</b>	<b>96,20</b>



## 1.2. Propiedades de la pectina

Las propiedades más destacadas de las pectinas desde un punto de vista fisicoquímico son las siguientes:

- Solubilidad: Las pectinas son muy solubles en agua, pero también lo son en otros como la formamida y en la glicerina caliente. Para la utilización de la pectina, esta debe estar disuelta de forma total para evitar la formación heterogénea de gel. La mejor manera de que no se originen grumos (produce la pérdida del poder gelificante) durante la disolución de la pectina es, mediante un previo premezclado con azúcar y posteriormente una agitación y disolución con agua caliente (85-90°C) [11].
- Acidez: En su estado natural, las pectinas son neutras. Dependiendo de su grado de esterificación cuando se disuelven, el pH suele ser ácido y varía entre 2,8 y 3,4 [11].
- Viscosidad: Las pectinas en disolución acuosa suelen ser viscosas. Esta propiedad depende tanto del grado de polimerización, como del pH, la temperatura o la concentración. La viscosidad de las soluciones de pectina puede ser un método para determinar su peso molecular.[11]
- Poder gelificante y pH: La forma más conocida de las pectinas es formando geles de pectina-ácido-azúcar.

Las pectinas de alto metóxilo, no contienen suficientes grupos ácidos como para poder gelificar. Por lo tanto, con un pH por encima del valor pK de los grupos ácidos, la molécula tendrá una carga lo suficiente negativa como para prevenir la gelificación en sistemas agua-azúcar. Cuando ese pH se reduce, entonces es capaz de formar geles, pero con contenidos de azúcar muy altos (cerca del 80%). Con un pH por debajo de 3 y un grado de esterificación del 70%, podrá formar gel, además el contenido de azúcar será de un 55% o incluso menor [15].

Por otro lado, las pectinas de bajo metóxilo, no dependen tanto del pH (ronda entre 2,5-6,5) aunque requiere de calcio para la formación del gel. Estos geles, serán mucho menos rígidos y además conllevará a trabajar con sólidos menos solubles.

## 1.3. Materias primas utilizadas para la producción de pectina:

La pectina es una fibra soluble natural que, como se ha indicado anteriormente. Se encuentra en las paredes de la mayoría de las plantas y es obtenida a gran escala a partir de desechos hortofrutícolas, ya que contienen una gran concentración en sus pieles y cáscaras.



En cuanto a las materias primas principales de la industria de la pectina destacan las siguientes:

- Residuos cítricos: El 85% de la pectina es producida a partir de las cáscaras de los cítricos: la del limón representa un 56%, la lima 30% y la de naranjas un 13%. [16]
- Manzana: Destaca también la producción de pectina a partir de pulpa de manzana con un 14%. [16]
- Pulpa de remolacha: La fracción de pectina producida es menor que las anteriores. [16]

Estos subproductos anteriormente nombrados, son los que tradicionalmente se usan en la industria de la extracción de pectina, ya que suelen ser los residuos más abundantes generados en la industria de zumos. Sin embargo, se producen diferentes tipos de pectinas que harán que cada una se utilice en aplicaciones específicas. La cáscara seca de los cítricos comúnmente suele contener un porcentaje más alto de pectina.

Para que la producción de pectina a partir de residuos de frutas sea viable no es suficiente con que la materia prima presente una calidad adecuada; también es necesario tener una cantidad que sea suficiente para poder ejecutar una operación que sea rentable y viable económicamente hablando. Además, tanto la pulpa de la manzana como las cáscaras de los cítricos en estado húmedo son productos muy perecederos. Ambos, pueden ser atacados por microorganismos como mohos, que producen una variedad de enzimas pécticas, lo que conlleva obtener una materia prima no útil. [14]

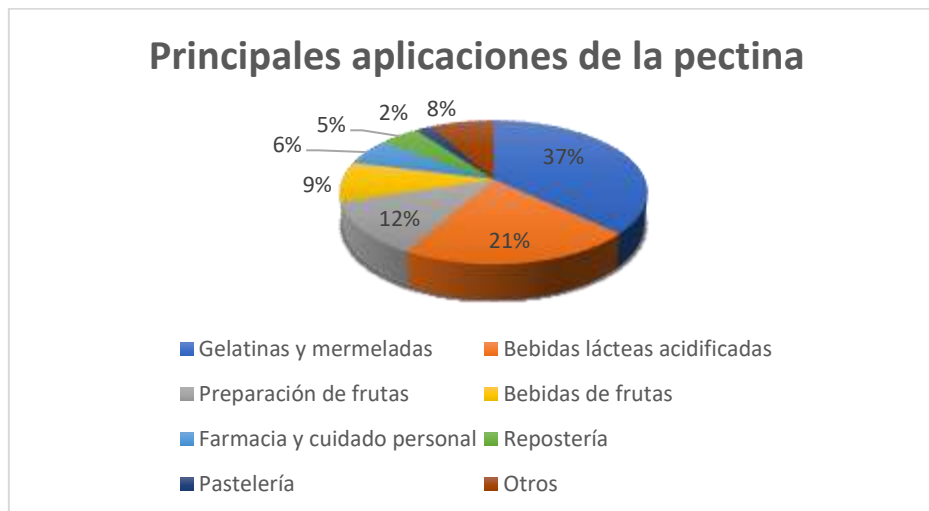
Por lo tanto, no es aconsejable almacenar estos tipos de materias primas durante mucho tiempo, ya que incluso el transporte a otras fábricas hace que se pierda calidad de la pectina final que se produce. Conviene, antes de que la materia prima sea trasladada, secar el residuo en la propia fábrica donde se obtienen los desechos, ya que esto produce que el residuo pueda durar durante varios meses. [14]

Por último, otra importante materia prima destacada es la pectina que se encuentra en las semillas de las cabezas de girasol. El tejido blanco que contiene estas semillas es muy rico en pectina. Desafortunadamente, estas semillas se infectan con moho, por lo que dan lugar a resultados que no son favorables en la producción de pectina. [14]



## 1.4. Principales aplicaciones de la pectina

La aplicación de la pectina que se encuentra en mayor desarrollo se basa en su uso en forma de gelatinas y mermeladas, pero cabe destacar que en los últimos años se han desarrollado nuevas aplicaciones. Un estudio de 2005 recoge las aplicaciones del mercado global de la pectina, que se muestran en la **Figura 6**. [15]



**Figura 6.** Aplicaciones del mercado global de la pectina. [15]

Cuando se escoge un tipo de pectina para una aplicación específica, se ha de considerar un número de factores. Primero, se tiene que especificar la propiedad deseada, es decir, si se requiere que sea gelificante, emulsionante, estabilizante etc.... Seguidamente, una vez establecido lo anterior, se tienen en cuenta los factores extrínsecos, se estudia el pH, temperaturas, sales y los sólidos solubles entre otros. Por último, ya se procede a escoger el tipo de pectina que se debe usar, si debe ser una pectina de alto metóxilo (HM) o de bajo metóxilo (LM), dependerá de la cantidad de sólidos solubles totales. Si esta cantidad es mayor de 60% se usará pectina HM. Por el contrario, si es inferior al 60% se opta por una pectina LM. [15]

Tomando como base lo anteriormente descrito, se van a exponer algunas de las aplicaciones más importantes:

- **Gelatinas y mermeladas:**

El papel que es ejercido tanto en las gelatinas, como en las mermeladas, es dar la función de una textura de gel. En su producción, es necesario añadir azúcar y posteriormente agregar un compuesto ácido para que las moléculas se neutralicen dando lugar a la formación de esa textura deseada. Gracias a las propiedades funcionales, como la actividad gelificante o la viscosidad, la pectina ayuda a la gelificación y



espesamiento de estos productos. Además, la pectina tiene una gran estabilidad al pH que se elaboran estos dos productos. Se distinguen dos tipos:

- Pectina HM, utilizada en la elaboración de gelatinas y mermeladas de alto contenido en azúcar.
- Pectina LM, para la producción de gelatinas y mermeladas de bajo contenido en azúcar. [15]

- **Preparación de frutas:**

La preparación de frutas se fundamenta en los yogures, es decir los yogures que contienen una base de fruta, tipo como una mermelada o los yogures de frutas, que se llaman típicamente. La pectina que se utiliza es del tipo LM, la cual crea un gel suave que es lo suficientemente firme como para poder asegurar una distribución uniforme de la fruta y al mismo tiempo, permite la preparación de frutas que puedan ser mezcladas de una manera fácil con el yogur. [15]

- **Confitería:**

La pectina es utilizada en un rango de concentraciones entre 1-3%. Proporciona una textura y un sabor que son superiores en comparación con otros agentes gelificantes, Los parámetros de producción deben ser estrictamente controlados, puede ocasionar problemas a la hora de ser manipulada, ya que, durante el procesado, se forma gel a altas temperaturas (aproximadamente a 70 °C) y es sensible tanto al pH como al contenido de sólidos solubles. [15]

- **Bebidas lácteas acidificadas:**

Se incluyen en este apartado, las bebidas de yogur, las mezclas de zumo de frutas y de leche, suero de leche y bebidas de soja. Este grupo, cada vez forma un porcentaje más amplio en cuanto a la aplicación de la pectina de tipo HM. Son productos muy demandados sobre todo en el mercado asiático, aunque en la actualidad también tienen un aumento exponencial en el mercado occidental. El uso de la pectina HM, resulta de la capacidad que tienen de estabilizar partículas con un pH bajo, debido a que pH 4, la pectina HM se encuentra cargada negativamente, mientras que las proteínas, en las que se incluyen la caseína, están cargadas positivamente. La interacción produce un efecto estabilizador. [15]

- **Bebidas de frutas:**

También conocidas comúnmente como zumos. Se utilizan las propiedades de viscosidad de la pectina HM, para restaurar la sensación en el paladar del zumo como si estuviese recién exprimido. [15]

- **Farmacia y productos de cuidado personal:**

Se utiliza la pectina en productos para el cuidado de heridas, debido a que tiene efectos curativos. Además, se atribuye a la pectina un efecto estabilizador en la piel, ya que ayuda a mantener el pH natural. Por la



capacidad que tienen de añadir viscosidad y su efecto emulsionante, es usada en gran medida en la preparación de productos farmacéuticos ayudando a la estabilización en el organismo de los seres humanos. [15]

## 1.5. Tecnologías de extracción de pectina

Existen varios métodos para la extracción de pectina que pueden ser divididos en simples o combinados. [17] Este apartado se centrará en la materia prima que más comúnmente se utiliza en la producción de pectina que son las pieles y pulpas de algunas frutas. Las tecnologías de extracción simple se centrarán en extracción de tipo ácido, alcalina y enzimática mientras que las tecnologías de extracción combinada se centran en el uso de agua subcrítica, extracción asistida por ultrasonidos, microondas y combinación ultrasonidos-microondas.

- **Extracción ácida:**

La pectina puede ser extraída usando unas disoluciones ácidas fuertes, como pueden ser ácido clorhídrico, ácido sulfúrico o ácidos orgánicos (ácido cítrico o acético) 0,05M con un pH entre 1-3, a una temperatura entre 80-100 °C y agitación con un tiempo medio de 3 horas. La función del ácido será hidrolizar muchas de las redes que forman las paredes celulares, dando lugar a la liberación de la pectina. Esta liberación de pectina es favorecida por las altas temperaturas. Dependiendo de la materia prima utilizada, el rendimiento de extracción de pectina será diferente, ya que en las cáscaras de los cítricos (naranjas o limones) el rendimiento se encuentra comprendido entre 11,1 a 21,3%. En las pieles de manzanas este rendimiento está en torno al 16,6%.

Cuando se habla de rendimiento de pectina, se define como la fracción del peso de la pectina extraída seca dividido entre el peso de la materia prima seca utilizada en la extracción: [17,18]

$$\text{Rendimiento de pectina} = \frac{\text{Peso pectina seca extraída}(g)}{\text{Peso materia prima en polvo para extracción}(g)} * 100$$

- **Extracción Alcalina:**

La pectina también puede ser extraída mediante el uso de disoluciones alcalinas, como pueden ser disoluciones de NaOH (poco concentradas) cuyo pH se encuentra entre 9-13, con una temperatura menor que la extracción ácida (31-80 °C) y con agitación continua. Los iones hidroxilos producen un hinchamiento en las células, rompiendo los enlaces de hidrógeno que existen entre la celulosa y otros polisacáridos. Por lo tanto,





la extracción en condiciones alcalinas contribuye a obtener pectina por la ruptura producida en las estructuras de celulosa y hemicelulosa. El rendimiento en frutas como el pomelo ronda el 19,9-24,5%. Si se compara con una extracción ácida, el rendimiento para esta materia prima es un 3-5% menor. En general se obtienen unos rendimientos superiores si son comparados con el uso de disoluciones ácidas.[17]

- **Extracción enzimática:**

La temperatura de trabajo suele estar comprendida entre 35-60 °C. En cuanto al pH suele ser ácido, entre 3,5-4,5 con un tiempo de reacción de 4 a 24 horas. La función de las enzimas es deconstruir las paredes vegetales de las plantas por la hidrólisis de celulosa o hemicelulosas, liberando de este modo la pectina que se encuentra atrapada dentro de las fibras de celulosa y hemicelulosa. Las enzimas más usadas en este proceso de extracción y que, por tanto, son las responsables de la rotura de la red son las celulasas, las hemicelulosas y las xilanasas. Los resultados de rendimientos de extracción si se usan pieles de manzana es del 7,2 %, lo que conlleva a una reducción si es comparado con el uso de ácido cítrico. [17]

- **Extracción con agua subcrítica:**

El agua subcrítica es el agua que se encuentra en estado líquido y se mantiene a temperaturas más altas que las de su punto de ebullición normal sin que se produzca un cambio de fase. Por lo tanto, el rendimiento de la pectina, estará influenciado de una mayor forma por la temperatura. Por ejemplo, el máximo rendimiento de pectina que se puede extraer mediante la piel de cítricos es de 22% a una temperatura de 120°C. El aumento de la presión y la elevación de la temperatura hace que las propiedades químicas del agua puedan ser modificadas. Por ello, se extraen compuestos sin importancia de la polaridad o del grado iónico. Otros factores que se deben tener en cuenta son la presión, y el tiempo. En cuanto al factor tiempo, si se excede en el tiempo de extracción, se degradará la pectina obtenida.

- **Extracción asistida por ultrasonidos:**

Esta tecnología de extracción es una técnica no térmica de procesos donde se aplican formas de energía de alta frecuencia que el oído humano no puede percibir. Los ultrasonidos, por lo tanto, serán vibraciones que se desplazarán en un medio causando una expansión o una compresión. En la práctica, esta técnica se fundamentará en la transferencia de masa del sólido al disolvente que se somete el ultrasonido. Esta técnica, mejora los procesos de extracción y se usa para la extracción de pectina de





diferentes frutas. Destaca la extracción de pectina a partir de la cáscara de naranja ya que se puede alcanzar un rendimiento muy elevado, cerca del 28,1 %, usando 150 W, con un tiempo corto (10 minutos). El disolvente usado es HCl con pH=1,5.[17]

- **Extracción asistida por microondas (EAM)**

Consiste en la generación de un campo electromagnético que, por lo tanto, emite una frecuencia sobre la materia prima usada, lo que implica una radiación no ionizante que resulta de una conducción iónica y la rotación de dipolos. Estos mecanismos producen un calentamiento rápido y uniforme. El calentamiento acelera la transferencia de masa y ayuda a destruir la estructura formada por pectina, celulosa y hemicelulosa.

