

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



PROYECTO FIN DE CARRERA  
INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE  
EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

Almería, 02 de Septiembre de 2013

Rubén Expósito Martín

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE  
EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

AUTOR: RUBÉN EXPÓSITO MARTÍN

DIRECTOR: FRANCISCO GARCÍA CAMACHO

Almería, 02 de Septiembre de 2013

## RESUMEN DEL PROYECTO

El licopeno es uno de los carotenoides presentes en el tomate y responsable de su color rojo, caracterizándose también por sus propiedades antioxidantes. Este pigmento natural despierta un gran interés por su amplio abanico de aplicaciones tanto en el sector farmacéutico como en el alimentario.

Almería es una de las provincias españolas con mayor producción de tomate de alta calidad, pero que a su vez desecha una cantidad aproximada de 84.944,44 toneladas anuales de fruto de tomate que no son aptos para su venta, pero con propiedades organolépticas prácticamente intactas. Por esta razón, el presente proyecto se basa en plantear una solución sostenible aprovechando dichos residuos para transformarlos en un producto de alto valor añadido.

Actualmente existen varios procesos de extracción de licopeno de origen vegetal: extracción con disolventes orgánicos, extracción con fluidos supercríticos o extracción por vía enzimática. Debido al gran estado de desarrollo de la técnica, se ha optado por la extracción con hexano, procedimiento patentado por una de las empresas más importantes a nivel europeo en la producción de licopeno, LycoRed. Este proceso se basa principalmente en una extracción sólido-líquido, que consigue separar de la pulpa del tomate un extracto lipofílico rico en el carotenoide de interés. Tras varias etapas de purificación se obtiene una oleorresina de color parduzco con una concentración de hexano por debajo de 50 ppm, nivel exigido por las normativas europeas.

La producción de esta resina aceitosa asciende a 71.280 kg/año, de los cuales se destinan 53.460 kg para su venta como colorante alimentario y el resto, 17.820 kg anuales se utilizan para distribuirlo como nutracéutico en forma de cápsulas de gel blando, alcanzando una producción anual de 1.188.000.000.

Este proyecto obtiene un beneficio anual de 1.594.528,50 €, consiguiendo rentabilizar la inversión al sexto año de la puesta en marcha de la planta.

## INDICE GENERAL

- I. MEMORIA JUSTIFICATIVA
- II. MEMORIA DESCRIPTIVA
- III. ANEJO I. CÁLCULOS
- IV. ANEJO II. DISEÑO DE RECIPIENTES
- V. ANEJO III. DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS
- VI. ANEJO IV. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
- VII. ANEJO V. PLANOS
- VIII. ANEJO VI. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD
- IX. ANEJO VII. PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS
- X. ANEJO VIII. PRESUPUESTO Y EVALUACIÓN  
ECONÓMICA
- XI. BIBLIOGRAFÍA
- XII. NOMENCLATURA

# **I. MEMORIA JUSTIFICATIVA**

# I. MEMORIA JUSTIFICATIVA

ÍNDICE	Pág.
1. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	1
1.1. INTERÉS.....	1
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	2
2. ANTECEDENTES .....	2
2.1. INTRODUCCIÓN .....	2
2.2. PANORAMA GENERAL DE LA AGRICULTURA EN ALMERÍA .....	2
2.3. TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) .....	4
2.4. RESIDUOS VEGETALES DE INVERNADERO (RVI) .....	5
2.5. USOS DE LOS RVI .....	7
2.5.1. RECURSO ENERGÉTICO .....	7
2.5.2. COMPOSTAJE .....	10
2.5.3. OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE ALTO VALOR AÑADIDO..	11
2.6. PLANTAS DE RECICLAJE DE RVI EN ALMERÍA .....	12
2.7. LICOPENO .....	13
2.7.1. INTRODUCCIÓN .....	13
2.7.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL LICOPENO .....	16
2.7.3. ABSORCIÓN, TRANSPORTE Y METABOLISMO DEL LICOPENO	17
2.7.4. BENEFICIOS PARA LA SALUD .....	18
2.7.5. DEGRADACIÓN DEL LICOPENO .....	19
2.7.6. PANORAMA GENERAL DEL LICOPENO .....	19
3. ALTERNATIVAS DE PROCESO .....	22
3.1. EXTRACCIÓN CON CO <sub>2</sub> SUPERCRTICO .....	22
3.2. TRATAMIENTO ENZIMÁTICO .....	23
3.3. EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES ORGÁNICOS .....	24
ANEXO I: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TOMATE	
ANEXO II: FUENTES DE LICOPENO	

## 1. INTERÉS Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 1.1. INTERÉS

El cultivo intensivo bajo plástico se ha convertido en uno de los sectores agrícolas con mayor crecimiento e importancia en el sector primario, eso se demuestra en el gran aumento de las hectáreas cultivadas bajo plástico en la provincia de Almería en los últimos años. Uno de los principales problemas que se presenta en este tipo de cultivos es el resto vegetal generado tras la cosecha, ya que, por una parte se encuentra el coste en tiempo y dinero que supone su retirada como además el problema ambiental que supone la eliminación de dichos residuos.

Hay estudios que demuestran que muchos de los residuos vegetales de invernaderos (RVI), son una fuente importante de compuestos de alto valor añadido. Éstos contienen propiedades nutricionales beneficiosas para uso humano, los cuales son de gran interés por parte de las industrias alimentarias y farmacéuticas. Adicionalmente, los subproductos ya agotados en los compuestos bioquímicos de interés, se pueden reutilizar en otros productos de alimentación, como por ejemplo, en la elaboración de piensos para la ganadería, como materia base para la fabricación de compost y biofertilizantes, sin olvidar, los restantes RVI que no tengan interés por su composición química, pero que forman una biomasa potencialmente aprovechable para generar energía.

Debido a la coyuntura socio-económica, política y medioambiental que existe en la actualidad, cada día cobra más interés el reciclaje y la reutilización de los RVI, y más aún cuando se está hablando de un posible aprovechamiento del ciento por ciento de dichos residuos.

El presente proyecto, pretende dar una solución sostenible al problema que supone a los agricultores de la zona los RVI que genera la producción agrícola. Por otro lado, trata de un aprovechamiento eficiente de parte de esos residuos para su transformación en un producto que tenga un interés comercial.

## 1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

- Diseño preliminar de una planta de procesamiento de RVI procedentes del cultivo de tomate, con el fin de obtener un producto oleorresinoso conteniendo licopeno como componente de alto valor añadido, así como el estudio de la viabilidad de la construcción y operación de la misma.
- Aprovechamiento de los subproductos derivados del proceso de producción e implantación del producto principal en el mercado para su venta.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El fuerte desarrollo producido en la agricultura bajo plástico en la provincia de Almería, ha llevado consigo un aumento de los problemas provocados en cuanto a la gestión de los residuos generados en las distintas cosechas. Estos residuos provocan diversos problemas en su eliminación o tratamiento, problemas de índole tanto económica como medioambiental, esta última cada vez con mayor importancia.

En la provincia de Almería se producen aproximadamente 769.500 toneladas de residuo cada año [23], esta cifra está calculada para una superficie de 27.000 ha invernadas. Tal cantidad de residuos hace necesario el estudio de los restos vegetales, a fin de poder evaluar sus posibles empleos. Los usos contemplados en la actualidad para la biomasa de los restos vegetales contemplan los biocombustibles, la producción de energía, alimentos para animales y/o productos concentrados conteniendo compuestos de alto valor añadido.

### 2.2. PANORAMA GENERAL DE LA AGRICULTURA EN ALMERÍA

La economía de Almería representa el 1,2% del total nacional. Un porcentaje que la sitúa en el puesto 25 del ranking provincial. El sector agroindustrial representa, de forma

directa, el 23% de la economía de Almería, frente al 5% que supone en el total de la actividad económica española.

Consta que a partir de 1955, grandes transformaciones habidas en el ámbito litoral de la provincia de Almería en todas sus acepciones, físico-naturales, económico-sociales o tecnológicas, propiciaron un crecimiento exponencial de la renta agraria almeriense. Más tarde, la revolución en la década de los 60 en los sistemas comerciales, en la logística del transporte y la distribución, favoreció la expansión a otros mercados antes inaccesibles. En la década de los 90, empieza una incorporación masiva de tecnología a las explotaciones con la idea de construir invernaderos más eficientes que aportarán mayores rendimientos y mejorando el valor añadido de la producción. Ya en el siglo XXI, las mejoras se enfocan en la planificación empresarial y la racionalización de los costes de producción.

Las 27.000 ha de invernaderos que existen actualmente, tienen una productividad media de 9 kg/m<sup>2</sup>, destinándose a la exportación el 60% de la producción y una facturación de 1.800 millones de euros.

Almería es el lugar de Europa con más horas de sol al año. La eterna primavera de la que goza permite cosechar de forma natural todo tipo de hortalizas, cuando en el resto del continente sólo se puede conseguir mediante costosos sistemas de calefacción artificial. De esta manera, además de reducir costes y ser más productiva, Almería es más consecuente con una agricultura sostenible.

La preocupación por la calidad y el desarrollo continuo de técnicas de producción ecológicas hacen a Almería líder en los mercados más exigentes, reduciendo así el uso de fitosanitarios y velando por una alimentación sana y natural.

Almería cuenta con numerosas fincas de experimentación hortícola, que permiten el ensayo de nuevas gamas de variedades, con unas cualidades organolépticas de la máxima calidad y un excelente sabor, adaptadas a las necesidades cambiantes de los consumidores.

Existen aproximadamente unos 30 tipos de frutas y hortalizas que se cultivan en la región de Almería, además de las distintas variedades de cada una, aunque las más representativas son tomate, pimiento, pepino, berenjena, calabacín, sandía, melón, lechuga y judía verde.

### **2.3. TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM)**

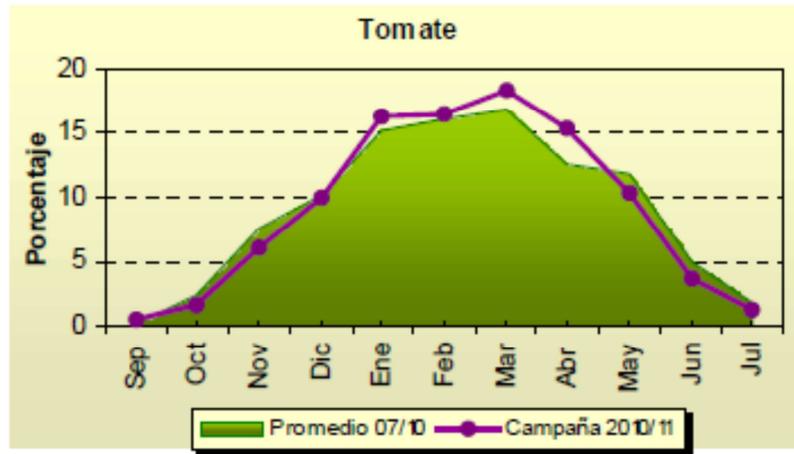
El tomate es una hortaliza perteneciente a la familia de las Solanáceas, originaria de la zona ecuatorial del Perú, aunque se difundió por todo el mundo siendo en la actualidad una de las hortalizas de mayor consumo. Su composición química según el Unites States Department of Agriculture (USDA) se muestra en el Anexo I.