Los factores que se deben considerar en la EAM, son la elección del disolvente (en términos de pH y volumen), la densidad de potencia y por último la temperatura de operación.

La EAM es una técnica que es muy utilizada sobre todo en los últimos años, ya que es considerada una tecnología de química verde, debido a la reducción del consumo de energía y al menor uso de disolventes orgánicos, lo que aumenta el rendimiento comparado con los métodos tradicionales. [19]

- **Extracción asistida por ultrasonidos y microondas:**

Es el método más novedoso que previene la degradación que puede ocurrir en la extracción de la pectina y aumenta su eficiencia. Esto se consigue mediante la optimización de parámetros como la modificación del tiempo sónico o del tiempo de irradiación. Esta extracción combinada ha sido aplicada utilizando como materia prima la piel de higos. [19]



A continuación, la **tabla 2** resume las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de extracción:

**Tabla 2.** Principales ventajas y desventajas de los diferentes métodos extracción. [17][19]

<b>Método de extracción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Extracción Ácida</b>	Facilidad de operación Bajo coste de tecnología	Alta corrosividad
<b>Extracción Alcalina</b>	Dan altos rendimientos Bajo coste de tecnología	Se tiene una alta contaminación del medioambiente
<b>Extracción Enzimática</b>	Temperatura de operación menores Reducción corrosión de equipos Es amigable con el medioambiente	No es aplicable industrialmente ya que se necesitan grandes volúmenes de materia prima y requieren de un alto coste
<b>Extracción con agua subcrítica</b>	Tiempos cortos de operación Alta pureza	La complejidad de los equipos y sus altos costes impiden la aplicación a escala industrial.
<b>Extracción Asistida por ultrasonidos</b>	Mayor eficiencia de la extracción Mayor rendimiento Más segura Utiliza menos energía Utiliza menos disolvente	La poca uniformidad provoca diferentes pectinas en los distintos lotes producidos.
<b>Extracción asistida por microondas</b>	Tiempos bajos de operación Menos consumo de materia prima	Dificultad de producirse en grandes escalas.
<b>Extracción asistida por ultrasonidos-microondas</b>	Gran eficiencia	Limitaciones de los equipos



**Tabla 3.** Resumen datos experimentales de las diferentes tecnologías de extracción.  
 [17][19]

<i>Materia prima</i>	<i>Tecnología de extracción</i>	<i>Condiciones de extracción</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Propiedades Pectina extraída</i>
<i>Pulpa de manzana</i>  <i>Cáscaras de cítricos</i>	Extracción Ácida	Temperatura 80-100 °C  pH: 1-3	Cáscaras de los cítricos: 11,1 a 21,3%  Pulpa de manzanas: 16,6%.	Reológicas  Emulsionantes
<i>Piel de Pomelo</i>  <i>Cáscara de naranja</i>	Extracción Alcalina	Temperatura 32-80 °C  pH: 9-13	Piel de Pomelo: 17,9 a 24,5%  Cáscara de naranja: 23%%.	Reológicas  Emulsionantes  Fermentadoras
<i>Cáscaras de los cítricos</i>  <i>Pulpa de manzanas</i>	Extracción Enzimática	Temperatura: 35-60 °C  pH: 3,5-4,5	Cáscaras de los cítricos: 11,7%  Pulpa de manzana: 3,4-4,8%.	Fermentadoras
<i>Cáscaras de los cítricos</i>  <i>Pieles de manzanas</i>	Extracción con agua subcrítica	Temperatura: 100-140 °C	Cáscaras de los cítricos: 22%  Pieles de manzanas: 16,6%.	Reológicas  Emulsionantes
<i>Cáscaras de los cítricos</i>  <i>Piel de manzana</i>  <i>Piel de pomelo</i>	Extracción Asistida por ultrasonidos	Temperatura: 70-140 °C  pH: ácidos (1,5)	Cáscaras de los cítricos: 27,3%  Pieles de manzanas: 9,2%.  Pieles de pomelos: 23,1-27,1%	Reológicas  Emulsionantes  Antioxidantes



<i>Materia prima</i>	<i>Tecnología de extracción</i>	<i>Condiciones de extracción</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Propiedades Pectina extraída</i>
<i>Piel de Pomelo</i>	Extracción asistida por microondas	Temperatura: 90 °C	Pieles del Pomelo: 24,2-29,8%	Reológicas
<i>Piel de manzana</i>		pH: 1,5-3,0	Pieles de manzanas: 23,32%	Antioxidantes
<i>Cáscara de limón</i>			Cáscara de limones: 5,8-25,3%	Emulsionantes
<i>Pulpa de remolacha</i>				
<i>Piel de Pomelo</i>	Extracción asistida por ultrasonidos-microondas	Temperatura: 80-100 °C pH: 1-3	Pieles del Pomelo: 36,3%	Reológicas

## 1.6. Características de la pulpa de remolacha:

### 1.6.1. Producción de remolacha azucarera

La remolacha azucarera es una variante de la remolacha común perteneciente a la familia de las Quenopodiáceas. La polinización es comúnmente producida por el viento. Es una planta de ciclo bianual, la cual el primer año es sembrada y en el segundo produce las flores. En cuanto a la producción de azúcar solo interesará el primer año, mientras que el segundo año será necesario para la producción de semillas. [20]

En España, en el año 2013/2014, el total de remolacha recogida en la suma de las campañas de recolección invernal y estival fue de 2,88 Mt. Dentro de la UE este porcentaje de producción representa cerca del 3%. Destaca por encima del resto, la Comunidad de Castilla y León, y en especial la provincia de Valladolid, donde cabe destacar la fábrica de Olmedo. [20]

### 1.6.2. Composición de la pulpa de remolacha:

La pulpa de remolacha es un subproducto económico obtenido tras la etapa de extracción de la remolacha azucarera. Este producto suele ser considerado como un residuo usado para la alimentación de animales. La pulpa de



remolacha está constituida por: una mezcla de polisacáridos y además, de residuos de proteínas o compuestos fenólicos, aunque estos en menor medida, cuya composición se recoge en la **Tabla 4**.

Los elementos que componen la estructura de la pulpa de la remolacha serán, por lo tanto, comunes a los que componen la pectina, ya que esta tiene un alto contenido en ella (15-30% del peso en seco). Destacan el Homogalacturonano (HG), Rhamnogalacturonano I (RG I) y el Rhamnogalacturonano II (RG II). [21].

**Tabla 4.** Composición química de pulpa de remolacha.[22]

<i>Componente</i>	<i>Composición (% MS)</i>
<i>Proteína bruta</i>	7,36
<i>Galactanos</i>	9,54
<i>Xilanos</i>	1,73
<i>Arabinanos</i>	21,81
<i>Glucanos</i>	20,34
<i>Mananos</i>	0,60
<i>Pectina</i>	27,34
<i>Ácido soluble en lignina</i>	1,93
<i>Ácido insoluble en lignina</i>	0,03
<i>Cenizas</i>	3,41

MS: materia seca

### 1.6.3. Usos de la pulpa de remolacha:

Los principales usos de la pulpa de remolacha son la alimentación animal o su valorización energética:

La pulpa de remolacha, es utilizada de forma mayoritaria en alimentación animal, principalmente en rumiantes, por su alto contenido en fibra pudiendo incluso sustituir a los cereales con los que se alimenta el ganado vacuno dedicado a la producción de leche.

La pulpa de remolacha es un producto de fácil digestión que actúa como prebiótico, además de favorecer la hidratación y facilitar la ganancia de peso (alto nivel de energía). [23]

Esta materia prima es utilizada como fuente de obtención de etanol y biogás tras una hidrólisis. Además, existe la posibilidad de la producción de fertilizantes, e incluso puede ser utilizada, gracias a su alto contenido en fibras, en la industria papelera.[24]



En este trabajo, el uso de la pulpa de remolacha tendrá como objetivo la extracción de la pectina, mediante una técnica de extracción asistida por ondas microondas. Una vez recuperada la pectina presente en la pulpa de remolacha, el sólido resultante podrá utilizarse como materia prima para la producción de biocombustibles o incluso en la industria de la química fina (producción de etanol, ácidos, furfural...).



## 2. Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es el estudio del proceso de obtención de pectina mediante una tecnología novedosa como es la extracción asistida por microondas, utilizando como materia prima el residuo proveniente de la industria del azúcar, en concreto, la pulpa de remolacha, para su producción a escala industrial y cumpliendo los objetivos de economía sostenible.

Par alcanzar este objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Realizar un estudio bibliográfico sobre las diferentes propiedades y usos de la pectina, materias primas utilizadas en su producción y métodos de extracción.
- Seleccionar las condiciones de proceso más adecuadas para llevar a cabo la extracción de pectina a partir de pulpa de remolacha como son temperatura, disolvente, relación sólido-líquido y tiempo.
- Plantear el diagrama de flujo de proceso correspondiente, resolver los balances de materia y abordar el dimensionado básico de los principales equipos.
- Dimensionar y elegir las distintas unidades de operación del proceso que se ajusten lo mejor posible a la planta industrial diseñada.
- Realizar una estimación del coste total de la instalación industrial, mediante el método de Lang.



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES







## 3. Selección de alternativas:

### 3.1. Selección de la materia prima:

La materia prima escogida es pulpa de remolacha (PDR), un subproducto del proceso de obtención de azúcar a partir de remolacha. Se trata de una materia prima de fácil acceso ya que en la provincia de Valladolid existe una planta de procesamiento de remolacha en la localidad de Olmedo.

La pulpa de remolacha que se va a valorizar en el presente TFG, procede de la etapa de prensado y secado. Cabe destacar su composición en glúcidos como mananos y arabinanos que podrán ser valorizados (**Tabla 4**), así como un porcentaje de pectina del 27,34 % MS.

### 3.2. Tecnologías de extracción de pectina:

El presente proyecto se centra en la recuperación de pectina a partir de PDR. A partir de los datos disponibles, se ha procedido a seleccionar la mejor tecnología para su extracción. La tecnología seleccionada se corresponde con una extracción asistida por microondas. Las ventajas de este método han sido expuestas previamente en la **Tabla 2**.

En cuanto a las tecnologías disponibles, son varias las que se han aplicado para extraer pectina de PDR, pudiéndose destacar las siguientes:

- Extracción en medio ácido:  
Las temperaturas usadas suelen encontrarse entre 70-90°C, el tiempo de extracción suele ser de 2-4 horas y el pH tiene carácter ácido (1-1.5). Se suelen utilizar ácidos fuertes y agitación mecánica. El proceso de precipitación y recuperación tiene un tiempo estimado de 1 hora y suele utilizarse para la precipitación dos volúmenes de etanol absoluto, lo que hace que sea un proceso caro al trasladarlo a una escala industrial. El rendimiento de pectina extraída ronda el 20,75%. Esta técnica además tiene la desventaja de requerir altos tiempos. [25]
- Extracción asistida mediante ultrasonidos:  
La relación sólido-líquido que se utiliza es de 1:20. Tiene otras variables distintas a las tecnologías tradicionales como son la frecuencia (20-60 kHz) y el tiempo de extracción (10-30 min), más corto que en extracción convencional. Se deben mantener las muestras en agitación y el pH debe ser ajustado a 1 mediante la adición de HCl. El rendimiento de esta extracción es de 20,85% y tiene la ventaja de ser más rápida que el anterior [25]



- Extracción enzimática asistida mediante ultrasonidos:  
Tecnología que combina la extracción enzimática con extracción asistida mediante ultrasonidos donde la materia prima tiene que suspenderse en una cierta cantidad de ácido cítrico, (como citrato de sodio, por ejemplo) y el tiempo de extracción ronda los 15-45 minutos. Después de la extracción sónica se lleva la mezcla a un tratamiento de extracción con la ayuda de enzimas xilanasas y celulasas durante 1 a 4 horas. Por último, se debe precipitar y purificar la pectina. El rendimiento de extracción es del 28,8 % usando una relación de 1:15. [21]

Aunque en la bibliografía no se recogen estudios de extracción de pectina de pulpa de remolacha aplicando tecnología de extracción asistida por microondas (EAM), se ha seleccionado esta tecnología debido a:

- El menor tiempo de operación requerido en la extracción mediante microondas en comparación con los demás, ya que se encuentra entre 1-15 minutos.
- Se puede trabajar con frecuencias mayores que en la extracción asistida mediante ultrasonidos, ya que aquí se aplicarán MHz.
- La variable Potencia Microondas puede ser regulada, cuya medida viene dada en Watios (W).
- Los rendimientos de pectina son elevados, entre un 20-30%. [26][27][28]

Además, se ha comprobado que la EAM permite extraer pectina de mayor calidad en comparación con la obtenida mediante extracción por métodos tradicionales.

### 3.3. Condiciones de operación en la extracción de pectina mediante EMA:

- Disolvente:

En primer lugar, hay que seleccionar el tipo de disolvente, porque influye de forma significativa en el rendimiento de recuperación de pectina.

El disolvente más empleado para su extracción es el agua. La acidificación del medio con diferentes minerales ácidos es también muy empleada para contribuir a la disminución del pH. Existen, por lo tanto, muchos agentes químicos que pueden ser empleados para la extracción de esta como iones calcio, bases, ácidos. Sin embargo, destaca el uso de disolventes ácidos ya que tienen un mayor efecto porque son capaces de extraer la pectina que se encuentra unida firmemente en la matriz celular y así, obtener un mayor rendimiento de extracción. [30]



Por otro lado, cabe destacar que las pectinas no son nada solubles en solventes orgánicos y éstos suelen utilizarse cuando se quiere precipitar después de su extracción.[11]

En el caso del ácido clorhídrico, la alta concentración de iones hidrógeno desencadena la hidrólisis de protopectina (precursor de pectina) y permite la mejora de la estabilización de pectina. [30]

La concentración de ácido empleada en la bibliografía varía entre 0,005 y 0,1M (Tabla 5).

Además, en la extracción van a quedar en el sólido otros productos que serán una mezcla de glúcidos que se encuentran en la PDR como: arabinosa, galactosa, glucosa y xilosa que podrían valorizarse posteriormente ya que son azúcares de interés. [25]

- **Relación sólido-líquido:**

Esta relación es la que marcará los datos de partida de reactivos de entrada al proceso en base a la materia prima. La relación sólido:líquido encontrado en la bibliografía varía entre 1:10 para la corteza de melón y 1:30 para la piel de kiwi o la cáscara de limón (Tabla 5).

- **Temperatura:**

Para la mayor parte de materias primas en EAM esta variable tiene un valor constante, ya que no existe posibilidad de trabajar con una temperatura mayor o menor porque conlleva a una ineficaz extracción mediante microondas. Es por ello que el intervalo de temperaturas se encuentra entre 65-75 °C.

- **Potencia:**

Esta variable es la que domina en la velocidad de calentamiento de la mezcla que es extraída y además actúa como una fuerza impulsora que favorece la ruptura de PDR en el extractor. Con el uso de una potencia adecuada, la EAM puede alcanzar un rendimiento de extracción óptimo lo que conlleva a un tiempo más corto de extracción.

La potencia va a depender por tanto de la relación S:L y el volumen de disolvente que es usado y por último del tiempo de extracción que se desea.

Los rangos de potencia microondas suelen encontrarse entre 160-1200 W.



- **Tiempo:**

Mide la duración de la EAM. Es la variable que más destaca en estas tecnologías puesto que se puede reducir drásticamente si es comparada con otros tipos de extracciones. Tiene relación con la potencia Microondas, a una mayor potencia, el tiempo de extracción es reducido.