Está constituida por un tallo principal largo con ramificaciones, y posee hojas alternas de 15 a 45 cm de longitud. Los tallos y las hojas son de color verde y ásperas al tacto y expelen un olor característico. Las flores son de color amarillo y se agrupan en racimos de tres a siete de ellas, en cimas insertadas en el tallo principal. Se propaga por semillas. Por tener un tallo poco rígido, se tiene que sembrar como enredadera con un tutor. La densidad promedio es de 15.000 a 20.000 plantas por hectárea. La cosecha se inicia entre 90 y 120 días después de la siembra. Crece en lugares calientes y frescos (20°C y 23°C) y una intensidad luminosa alta. Se siembra preferiblemente en suelos profundos con buen drenaje y ligeramente ácidos.

El fruto es una baya de pulpa tierna predominantemente alcalina debido a su contenido mineral. Es de color rojo, rosado, amarillo o verde (rojo más común) y de forma redonda, achatada o alargada. Presenta varios tamaños dependiendo de su variedad, y puede estar entre 5 y 15 cm.

El tomate se ha convertido en una de las hortalizas de mayor importancia comercial. En Almería supone en torno a un 40 % respecto del total de la producción almeriense, siendo el producto de mayor producción. Las variedades más comunes son Tomate Rama, Tomate Pera, Tomate Liso, Tomate Larga Vida, Tomate Asurcado, Tomate Cherry Pera y Tomate Cherry Redondo.

La producción de tomate se divide principalmente en dos tipos; los de ciclo largo y los de ciclo corto, por lo que el número de campañas por año depende del tipo de tomate que se cultive, haciendo que su producción varíe con los meses (Figura 1.1). El principal tipo de tomate comercializado durante la campaña 2010/2011 es el de larga vida, superando el 46% del volumen total de tomate comercializado a lo largo de la campaña.



**Figura 1.1.** Calendario de producción de tomate en Almería.

Datos de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, [52].

#### 2.4. RESIDUOS VEGETALES DE INVERNADERO (RVI)

La naturaleza de los residuos vegetales es muy variada. El contenido de los compuestos es muy variable dependiendo principalmente del cultivo, la edad de la planta y el grado de desecación. Su composición elemental está integrada mayoritariamente por carbono, oxígeno e hidrógeno, elementos que provienen del anhídrido carbónico atmosférico y del agua. Le siguen en importancia cuantitativa el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, fósforo y azufre, que son absorbidos del suelo y, junto a estos, se han detectado al menos otros 60 elementos químicos diferentes.

Un aspecto a destacar es la baja densidad aparente de los restos, por lo que significa en términos de pérdida progresiva de volumen, que apenas alcanza los  $0,4 \text{ g/cm}^3$  de media, oscilando sus valores entre  $0,12 \text{ g/cm}^3$  para la col china (hojas) y los  $0,5 \text{ g/cm}^3$  que alcanza en las hojas de judía. Entorno al 71% del volumen total corresponde a los

tallos, así como una pequeña parte de ese porcentaje corresponde a raíces, y lo más importante es que más del 85% del peso de los residuos frescos corresponde al agua, variando contenidos entre el 75,53% en tallos de judía, hasta el 97,82% en hojas de col china. El resto se reparte entre los componentes integrados de la fracción denominada "contenidos celulares" (6,94%), cuyos compuestos predominantes son la celulosa, sales solubles, hemicelulosa, sales insolubles y lignina entre otros.

### Residuos de tomate

Existen dos principales fuentes de residuos de tomate a nivel industrial, una es la procedente de fábricas de procesamiento de tomate, en la cual el producto desechado principalmente se compone de piel y semillas. La otra fuente, son los residuos procedentes de la actividad agrícola, donde la mayor parte de dichos residuos provienen de los invernaderos y es esa fuente en la que se va a centrar este estudio. Aunque cabe destacar, que las cooperativas hortofrutícolas también generan desechos vegetales, ya que no todo el material que recogen de los invernaderos sale a la venta. Muchos de esos productos no tienen valor comercial debido a ralladuras, imperfecciones en tamaño y/o forma.

El cultivo del tomate es uno de los más extendidos a lo largo de la provincia de Almería, y la cantidad de invernaderos dedicados a su producción varía cada año. Esta variación está recogida por estudios estadísticos realizados por la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Tabla 1.1). Se ha estipulado que la cantidad anual de residuos de tomate que se generan asciende a 49 t/ha aproximadamente [23].

Del total de residuos que se obtienen, sólo interesa el fruto del tomate para la extracción del licopeno. Según información proporcionada por varios agricultores, la cantidad de fruto que se desperdicia por campaña podría variar entre el 5-10% del total de la producción. Por otro lado, el porcentaje de fruto de tomate del total de residuos lo estiman en un 20%.

**Tabla 1.1.** Relación entre hectáreas invernadas y residuos generados en la provincia de Almería. Datos de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, [53].

Hectáreas invernadas [Ha]	Año	Residuos [t/año]
8.754	2005/2006	428.946
8.529	2006/2007	417.921
8.350	2007/2008	409.150
9.097	2008/2009	445.753
8.300	2009/2010	406.700
8.639	2010/2011	423.311
9.124	2011/2012	447.076

## 2.5. USOS DE LOS RVI

### 2.5.1. RECURSO ENERGÉTICO

El uso de la biomasa como recurso energético está cobrando importancia paulatinamente, esto es debido a la subida de precios de otros combustibles convencionales, las necesidades de autosuficiencia energética y la conciencia medioambiental, entre otros factores.

El desarrollo tecnológico de la biomasa presenta expectativas de crecimiento importantes para el sector energético, y es considerada de las más importantes fuentes de energía renovable para un futuro próximo. La biomasa, a diferencia del gas, el gasóleo o el carbón, es un tipo de energía renovable que presenta un balance neutro en el ciclo del CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción del efecto invernadero. Este balance neutro significa que la emisión de CO<sub>2</sub> que la biomasa aporta a la atmósfera es prácticamente igual a la absorbida por la planta durante su vida. Además, las cenizas formadas en el proceso de combustión también tienen sus usos, como fertilizantes o para hacer cemento. Al usar biomasa se está contribuyendo al desarrollo rural y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. También se fomenta la limpieza de los bosques y campos, disminuyendo así el riesgo de incendios y la propagación de enfermedades.

Una de las formas para la valorización de esta biomasa se obtiene mediante incineración o combustión (reacción de oxidación completa de la materia orgánica en exceso de  $O_2$ ) y para ello se transforma en pellets ya que es la forma más sencilla y eficaz de consumir dicha biomasa (Figura 1.2), presentando ciertas ventajas:

- La densidad aparente decrece, lo cual implica reducción de costes de transporte, manejo y almacenamiento.
- Provee homogeneidad en el tamaño y la forma de los pellets, además de favorecer un suministro automático a los calentadores y para alimentación de ganado.
- Se logra un uso más efectivo, dando un amplio rango de opciones para la dosificación.



**Figura 1.2.** Pellets de biomasa

Para su fabricación, la materia prima es cribada para eliminar partículas de mayor tamaño, piedras y otros residuos. Posteriormente se realiza el secado del material hasta reducirlo a un 10% de humedad. El producto seco se almacena y es molido hasta obtener el tamaño apropiado. Por último se mete en la peletizadora hasta reducir su volumen entre 3 y 5 veces.

Para comprobar si el proceso de peletización es rentable, es fundamental evaluar el potencial energético de los residuos (Tabla 1.2). Numerosos modelos matemáticos han sido propuestos para determinar el potencial energético de dichos residuos, uno de ellos es propuesto por Callejón Ferre et al. [23], dando los siguientes valores:

**Tabla 1.2.** Potencial energético de varios residuos vegetales. Fuente: Callejón Ferre et al [23].

Species	Biomass (t year <sup>-1</sup> )	HHV (kJ kg <sup>-1</sup> )	kWh kg <sup>-1</sup>	MJ year <sup>-1</sup>	MWh year <sup>-1</sup>
<i>Cucurbita pepo</i> L.	17968.0	12849.37	3.57	230877.48	64132.63
<i>Cucumis sativus</i> L.	21844.8	12595.82	3.50	275153.17	76431.44
<i>Solanum melongena</i> L.	8758.8	16529.71	4.59	144780.42	40216.78
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	100450.0	14826.78	4.12	1489350.05	413708.35
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	5791.4	17014.23	4.73	98536.21	27371.17
<i>Capsticum annuum</i> L.	39519.2	15264.44	4.24	603238.46	167566.24
<i>Citrillus vulgaris</i> Schrad.	22920.0	14258.58	3.96	326806.65	90779.63
<i>Cucumis melo</i> L.	32874.6	13501.26	3.75	443848.52	123291.26
Total				3612590968.31	1003497.49

HHV: higher heating value.

Como puede comprobarse, la hortaliza más rentable, en términos energéticos, es la judía ya que tiene una mayor relación entre el potencial energético aportado y la cantidad de residuos que se generan.

Otra forma de aprovechamiento energético de la biomasa es mediante su pirolisis (reacción de la materia orgánica en ausencia de O<sub>2</sub>) que produce un líquido combustible, aunque éste es de baja eficiencia energética (55-65%), por lo que no resulta un método idóneo.

Además de la combustión o incineración y la pirolisis, existe un método que consiste en la gasificación de la biomasa. Éste último es el método más valorado, puesto que para funcionar requiere menor cantidad de biomasa que la incineración, tiene menos emisiones de gases contaminantes y la cantidad de energía generada puede conectarse sin grandes dificultades a la red de alta tensión.

La producción de energía eléctrica mediante gasificación a partir de biomasa ha sido objeto de numerosos estudios que generalmente centran su objetivo en la producción de electricidad, y por tanto se suele estudiar para cultivos o sus residuos con alto potencial calorífico, generalmente leñosos, o bien otros cultivos herbáceos de tipo extensivo como granos de trigo, cebada, arroz y maíz dado el excedente potencial de los mismos. En este tipo de planteamientos el coste energético de la producción y del transporte de la biomasa al punto de transformación no puede ser superior a la energía producida.

Aunque bien es cierto que hasta ahora no se ha planteado la gasificación como alternativa para la eliminación de los residuos vegetales de invernadero, donde el papel importante está en la eliminación del residuo de forma limpia para la conservación medioambiental al menor coste posible.