El tiempo de EAM está limitado entre 60-1200 s.

En la **Tabla 5**, se recopilan las condiciones experimentales utilizadas para recuperar pectina mediante tecnologías de microondas a partir de las diferentes materias primas:

**Tabla 5.** Condiciones de operación en extracción de pectina asistida por microondas para diferentes materias:

Materia Prima	Temperatura (°C)	Potencia (W)	Relación S/L (g/mL)	Ácido y concentración (mol/L)	Tiempo de extracción (s)	Rendimiento de extracción etapa final (%)	Referencia
Cáscara de Naranja	-	160-480	1:16,9	Ácido sulfúrico 0,05-0,005	60-180	19,24	[26]
Corteza de Melón	60	160-480	1:10-1:30	Ácido clorhídrico 0,1	60-180	25,79	[27]
Piel de kiwi	75	360	1:30	Ácido clorhídrico 0,5	60-180	17,97	[28]
Cáscara de Limón	75	360	1:30	Ácido nítrico 0,5	60-180	9,71	[28]
Pulpa de Remolacha	60	1200	1:20	Ácido clorhídrico 0,1	180-1200	12	[31]

Una vez expuesta la **tabla 5**, se pueden escoger las condiciones de operación con las que se va a plantear el presente proyecto:

- **Potencia:** En cuanto a esta variable, va a venir marcada por la temperatura y por el tiempo óptimo de extracción.



- Temperatura: 60 °C, ya que una mayor temperatura no favorece el rendimiento de extracción de pectina.
- Relación S-L: Puesto que se conoce que puede trabajarse con ratios mayores al 5%, como son los expuestos para cáscara de naranja y corteza de melón y considerando que a escala industrial esta relación es mayor, se ha optado por trabajar con una relación 1:5, es decir de un 20% m/v.
- Tipo de ácido: El uso más común corresponde con el uso de HCl, razón por la que se trabajará con este tipo de disolvente con una concentración 0,1M.
- Tiempo: Según los resultados obtenidos con las distintas materias primas, se recupera pectina en un tiempo menor a 180 s. Con las condiciones de operación, el tiempo de extracción se corresponderá con 180 s.

### 3.4. Proceso de recuperación de pectina:

Se va a trabajar con dos escenarios para la recuperación de pectina basado en dos alternativas, para estudiar cual sería la más adecuada:

- Precipitación con co-solventes como etanol:

Básicamente consiste en su precipitación mediante el uso de alcoholes, aunque el más común corresponde con el etanol. También son empleados otros como es isopropanol (IPA). [30]

La precipitación de pectina se realizará con un volumen equivalente de etanol del 80% de la solución precipitada o bien otra opción podría corresponderse con una relación hidrolizado-etanol de 1:3 (v/v). Se deberá analizar posteriormente si el etanol utilizado podría ser recuperado y recirculado para abaratar costes o, si esta alternativa no es viable económicamente. El etanol empleado para esta precipitación es de 80°. [4,32]

- Purificación con membranas:

Una membrana consiste en una barrera selectiva que permite que unas partículas pasen, pero detiene otras. Estas partículas pueden ir desde moléculas, hasta iones o partículas más pequeñas. Hacen uso de la presión como fuerza impulsora. Existen numerosas técnicas dependiendo del tamaño de poro como microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), Ósmosis Inversa etc...



Las membranas son una tecnología que se adapta a todas las necesidades que existen y que además ofrece muchas ventajas en comparación con otras técnicas de separación como un consumo de energía bajo o un escalado del proceso sencillo. [33]

A la salida de la etapa de filtración, esta corriente será llevada a una separación por membranas. Es, por tanto, que los compuestos que tengan un mayor tamaño que los poros de las membranas quedarán retenidos mientras que el resto formarán parte del permeado que será llevado directamente a una precipitación con etanol. [33]

Se valorará una posterior precipitación de la pectina presente en el permeado para comparar la viabilidad de este proceso y su rentabilidad comparándolo con el previamente explicado.

Por tanto, para concluir el porcentaje de pectina recuperado se encontrará entre 20-25% y será del 21% para así poder competir con las distintas tecnologías existentes. El tiempo de operación corresponderá con 3 minutos como se ha explicado previamente. [25][31]

### 3.5. Ubicación y capacidad de la planta:

#### 3.5.1. Ubicación de la planta:

La planta de producción estudiada se ubicará en el municipio de Olmedo, **Figura 7**, en la provincia de Valladolid por el fácil acceso al abastecimiento de la PDR proveniente de la fábrica azucarera ACOR de esta misma localidad.



Figura 7. Ubicación municipio de Olmedo en la distancia [34]

ACOR se constituyó legalmente el 25 de enero de 1962, quedando anotado en el Registro Oficial de Cooperativas del Ministerio de Trabajo con el número 9825. La fábrica azucarera está ubicada en la Carretera Nacional 601, km. 153 dentro del término municipal perteneciente a Olmedo y la superficie ocupada es de 734130 m<sup>2</sup>. Los productos principales son expuestos en la Figura 8 en las campañas más recientes y la ubicación de la planta en la Figura 9: [35]

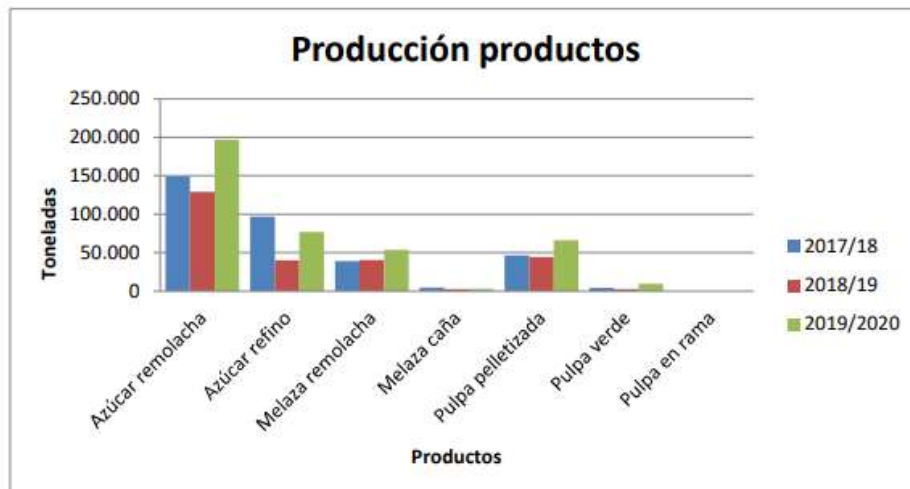


Figura 8. Principales productos de la Fábrica azucarera [35]





**Figura 9.** Ubicación de ACOR de donde proviene la PDR [36]

Respecto a la parte de la selección del terreno donde se va a ubicar la nueva planta de producción de pectina se deberá tener en cuenta ciertos factores, como los explicados a continuación:

- Se debe cumplir una distancia de seguridad mínima a cualquier posible núcleo habitable cercano a 500 m, es decir al municipio de Olmedo que es el más cercano.
- Deben existir unas vías de acceso para facilitar el acceso a los distintos camiones.
- Debe existir un aporte de agua fresca. En este caso, se abastece gracias a su cercanía con el río Eresma.
- La cercanía a la fábrica de materia prima correspondiente, así son ahorrados costes de transportes innecesarios.

Con estos factores, se decide localizar la planta en la parcela número 6 del polígono José Antonio González Caviedes, en el lugar de circunvalación 701 de Olmedo (Valladolid), con referencia catastral 8854506UL5785S. [36]

La parcela cuenta con una superficie de 10020 m<sup>2</sup>, tiene una forma rectangular, como es mostrada en la **Figura 10**, cuyas dimensiones son 118,54 m de ancho y 83,05 m de largo. [36]

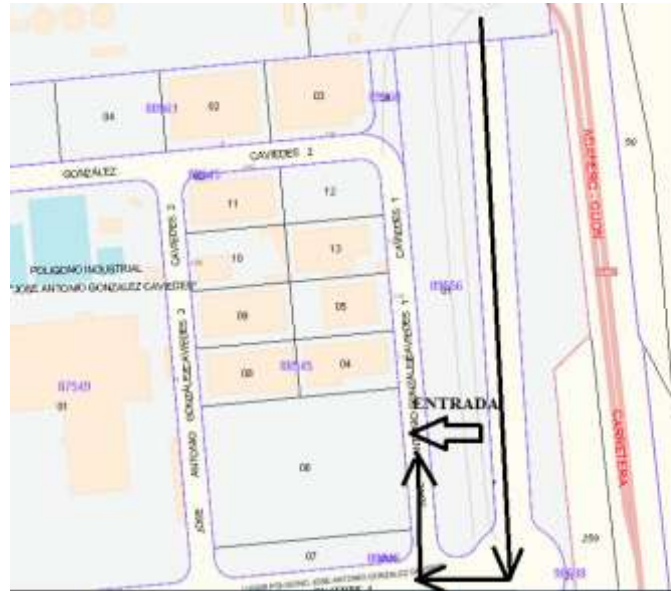
Cumpliendo con la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, se gestionará la gestión de los distintos residuos y subproductos de una manera eficaz y adecuado, asegurando la protección del medioambiente. [3]

Por otro lado, la planta como se ha comentado recientemente se encuentra a escasos metros de la Fabrica Azucarera de Olmedo.





En cuanto al acceso, como se puede apreciar en la **Figura 10**, se puede acceder fácilmente mediante la N-601 y el polígono donde se ha localizado se encuentra asfaltado correctamente. [36]



**Figura 10.** Ubicación de la planta de PDR [36]

### 3.5.2. Capacidad de la planta

La PDR usada proviene de la fábrica azucarera Sociedad Cooperativa General Agropecuaria ACOR, situada en Olmedo (Valladolid). En cuanto la capacidad de molturación ronda las  $13.000 \frac{t}{día}$  de remolacha.

Primero, se debe tener en cuenta que la planta azucarera trabaja en torno a 100 días al año, mientras que la fábrica de producción de pectina trabajará los 365 días al año, en torno a 8000 horas, ya que hay que tener en cuenta las paradas que se pueden producir por averías o revisiones parciales.

$$13.000 \frac{t_{remolacha}}{d} * 100 \frac{d}{año} = 1.300.000 \frac{t_{remolacha}}{año}$$

Se conoce que, por cada tonelada de azúcar producido, se obtiene en torno a 0,336 toneladas de pulpa húmeda. Esta pulpa tiene un porcentaje de humedad inferior al 13%. La pulpa pasa por unos secaderos y llega a la planta sin ser peletizada, solamente secada y prensada. Por tanto, la PDR que se produce en la fábrica será: [35]

$$1.300.000 \frac{t_{remolacha}}{año} * 0,336 \frac{t_{PDR}}{t_{remolacha}} = 436800 \frac{t_{PDRhumeda}}{año}$$



La capacidad de la planta será de 438800 toneladas de PDR húmeda al año.



## 4. Dimensionado de la planta:

### 4.1. Límites de batería:

En ingeniería se habla de límites de batería para hacer referencia a los puntos límites de alcance de los distintos sistemas. Es muy importante poder coordinar estos puntos terminales para que los diferentes equipos o sistemas puedan encajar entre ellos.

El proceso opera con una entrada de 16380 kg/h de pulpa de remolacha que contiene un 10% de humedad. Lo que implica un aporte anual de 436800 toneladas de PDR.

Al proceso se le deberá de dar unos posibles márgenes de seguridad con respecto a la producción (overdesign y turndown).

En el caso de esta planta, los productos como la pectina y los distintos subproductos del proceso serán almacenados en los límites de batería de la planta en forma sólida.



#### 4.2. Diagrama de bloques:

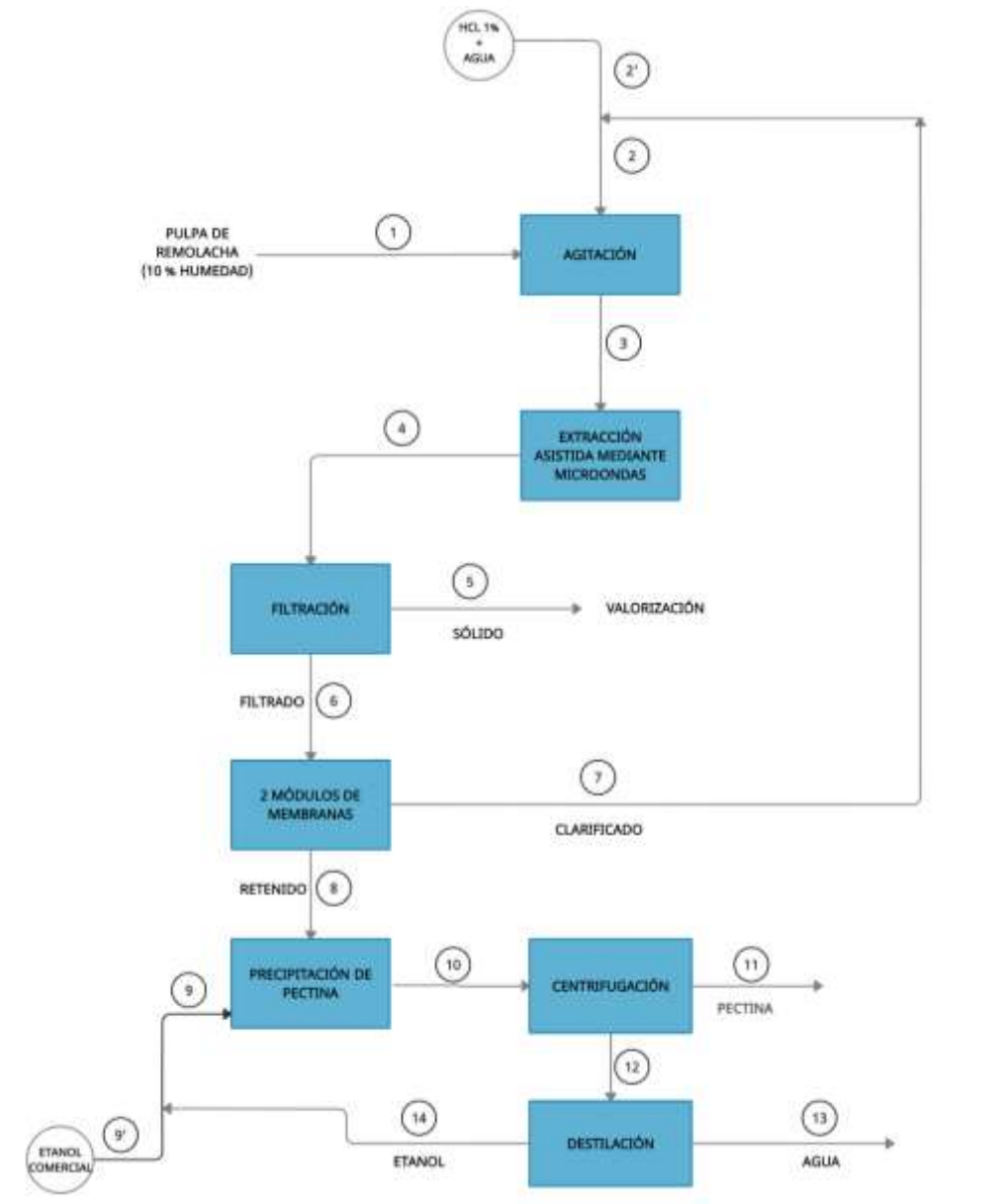


Figura 11. Diagrama de Bloques del proceso.