Como ejemplo, cabe citar la empresa Albaida Residuos S.L. la cual tiene instalaciones para la gasificación de RVI pero que actualmente están cerradas hasta próximo estudio de viabilidad económica.

### 2.5.2. COMPOSTAJE

Otra forma de utilización de los residuos es la fabricación de compost mediante un proceso denominado compostaje. Es un proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura. El compost o mantillo se puede definir como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. Es un producto libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, además de un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión y a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

Dependiendo del proceso y de los tiempos que se utilicen para su producción, los porcentajes de rendimiento de compost (kg de compost/100 kg de producto) pueden estar comprendidos entre el 15 y el 25%. La duración del proceso puede llevar entre 9 y 15 semanas, dependiendo principalmente, de la composición de los residuos y de la calidad del producto final.

#### Propiedades del compost:

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (grados de estabilidad sulfúrica por encima del 45%), reduce la densidad aparente, aumenta

la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.

- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.
- Posee un bajo contenido en elementos potencialmente tóxicos, como metales pesados.
- La coloración oscura y un olor agradable, son síntomas de un compost de calidad. En cambio, si desprende un olor desagradable debido al amoníaco y/o a la putrefacción, da señales de que el proceso se ha llevado a cabo de manera incorrecta.

El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro etapas, atendiendo a la evolución de la temperatura; éstas son las etapas mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración.

Uno de los inconvenientes que puede tener el compost es que en muchos casos, el bajo nivel de nutrientes que aporta a la explotación agrícola en comparación con su precio, hace que los agricultores opten por el estiércol, que tiene un precio similar y es mucho más efectivo para ese uso.

### **2.5.3. OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE ALTO VALOR AÑADIDO**

Se ha corroborado que los desechos de la actividad agrícola en general, considerando tanto cultivos protegidos como no protegidos, contienen grandes cantidades de

metabolitos primarios como lípidos, proteínas y carbohidratos y un amplio rango de compuestos bioactivos fenólicos, terpenoides y alcaloides entre otros.

No hay que dejar de mencionar los residuos de plantas de procesamiento de alimentos, cuyos residuos ricos en azúcares, vitaminas y minerales se usan para producir alcoholes, ácidos orgánicos, polímeros biodegradables, enzimas y antioxidantes.

Por ejemplo, recientemente se ha estudiado la posibilidad de incorporar extracto de piel de manzana en alimentos con un alto contenido lipídico y que se enrancian fácilmente, para incrementar su capacidad antioxidante, ya que la piel de manzana es una fuente natural de antioxidantes [41]. Asimismo, el residuo de la pulpa de manzana, en la elaboración del zumo, puede emplearse directamente como fibra dietética y como relleno de tartas.

Los subproductos de los cítricos se pueden aprovechar para muchos usos. La pulpa, por ejemplo, para mejorar el aroma de zumos reconstituídos, las cortezas como ingredientes de piensos para alimentación animal, así como para extraer de ellas flavonoides para la industria farmacéutica.

Los dos métodos más comunes son la extracción con disolventes orgánicos (estudio del presente proyecto) y la extracción con fluidos supercríticos que se detalla más adelante. Otros métodos utilizados son:

- Extracción con agua.
- Extracción por destilación.
- Por presión con prensas hidráulicas.

## **2.6. PLANTAS DE RECICLAJE DE RVI EN ALMERÍA**

En la actualidad existen dos empresas dedicadas a la recogida y tratamiento de residuos vegetales procedentes de invernaderos. Una de ellas es Ejido Medio Ambiente S.A. y la otra es Albaida Residuos S.L.

### Ejido Medio Ambiente

Esta empresa dispone de una planta en la que se lleva a cabo una transformación integral de residuos con una valorización del 100%, mediante un método patentado por la misma empresa MAQVR (Morgan AQUa Valorización de Residuos). En una fase inicial, esta tecnología es aplicada para la obtención de los siguientes productos:

- Fertilizantes líquidos ecológicos para uso en los modelos de agricultura convencional, orgánica y ecológica.
- Fracción lignocelulósica, precursor de biocombustibles y otras aplicaciones.
- Polímero biodegradable 100% ecológico.

El polímero biodegradable, en realidad es un subproducto de la obtención del fertilizante ecológico, ya que tras la transformación de los hidratos de carbono del residuo vegetal, aparecen estructuras orgánicas precursoras del polímero. El proceso de obtención es algo complejo, se realiza por efecto de la reticulación y copolimerización del resultante de la acción bacteriana con los compuestos presentes en el tejido vegetal, que no han sido previamente solubilizados en el caldo precursor del fertilizante líquido orgánico.

### Albaida

Esta empresa trabaja con los residuos generados de más de 12.000 hectáreas de cultivo repartidas entre los municipios del levante y poniente almeriense. Tiene dos plantas de transferencia y tratamiento por compostaje de residuos vegetales con rafia (restos de plásticos) y sin rafia, ubicadas en La Mojonera y en Níjar.

## **2.7. LICOPENO**

### **2.7.1. INTRODUCCIÓN**

El licopeno es un pigmento vegetal, dentro de la familia de los carotenoides (600 encontrados en la naturaleza), soluble en grasas, que aporta el color rojo característico a

los tomates, sandías y en menor cantidad a otras frutas y verduras. Es una sustancia que apenas sintetiza el cuerpo humano, sólo del 10 al 30% del licopeno consumido es absorbido [27], por lo que se debe tomar en la alimentación como micronutriente. En cambio sí es sintetizado por plantas y algunos microorganismos para absorber la luz durante la fotosíntesis.

Se obtiene fundamentalmente a partir de fuentes naturales, hongos y muy especialmente tomates y productos del tomate; se encuentran también en pequeñas cantidades en algunas frutas, como la sandía, la papaya, y el pomelo rosa. No obstante recientes avances en métodos de separación han demostrado que el licopeno está mucho más distribuido en la naturaleza de lo que uno piensa. Se puede encontrar hasta 42 procedencias diferentes entre plantas y frutos que contienen licopeno, (Véase Anexo II). La concentración de este caroteno, depende tanto de la procedencia como de su grado de maduración.

El cambio de color que se produce en la maduración de los frutos supone una modificación de los pigmentos presentes en el mismo. La pérdida de color verde debida a la desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis de compuestos carotenoides que imparten su color rojo típico al tomate. Así existe una diferencia en el contenido de licopeno según el estado de madurez del fruto. En los tomates, la biosíntesis del licopeno aumenta drásticamente durante el proceso de maduración. Esta maduración está normalmente acompañada por lo que se conoce como carotenogénesis, debido a que las clorofilas se descomponen y los cloroplastos se transforman en cromoplastos. Las características del simple carotenoide del cloroplasto da lugar a una composición más compleja, y los carotenoides aumentan exageradamente en número y cantidad. La carotenogénesis continúa incluso después de la cosecha mientras el fruto permanece intacto.

Sin embargo, los sistemas de extracción son costosos y el licopeno presenta una baja estabilidad, lo que ha limitado su utilización como colorante. El uso del licopeno (E-160d) como colorante está autorizado por el Parlamento Europeo [22], y es uno de los

mayores carotenos de la dieta de los Europeos y Norte Americanos, siendo calificado como nutracéutico por cuyo interés existe una gran demanda.

El licopeno es el carotenoide predominante en la composición de los tejidos humanos, concentrándose especialmente en la próstata, lo que podría explicar su fuerte acción preventiva en la aparición de cáncer de esta glándula. Existe en la naturaleza en forma *trans*, y la formación del isómero *cis*, que se da principalmente con calor y luz, tiende a variar su actividad biológica.

Los isómeros del licopeno se han detectado tanto en muestras biológicas como en los alimentos, pero en los alimentos normalmente contiene principalmente *trans*-licopeno mientras que las muestras biológicas tienen mayor proporción de *cis*-isómeros.

Se han encontrado diferencias en la permisividad de ingestión dietética de este carotenoide dependiendo del país. Según el reglamento Europeo (UE) N° 1129/2011, la EFSA estableció una ingesta diaria admisible (IDA) de 0,5 mg por kg de peso corporal de licopeno de cualquier procedencia, y que la ingesta potencial podía superar la IDA, sobre todo en los niños. Las concentraciones de licopeno en las muestras de sangre también varían considerablemente entre países. La fuente predominante de licopeno en los países desarrollados son los tomates, que son consumidos tanto como fruta como constituyente de los alimentos procesados. El licopeno parece ser mejor absorbido del producto procesado del tomate que de la propia hortaliza fresca, esto puede ser debido a que los *cis*-isómeros se absorben mejor que todos los *trans*-licopenos. La alta absorción del licopeno proveniente de los alimentos procesados puede explicar la alta concentración de suero del licopeno en sangre de las personas de los países desarrollados como España, Gran Bretaña, Alemania y los Estados Unidos y las bajas concentraciones o su ausencia en sangre de personas de los países en vías de desarrollo como China, India, Pakistán y Tailandia.

Desafortunadamente, las restricciones de distribución de las fuentes de licopeno en la dieta, limita la utilidad de este caroteno como un marcador general de la ingesta de vegetales. El licopeno, aunque se absorbe bien en las soluciones de aceite y es asumido

por el hígado y otros órganos, se metaboliza pobremente a través de caminos desconocidos. Muchos isómeros del licopeno están presentes en el plasma humano y los tejidos, los más importantes son todos los trans y el 5-cis-licopeno.

### 2.7.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL LICOPENO

El licopeno (Figura 1.3) es un caroteno cuya fórmula molecular es  $C_{40}H_{56}$  y su peso molecular es de 536,85 g/mol, también se denominado  $\psi$ ,  $\psi$ -caroteno. La estructura general del licopeno es un hidrocarburo alifático con 11 enlaces conjugados, doble enlaces carbono, que hacen que sea soluble en grasas, en lípidos y tenga color rojo, además de dos enlaces no conjugados con un arreglo lineal. La serie de dobles enlaces conjugados constituye un cromóforo de longitud variable. Siendo acíclico, el licopeno posee una simetría plana y no tiene actividad de vitamina A, debido a que carece de un anillo de  $\beta$ -ionona. Como tiene una larga cadena poliénica conjugada, es particularmente susceptible a la degradación oxidativa. Los factores químicos y físicos que conducen a ello son las elevadas temperaturas, exposición a la luz, oxígeno, extremos de pH y superficies activadas.