En la **Figura 11**, se ha representado el diagrama de bloques del proceso sobre el que se va a trabajar.

**Materia prima:** Pulpa de remolacha con un contenido en humedad 10%.

**Agitación:** Esta etapa se encuentra unida a la de extracción microondas, ya que tanto la PDR entrante al microondas como la disolución de HCl deben ser



mezclados previamente mediante un tanque agitado, asegurando un tiempo de residencia adecuado para asegurar una buena mezcla.

**Microondas:** Proceso de extracción microondas, con características de una relación S:L de 1:5, temperatura de 60°C, tiempo de 3 minutos y concentración 0,1M de HCl. (apartado 3.1).

**Filtración:** Para la obtención de pectina la solución se debe filtrar con diferentes temperaturas y diferencias de presión constantes. El equipo de filtración consistirá en un filtro prensa de placas y marcos, donde las placas y los marcos se encuentran alternados. Además, las placas recubiertas por telas filtrantes. El medio filtrante por tanto será más específicamente una tela sintética que es bastante utilizada en la industria de producción de la remolacha azucarera como puede ser tipo nylon. [37] [38] [39]

**Membranas:** Esta etapa de separación será estudiada antes de la etapa de precipitación y se valorará si es necesaria implementarla en el proceso industrial o si, por el contrario, no es rentable económicamente.

**Precipitación:** En esta etapa, se emplea etanol comercial ya que es el disolvente más usado para este tipo de procesos. La relación L:L hidrolizado-etanol es de 1:3. La temperatura deberá ser la del ambiente, 25 °C. [32]

**Centrifugación:** Posterior a la precipitación, se debe realizar una separación S-L, en este caso se ha optado por una centrifugación ya que es el proceso más común a nivel industrial. En esta separación, el sólido de salida consistirá en la pectina producto y la corriente líquida consistirá en una mezcla de agua y etanol que será tratada con el objetivo de recuperar el etanol.

**Destilación:** Residirá en el tratamiento de la corriente líquida para la separación del etanol por medio de una destilación simple. De esta forma, se recuperará el etanol y el agua tendrá que ser tratada de una forma adecuada para poder ser recirculada al proceso. Respecto al HCl que pueda ser encontrado se tendrá que estudiar su posible efecto en la corriente de salida.

**Almacenamiento:** Consiste en la última etapa del proceso industrial donde la pectina deberá almacenarse en un lugar fresco depositada en unos recipientes donde se pueda proteger de la humedad y, que, además eviten su posible contaminación. Por último, es importante que la pectina final al ser almacenada no modifique ni sus características, ni apariencia. Esta etapa es posiblemente una de las más importantes del conjunto del proceso, ya que un inadecuado almacenamiento del producto puede producir una pectina inservible para su posterior uso como materia prima en las diferentes alternativas existentes [38]



### 4.3. Balances de materia:

- **Materia prima:**

Si estimamos que la planta diseñada tendrá una capacidad del 30% de la PDR producida, además como la planta trabaja 365 días al año, 21,92 horas diarias de media, obtenemos una PDR disponible en nuestra planta de:

$$PDR_{inhúmeda} = 0,3 * 436800 \frac{t_{PDRhumeda}}{año} * \frac{1 año}{365 d} = 359,01 \frac{t_{PDR}}{d} = 16380 \frac{kg_{PDRhumeda}}{h}$$

Como se ha indicado, la pulpa de remolacha disponible se encuentra húmeda. Se tomará como el límite de humedad el promedio de pulpa de la mayor parte de fábricas azucareras, es decir un 10%. Se calcula con este dato la PDR seca con la que operará la planta:

$$PDR_{in} = 16380 \frac{kg_{PDRhumeda}}{h} - (16380 \frac{kg_{PDRhumeda}}{h} * 0,1 \frac{kg_{PDR}}{kg_{PDRhumeda}}) = 14742 \frac{kg_{PDR}}{h}$$

- **Agitación:**

Por tanto, a partir de las composiciones de la **Tabla 4**, se puede conocer los distintos componentes que entran a la etapa de EAM en kg/h, que será denominada como C1, puesto que en el diagrama de bloques se ha numerado cada corriente. Se tendrá una tabla con la composición (% en masa) de cada una y además del flujo másico total. Se resume la composición de la corriente en la **tabla 6**:

**Tabla 6.** Flujo total másico y composiciones de C1 [31]

CORRIENTE	1
GLUCANO (%)	20,34
XILANO (%)	1,73
ARABINANO (%)	21,81
GALACTANO (%)	9,54
MANANO (%)	0,62
PECTINA (%)	27,34
LAT (%)	1,96
PROTEÍNA (%)	7,36
CENIZAS (%)	3,41
<b>FLUJO MÁSIICO TOTAL (KG/H)</b>	<b>16380,00</b>

LAT: lignina ácida total



En cuanto al disolvente usado será HCl. Se ha establecido previamente que se va a trabajar con una relación 1:5, es decir por cada gramo de PDR se tienen que adicionar 5 mL de disolución HCl 0,1M. Se debe tener en cuenta que el HCl tiene un 37% en pureza. La disolución en HCl será de 0,1M por lo que, al plantear el balance de materia, se obtiene: [37]

$$C2 = 14560 \frac{kg_{PDR}}{h} * \frac{5L_{disolución}}{1kg_{PDR}} = 73710 \frac{L_{disolución}}{h}$$

Sabiendo la molaridad se puede obtener con el peso molecular y la densidad lo que entra al microondas de cada reactivo:

$$73710 \frac{L_{disolución}}{h} * 0,1 \frac{moles\ HCl}{L_{disolución}} * 36,458 \frac{g\ HCl}{moles\ HCl} * \frac{1\ kg\ HCl}{1000\ g\ HCl} = 268,73 \frac{kg\ HCl}{h}$$

$$268,73 \frac{kg\ HCl}{h} * \frac{1\ L}{1,19\ kg\ HCl} = 225,82 \frac{L_{HCl}}{h}$$

Una vez obtenido este resultado, se calcula el flujo másico de agua que se deberá de aportar en C2:

$$(73710-225,82) \frac{L_{H2O}}{h} = 73484,17 \frac{L_{H2O}}{h} = 73484,17 \frac{kg\ H2O}{h}$$

Tabla 7. Corrientes y composiciones en masa de las corrientes entrada y salida en la etapa de agitación.

Corriente	1	2	2'	3
Pectina (%)	27,34	-		4,75
Otros sólidos (%)	62,66	-		11,60
H <sub>2</sub> O (%)	10	99,63	99,63	83,35
HCl (%)	-	0,37	0,37	0,30
Flujo másico total (kg/h)	16380	73484,17	33361,94	90132,91

Otros sólidos: Celulosa, hemicelulosa, LAT, cenizas y proteínas.

- **Extracción Asistida mediante Microondas (EAM):**

Es en C4 donde la pectina se solubiliza con el rendimiento marcado por el proceso que se calculará a continuación:

$$Pectina4 = 14742 \frac{kg_{PDR}}{h} * 0,21 \frac{kg_{pectina}}{kg_{PDR}} = 3095,82 \frac{kg_{pectina}}{h}$$



Partiendo de lo anterior, se compone la **tabla 7** de salida de la EAM, es decir serán los flujos máxicos de la corriente 4. Se tendrá un porcentaje importante de glúcidos como en el sólido resultante de la extracción.

**Tabla 8.** Corrientes y composiciones de EAM.

Corriente	3	4
Pectina (%)	4,75	3,43
Otros sólidos (%)	11,60	12,92
H <sub>2</sub> O (%)	83,35	83,35
HCl (%)	0,30	0,30
Flujo máxico total (kg/h)	90132,91	90132,91

- **Filtración:**

Posteriormente, esta corriente es llevada a la etapa de filtración, con el objetivo de obtener dos corrientes. La primera será la corriente, C5, que contiene el sólido agotado, que puede ser valorizada ya que tiene un importante contenido en glúcidos y la segunda corriente, C6, se corresponderá con el filtrado. Se debe tener en cuenta que el flujo máxico, C5, contendrá un 70% de humedad. Es por esta razón que se debe escindir los flujos máxicos en base seca y húmeda.

El total en base seca, C5, será igual que el flujo máxico de otros sólidos de C4. Como se conoce la humedad, en realidad el cálculo del flujo máxico total, deberá ser en total base húmeda:

$$C5 = \frac{(0,1316 \cdot 88494,81)}{1-0,7} = 16637,4 \frac{kg}{h}$$

**Tabla 9.** Corrientes y composiciones de entrada y salida de la etapa de filtración.

Corriente	4	5	6
Pectina (%)	3,43	-	6,03
Otros sólidos (%)	12,92	30	-
H <sub>2</sub> O (%)	83,35	70	93,44
HCl (%)	0,30	-	0,52
Flujo máxico total (kg/h)	90132,91	38820,6	51312,31

Seguidamente, la pectina se recupera mediante una separación por membranas y una posterior precipitación, puesto que una vez valorada la opción de una precipitación directa se ha optado directamente por no considerarla por su inviabilidad económica.





- **Membranas y posterior precipitación:**

Se utilizará ultrafiltración como método más apropiado de separación de membranas donde se concentrará la pectina y además la geometría elegida será tubular.

Se ha estimado que los porcentajes de permeado y rechazo son del 75 y 25% respectivamente, y se tienen los siguientes cálculos: [37]

$$F_{\text{clarificada}} = 51312,31 \frac{\text{kg total}}{\text{h}} * 0,75 = 38484,23 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{\text{retenida}} = 51312,31 \frac{\text{kg total}}{\text{h}} * 0,25 = 12828,08 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Se conseguirá que toda la pectina solubilizada quede retenida en este módulo de membranas. Asimismo, la mayor parte de agua+HCl, se conseguirá que se arrastre en el clarificado, C7. Esta C7, se recirculará a la etapa de agitación.

Considerando que la pectina es retenida totalmente y sale en C8, se tiene:

$$C8_{\text{pectina}}(\%) = \frac{3095,82}{12828,08} * 100 = 24,13 \%$$

Con este dato, se resumen las corrientes en la **Tabla 10**:

**Tabla 10.** Corrientes y composición en el módulo de membranas.

Corriente	6	7	8
Pectina (%)	6,03	-	24,13
H <sub>2</sub> O (%)	93,44	99,48	75,34
HCl (%)	0,52	0,52	0,52
Flujo másico total (kg/h)	51312,31	38484,23	12828,08

Ya por último se realiza la precipitación con etanol. Con la relación elegida 1:3 (v/v) hidrolizado: etanol. El hidrolizado corresponderá con el flujo másico total C8.

$$C9 = 3 * 12828,08 = 38484,23 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Se ha considerado que el rendimiento es prácticamente total ya que los cálculos fueron realizados con la extracción de pectina del 21% sobre la operación de EAM.

El etanol utilizado tendrá un porcentaje del 80%, es decir el otro 20% será agua que se deberá de incluir en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.** Corrientes y composición de la precipitación.

Corriente	8	9	9'	10
Pectina (%)	24,13	-	-	6,03
H <sub>2</sub> O (%)	75,34	20,00	20,00	33,84
HCl (%)	0,37	-	-	0,13
Etanol (%)	-	80,00	80,00	60,00
Flujo másico total (kg/h)	12828,08	38484,23	9847,06	51312,31

Además, la separación por membranas debe tener una etapa de limpieza con agua desionizada y una disolución NaOH 0,1 M, para poder realizar un correcto empleo del equipo y evitar ensuciamiento y obstrucciones. [37]

En cuanto a los tiempos de operación, en la fábrica se trabaja  $24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$ , por lo que  $15 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$  corresponderá con el tiempo que se empleará para realizar la ultrafiltración y  $9 \frac{\text{hora}}{\text{día}}$  serán empleadas en la limpieza de las membranas. Se tienen para ello dos módulos de una en operación y otra en limpieza. [37]

- **Centrifugación:**

La posterior salida de la precipitación será debidamente tratada en una operación de separación basada en una centrifugación, donde la pectina precipitada en C10, se separará en una corriente sólida, C11, que tendrá un 80% de humedad y en una corriente líquida (agua+etanol), C12.

Conociendo la humedad que se tiene en C11, se podrá obtener todas las composiciones de cada corriente y análogamente, las de C12 también.

$$C11 = 3095,82 \frac{\text{kgpectina}}{\text{h}} + \frac{3095,82 \frac{\text{kgpectina}}{\text{h}}}{0,2} = 5572,48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



$$C_{12} = 51312,31 \frac{kg}{h} - 5572,48 \frac{kg}{h} = 35833,21 \frac{kg}{h}$$

Tabla 12. Corrientes y composiciones etapa centrifugación.

Corriente	10	11	12
Pectina (%)	4,31	20,00	-
H <sub>2</sub> O (%)	33,84	27,06	36,76
HCl (%)	0,13	0,16	0,12
Etanol (%)	60,00	52,78	63,12
Flujo másico total (kg/h)	51312,31	15479,10	35833,21

C<sub>12</sub> es enviada a una etapa de destilación, donde el etanol es recuperado por una corriente de cabezas y será recirculado a la etapa de precipitación. Se valorará la recirculación del agua obtenida en la corriente de colas hasta la etapa de mezcla.

- **Destilación:**

El flujo másico, C<sub>12</sub>, es introducido en la etapa de destilación. Se conoce su composición en masa tanto de etanol, como de agua.  $x_{F_{\text{Etanol}}} = 0,631$  y  $x_{F_{\text{Agua}}} = 0,367$ . También se establece la composición en masa final que se quiere obtener en el destilado  $x_{D_{\text{Etanol}}} = 0,8$  y en el flujo de corriente de colas  $x_{W_{\text{Etanol}}} = 0,005$ .

$$C_{12} = 35833,21 \frac{kg}{h}$$

Conociendo las siguientes relaciones, se puede calcular C<sub>13</sub> en flujo másico.

$$C_{12} = C_{13} + C_{14}$$

$$C_{12} * 0,6327 = 0,005 * C_{13} + 0,8 * C_{14}$$

$$C_{13} = 7608,36 \frac{kg}{h}$$

Se debe realizar el mismo procedimiento para C<sub>14</sub>.

Tabla 13. Corrientes y composiciones del destilado.



Corriente	12	13	14
H <sub>2</sub> O (%)	36,76	99,50	19,85
HCl (%)	0,12	-	0,15
Etanol (%)	63,12	0,50	80,00
Flujo másico total (kg/h)	35833,21	7608,36	28224,85



#### 4.4. Dimensionado de los principales equipos:

##### 4.4.1. Zona de recepción y descarga de materia prima:

La zona destinada a la descarga de la PDR constará de una única parte, en la cual se descargará la PDR sobre una cinta transportadora y posteriormente será vaciada en un tanque agitado donde será mezclada con HCl.

La PDR será entregada en la planta mediante camiones, debido a sus ventajas sobre los demás medios de transporte existentes.

En esta primera fase de recepción de materias primas se darán las siguientes funciones:

- Pesaje de la materia prima que llega en una báscula destinada para ello.
- Se tendrá que llevar un control e identificación de PDR.
- Lavado de los camiones, aunque no debe ser exhaustiva puesto que es una materia orgánica la que se está transportando.

Una vez se tengan pesadas las materias primas, se sigue con el proceso de descarga. Para ello se van a diferenciar diferentes equipos:

- **Tolva de recepción:**

Los camiones se descargan en una tolva de recepción que tiene en su interior un tornillo sin fin que facilitará el transporte hacia la cinta transportadora.



Figura 12. Tolva receptora con tornillo sin fin. [41]



Se conoce que la densidad de PDR ronda  $400-500 \frac{kg}{m^3}$ . En base a esto, el consumo de PDR será de: [40] [41]

$$16380 \frac{kg_{PDR}}{h} * \frac{m^3}{450kg} = 36,4 \frac{m^3}{h}$$

La tolva receptora deberá soportar un total de 36,4 metros cúbicos cada hora.

○ **Cinta Transportadora:**

Posterior a la operación de la tolva receptora, la PDR que se expulsa por una boquilla de salida gracias al sin fín llega a una cinta transportadora. Esta cinta transportadora tendrá como principal objetivo introducir la PDR en el tanque agitado. El material de la cinta transportadora será acero inoxidable.



Figura 13. Cinta transportadora [42]



#### 4.4.2. Agitación:

Esta etapa será realizada en un Tanque agitado continuo con las dimensiones de la **figura 14**:

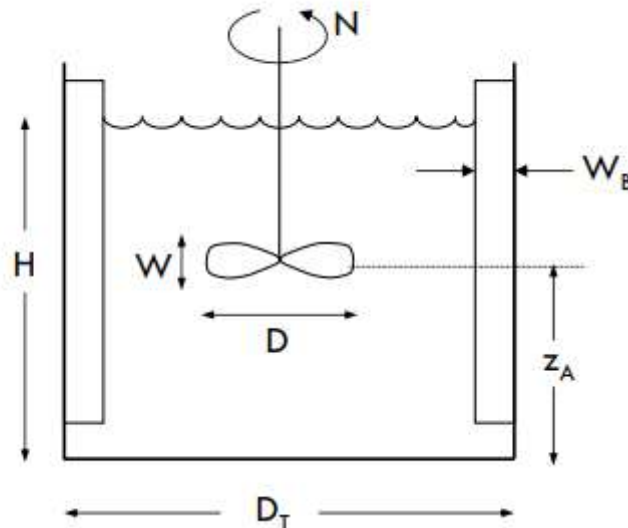


Figura 14. RCTA [43]

En el diseño de este equipo, se debe tener en cuenta tanto el tiempo de residencia como el flujo volumétrico. Se debe dimensionar con placas deflectoras que mejoren la velocidad de mezcla y además rompan las líneas de corriente. El tipo de impulsor elegido será de tipo hélice. Tendrá velocidades no muy altas y podrá trabajar con amplias viscosidades. Donde: [43]

$$D = \frac{1}{3} * D_T \quad \text{Ec. 1}$$

El tiempo de residencia en el depósito es de 5 min, suficiente para asegurar la mezcla de la pulpa con la disolución ácida. El volumen ocupado por la mezcla se determina: [43]

$$V = 0,083h * 109,99 \frac{m^3}{h} = 9,17 m^3$$

Una vez obtenido el volumen útil, se debe sobredimensionar un 20% este volumen del reactor (overdesign). Se emplea la relación típica  $H/D_T=1$ . Es conocido que el reactor tiene forma cilíndrica, se determina  $D_T$ : [43]

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}} = 2,27 m = H$$



Se determina  $D=0,333*2,27=0,76$  m.

Como se conocen todas las dimensiones estándar, se obtienen todas las demás incógnitas: [43]

$$W_B = \frac{1}{12} * D_T = 0,19 \text{ m}$$

$$Z_a = D = 0,76 \text{ m}$$

Las dimensiones del agitador serán: [43]

$$W = \frac{1}{5} * D = 0,19 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} * D = 0,19 \text{ m}$$

Se debe conocer que régimen de flujo se tiene en el tanque de mezcla y además la potencia del agitador, por ello se hace el correspondiente cálculo con la densidad de suspensiones, que depende de la densidad del sólido y del líquido, además el rango de velocidades giro de un impulsor de hélice se encuentra entre 100-200 rpm, por lo que se escoge  $N=150 \text{ rpm}=2,5 \text{ rps}$ :

$$Re = \frac{\rho * D^2 * N}{\mu} = \frac{909,42 * 0,76^2 * 2,5}{10^{-2}} = 1,3 * 10^5 > 10^4 \rightarrow \text{Turbulento.}$$

Con turbinas de 6 palas y con **figura 15**:

	EJEMPLOS DE VALORES	
	$K_L$	$K_T$
Hélice de 3 palas	41	0,32
Turbina de 6 palas	65	5,75
Turbina de 6 palas curvas	70	4,80

**Figura 15.** Valores  $K_T$  [43]

$$P = K_T * \rho * N^3 * D^5 = 0,32 * 909,42 * (2,5)^3 * 0,76^5 = 1123,7 \text{ W}$$





#### 4.4.3. Extracción Asistida mediante Microondas (EMA):

El equipo elegido para la extracción microondas debe permitir operar en continuo ya que es la planta se diseñará considerando un flujo continuo de 16380 kg/h de pulpa de remolacha. Es por ello, que se ha elegido el modelo Labotron 6KW que es un equipo novedoso que permite la extracción asistida mediante microondas en continuo. Este modelo, permite extraer el compuesto de interés con un coste reducido si es comparado con las tecnologías tradicionales. [44]

El principal objetivo de este sistema es, poder otorgar una gran cantidad de energía directamente dentro de la mezcla de reacción que se está produciendo. Esta tecnología permite trabajar eficientemente con flujos másicos desde gramos por hora a kilogramos por hora. [44]

Se va a plantear el dimensionado del equipo con una capacidad diaria de 16380 kg/h de PDR y con 73710 L/h de una disolución HCl 0,1M, es decir 73752,91 kg/h. El total del flujo másico de entrada será de 90132,91 kg/h.

En cuanto a la potencia, se determinará a partir del tiempo de calentamiento,  $t_h$  (s), del calor absorbido,  $Q$ (J), y el disolvente de extracción,  $V$ (mL). Este factor es llamado APD (Poder Absorbido del disolvente),  $W/L$ .

$$APD = \frac{Q}{V * t_h} \quad \text{Ec. 2}$$

En cuanto al calor de la anterior ecuación es calculado a partir del perfil de temperaturas del disolvente:

$$Q = m_L * C_p * \Delta T \quad \text{Ec. 3}$$

En esta ecuación,  $m_L$  es la masa inicial del disolvente,  $C_p$  es la capacidad calorífica y por último  $\Delta T$ , se corresponde con la diferencia de temperaturas antes y después de su calentamiento.

Tabla 14. Cálculo APD

	Agua	Etanol
$\rho$ (g/L)	998	789
$C_p$ (J/g*K)	4,18	2,63
$V$ (L)	1763620,20	5419,80

th(s)	1140
-------	------

Q(J)	5,989E+11
------	-----------



t(s)	180
AT	104

APD (W/L)	296,97
-----------	--------

Con el cálculo anterior, se consigue escalar la correspondiente EAM. Para ello, el tiempo de residencia es de 180 s. El volumen diario con el que la planta trabajará será de 1769 m<sup>3</sup>.

Se conoce que la configuración para esta aplicación consistirá en un sistema de flujo continuo asistido por microondas. Este sistema, estará construido en su interior con un tornillo sin fin u otra opción es la de incorporar un agitador que proporcione el correcto contacto entre las dos fases existentes.

Se ha elegido un equipo patentado por la empresa francesa Sairem, **figura 16**.



**Figura 16.** Tecnología microondas asistida diseñada por Sairem. [44]

Por lo que respecta al suministro de la potencia necesaria, la misma empresa ofrece diferentes tipos de generadores de potencia microondas. El modelo GLP1000 KI de Sairem nos permite llegar a potencias máximas de 100 kW. Nuestro sistema trabaja con 297,7 kW, por esta razón se puede utilizar 3 modelos integrados para poder generar la potencia requerida.



**Figura 17.** Generador de potencia diseñado por Sairem. [45]



#### 4.4.4. Filtración:

En la etapa de filtración, es importante conocer el tipo de filtro usado.

Se ha seleccionado un filtro de prensa y marcos. Este es uno de los más utilizados en la industria alimentaria, asimismo es sencillo y versátil (se puede variar el área de filtración añadiendo o eliminando placas). El cierre de este puede ser tanto manual, como automático y tiene la posibilidad de lavar la torta de una manera sencilla. [39]

Los huecos en cada marco son separados de cada placa por la tela filtrante, y esta tela es cerrada mediante un tornillo que suele ser manual o hidráulico. Se debe utilizar la mínima presión para reducir el posible desgaste de las telas. Las placas tienen cortes con forma de canales que permiten drenar el filtrado en cada una de las placas. El material más usado y el que estará compuesto será acero inoxidable por sus múltiples beneficios. [39]

El flujo másico de entrada es de  $90132,91 \frac{kg}{h}$ , y con la relación de su densidad media,  $\rho=908,95 \frac{kg}{m^3}$  se puede conocer el flujo volumétrico C4:

$$C4 = \frac{90132,91 \frac{kg}{h}}{908,95 \frac{kg}{m^3}} = 99,16 \frac{m^3}{h} = 0,027 \frac{m^3}{s}$$

Se debe escoger un equipo donde el área de filtración sea lo suficientemente grande que pueda ser alimentado con C4. El equipo escogido tiene unos rangos de 1-50 m<sup>2</sup>. Asimismo, la dosificación a este equipo es automática.



Figura 18. Filtro prensa y marcos [46]



#### 4.4.5. Membranas:

El dimensionado de esta etapa consiste en un módulo de 2 membranas. El tipo de membranas que es utilizado corresponde con una ultrafiltración, con tamaño de poro de 0,01  $\mu\text{m}$ . Estas membranas suelen aplicarse en procesos de concentración de proteínas vegetales, concentración de gelatinas, concentración de jugos etc...

También, es conocida que la configuración de la membrana será tubular. El líquido con la suspensión a filtrar (pectina solubilizada) se bombeará en un rango de velocidades de 1-8 m/s y deberá ser paralela a la cara de la membrana.

La temperatura de C6 se corresponde con 60°C, ya que es la misma que la de operación de EAM. Por tanto, esta temperatura deberá disminuir hasta temperatura ambiente, 25°C, antes de entrar en el módulo de membranas mediante el uso de un intercambiador de calor de carcasa y tubos. Además, el flujo volumétrico es:

$$C6 = \frac{51312,31 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{976,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 52,52 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Una vez obtenido el flujo volumétrico de operación se selecciona un equipo, el cual su  $T_{\text{máx}}$  de operación no podrá ser superior a 45°C y la capacidad es de 500000 L/h.



Figura 19. Sistema de membranas. [47]



#### 4.4.6. Centrifugación:

La centrifugación se puede clasificar según el mecanismo de separación en:

- Centrifugas de filtración: Consiguen separar sus fases por filtración. Este tipo de centrifugas son caracterizadas por sus paredes porosas, donde el líquido se filtra a través de la torta que se depositan los sólidos.
- Centrifugas de sedimentación: Su separación es función de la diferencia que existe entre las densidades de las fases sólidas y líquidas.

En cuanto a las aplicaciones, las centrifugas de filtración son las que proporcionan una mayor pureza de sólido y por tanto con las que se trabajará.

Uno de los parámetros más importantes de la centrifugación, se corresponderá con el caudal a tratar,  $Q(m^3/h)$ , el cuál es conocido pues las densidades y las composiciones lo son.

$$Q_{\text{centrifugación}} = \frac{51312,31 \frac{kg}{h}}{865,71 \frac{kg}{m^3}} = 59,27 \frac{m^3}{h}$$

Además, se conoce que la centrífuga será continua. En ella se separan dos fases: Sólido-Líquido.

En base al caudal empleado en la entrada de la centrífuga se escogerá el equipo comercial adecuado para la separación de pectina de la corriente líquida. El equipo comercial escogido será el modelo 553 de la empresa GN Solids Control. Los parámetros básicos del equipo son:

Tabla 15. Parámetros centrífuga [49]

<i>Modelo</i>	<b>553</b>
<i>Capacidad máxima (m<sup>3</sup>/h)</i>	114
<i>Diámetro (mm)</i>	550
<i>Fuerza máxima G</i>	3051
<i>Punto de corte (μm)</i>	2-5



**Figura 20.** Centrifugadora-decantadora. [48]



#### 4.4.7. Destilación:

Esta operación básica se lleva a cabo en la industria química e implica la separación de uno o más componentes dentro de una mezcla. Es una operación donde se aprovecha la diferencia de volatilidad entre uno o más componentes de una cierta mezcla hasta conseguir separarlos hasta una cierta composición que es requerida. El componente volátil es el que, en las mismas condiciones de presión y temperatura, se encuentra en una mayor proporción en su fase gaseosa.

La operación que será usada será una rectificación que consiste en el enriquecimiento de un vapor de forma progresiva. Se deben diferenciar 3 partes en esta unidad de separación:

- Calderín: Se aporta todo el calor que sea necesario para que la mezcla ebullla. De este equipo se extrae la corriente de colas. La ebullición es la responsable de la aparición de la corriente V.
- Columna: Se ponen en contacto la fase vapor formada en el calderín con el reflujo que sale del condensador.
- Condensador: Se localiza a la cabeza de la columna. En esta parte condensa todo el vapor que asciende a través de la columna y además suministra una corriente, llamada L. Además, aparte del reflujo, se separa una corriente que es conocida como destilado.

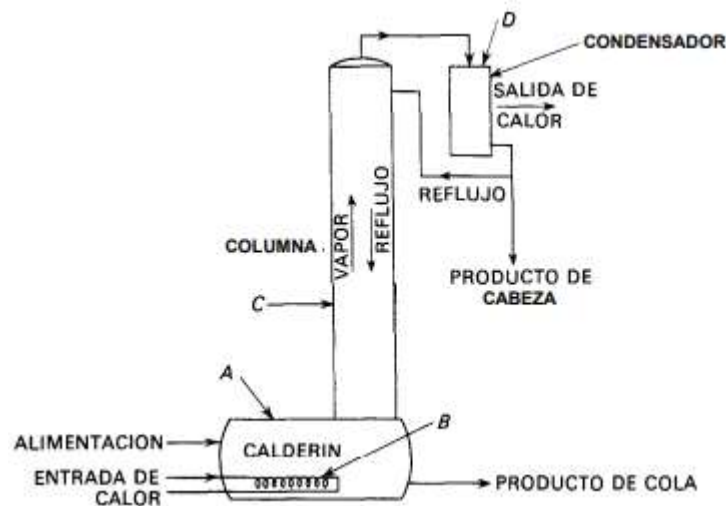


Figura 21. Columna destilación. [49]

A: Calderín B: Unidad calefactora C: Columna D: Condensador

Conociendo lo anterior, se procede al cálculo del número de platos de la columna.





Se necesita conocer los datos del equilibrio de etanol-agua a  $P=1$  atm.

Se asume que la corriente C12 es todo etanol-agua ya que la composición de HCl es casi despreciable.

Tabla 16. Datos equilibrio etanol-agua [50]

$X_{\text{etanol}}$	$X_{\text{agua}}$	$Y_{\text{etanol}}$	$Y_{\text{agua}}$
0,00	1,00	0,00	1,00
0,02	0,98	0,17	0,83
0,07	0,93	0,39	0,61
0,10	0,90	0,44	0,56
0,12	0,88	0,47	0,53
0,17	0,83	0,51	0,49
0,23	0,77	0,54	0,46
0,26	0,74	0,56	0,44
0,33	0,67	0,58	0,42
0,40	0,60	0,61	0,39
0,52	0,48	0,66	0,34
0,57	0,43	0,68	0,32
0,68	0,32	0,74	0,26
0,75	0,25	0,78	0,22
0,89	0,11	0,89	0,11
1,00	0,00	1,00	0,00

Una vez obtenidos los datos se procede a graficar el correspondiente diagrama de equilibrio.