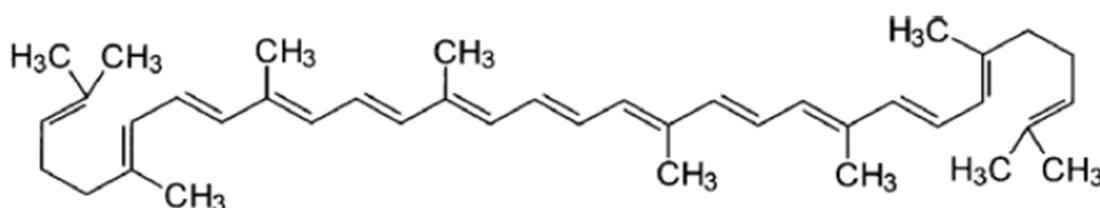


Figura 1.3. Estructura molecular del licopeno

Posee propiedades antioxidantes, y actúa protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo, producido por la acción de los radicales libres, que son uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares, del cáncer y del envejecimiento. Un gran número de procesos cancerígenos y degenerativos están asociados a daños oxidativos sobre el genoma y los mecanismos genéticos de control de la proliferación y diferenciación celular. El licopeno actuaría como un poderoso neutralizador de radicales libres (óxido y peróxido) atenuando los daños oxidativos sobre los tejidos.

La única propiedad química del licopeno derivada de su estructura es su elevada hidrofobicidad, haciéndolo soluble en tejidos y solventes orgánicos (70mg licopeno/L hexano), como el benceno, hexano, éter de petróleo, acetato de etilo, etc.

Otro tipo de cambio que experimenta el licopeno como polieno, es la cis-trans isomerización. Con pocas excepciones, el licopeno de origen natural existe predominantemente en la configuración todo-trans, la forma más estable termodinámicamente. En principio, por cada doble enlace de la cadena poliénica del licopeno pueden existir dos configuraciones, dando lugar a 1056 posibles isómeros, sin embargo, sólo un limitado número de cis-isómeros ocurren en la naturaleza.

La forma del licopeno all-trans es la forma geométrica más predominante presente en los tomates, comprendiendo un rango de entre 79-91%; otros isómeros como 5-cis comprenden un rango de entre 3-7%, y X-cis de entre 0,1-4%, todo este porcentaje basado en el total de licopeno de tomates maduros.

### **2.7.3. ABSORCIÓN, TRANSPORTE Y METABOLISMO DEL LICOPENO**

Existe una gran controversia sobre la manera en que el cuerpo humano absorbe licopeno. Esta absorción parece ser dificultosa porque estos carotenos están fuertemente vinculados a macromoléculas en la mayoría de alimentos. La absorción del licopeno consiste en 4 fases principales:

1. Digestión y liberación de la matriz del alimento.
2. Incorporación dentro de las micelas mezcladas.
3. Absorción a través de las células epiteliales del intestino delgado.
4. Transporte al torrente sanguíneo

El alimento procesado y cocinado provee casi las mismas concentraciones del total de los isómeros todo-trans, pero también altas concentraciones de isómeros cis. Se han encontrado pequeñas cantidades de cis-isómeros en tomates o productos procesados de

tomate, mientras que en sangre y tejidos humanos, parece haber concentraciones mucho más grandes.

Según diversos autores, existe información contradictoria sobre la distribución de licopeno en los tejidos que demuestran que no está distribuido igual y uniformemente, ya que los estudios de investigación sobre la biodisponibilidad de los carotenoides están limitados por varios factores, entre ellos el uso de sujetos humanos, que es costoso así como el tiempo y el trabajo empleado. Esta disponibilidad además también depende de varios factores como el procesado de alimentos o ingestión de grasas.

#### **2.7.4. BENEFICIOS PARA LA SALUD**

Muchas enfermedades como carcinogénesis, aterosclerosis, problemas cardiovasculares, inflamación y cáncer entre otras, son causadas por los radicales libres que interactúan con macromoléculas y dañan las proteínas, los lípidos y el ADN (Ácido Desoxirribonucleico). La oxidación del LDL (Low Density Lipoprotein) es responsable del incremento de la presencia de macrófagos activados y se cree que contribuye al desarrollo de aterosclerosis y endometriosis. Se ha demostrado que el estrés oxidativo, induce a la oxidación de lípidos y proteínas en la membrana celular, causando daños del ADN en los linfocitos.

Por lo tanto, la ingesta de comida ricas en antioxidantes es importante para expulsar radicales del sistema, reaccionando con ellos o interrumpiendo las reacciones en cadena de los radicales libres. La mayoría de los beneficios del licopeno para la salud humana, se supone que ocurren vía su capacidad de ser un agente oxidante supresor de los radicales libres de oxígeno, protegiendo los organismos humanos del ataque de agentes patógenos responsables de un gran número de enfermedades cardiovasculares, distintos tipos de cáncer e hipertensión entre otras.

Cada vez existen más estudios epidemiológicos que sugieren que el consumo de licopeno tiene un efecto beneficioso sobre la salud humana, reduciendo notablemente la incidencia de distintas patologías.

El licopeno posee un mayor poder antioxidante que el  $\beta$ -caroteno, y se viene utilizando en productos cosméticos con gran potencial comercial, principalmente por la gran demanda de productos con este tipo de características, ocasionada en la preocupación global por el cuidado y prevención de enfermedades de la piel causadas por el alto nivel de contaminación del medioambiente y la exposición directa a los rayos del sol.

#### 2.7.5. DEGRADACIÓN DEL LICOPENO

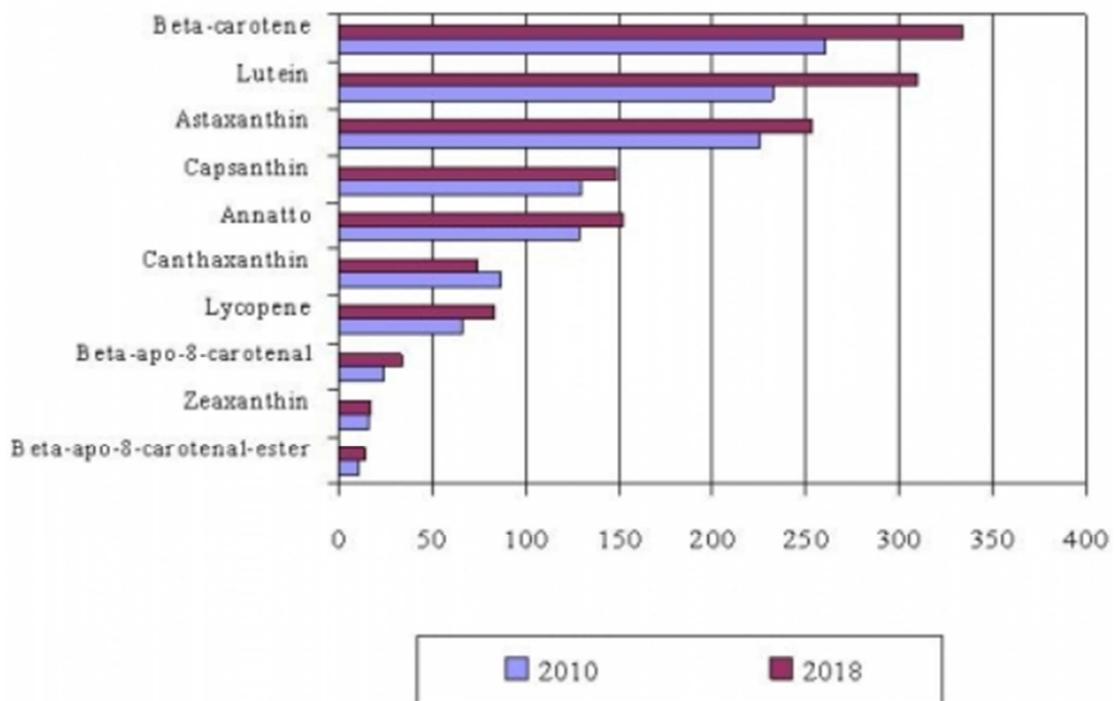
Existen distintas reacciones o factores que pueden propiciar la degradación del licopeno. Uno de los factores más importantes son las altas temperaturas que se suelen aplicar en procesos de extracción de carotenoides. Otro es la presencia del oxígeno que da lugar a reacciones de oxidación o tratamientos térmicos en los que existe un contacto directo con un disolvente orgánico propiciando reacciones de isomerización. La indicación más normal de que el caroteno se ha estropeado es el blanqueamiento, esto es, la pérdida de color, debido a la rotura del cromóforo.

En las reacciones de oxidación, el licopeno puede ser convertido en radicales peróxidos capaces de actuar como pro-oxidantes y sufrir auto-oxidación por ellos mismos. En cuanto a la susceptibilidad de la isomerización del licopeno durante el procesado de tomate, existe una gran inconsistencia en la literatura. Varios autores han encontrado que no existe isomerización como consecuencia de un proceso de tratamiento de tomate, en cambio, otros indican la aparición de cis-licopeno durante el tratamiento térmico de puré de tomate.

#### 2.7.6. PANORAMA GENERAL DEL LICOPENO

Según el Global Products Database (GNPD), entre el año 2003 y 2009, se lanzaron al mercado global más de 500 productos con licopeno, tanto suplementos como cosméticos, dato que pone de manifiesto el emergente mercado del licopeno. Un estudio realizado por BBC Research, “The Global Market for Carotenoids” (Figura 1.4), estima que el mercado de licopeno podría aumentar en un 30% entre 2010 y 2018 (datos en millones de dólares).

Este mercado está evolucionando, y debido que los suplementos del licopeno son extremadamente caros, cada vez es más habitual la introducción de licopeno sintético con un coste mucho más reducido y con unos efectos similares al licopeno natural. Aunque cabe decir, que normalmente el licopeno sintético no incluye otros nutrientes naturales que si tiene el licopeno procedente del tomate y no se ha verificado que actúe como agente de prevención de enfermedades como sí se ha hecho para el extracto natural.



**Figura 1.4.** Mercado global de carotenoides, en millones de dólares. Fuente proporcionada por BBC Research, [54].

Como se ha comentado, los productos con licopeno se utilizan en los mercados alimenticios, farmacéuticos y cosméticos, donde existe una amplia variedad de formas de distribución de este pigmento. En la industria alimentaria se puede encontrar el producto en forma de resina aceitosa como colorante o como complemento alimentario contenido en diversos productos, como zumo de frutas, aceites, aliños de ensalada, salsas, etc. Otra forma en la que se comercializa y requiere una gran pureza es como materia cristalina.

Existen diversas empresas que distribuyen productos de licopeno de origen vegetal para su uso como nutracéutico o como colorante alimentario (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Productos comercializados con oleorresina de licopeno, [55].