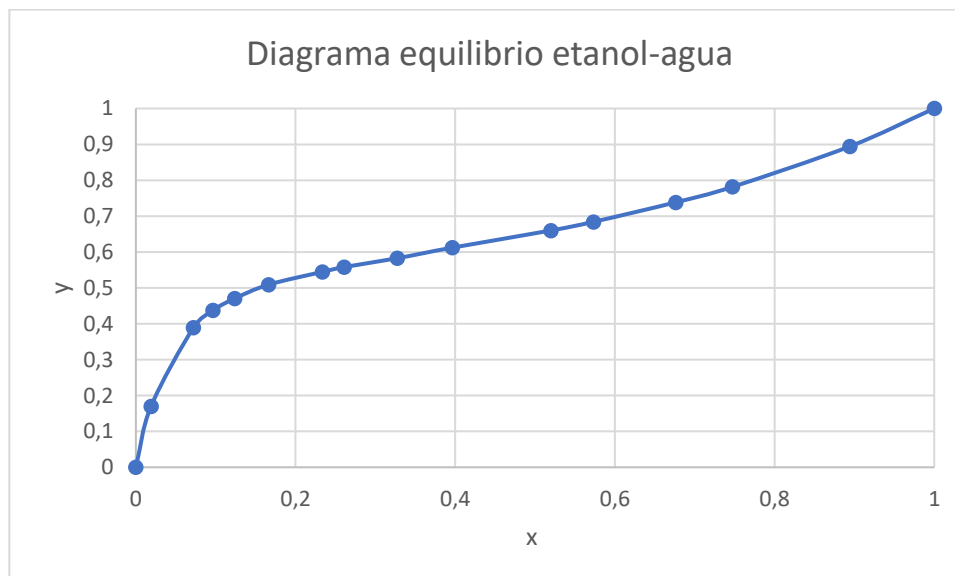


Figura 22. Diagrama de equilibrio.



Con el correspondiente diagrama y los datos conocidos en el balance de materia se calcula el número de platos que tendrá la destilación industrial. Se debe tener en cuenta que anteriormente se trabajaba con flujos máscicos y las distintas composiciones así lo estarán. La **tabla 17**, recoge los distintos datos de partida en las unidades correspondientes para el correcto cálculo de la misma.

**Tabla 17.** Datos de partida destilación.

Corriente	12	13	14
X <sub>H2O</sub>	0,600	0,998	0,65
X <sub>etanol</sub>	0,400	0,002	0,35
Flujo molar total (kmol/h)	1121,97	422,45	699,52

Se calcula la fracción líquida de alimentación, que se conoce que será mayor que 1, puesto que la corriente estará a un poco más de la temperatura ambiente, es decir sobre 27°C. Es conocido además que entra como líquido saturado.

$$\Phi = \frac{H_{Fsat} - h_F}{H_{Fsat} - h_{Fsat}} \quad \text{Ec. 3}$$

Con  $\Phi=1$ , se puede calcular la línea q o línea de alimentación:

$$y = \frac{\Phi}{\Phi-1} * x - \frac{z}{\Phi-1} \quad \text{Ec. 4}$$

Con la línea vertical representada cuya pendiente es indefinida se representa en la **Figura 23** y será la que marque los puntos de corte de la línea de enriquecimiento y de agotamiento.

Posteriormente, como no se tiene ninguna relación L/V, se calculará el mínimo y a partir de este dato, se calculará L/D real sabiendo que es una relación  $(L/D)_{\min} * 3$ .

Se diferencian dos líneas en el diagrama, la primera que es llamada línea de operación de enriquecimiento:

$$y = \frac{L}{V} * x_n + \frac{D}{V} * x_D \quad \text{Ec. 5}$$

La segunda, línea de operación agotamiento:

$$y = \frac{L'}{V'} * x_m - \frac{W}{V'} * x_D \quad \text{Ec. 6}$$



En la **tabla 18**, se representarán todas las relaciones tanto para la representación de la línea de enriquecimiento, como la línea de agotamiento.

**Tabla 18.** Valores de operación del diagrama.

(L/V)mín	0,15
(D/V)mín	0,85
(L/D)mín	0,18
(L/D)real	0,55
L(kmol/h)	301,82
V(kmol/h)	855,37
L/V	0,35
D/V	0,65
L' (kmol/h)	1271,35
V' (kmol/h)	855,37
L'/V'	1,49
W/V'	0,49

Se debe conocer que C12 se corresponderá con F, C13 será W y C14 será equivalente a D.

El cálculo de las etapas se empleó el método de Sowel-Lewis y el método de McCabe-Thiele.

**Tabla 19.** Valores método de Sowel-Lewis

<b>X<sub>D</sub></b>	<b>0,650</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	<b>0,650</b>
X <sub>1</sub>	0,520	Y <sub>1</sub>	0,650
X <sub>1</sub>	0,520	Y <sub>2</sub>	0,600
X <sub>2</sub>	0,380	Y <sub>2</sub>	0,600
X <sub>2</sub>	0,380	Y <sub>3</sub>	0,530
X <sub>3</sub>	0,200	Y <sub>3</sub>	0,530
X <sub>3</sub>	0,200	Y <sub>4</sub>	0,280
X <sub>4</sub>	0,050	Y <sub>4</sub>	0,280
X <sub>4</sub>	0,050	Y <sub>5</sub>	0,070
X <sub>5</sub>	0,007	Y <sub>5</sub>	0,072
X <sub>5</sub>	0,007	Y <sub>6</sub>	0,009
X <sub>6</sub>	0,002	Y <sub>6</sub>	0,009
X <sub>6</sub>	0,002	Y <sub>7</sub>	0,002
X <sub>7</sub>	0,001	Y <sub>7</sub>	0,002

Se llega a la conclusión que se tienen 6 etapas en equilibrio y un ebullidor. Además, la alimentación entra en el plato 2.



En cuanto al método de McCabe-thiele, el diagrama queda de la siguiente manera:

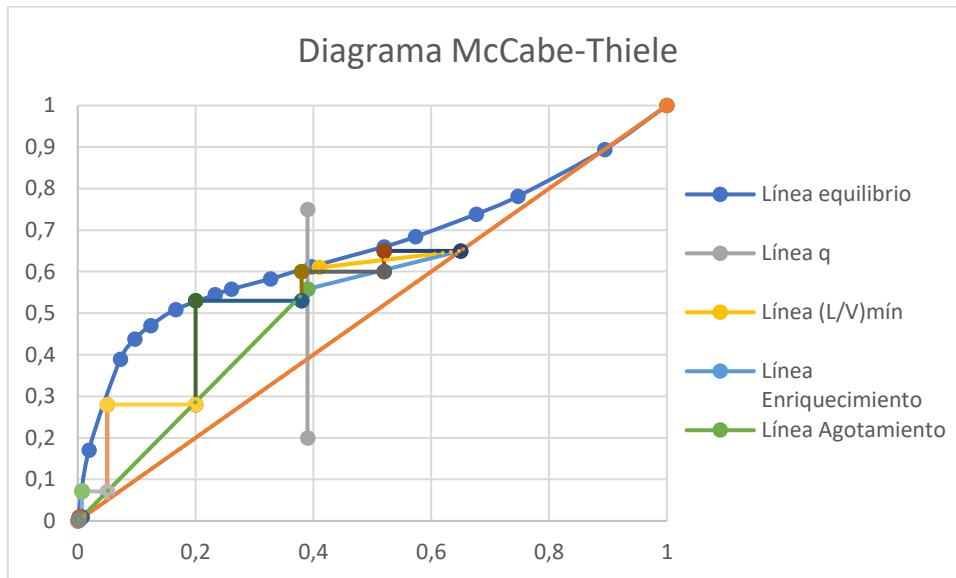


Figura 23. Diagrama McCabe-Thiele.

En cuanto a la altura de la destilación, una vez son conocidas el número de etapas teóricas,  $N$ , y conociendo los valores típicos de distancia entre platos de 30 cm asumiendo que estos platos tienen una cierta altura, se obtiene que la altura equivalente a un plato teórico,  $HETP=0,5$  m.

La altura teórica de la destilación es de:

$$L = HETP * N = 0,5 * 6 = 3 \text{ m.}$$

Se debe tener en cuenta la eficacia de la destilación, ya que son platos teóricos, por tanto, los platos reales con la relación de eficacia de un 70%:

$$N_{real} = \frac{N}{E} = \frac{6}{0,7} = 8,57$$

Es decir, se necesitarían un total de 9 platos reales puesto que 8,57 no es un valor aplicable a la realidad y con menos platos la columna no sería eficaz.



#### 4.5. Diagrama de flujo:

- **Descripción del proceso:**

El proceso comienza con la entrega de materia prima por parte de la empresa ACOR por medio de un camión. Esta materia prima se corresponde con 16380 kg/h de PDR húmeda al 10%. Posteriormente, este camión descargará la PDR sobre una tolva de recepción integrada con un tornillo sin fin (M-101). La PDR pasará gracias a una boquilla de salida de la tolva hacia la cinta transportadora correspondiente (M-102). La salida de la cinta conduce a un tanque agitado (TK-101), el cual tiene dos flujos de entrada, el primero, el ya nombrado recientemente y el segundo que se corresponde con un flujo de 73752,91 kg/h de HCl 0,1M proveniente de un depósito en el que es contenido. Este equipo, tiene una salida que será regulada gracias a la integración de una bomba de desplazamiento positivo (P-101) que la conduce hasta la extracción asistida mediante ondas microondas (R-101).

En la etapa de EAM el flujo másico de entrada que soportará será de 90132,91 kg/h. En la salida se tendrá la pectina solubilizada con el rendimiento marcado por el proceso cuyo flujo se corresponde con 3095,82 kg/h y además todo lo que entra en esta etapa sale y es llevada hasta una filtración (F-101) gracias una bomba de desplazamiento positivo (P-102). La EAM trabajará con una Temperatura de 60°C, una relación S-L de 1:5 y con una duración de 3 minutos.

La etapa filtración está compuesta de dos salidas, la primera es una corriente sólida de 38820,6 kg/h (glúcidos con humedad del 70%) y la segunda de 51312,31 kg/h (agua+HCl+pectina). Este último flujo es el que será llevado, a continuación, a una separación mediante un módulo de membranas (S-101).

En cuanto a las membranas, se diferencian dos corrientes, el clarificado y el retenido. El flujo másico de clarificado es de 38484,23 kg/h y será recirculado gracias a una bomba de desplazamiento positivo y el flujo de retenido se corresponde con 12828,08 kg/h y es el que pasará a la etapa de precipitación. El módulo de membranas se basa en una ultrafiltración y trabajará con 25°C por lo que se emplea en la salida de (F-101) un intercambiador de calor (E-101).

La salida (S-101) estará provista de una bomba centrífuga (P-104) y se transportará hacia una precipitación (TK-102). El tanque de precipitado (TK-102) constará de dos entradas, la primera la proveniente de (S-101) con flujo de 12828,08 kg/h y otra derivada de un depósito (D-102) con etanol al 80% en masa con flujo de 38484,23 kg/h, puesto que la relación es de 1:3.

La salida de (TK-102) se corresponde con 51312,31 kg/h y será trasladada a una centrifugación (CF-1010) que separará la pectina del etanol+agua. El



flujo de pectina final será de 15479,10 kg/h (20% se corresponderá con pectina y el 80% representa la humedad) y estará almacenado en un depósito especial para ello. Por otro lado, la salida de etanol+agua+HCl se llevará a una destilación (COL-101).

La entrada a esta destilación es de 35833,21 kg/h. En esta etapa, se recuperará el etanol por la corriente de cabezas, que estará compuesto con un condensador (HT-101) y será recirculado al (TK-102) con un flujo de 28224,85 kg/h y con una fracción másica de destilado,  $x_D=0,8$ . La corriente de colas de (COL-101) consistirá en agua tratada y que podría ser recirculada a (TK-101). En esta corriente de colas deberá existir un ebullición que permita el correcto funcionamiento de la destilación. La fracción másica es de  $x_W=0,005$ .



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## 5. Estudio tecno-económico

En este apartado se procede a realizar una evaluación económica preliminar del coste total de la planta industrial. Se va a estimar el precio de venta de los productos en el mercado. Con base a estos costes se evaluará la rentabilidad de la planta de pectina y se realizará un análisis de sensibilidad si es posible mediante el cual se evaluarán las posibles variaciones de precios en el mercado tanto de las materias primas como de los productos o producto que han sido obtenidos.

### 5.1. Coste total de la planta

Se va a emplear el método factorial de estimación de costes propuesto inicialmente por Lang. Las distintas estimaciones de costes de capital por lo general se basan en una estimación del precio de compra de los principales equipos necesarios en el proceso, los otros costes son estimados como factores de costo del equipo. Ese es el término de proporcionalidad que se denomina como Factor de Lang. Se explica cómo es calculado dicho factor seguidamente.

El capital total invertido (CTI) del proceso se expresa como la suma del capital fijo invertido (CFI), los costes de operación (CO) y el coste de puesta en marcha (CPM). Estos dos últimos se expresan como un porcentaje del capital total invertido, mientras que el capital fijo invertido se calcula como una suma de los costes tanto directos como indirectos.

Los porcentajes se corresponderán con un 15% para el coste de operación y del 10% para el coste de puesta en marcha. En cuanto al cálculo del coste del capital fijo invertido, será la suma de todos los costes directos (CD) y de los costes indirectos (CI).

$$CO = 0,15 * CFI$$

$$CPM = 0,1 * CFI$$

$$CFI = CD + CI$$

Los costes directos serán los derivados de la construcción de la planta, que se dividen en límites de batería (ISBL) y límites fuera de batería (OSBL).

En cuanto a los límites fuera de batería serán calculados por un porcentaje de los límites dentro de batería.

$$OSBL = ISBL * 0,45$$





Los límites dentro de batería (ISBL) se componen de la suma global del precio de compra de equipos (CE), la instalación de equipos (PEI), la instrumentación y el control (IC), las tuberías (P) y por último el equipamiento eléctrico y material (E).

El desarrollo de los distintos costes se observa a continuación:

$$PEI = PE * 0,45$$

$$IC = PE * 0,1$$

$$P = PE * 0,12$$

$$E = PE * 0,1$$

$$ISBL = CE + PEI + IC + P + E = 1,77 * CE$$

$$CD = ISBL + OSBL$$

$$CI = 0,25 * CD$$

Los costes de compra serán calculados como el sumatorio de los equipos principales, cuyo precio vendrá dado por la consulta de diferentes casas comerciales además la bibliografía. [51]

El precio de cada equipo se indica en la **tabla 20**. Se debe tener en cuenta el Índice de Precios al Consumidor (IPC), a fecha de 2021 y la conversión \$/€ actual. Además, los precios serán estimados a partir de sus dimensiones o su capacidad de tratamiento.