PRODUCTO	EMPRESA	ESPECIFICACIONES
Lycobeads	LycoRed Natural Products Industries Limited ISRAEL	Oleorresina: 6 y 7% licopeno Bote de 60 cápsulas (15mg oleorresina/cápsula) Precio: 16€ sin IVA Uso recomendado: 1 cápsula al día (* [74])
Lycopene 	Good'n Natural EEUU	Oleorresina Bote de 50 cápsulas (10mg oleorresina/cápsula) Precio: 6,60€ sin IVA Uso recomendado: 1 cápsula al día
Lycopene 	Blue Bonnet EEUU	Oleorresina Bote de 30 cápsulas (20mg oleorresina/cápsula) Precio: 14,14€ sin IVA Uso recomendado: 1 cápsula al día
Lycopene 	Now Foods EEUU	Oleorresina: 7% licopeno Bote de 50 cápsulas (20mg oleorresina/cápsula) Precio: 11,90€ sin IVA Uso recomendado: 1 cápsula al día
Lyc-O-Mato 	LycoRed Natural Products Industries Limited ISRAEL	Oleorresina: 6% licopeno Resina aceitosa Uso como colorante alimentario

(\*): Producto obtenido acorde a la patente US 5837311 [1].

### 3. ALTERNATIVAS AL PROCESO

#### 3.1. EXTRACCIÓN CON CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO

El CO<sub>2</sub> se ha convertido en el fluido ideal supercrítico en la industria alimentaria debido a sus características: su temperatura crítica es 31,06°C, su presión crítica 73,83 bares y su densidad crítica 0,460 g/cm<sup>3</sup>. En la figura 1.5 se esquematiza el fundamento de la extracción con fluidos supercríticos. Las ventajas que ofrece el CO<sub>2</sub> respecto los disolventes orgánicos convencionales justifica el uso de este fluido en el procesado de alimentos para obtener una extracción excelente y un producto final óptimo. El CO<sub>2</sub> no es tóxico, ni inflamable, no contamina, es completamente recuperable, económico e inerte y sus condiciones críticas son relativamente seguras y fáciles de conseguir, haciéndolo apropiado para la extracción de compuestos.

Es posible extender y modificar la selectividad y la solubilidad de compuestos en dióxido de carbono adicionando co-solventes o adsorbentes. Un co-solvente tiene una volatilidad intermedia entre el fluido supercrítico (FSC) y el compuesto a extraer. Es miscible con el fluido supercrítico y constituye un pequeño porcentaje de la composición total del fluido. Puede mejorar la selectividad y la solubilidad del soluto por interacciones físicas con el solvente (incrementando la densidad) como también por interacciones químicas específicas con el soluto (por puentes de hidrógeno). No obstante, algunos sistemas de co-solventes, presentan dificultades a la hora de separar el co-solvente del producto después de la extracción.

Las ventajas de la extracción supercrítica respecto a otros procesos convencionales como la extracción con solventes y separación mediante destilación son la automatización (reducción de pasos operacionales), seguridad en las operaciones debido al uso de solventes no orgánicos y el uso de temperatura moderada en el rango crítico favorable para no llegar hasta su descomposición. La principal ventaja de los FSC es la excelente calidad del producto resultante.

Aunque en un principio pueda parecer más ventajoso este proceso, los inconvenientes que acarrea, tienen más peso a la hora de su implantación en la industria de la

alimentación que sus ventajas. El principal inconveniente es la gran inversión inicial, ya que el uso de tecnología de alta presión requiere una instalación costosa y complicada. Además requiere una investigación intensiva, ya que a diferencia de las técnicas convencionales de extracción, la extracción supercrítica no es una tecnología establecida que se pueda aplicar directamente a cada producto.

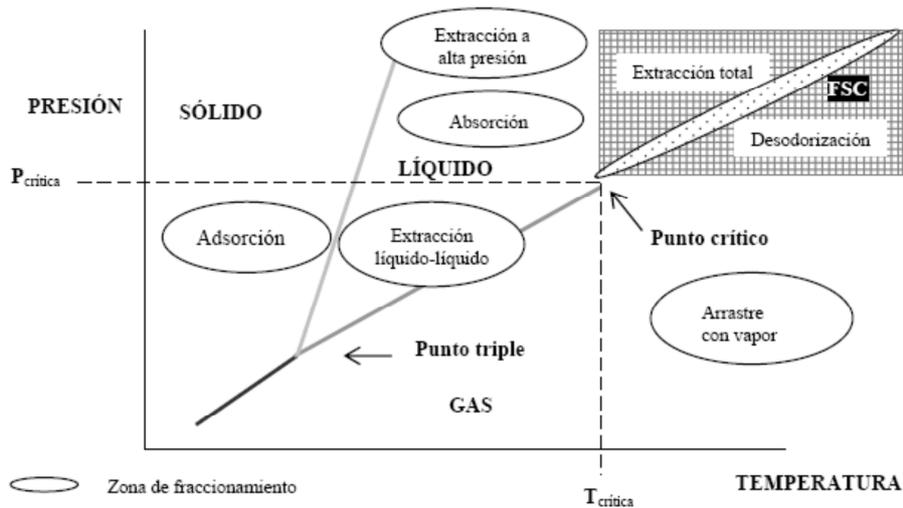


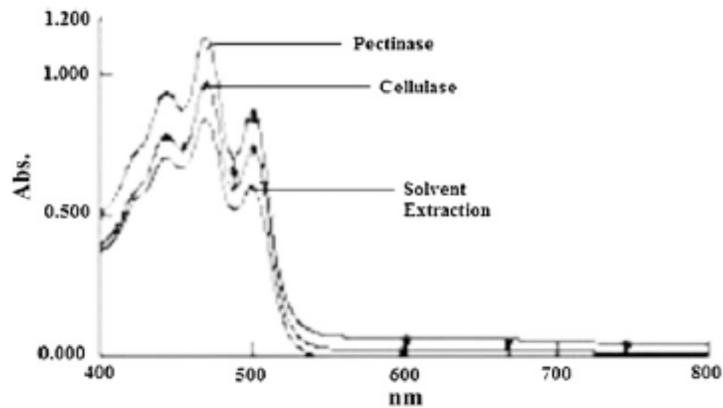
Figura 1.5. Esquema representativo del diagrama de presión-temperatura de los estados de la materia.

### 3.2. TRATAMIENTO ENZIMÁTICO

La rotura de la pared celular (lisis) por vía enzimática se lleva a cabo por enzimas hidrolíticas, las cuales pueden degradar los constituyentes de la pared celular, ayudando así a la liberación de los componentes intracelulares. Enzimas como celulasa y pectinasa han sido una de las más utilizadas.

Se ha estudiado que implementado esta técnica como un paso previo a la extracción con disolventes, mejora sustancialmente el rendimiento del proceso global [32, 39 y 40]. Este procedimiento se considera como una posible mejora al proceso de extracción que se trata en el presente proyecto ya que no constituye por sí mismo un proceso enteramente alternativo.

Como se puede ver en la Figura 1.6, la cantidad de licopeno en el producto final sin tratamiento enzimático es inferior al producto tratado con enzimas:



**Figura 1.6.** Espectro visible de absorción de licopeno en extractos de hexano con y sin enzima. Fuente: Ranveer, R.C [32].

### 3.3. EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES ORGÁNICOS

El método que se ha escogido para el presente proyecto es la extracción en discontinuo con hexano en tanques agitados. Dentro de estos tanques, también denominados extractores, se lleva a cabo un contacto íntimo entre el disolvente y la pulpa de tomate de tal manera que los compuestos liposolubles de la pulpa se disuelven en la fase orgánica. En este tipo de extracción, al operar por lotes, es necesario asegurar un tiempo de contacto lo suficientemente elevado como para que se alcance un equilibrio termodinámico entre las dos fases (extracto y refinado).

A pesar de que actualmente está cobrando mucho interés la extracción con fluidos supercríticos por su elevado rendimiento, bien es cierto, que la técnica que se va a tratar en este proyecto es una de las más utilizadas y de la que más estudios científicos se han realizado. Es por ello que la extracción con disolventes es una técnica de fácil escalamiento, esto es, que debido a la gran cantidad de experimentos y patentes existentes en la literatura su aplicación es casi directa. Otra ventaja que presentan los disolventes orgánicos es su diversidad, por lo que es más fácil disponer de un disolvente que se adapte a las características y necesidades de cada caso en particular.

Cada vez más, se está estudiando la posibilidad de combinar varias técnicas para obtener un resultado óptimo; como por ejemplo un tratamiento enzimático previo a la extracción. En otros casos, como la extracción con fluidos supercríticos, se añade el uso de co-solventes para ampliar su limitado rango de aplicación. En cambio, la técnica estudiada en el presente proyecto, se puede aplicar proporcionando resultados satisfactorios y sin la necesidad de complementarla con otros mecanismos.

Pero a fin de cuentas, el factor más determinante si cabe es el económico, razón por la que esta técnica adquiere una gran ventaja en comparación con la extracción supercrítica ya que los equipos necesarios son menos costosos.

## ANEXO I. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TOMATE, [56].

Nutriente	Unidades	Valor en 100 g
Agua	g	94,52
Energía	kcal	18
Proteínas	g	0,88
Lípidos totales	g	0,20
Cenizas	g	0,50
Carbohidratos	g	3,89
Fibra total	g	1,20
Azúcares totales	g	2,63
Glucosa	g	1,25
Fructosa	g	1,37
<b><u>Minerales</u></b>		
Calcio	mg	10
Hierro	mg	0,27
Magnesio	mg	11
Fósforo	mg	24
Potasio	mg	237
Sodio	mg	5
Zinc	mg	0,17
Cobre	mg	0,059
Manganeso	mg	0,114
Flúor	µg	2,3
<b><u>Vitaminas</u></b>		
Vit. C, Ácido Ascórbico total	mg	13,7
Tiamina	mg	0,037
Riboflavina	mg	0,019
Niacina	mg	0,594
Ácido Pantotenoico	mg	0,089
Vitamina B-6	mg	0,08
Ácido fólico total	µg	15
Colina total	mg	6,7
Betaine	mg	0,1
Vitamina A, RAE	µg	42
Beta-caroteno	µg	449
Alfa-caroteno	µg	101
Vitamina A, IU	IU	833
Licopeno	µg	2573
Luteína + zeaxantina	µg	123
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	0,54

(Continuación)

Nutriente	Unidades	Valor en 100 g
Beta-tocoferol	mg	0,01
Gamma-tocoferol	mg	0,12
Vitamina K (filoquinona)	µg	7,9
<b>Lípidos</b>		
Ácidos grasos saturados totales	g	0,028
16.:0	g	0,02
18.:0	g	0,008
Ácidos grasos totales monoinsaturados	g	0,031
16.:1	g	0,001
18.:1	g	0,03
Ácidos grasos poliinsaturados totales	g	0,083
18.:2	g	0,08
18.:3	g	0,003
Fitoesteroles	g	7
<b>Aminoácidos</b>		
Triptófano	g	0,006
Treonina	g	0,027
Isoleucina	g	0,018
Leucina	g	0,025
Lisina	g	0,027
Metionina	g	0,006
Cistina	g	0,009
Fenilalanina	g	0,027
Tirosina	g	0,014
Valina	g	0,018
Arginina	g	0,021
Histidina	g	0,014
Alanina	g	0,027
Ácido Aspártico	g	0,135
Ácido Glutámico	g	0,431
Glicina	g	0,019
Prolina	g	0,015
Serina	g	0,026

## ANEXO II. FUENTES DE LICOPENO, [42].

<u>Nombre común</u>	<u>Tipo</u>	<u>Especie</u>
Aglaonema	Fruta	Aglaonema commutatum
Albaricoque	Fruta	Prunusarmeniaca
Madroño	Hoja	Arbustusunedo
Baya	Fruta	Tamuscommunis
Melón	Fruta	Momordicacharantia
Belladona	Fruta	Solanum dulcamara
Caléndula	Flor	Calendulaofficialis
Zanahoria	Raíz	Daucus Carota
Cítricos	Fruta	Citrus spp.
Cuco	Tubérculo	Arummaculatum
Arándano rojo	Fruta	Fruta Vacciniumvitis-iddaeavar. Minus
Mora de los pantanos	Fruta	Fruta Rubuschamaemorus
Arándano	Fruta	Vacciniumvitis
Rosa de Damasco	Fruta	Rosa damascena
Dátil	Fruta	Phoenix dactylifera
Berenjena	Fruta	Solanummelongena
Ortiga Europea	Planta	Urtica dioica
Gazania	Planta	Gazaniarigens
Uva	Fruta	Vitisvinifera
Pomelo	Fruta	Citrus paradisi
Guayaba	Fruta	Psidiumguajaba
Mango	Fruta	Mangifera indica
Aceite de Palma	Aceite	Elaeisspp.
Papaya	Fruta	Carica papaya
Melocotón	Fruta	Prunuspersica
Pimiento	Fruta	Capsicumannuum
Pimentero	Fruta	Pipernigrum
Palosanto	Fruta	Diospyros kaki
Ciruela	Fruta	Prunus domestica
Calabaza	Fruta	Cucurbita pepo
Rosa rugosa	Planta	Rosa rugosa
Tuca Roja	Planta	Bryonia dioica
Rosa de Mosqueta	Planta	Rosa rubiginosa
Rosa	Fruta	Rosa canica
Nabicol	Raíz	Brassicainapusvar. Napobrassica
Azufre	Semilla	Crocussativus
Sauce	Fruta	Hippophaerhamnoides

(Continuación)

<u>Nombre común</u>	<u>Tipo</u>	<u>Especie</u>
Té	Hoja	Camellia sinensis
Tomate	Fruta	Solanum lycopersicum
Nabo	Raíz	Brassica rapa var. Rapa
Sandía	Fruta	Citrullus lanatus
Tejo	Fruta	Taxus baccata

## **II. MEMORIA DESCRIPTIVA**

## II. MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. DIAGRAMA DE BLOQUES .....	5
2. INGENIERÍA DEL PROCESO .....	6
2.1. RECEPCIÓN DE LOS RESIDUOS .....	6
2.2. PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA .....	7
2.2.1. TRITURACIÓN 1.....	7
2.2.2. TRATAMIENTO TÉRMICO .....	9
2.2.3. CENTRIFUGACIÓN 1 .....	11
2.2.4. CENTRIFUGACIÓN 2 .....	12
2.3. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO .....	13
2.4. FILTRACIÓN .....	16
2.5. CONCENTRACIÓN DE LA OLEORRESINA Y RECUPERACIÓN DEL DISOLVENTE .....	18
2.5.1. EVAPORACIÓN .....	18
2.5.2. STRIPPING (ARRASTRE CON GAS) .....	21
2.5.3. DESOLVENTIZACIÓN .....	23
2.5.4. CONDENSACIÓN Y SEPARACIÓN DEL HEXANO .....	24
2.6. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS .....	25
2.6.1. TRITURACIÓN 2 .....	26
2.6.2. SECADO .....	26
2.6.3. PELETIZACIÓN .....	27
2.7. TRATAMIENTO DEL SUERO .....	27
2.7.1. LEGISLACIÓN AMBIENTAL .....	28
2.7.2. TRATAMIENTO PROPUESTO .....	28
2.8. SERVICIOS .....	30
2.8.1. SISTEMA DE VAPOR Y AGUA CALIENTE .....	30
2.8.2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	31
2.8.3. SISTEMA DE VACIO .....	31

2.8.4. SISTEMA DE NITRÓGENO .....	32
2.8.5. TRANSPORTE DE SÓLIDOS .....	33
2.8.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL .....	34
2.9. PRODUCTO FINAL .....	34
2.9.1. ENVASADO A GRANEL .....	34
2.9.2. ENCAPSULACIÓN .....	35
2.9.3. ENVASADO Y ETIQUETADO .....	36
3. DEGRADACIÓN DEL LICOPENO .....	37
4. PRODUCTO .....	39
4.1. INTRODUCCIÓN .....	39
4.2. NORMATIVA APLICABLE .....	41
4.3. PRESENTACIÓN .....	42
4.4. ENVASE Y EMPAQUETADO .....	42
4.5. VIDA ÚTIL .....	44
4.6. MARCA .....	44
5. SELECCIÓN DE EQUIPOS .....	46
5.1. INTRODUCCIÓN .....	46
5.2. RESUMEN DE EQUIPOS .....	48
5.3. FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS .....	50
6. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA .....	85
6.1. INTRODUCCIÓN .....	85
6.2. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN .....	85
6.3. ASPECTOS GENERALES DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	87
6.4. MÉTODO SLP .....	89
6.5. DATOS BÁSICOS DE CONSUMO PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN .....	90
6.6. APLICACIÓN AL PROYECTO .....	91
6.7. FACTORES QUE AFECTAN A LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	92
6.8. EVALUACIÓN MULTICRITERIO .....	93
6.9. ESTIMACIÓN DEL ESPACIO NECESARIO .....	95
7. UBICACIÓN DE LA PLANTA .....	97

8. MEJORAS .....	100
------------------	-----

ANEXO I. FICHA TÉCNICA DEL NUTRACÉUTICO

ANEXO II. FICHA TÉCNICA DEL COLORANTE ALIMENTARIO

### 1. INTRODUCCIÓN

La técnica que se va a abordar en el presente proyecto es la obtención de una resina aceitosa que contendrá licopeno como componente de interés. Este proceso se basa principalmente, en una extracción sólido-líquido, en la cual se pone en contacto directo la pulpa de tomate con el disolvente extractor.

Bien es cierto que la sandía contiene mayor cantidad de licopeno frente a la que contiene el tomate, pero la mayor cantidad de residuos que se generan al año de tomate frente a la de sandía y, sobre todo, la mayor disponibilidad de datos experimentales exclusivamente para el tomate han hecho que se elija el residuo vegetal de esta hortaliza como fuente principal de licopeno.

Ya que el licopeno es menos estable que otros muchos grupos de sustancias, se deben utilizar medidas preventivas y procedimientos específicos para minimizar el riesgo de degradación y formación de partículas indeseables. Particularmente, la exposición al oxígeno, el calor, la luz, los ácidos y en algunas ocasiones, las bases, tienen que ser evitadas en la medida de lo posible. Es por ello que en las unidades de proceso, en las que sea viable, se opera en atmósfera inerte (nitrógeno o argón) y a una temperatura lo más baja posible, con luz oscura o difusa, y con solventes recién purificados y libres de peróxidos. Incluso después de que el licopeno haya sido extraído de los tejidos, es susceptible de oxidarse y de transformarse rápidamente si se almacena en presencia de trazas de oxígeno, por lo que se debe extremar el cuidado de la oleoresina para evitar daños.

Un aspecto importante a la hora de tratar los datos es la concentración de licopeno que tiene el tomate y que debe tener la oleoresina final. En cuanto al primer aspecto, esta concentración varía dependiendo de factores medioambientales, técnicas agrícolas y el tipo de tomate. Según diversas fuentes consultadas [1, 4, 7, 37, 48, 55], el rango en el cual se encontraría la concentración de licopeno varía entre 20 y 250 ppm. Para ser conservador, el valor seleccionado para este proyecto es de 65 ppm, menor que la media del intervalo.

El otro aspecto relevante antes comentado, es la concentración de licopeno que debe tener la oleorresina. Ésta varía entre 5 - 15% según diversos autores [1, 37, 56], y es el rango permitido por la Normativa Europea [32]. Dada la dificultad de establecer un valor medio en la oleorresina a obtener, se ha seleccionado un valor conservativo del 7%. Es muy probable que este carotenoide se encuentre en valores más altos de lo normal en los tomates de Almería debido a las elevadas irradiancias que reciben.

En diversas corrientes del proceso, se obtienen valores muy bajos de concentración de licopeno, hecho que dificulta la claridad de los cálculos en los que interviene. Es por ello, que para simplificar dichos cálculos se hablará de concentración de oleorresina en vez de concentración de licopeno. Para definir esta concentración de oleorresina se utilizará el término de equivalentes de licopeno o su forma abreviada eq. L. Por lo tanto, si una corriente tiene una concentración de oleorresina (eq. L) de 500 ppm, la concentración real de licopeno puro en esa corriente representará el 7% de esa cantidad, es decir, 35 ppm.

El tiempo de operación anual será de 7920 horas (330 días), las 24 horas del día. El modo de operación será semi-continuo, es decir, habrá unidades de proceso que se diseñen para trabajar por lotes y otras en las que funcionarán de manera totalmente continua. De tal manera, que el diseño general debe ser capaz de tratar toda la cantidad de residuos de tomate que se generan en un año, para evitar acumular material de un año para otro, hecho que conllevaría pérdidas económicas.

Debido a la falta de información sobre las propiedades físico-químicas de la oleorresina de licopeno, que son necesarias en ciertas unidades de proceso, se va a tomar como equivalente las propiedades del aceite de soja, el cual se encuentra en la base de datos del programa de diseño Hysys (Tabla 2.1). Esta suposición se hace en base a que los dos productos son dos compuestos aceitosos con una composición química similar en ácidos grasos, aunque no deja de ser una aproximación.

**Tabla 2.1.** Composición porcentual (% en peso) en ácidos grasos del aceite de tomate [37, 56] y aceite de soja [58].

Ácidos grasos	Aceite de tomate, [37]	Aceite de soja, [58]	Aceite de tomate, [56]
Ácidos grasos totales	71,5	85	14
Ácido Mirístico C14:0	0,55	0,1	0,13
Ácido Palmítico C16:0	22,75	11,5	10
Ácido Esteárico C18:0	5,25	4,2	4
Ácido Oleico C18:1	12,95	21,75	15
Ácido Linoléico C18:2	47,7	53,45	40
Ácido Linolénico C18:3	9,85	7,5	1,5
Ácido Araquídico C20:0	1	0,35	0
Ácido Behénico C22:0	0,5	0,5	0
Ácidos grasos libres	5	0,05	0

El proceso de obtención de una oleorresina de licopeno, que se esquematiza en el diagrama de bloques del siguiente apartado, se basa fundamentalmente en la extracción sólido-líquido en contacto íntimo de la pulpa de tomate con hexano. Para facilitar esta operación, previamente se adecúan los RVI seleccionando los frutos de tomates óptimos. Luego se someten a una trituración, calentamiento y posteriormente a una centrifugación. De esta última operación se obtiene, por un lado, un suero portando partículas finas, que se someterá seguidamente a otra centrifugación para eliminar dichos sólidos y tratarlos más adelante; y por otro lado, una pasta húmeda que se lleva un proceso de extracción por lotes y en dos etapas.