**Tabla 20.** Precios de los principales equipos de la planta. [Elaboración Propia]

<i>Equipo</i>	<i>Precio Total €</i>
<i>Tolva (M-101)</i>	17673,54
<i>Cinta Transportadora (M-102)</i>	856,80
<i>Agitador (TK-101)</i>	8568,00
<i>EAM (R-101)</i>	446881,52
<i>Filtro (F-101)</i>	12852,00
<i>Módulo Membranas (S-101)</i>	29131,20
<i>Centrifugadora (CF-101)</i>	29988,00
<i>Columna de destilación (COL-101)</i>	42840,00
<i>Depósito HCl (D-101)</i>	34272,00
<i>Depósito etanol (D-102)</i>	34272,00
<b>TOTAL</b>	<b>1106152,26</b>

El coste del extractor asistido mediante microondas se ha estimado considerando la potencia requerida, es decir si se conoce el precio del kWh, y



también se conoce la potencia consumida por el extractor que corresponde con 297,7 kW, se llega a que el precio del kWh al año es de 1790, cogiendo una variación media entre la potencia en horas puntas y horas valle. [52]

En cuanto a los costes indirectos (CI), se calculan por medio de la suma de contingencias y los costes de propiedad, que a su vez son un porcentaje de los costes directos del proceso. Se incluyen los costes de honorarios del contratista, posibles errores de diseño, previsión imprevistos etc.

En la **tabla 21**, se muestran las principales partidas del método de Lang y el total de la inversión, mediante las ecuaciones anteriormente expuestas.

**Tabla 21.** Resumen partidas de costes. [Elaboración propia]

<i>Equipo</i>	<i>Precio Total €</i>
<i>ISBL</i>	1163483,05
<i>OSBL</i>	295800,78
<i>Costes Directos (CD)</i>	1459283,83
<i>Costes Indirectos (CI)</i>	364820,96
<i>Capital Fijo Invertido (CFI)</i>	1824104,79
<i>Costes de operación (CO)</i>	273615,72
<i>Coste de puesta en marcha (CPM)</i>	182410,48
<i>Capital Total Invertido (CTI)</i>	2280130,98

## 5.2. Estudio viabilidad económica.

Se debe empezar calculado y detallando el precio de compra de las distintas materias primas, así como los precios de venta del producto que se obtiene, es decir pectina, para poder ejecutar el balance de costes y el flujo de caja. En la **tabla 22**, se muestran los diferentes costes tanto de materias primas, en este caso Etanol, HCl y pulpa de remolacha, y del producto pectina.

Se debe conocer que la planta traba 8000 horas al año para llegar al coste total de cada compuesto.

**Tabla 22.** Precios totales materias primas y productos

		<i>Flujo hora</i>	<i>Precio</i>	<i>Total</i>
			<i>(€/u)</i>	<i>(Miles €)</i>
<i>Materias Primas</i>	<i>Pulpa de remolacha</i>	16380,00 kg	0,021	2796,39
	<i>Etanol</i>	26,11 m <sup>3</sup>	2,20	459,62
	<i>Agua</i>	78,60 m <sup>3</sup>	3,20	2012,23
	<i>HCl</i>	0,22 m <sup>3</sup>	0,75	1,35



**Producto** | **Pectina** | 3095,8 kg | 8,00 | 198131,2

En cuanto a la pulpa de remolacha se ha conseguido los precios web de ACOR.

El agua usada se ha estimado a partir de los costes de la web de Aquavall y sus tarifas dependiendo del agua tratada, conociendo que se van a tratar más de 135 m<sup>3</sup> cada trimestre.

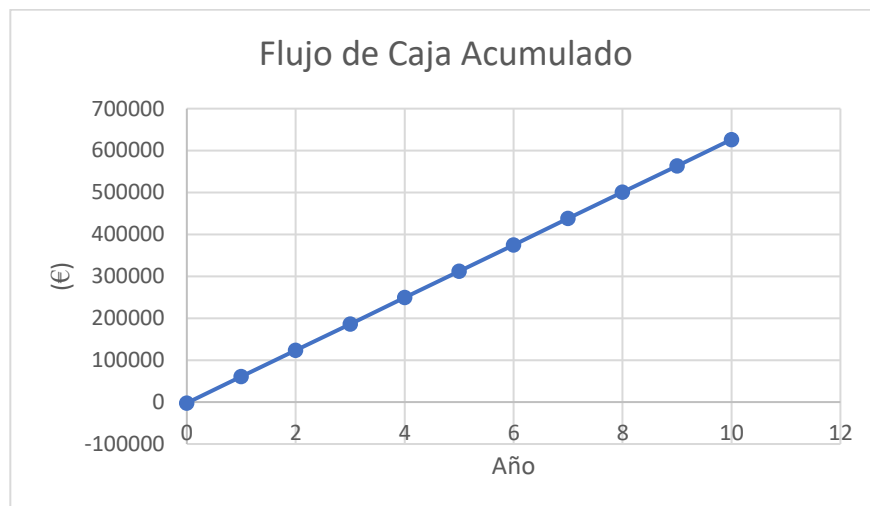
Por último, el precio del HCl, y del etanol se han obtenido a través de la web de Alibaba, por encargos al por mayor de esta materia prima puesto que se debe suministrar gran cantidad de ellos.

Por otro lado, el precio de la pectina también se ha conseguido a través de la web de Alibaba.

Para comprobar si la planta es económicamente rentable, debe hacerse el consiguiente estudio de viabilidad completo. En este estudio se deben calcular los parámetros nombrados a continuación y así se podrá analizar la rentabilidad o no de la inversión:

- La tasa interna de rentabilidad, es el rendimiento, será nombrado en las siguientes ocasiones TIR.
- El valor actual neto, conocido como VAN.

A partir de los costes descritos representados en el anexo III Cálculos para el flujo de caja, se ha representado la **figura 24** donde son expresados los diferentes costes, los beneficios y el impuesto correspondiente al 20%.



**Figura 24.** Flujo de Caja Acumulado.

Puesto que el producto obtenido es un producto muy valioso por sus diferentes aplicaciones ya vistas, su precio de venta va a ser elevado si es comparado con el precio de las materias primas adquiridas.



Por último, se procede al cálculo del VAN y TIR:

Con los datos del Anexo III Cálculos para el flujo de caja, se aplica la correspondiente fórmula para conocer el valor VAN:

$$VAN = \frac{\sum_{i=0}^n FC_i}{(1+i)^n} - I_0$$

Donde se conoce que  $FC_i$  es el beneficio que existe en el año  $i$ , tanto positivo como negativo,  $i$ , se corresponde con el interés real, se considera de 0,10%,  $n$ , son el número de años de la planta y por último el término  $I_0$  se refiere a la inversión inicial de 22800130,98 €.

Con la aplicación de la fórmula el VAN es de 349039,04 €.

Si se iguala el VAN a 0 y se despeja en la misma fórmula la  $i$ , se obtiene el resultado del TIR de 28% mayor al 5%.

Como el VAN es positivo y el TIR es mayor a la tasa mínima de rentabilidad exigida, se demuestra que la planta es rentable.

Es a partir del primer año donde la inversión se recupera mediante el precio de venta de pectina propuesto.



## 6. Conclusiones

En el presente Trabajo de Fin de Grado se ha diseñado una planta industrial para la producción de pectina a partir de pulpa de remolacha en la localidad de Olmedo, Valladolid. La capacidad de tratamiento de la planta es de 359,01 t/d de PDR consiguiéndose como producto principal pectina con una composición del 20% en masa y un 80% de humedad. La recuperación total de pectina es de un 72,28%, considerando un contenido de pectina en la pulpa de remolacha del 27,34%.

Con los distintos objetivos previamente marcados, se procede a señalar las conclusiones más relevantes:

- A partir de la revisión bibliográfica, se ha seleccionado como materia prima la pulpa de remolacha por su elevado contenido en pectina, 27,34%. Como tecnología de extracción se ha seleccionado la extracción asistida por microondas porque requiere un tiempo de operación muy inferior (3 minutos) en comparación con las tecnologías convencionales. Además, permite trabajar con frecuencias elevadas, la variable potencia del microondas puede ser regulada, admite temperaturas no muy elevadas, 60 °C y el rendimiento que proporciona del producto deseado es elevado, 21%.
- Se han resuelto los balances de materia a las diferentes etapas que componen el proceso y se han dimensionado los principales equipos: tanque de agitación, equipo de Extracción Asistida mediante Microondas (EAM), filtro, módulo de membranas, centrífuga y por último una columna de destilación. A partir de estas etapas, se ha realizado el diagrama de flujo del proceso.
- Respecto a la evaluación económica, se ha calculado el Capital Total Invertido (CTI) con un coste de 2,28 M€, suponiendo que se producen 15479 kg/h de pectina con un 80% de humedad y estimándose su precio en 4 €/kg, con 8000 horas de trabajo de la planta, se llega a la conclusión de que la planta puede ser viable económicamente por su elevado precio de venta del producto en el mercado. Los valores de VAN positivo de 0,349 M€ y un TIR de 28%, indican que la planta es completamente viable desde el punto de vista económico.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la pulpa de remolacha, es, un subproducto de la industria azucarera de enorme interés para obtener un producto de alto valor añadido como es la pectina para su posterior uso en sus distintas aplicaciones como gelatinas y mermeladas o incluso productos de farmacia y cuidado personal.



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## 7. Bibliografía:

- [1] Martín Cerdeño V,J. 2009. Consumo de frutas frescas en España. Universidad Complutense Madrid. Distribución y Consumo. 38-50.  
[https://www.mercasa.es/media/publicaciones/40/pag\\_038-050\\_consumo.pdf](https://www.mercasa.es/media/publicaciones/40/pag_038-050_consumo.pdf)
- [2] Del campo al mercado. Consumo de frutas y hortalizas. Fepex, 2020 [Consultado 23 de marzo de 2021]. Disponible en:  
<https://www.fepex.es/datos-del-sector/consumo-frutas-hortalizas>.
- [3] Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado, número 181 de 29 de julio de 2011.
- [4] Devia Pineda, J. E. 2003. Proceso para producir pectinas cítricas. Universidad EAFIT, nº129, 22-29.
- [5] Pectin Market by Type. Raw Material, Function, Application, and Region. Marketsandmarkets, 2019. [Consultado 25 marzo de 2021]. Disponible en:  
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/pectin-market-139129149.html>
- [6] Global Pectin Market: By Raw Material: Citrus Peel, Apple Peel, Others; By End Use: Jams and Preserves, Drinkable and Spoonable Yoghurt, Bakery and Confectionery, Fruit Beverages, Other Milk Drinks, Others; Regional Analysis; Historical Market and Forecast (2016-2026); Market Dynamics; Competitive Landscape; Industry Events and Developments. Expert market research. [Consultado 27 marzo de 2021] Disponible en:  
<https://www.expertmarketresearch.com/reports/pectin-market>.
- [8] Galant, A. L., Luzio G. A., Widmer, W. W., Cameron R. G. 2014. Compositional and Structural Characterization of Pectic Material from Frozen Concentrated Orange Juice. Food Hydrocolloids 35, 661-669.
- [9] Mohnen Debra. 2008. Pectin structure and biosynthesis. Current opinion in Plant Biology. 11. 266-277. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526608000630>.
- [10] Aula sosa. Pectinas. Sosa Ingredients.SL [Consultado 25 marzo de 2021]. Disponible en: [https://www.sosa.cat/wp/wp-content/uploads/Pectines\\_CAST.pdf](https://www.sosa.cat/wp/wp-content/uploads/Pectines_CAST.pdf)
- [11] Ardila Ferreira S. 2007. Pectinas: Aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial. Universidad Nacional de Colombia [Consultado 27 marzo de 2021]. Disponible en:



[http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad\\_de\\_Ciencias/Publicaciones/Archivos\\_Libros/Libros\\_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf](http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Archivos_Libros/Libros_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf)

[12] Muñoz Labrador A. 2016. Caracterización de pectinas industriales de cítricos y su aplicación como recubrimientos de fresas. Trabajo Fin de Máster. Universidad Autónoma de Madrid. [Consultado 27 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/176559/1/LabradorTFMpectinasfresas.pdf>

[13] Löfgren, C. 2000. Pectins - structure and gel forming properties a literature review. Review. Chalmers University of Technology, Sweden. [Consultado 27 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:959097/FULLTEXT01.pdf>

[14] May D. C. 1999. Industrial Pectins: Sources, Production and Applications. Carbohydrate Polymers. 12, 76-79.

[15] Imeson A., 2009. Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents. Wiley-Blackwell (ed). Pectin, pp. 237-262.

[16] Pagliario M., Ciriminna R., Alexandra F., Desilisi R. 2016. Pectin Production and Global Market. Agro Food Industry Hi Tech 27. 17-20.

[17] Cui J., Zhao C., Liping F., Yanhui H., Hengjun D., Xiao H., Jinkai Z, 2021. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. Trend in Food Science & Technology. 110, 39-54.

[18] Sayah M. Y., Chabir R., El Madani N., & Errachidi F. 2014. Comparative Study on Pectin Yield According to the State of the Orange Peels and Acids Used. International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. 3, 15658-15665

[19] Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., Raghavan, V. 2017. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. Food Hydrocolloids. 62, 239-250.

[20] Gobierno de España, Remolacha azucarera. Superficie y producción. [Consultado 18 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/remolacha-azucarera/>

[21] Abou-Elseoud W.S., Hassan E. A., & Hassan M.L. 2021. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2, 1-11.

[22] Bellido C., Infante C., Coca M., González-Benito G., Lucas S., García-Cubero M. T. 2015. Efficient acetone-butanol-ethanol production by Clostridium beijerinckii from sugar beet pulp. 190, 332-338.





- [23] ED&F Man Feedimpex. Growing of Sugar Beet. [Consultado 18 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.feedimpex.nl/beet-pulp-pellets#:~:text=Sugar%20beet%20pulp%20is%20effectively,concentrate%20mixtures%20for%20dairy%20cattle.>
- [24] Gigac J., Fiserova M., & Boháček S. 2009. The use of sugar beet pulp in paper manufacture. International Sugar Journal .20-26. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/287749692\\_The\\_use\\_of\\_sugar\\_beet\\_pulp\\_in\\_paper\\_manufacture](https://www.researchgate.net/publication/287749692_The_use_of_sugar_beet_pulp_in_paper_manufacture)
- [25] Moghaddam J. M., Shaddel R., Peighambardoust H. S. 2020. Sugar Beet Pectin Extracted by Ultrasound or Conventional heating: a comparison. Journal of Food Science and Technology. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/344039892\\_Sugar\\_beet\\_pectin\\_extracted\\_by\\_ultrasound\\_or\\_conventional\\_heating\\_a\\_comparison](https://www.researchgate.net/publication/344039892_Sugar_beet_pectin_extracted_by_ultrasound_or_conventional_heating_a_comparison)
- [26] Maran P. J., Sivakumar V., Thirugnanasambandham K., Sridhar R. 2013. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from Orange peel. Carbohydrate Polymers 97. 703-709.
- [27] Maran P. J., Sivakumar V., Thirugnanasambandham K., Sridhar R. 2014. Microwave assisted extraction of pectin waste Citrullus lanatus fruit rinds. Carbohydrate Polymers 101. 786-791.
- [28] Karbuz P., Tugrul N. 2021. Microwave and ultrasound assisted extraction of pectin from various fruits peel. Journal of Food Science and Technology. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13197-020-04578-0.pdf>
- [29] Fishman M. L., Hoa K., Willow G. 2000. Extraction of Pectin by Microwave Heating Under Pressure. United States Patent. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/1e/ad/c1/ada2eed2e49273/US6143337.pdf>
- [30] Kaya Burcu. 2020. Extraction of pectin from sugar beet Pulp by high hydrostatic pressure and investigation of extraction efficiency and extract characteristics. Tesis. Middle East Technical University. Disponible en: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12625163/index.pdf>
- [31] Fishman M. L., Hoa K. C., Cooke P. H., Hotchkiss Jr. A. T. 2008. Global Structure of Microwave-Assisted Flash-Extracted Sugar Beet Pectin. Journal of Agricultural and Food Chemistry.56. 1471-1478. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf072600o>
- [32] Guo X., Meng H., Zhu S., Tang Q., Pan R., Yu S. 2016. Stepwise ethanolic precipitation of sugar beet pectins from the acidic extract. 136, 316-321.
- [33] Viera O. L., Rodríguez S., Santana F. E. 2015. Membranas vítreas empleadas en la purificación de biogás. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. V.