Una vez terminada la extracción, el hexano que contiene el extracto lipofílico se filtra para eliminar cualquier partícula sólida retenida en él. A continuación se somete a una etapa de purificación que consiste en una evaporación múltiple de tres etapas seguido de un “stripping”, del cual se obtiene una pasta oleorresinosa. Parte de esta pasta se envasa para su comercialización como pigmento alimentario y la parte restante se encapsula en ampollas de gel blando y finalmente se envasa. De la extracción, aparte del hexano se tiene una pasta agotada que todavía contiene disolvente, es por ello que se somete a una desolventización para eliminarlo. Todo el disolvente que se elimina en las unidades de

desolventización, evaporación y stripping, se recircula al proceso de extracción, condensándolo previamente en el caso de las corrientes gaseosas.

Parte de los RVI que no son aptos para la extracción se trituran para transformarlos posteriormente en pellets para abastecer a la caldera de biomasa y los residuos restantes se llevan de nuevo a una planta de tratamiento de residuos vegetales. Los residuos sólidos que se obtienen en la segunda trituración se someten a un secado para eliminar parte de la humedad que contienen, y junto con la pulpa agotada procedente de la unidad de desolventizado se someten a peletización para usarlos posteriormente como combustible para la caldera, que abastecerá al proceso de agua caliente o vapor de agua, según convenga.

1.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

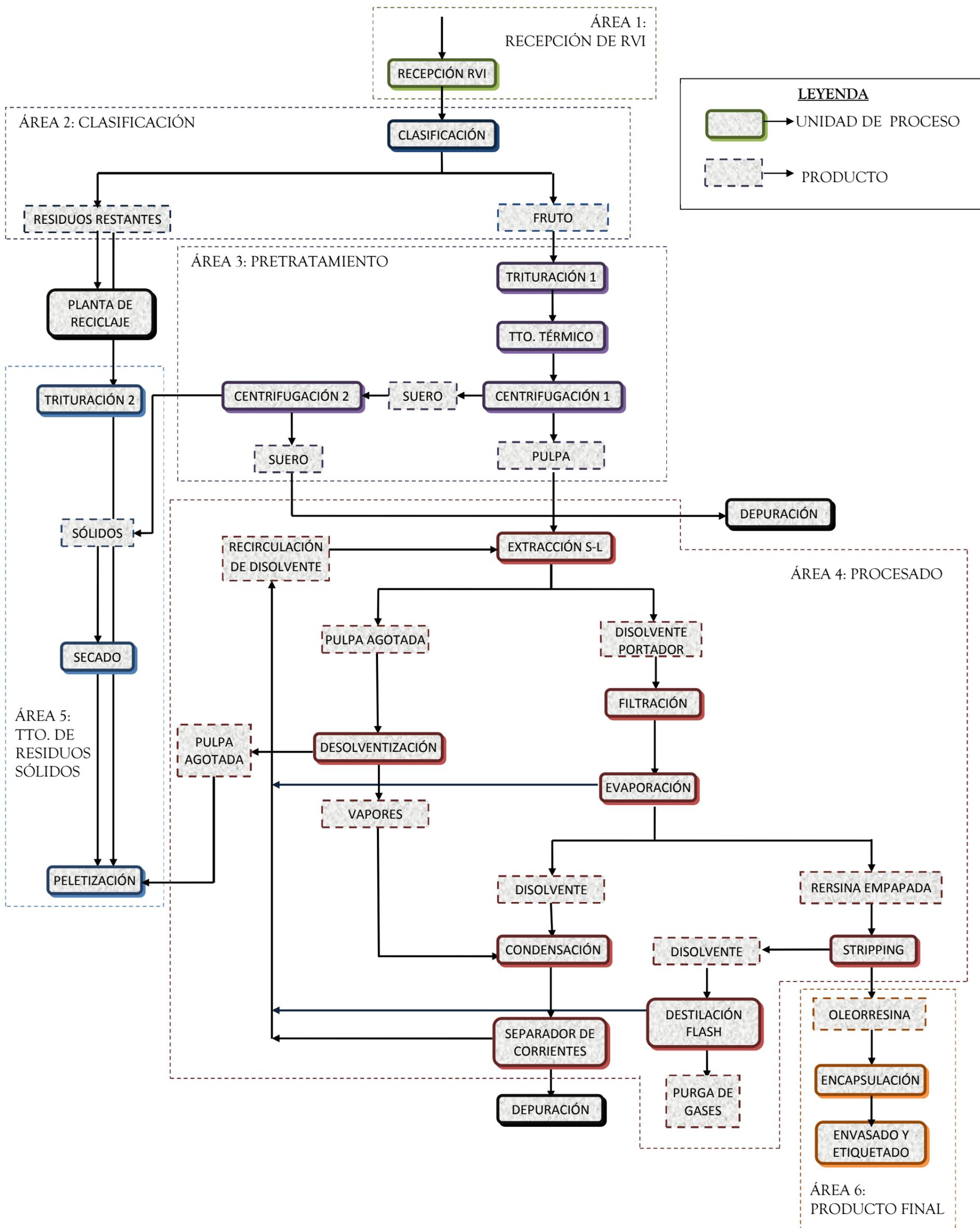


Figura 2.1. Diagrama de bloques del proceso

## 2. INGENIERÍA DE PROCESO

Las etapas de proceso que se han esquematizado en el diagrama de bloques (Figura 2.1) y que se van a definir en los siguientes apartados, aparecen en los planos 2 y 3 del Anejo V.

### 2.1. RECEPCIÓN DE LOS RESIDUOS

Debido a la extensa superficie invernada de tomates y a la tipología de esta hortaliza, la campaña agrícola se extiende a lo largo de todo el año, por lo que presumiblemente se generará tomates durante ese periodo. Ahora bien, el periodo de más producción se centra entre los meses de Enero y Abril, por lo que la mayoría de residuos se generarán en esos meses. Por esta razón, puesta en marcha de la planta por primera vez se realizará coincidiendo con el mes de mayor producción para asegurar existencias de manera continua.

En el año 2012, la cantidad de residuos generados de tomate asciende aproximadamente a 447.076 t, que corresponden a raíces, tallos, hojas y frutos. De esta cantidad, sólo el 20% corresponde al fruto, obteniendo una masa de fruto de tomate de 89.415,2 t. Es cierto que no todos los frutos llegan a la planta en condiciones óptimas, es decir, el fruto entero, sin pudrición, sin suciedad y frutos totalmente rojos. La cantidad de fruto que no llega en esas condiciones óptimas es aproximadamente un 5% (información suministrada por propietarios de invernaderos).

Finalmente, la materia útil para procesar será de 84.944,44 t de residuo vegetal, obteniendo por otro lado una cantidad de 362.131,56 t de residuo sólido que se destina a otro fin. Teniendo en cuenta que el tiempo operacional de la planta es de 7920 horas (330 días), operando las 24 horas del día en tres turnos de 8 horas, la cantidad de residuos que se debe tratar es de 10,73 t/h.

Se dispone de dos tolvas de recepción, en la que los camiones descargan los residuos. En este punto se realiza un proceso de selección que se lleva a cabo por parte de los

operarios que separarán por un lado el fruto viable para tratar y por otro la demás materia vegetal, almacenándolos en tolvas separadas.

### 2.2. PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

Para la obtención de compuestos de alto valor añadido a partir de vegetales, es necesario un tratamiento previo a la extracción propiamente dicha. Dicho tratamiento consiste en adecuar los residuos vegetales de partida para conseguir una extracción lo más rápida y completa posible de los compuestos de interés. Este pretratamiento consiste en las etapas que se detallan a continuación.

#### 2.2.1. TRITURACIÓN 1

Con la trituración se consiguen dos objetivos, por un lado, liberar el contenido intracelular rico en licopeno, y, por otro lado, reducir el tamaño de los residuos vegetales mediante acción mecánica. De esta manera se obtiene una pasta vegetal que proporcione al disolvente, en el posterior proceso de extracción, superficies de intercambio grandes y recorridos de difusión cortos, consiguiendo así favorecer la difusión del soluto desde el interior de la partícula hasta el seno del líquido. Esto es, cuanto menor es el tamaño de las partículas mayor es la superficie por unidad de masa del producto, y por consiguiente, se incrementa la velocidad de la extracción. Este proceso de reducción de tamaño se basa en la aplicación de uno o más tipos de fuerzas como son las de compresión, impacto y/o cizalla.

La elección del sistema de trituración se basa en diversos parámetros, tales como el tamaño del alimento, el grado de dureza y la tendencia a la rotura (friabilidad), entre otros. Estos dos últimos dependen, a su vez, de su estructura y determinarán la cantidad de energía absorbida por la materia antes de romperse. Otro parámetro de importancia a considerar es la humedad, y en base a ésta, se pueden distinguir dos tipos de trituración, trituración húmeda o seca. Debido al alto contenido en agua de los residuos, se llevará a cabo una trituración húmeda, pero esta elección se basa, en mayor medida, a su capacidad de obtener una mayor reducción de tamaño y a la protección que ofrece sobre

productos termolábiles, hecho a considerar ya que el licopeno es un componente sensible a altas temperaturas.

El mecanismo exacto de fractura no se conoce bien, aunque se puede decir que durante el proceso, la sustancia es sometida a tensiones por la acción mecánica de la máquina trituradora, que en principio son absorbidas internamente por la sustancia en forma de energía de deformación. Cuando las energías locales de deformación exceden un valor crítico, denominado tensión de rotura, que depende de la sustancia, tiene lugar la fractura a lo largo de las líneas de debilidad y la energía almacenada se disipa. Parte de esta energía se utiliza para crear nuevas superficies, aunque la mayor parte se disipa en forma de sonido y calor. De hecho, si sólo se tiene en cuenta la energía que es utilizada exclusivamente para la reducción de tamaño propiamente dicha, se podría considerar que dicho proceso es muy ineficiente, ya que sólo entre un 0,1 y 2% de la energía que suministra la máquina es utilizada para dicho fin. Por tanto, la eficiencia del proceso se ve influenciada en parte, por la manera en la que la carga es suministrada al equipo y su cantidad. Además, la naturaleza de la fuerza ejercida también es de gran importancia, por lo que considerando que la materia vegetal a tratar es blanda y con cierta estructura fibrosa, no pudiéndola desintegrar exclusivamente por fuerzas de compresión o impacto, el método idóneo para la reducción de tamaño se basará en una combinación de fuerzas de cizalla y de impacto.