55. 24-28. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/299776949\\_Membranas\\_vitreas\\_empl\\_eadas\\_en\\_la\\_purificacion\\_de\\_biogas](https://www.researchgate.net/publication/299776949_Membranas_vitreas_empl_eadas_en_la_purificacion_de_biogas)
- [34] Olmedo. Satellities pro. [Consultado 04 de mayo de 2021]. Disponible en:  
[https://satellites.pro/mapa\\_de\\_Espana#41.300991,-4.688287,13](https://satellites.pro/mapa_de_Espana#41.300991,-4.688287,13)
- [35] Acor. Sociedad Cooperativa General Agropecuaria. [Consultado 04 de mayo de 2021]. Disponible en:  
<http://www.cooperativaacor.com/es/compromiso-medio-ambiente/sec/20/>
- [36] Olmedo. Sede Electrónica del Catastro. [Consultado 04 de mayo de 2021]. Disponible en:  
<https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=rustica&from=OVCBusqueda&ZV=NO&ZR=NO&anyoZV=&RCCompleta=&pol=&par=&DescProv=VALLADOLID&prov=47&muni=105&DescMuni=OLMEDO&TipUR=R&tc=R&del=47&muni=105>
- [37] Perez Ortuño F., I. Optimización de las condiciones de operación de las etapas de concentración/Clarificación de zumos por tecnología de membranas. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Valencia. [Consultado 22 de mayo de 2021]. Disponible en:  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67614/537243590\\_TFG\\_14676684225546120827497857951167.pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67614/537243590_TFG_14676684225546120827497857951167.pdf?sequence=2)
- [38] Perez M., Zardini E. 2016. Producción Industrial de Pectina a partir de la cáscara de limón. Trabajo Fin de Grado. Universidad Tecnológica Nacional. [Consultado 07 de mayo de 2021]. Disponible en:  
[https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok\\_es/pdf/2020/09\\_22/xcebqe1600752544.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20210507%2F%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20210507T091710Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=04aa2542751509a19f4a1635cbcb6f5ef783b1a0525a15cc25eb0af26b42e01e](https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/09_22/xcebqe1600752544.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20210507%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20210507T091710Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=04aa2542751509a19f4a1635cbcb6f5ef783b1a0525a15cc25eb0af26b42e01e)
- [39] Coulson J., M., Richardson J., F., 1999. Chemical Engineering V.2a. Sixth edition. En: Butterworth Heinemann (Eds), Liquid filtration. pp 555-625.
- [40] Pulpa de remolacha. 2012. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. [Consultado 30 de mayo de 2021]. Disponible en:  
[http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/pulpa-de-remolacha-actualizado-nov-2012#:~:text=Los%20gr%C3%A1nulos%20tienen%20un%20di%C3%A1metro,subproductos%20de%20la%20industria%20azucarera.](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/pulpa-de-remolacha-actualizado-nov-2012#:~:text=Los%20gr%C3%A1nulos%20tienen%20un%20di%C3%A1metro,subproductos%20de%20la%20industria%20azucarera.)



- [41] Tolvas de Recepción. Fabricación de Maquinaria Vinícola. Pesanse. [Consultado 30 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://www.pesanse.es/productos/List/show/tolvas-de-recepcion-126>
- [42] Cinta transportadora móvil personalizada, estructura de acero inoxidable, cinta transportadora ajustable de velocidad. Alibaba. [Consultado 06 de junio de 2021]. Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/mobile-belt-conveyor-customized-stainless-steel-frame-pp-belt-speed-adjustable-conveyor-1600055072770.html?spm=a2700.7724857.normal\\_offer.d\\_title.453744ffeqdqAM](https://spanish.alibaba.com/product-detail/mobile-belt-conveyor-customized-stainless-steel-frame-pp-belt-speed-adjustable-conveyor-1600055072770.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.453744ffeqdqAM)
- [43] Coulson J., M., Richardson J., F., 1999. Chemical Engineering V.6. Sixth edition. En: Butterworth Heinemann (Eds), Liquid Mixing. pp 274-313.
- [44] Labotron ES 3- and 6-kW Extraction and Synthesis. Sairem Laboratory. [Consultado 06 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.sairem.com/wp-content/uploads/2020/04/SAIREM-LABOTRON-6000-MK175-EN.pdf>
- [45] Industrial Microwave generators. Sairem Laboratory. [Consultado 10 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.sairem.com/industrial-microwave-generators/>
- [46] Automatic industrial hydraulic sludge plate and frame chamber filter press equipment clay membrane filter press Price. Alibaba. [Consultado 10 de junio de 2021]. Disponible en: [https://www.alibaba.com/product-detail/Plate-And-Frame-Filter-Plate-And-1600138716752.html?spm=a2700.7724857.topad\\_classic.d\\_title.44a14385pK10pO](https://www.alibaba.com/product-detail/Plate-And-Frame-Filter-Plate-And-1600138716752.html?spm=a2700.7724857.topad_classic.d_title.44a14385pK10pO)
- [47] 50m<sup>3</sup>/H Ultrafiltration UF plant for industrial water treatment. Alibaba. [Consultado 10 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/50m3-H-Ultrafiltration-UF-plant-for-60828971219.html?spm=a2700.details.maylikeexp.4.34125311CxV4JO>
- [48] Centrífuga decantadora utilizada para materiales de 2 fases y 3 fases separados en productos químicos/alimentos/industria médica. Alibaba. [Consultado 22 de junio de 2021]. Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/decanter-centrifuge-used-for-2-phase-and-3-phase-material-separate-in-chemical-food-oil-min-medical-industry-62372714446.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.125e3be8QOgd33&s=p](https://spanish.alibaba.com/product-detail/decanter-centrifuge-used-for-2-phase-and-3-phase-material-separate-in-chemical-food-oil-min-medical-industry-62372714446.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.125e3be8QOgd33&s=p)
- [49] McCabe W. L., Smith J. C., Harriott P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4ª edición. En: McGraw- Hill (Eds.), Operaciones de etapa de equilibrio. pp 529-550.
- [50] Perry R. H., Chilton C., H., Kirkpatrick S. O. 1963. Chemical Engineers Handbook. 4ª edición. En: McGraw-Hills (Eds.). pp. 5-13.



[51] Coulson J., M., Richardson J., F., 1999. Chemical Engineering V.6. Sixth edition. En: Elsevier (Eds), Costing and Project Evaluation. pp 243-283.

[52] Consulta el precio de la luz (€/kWh): tarifas y comparativa. Tarifasgasluz. [Consultado 02 de julio de 2021]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/comparador/precio-kwh>



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES





## ANEXO I. Lista de equipos:

					<b>EQUIPMENT LIST</b>	
REV.	1				JOB NO.	OBTENCIÓN PECTINA MEDIANTE EAM
DATE	02/06/2021				UNIT	
BY	ADC				CLIENT	UVA
APPR'V					LOCATION	OLMEDO
REV.	ITEM NO.	QUANTITY	DESCRIPTION	ORIGIN (1)	DRIVER (1)	REMARKS
1	M-101	1	TOLVA DE RECEPCIÓN			
2	M-102	1	CINTA TRANSPORTADORA			
3	D-101	1	DEPÓSITO			DEPÓSITO DE HCL
4	TK-101	1	TANQUE AGITADOR			AGITADOR HCL Y PECTINA
5	P-101	1	BOMBA			BOMBA DE DESPLZTO POSTVO
6	R-101	1	EXTRACTOR ASISTIDO MEDIANTE MICRONDAS			
7	P-102	1	BOMBA			BOMBA DE DESPLZTO POSTVO
8	F-101	1	FILTRACIÓN			
9	P-103	1	BOMBA			BOMBA DE DESPLZTO POSTVO
10	S-101	1	MEMBRANA			
11	E-101	1	CAMBIADOR DE CALOR			
12	P-104	1	BOMBA			BOMBA CENTRÍFUGA
13	TK-102	1	TANQUE PRECIPITACIÓN			
14	P-105	1	BOMBA			BOMBA DE DESPLZTO POSTVO
15	CF-101	1	CENTRIFUGACIÓN			
16	P-106	1	BOMBA			BOMBA CENTRÍFUGA
17	COL-101	1	DESTILACIÓN			
18	HT-101	1	CALENTADOR			
19	D-103	1	DEPÓSITO			DEPÓSITO DE ETANOL
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						

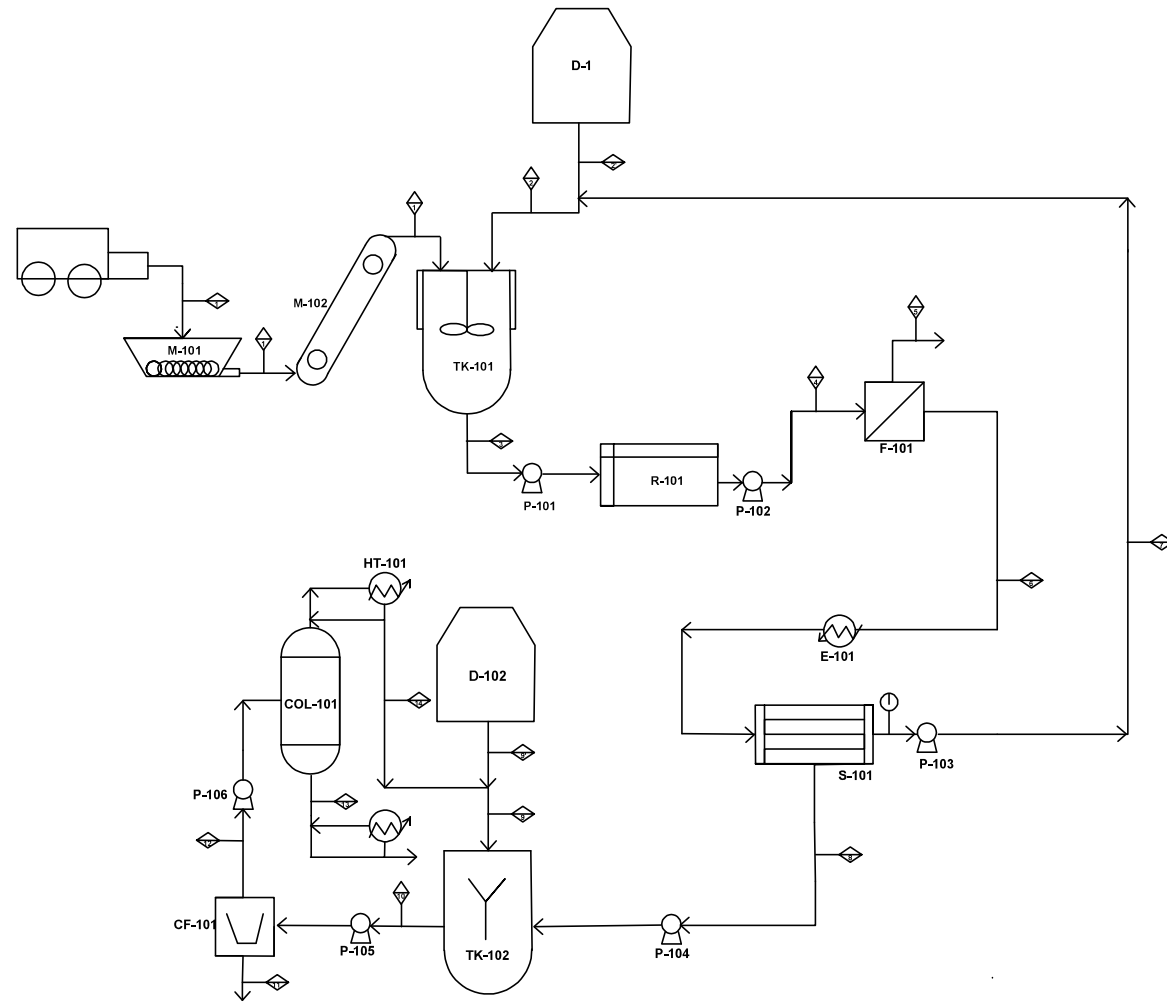
**LEGEND:**  
 1.- DRIVER: M - ELECTRIC MOTOR      T - TURBINE      ORIGIN: E - SPAIN      O - OTHERS



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



## ANEXO II. Diagrama de flujos



**TABLA DE CORRIENTES**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
PECTINA (%)	27,34	-	4,75	3,43	-	6,03	-	24,13	-	6,03	20,00	-	-	-
O. SÓLIDOS (%)	66,77	-	11,60	12,92	30,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGUA (%)	10	0,36	83,35	83,35	70,00	93,44	99,48	75,34	20,00	33,84	27,06	36,76	99,50	19,85
HCl (%)	-	99,64	0,30	0,30	-	0,52	0,52	0,52	-	0,13	0,16	0,12	-	0,15
ETANOL (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	80,00	60,00	52,78	63,12	0,50	80,00
F.TOTAL (Kg/h)	16380,00	73484,17	90132,91	90132,91	38820,6	51312,31	38484,23	12828,08	38484,23	51312,31	15479,10	35833,21	7608,36	28224,85

AUTOR: ALEJANDRO DIEZ CARRIÓN	FECHA: 06/06/2021
<b>PLANTA INDUSTRIAL-EXTRACCIÓN DE PECTINA</b>	
A3	





## ANEXO III. Cálculos para el flujo de Caja.

Descripción (Miles€)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>A1. Capital Inmovilizado</b>	2280										
<b>A2. Capital Circulante</b>		91205	91205	91205	91205	91205	91205	91205	91205	91205	91205
<b>A. FI - Fondos Invertidos</b>	-2280	-91205	-91205	-91205	-91205	-91205	-91205	-91205	-91205	-91205	-91205
<b>B1. Ingresos por Ventas</b>		198131	198	198	198	198	198	198	198	198	198
<b>B2. Costes</b>		-5270	-5270	-5270	-5270	-5270	-5270	-5270	-5270	-5270	-5270
<b>B. Margen Bruto</b>		192862	192862	192862	192862	192862	192862	192862	192862	192862	192862
<b>C1. Amortización</b>		-228	-228	-228	-228	-228	-228	-228	-228	-228	-228
<b>C. BAI - Beneficio antes de Impuestos</b>		192634	192634	192634	192634	192634	192634	192634	192634	192634	192634
<b>D1. Impuestos (20%)</b>		-38572	-38572	-38572	-38572	-38572	-38572	-38572	-38572	-38572	-38572
<b>D. BDI - Beneficio después de Impuestos</b>		154061	154061	154061	154061	154061	154061	154061	154061	154061	154061
<b>E. FGO - Fondos Generados por las operaciones</b>	-2280	62856	62856	62856	62856	62856	62856	62856	62856	62856	62856
<b>F. FGO-R - Movimiento de Fondos Acumulado</b>	-2280	60576	123432	186288	249144	312000	374856	437712	500568	563424	626280



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