Dentro del proceso de triturado se puede distinguir dos métodos de alimentación del material al equipo. El primer método se denomina “free crushing” e implica alimentar el material a una velocidad relativamente baja de manera que el producto pueda escapar fácilmente. Esto conlleva que el tiempo de residencia del producto en la máquina sea corto y se evite triturar en exceso el producto. El segundo método denominado “chock feeding” es el que más se adecua a una operación por lotes, en el cual, se llena por completo el triturador haciendo que la descarga del producto esté impedida y de esta manera el producto permanece en el equipo más tiempo. Como resultado se obtiene un alto grado de triturado, aunque la capacidad de la máquina es reducida y el consumo de electricidad es alto. El método más adecuado para el presente proyecto es el “free crushing”.

Hay que destacar que aunque dentro del mismo triturador esté instalado un tamiz que solo deje pasar el producto con un tamaño determinado, esto no impide que pasen partículas de menor tamaño, por debajo de  $20\ \mu\text{m}$ . Para cuantificar esa cantidad de partículas finas se toma como válido un dato proporcionado por Morris, Z.O. et al [1], el cual establece que el porcentaje máximo de partículas finas permitido para alimentar a una centrífuga en un proceso posterior de separación corresponde a un 0,2% en peso.

El proceso de trituración consta de dos molinos de martillos cortantes (Apartado 5, pág. 52) puestos en paralelo formando así dos líneas de producción. Estas dos unidades trabajan de forma semi-continua, teniendo que tratar cada una de ellas  $5,36\ \text{t/h}$ , dato que se refleja en el Anejo I (Apartado 2.1). Se estima que el tiempo de residencia de los residuos es aproximadamente un minuto, es por ello que a la salida se llevan en un depósito de almacenamiento, que podrá proveer de manera continua a la siguiente unidad de proceso. La unidad de trituración se esquematiza en la Figura 2.2.



**Figura 2.2.** Diagrama de la unidad de proceso de trituración.  $\dot{m}_R$ , caudal másico de RVI en cada trituradora,  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$ .

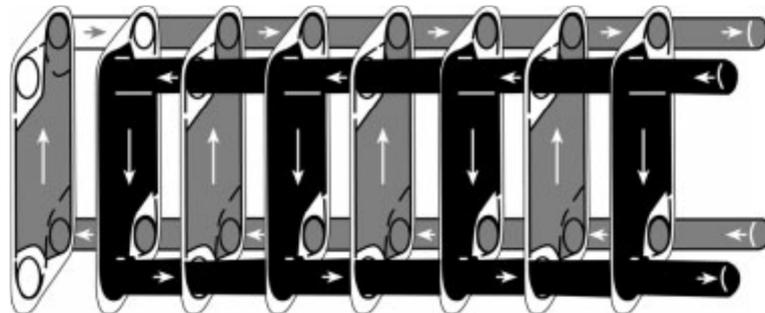
### 2.2.2. TRATAMIENTO TÉRMICO

Los tomates contienen varios compuestos bioquímicos hidrosolubles, como son los polisacáridos, antocianinas y polifenoles, entre otros, los cuales no interesa que se queden retenidos en la pulpa. Por esta razón, se someten los tomates triturados a un tratamiento térmico con la intención de facilitar la disolución de dichos compuestos en la fase acuosa o suero.

Se sabe que conforme se aumenta la temperatura de los residuos de tomate que se alimentan a un proceso de centrifugado, se obtienen relaciones óptimas entre la pulpa obtenida y dicha alimentación [1]. Por otro lado, este tratamiento tiene una segunda

ventaja; a mayores temperaturas se consigue una mayor cantidad de licopeno en la pulpa y por consiguiente una menor pérdida del mismo en el suero, aumentando así el rendimiento de la separación.

Existen diferentes tipos de intercambiadores de calor. En este proceso se ha seleccionado un intercambiador de placas (Apartado 5, pág. 53), principalmente por su tamaño más compacto y por proporcionar un área de intercambio más elevada. Presenta además una ventaja sobre los otros intercambiadores en cuanto al ensuciamiento, ya que permite su ampliación con nuevas placas, lo que proporciona una vida más larga entre limpiezas. Este intercambiador está constituido por una serie de placas corrugadas, realizadas por simple estampación, entre las cuales se colocan juntas, además de en los bordes, para evitar que los fluidos se escapen o se mezclen entre sí. Las placas se encuentran taladradas convenientemente en sus extremos, con el fin de dirigir el paso de los fluidos entre ellas y dependiendo de su disposición pueden obtenerse diferentes posibilidades en los pasos de los fluidos. Para este equipo las placas se han dispuesto de tal manera que el sistema de pasos es 1:1 y en contracorriente, (Figura 2.3).



**Figura 2.3.** Sistema de pasos de un intercambiador de placas

La transferencia de calor entre ambos fluidos se produce gracias a un fenómeno llamado convección forzada debido a que el movimiento de ambos fluidos se realiza mecánicamente utilizando bombas centrífugas o de impulsión. Aunque esto depende de las condiciones de flujo que existan, ya que si el flujo es laminar, en ese caso la transferencia de calor se dará prácticamente por conducción ya que no existen corrientes cruzadas ni remolinos, características típicas del fenómeno de convección.

En esta unidad se opera en continuo, alimentando los tomates triturados a temperatura ambiente y calentados hasta una temperatura de 80°C. Morris, Z.O. et al. [1], propone una estrategia que mejora el rendimiento final de licopeno, que consistiría en calentar los residuos en dos etapas, calentándolos en la primera hasta los 55°C. Entre las dos etapas los residuos se almacenan por un periodo entre 10 y 30 minutos. Pero no proporciona datos suficientes para estudiar la viabilidad de instalar otro intercambiador de placas.

Como fluido caliente se utiliza agua. El sistema tiene dos grados de libertad, el caudal de fluido y su temperatura a la entrada del intercambiador. Mediante un simple método de tanteo, se llega a unos valores óptimos que conlleven el menor coste posible. Este coste será la suma del coste correspondiente a la energía necesaria para calentar el fluido y el coste del equipo.

Según los cálculos descritos en el Anejo I (Apartado 2.2), el intercambiador de placas consta de 166 placas con un área total de 49,74 m<sup>2</sup>. A este equipo llega procedente de un depósito de almacenamiento un caudal de 10,73 t/h de residuos triturados. Para conseguir la temperatura deseada se introduce por otro canal un caudal de 32,18 t/h de agua a una temperatura de 90°C. Estas corrientes se esquematizan en la Figura 2.4.



**Figura 2.4.** Diagrama de la unidad de proceso del tratamiento térmico  $\dot{m}_w$ , caudal másico de agua,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $\dot{m}_{RT}$ , caudal másico de RVI total,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ .

### 2.2.3. CENTRIFUGACIÓN 1

El último paso antes de la extracción, se trata de una centrifugación en la cual se obtiene, por un lado, un suero, que es una disolución acuosa que contiene principalmente compuestos hidrosolubles y por otro lado, la pulpa de tomate que es una pasta húmeda que en su mayoría contiene compuestos hidrofóbicos y que es liposoluble.

Un esquema de estas corrientes se muestra en la Figura 2.5. Para que se lleve a cabo correctamente la separación, se cumple que el tiempo que tardan las partículas en alcanzar la pared de la centrífuga,  $t_c=0,83$  s, es menor que el tiempo de residencia del fluido en la centrífuga,  $t=69,71$  s (ver cálculos en el Apartado 2.3 del Anejo I).

El equipo utilizado es una centrífuga decantadora (Apartado 5, pág. 54) que consta de un recipiente cilíndrico con un tornillo sinfín y opera en modo continuo. Este equipo no está aislado térmicamente por lo que se estima una caída de la temperatura de  $7,72^\circ\text{C}$  durante el tiempo de residencia. Los RVI triturados son alimentados al recipiente cilíndrico a través de un tubo interior, que es suavemente acelerado por un rotor interior. El tornillo gira en la misma dirección que el recipiente pero a diferente velocidad, desplazando, la pasta de tomate sedimentada, gradualmente hacia la parte cónica. Ésta es descargada por gravedad a través de un túnel, con un caudal de  $1.018,9$  kg/h y con una concentración de eq.L de  $8.889,85$  ppm. El suero clarificado es descargado bajo presión por una bomba centrífuga con un caudal de  $9.706,4$  kg/h y con una concentración de  $92,86$  ppm (Figura 2.5).

La corriente de suero se alimenta a un segundo tratamiento de centrifugación que se explicará en el siguiente apartado y la pulpa se lleva a un tanque de almacenamiento ya que no se alimenta de manera continua al proceso siguiente.



**Figura 2.5.** Diagrama de la primera unidad de centrifugación.  $\dot{m}_{\text{SU}}$ , caudal másico del suero,  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$ ;  $\dot{m}_{\text{P}}$ , caudal másico de la pulpa,  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$

#### 2.2.4. CENTRIFUGACIÓN 2

Como se detalla en el Apartado 2.4 del Anejo I, de la primera unidad de centrifugado se obtiene un suero, con un caudal másico de  $9.706,4$  kg/h, que todavía transporta sólidos finos en suspensión, concretamente un  $0,22\%$ . Por esta razón, se hace necesaria una segunda centrifugación para dejar libre de sólidos a la solución acuosa y poder

tratarla más adelante. Este proceso, al igual que el anterior, se lleva a cabo con una centrífuga decantadora (Apartado 5, pág. 54).

Tras esta centrifugación se obtiene un caudal de 9.563,4 kg/h de agua residual y 143 kg/h de sólidos finos húmedos (Figura 2.6), con una caída de la temperatura de 7,05°C. Estos sólidos que contienen un alto porcentaje de humedad, alrededor del 85%, se envían posteriormente a un tanque de almacenamiento.



**Figura 2.6.** Diagrama de la primera unidad de centrifugación

$\dot{m}_D$ , caudal másico agua residual,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $\dot{m}_F$ , caudal másico de finos,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ .

### 2.3. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

El proceso de extracción sólido-líquido, o también denominado lixiviación, que se va a llevar a cabo, consiste en extraer de la pulpa un componente de alto valor añadido mediante un disolvente orgánico, en este caso hexano.

Se ha comprobado que la acetona y el acetato de etilo tienen un mayor rendimiento de extracción de carotenoides totales, pero la cantidad final de licopeno es mayor con el hexano [5]. En la Tabla 2.2 se hace una comparación de las características de los 4 disolventes más utilizados. Las razones por las que se ha elegido el hexano son por su inmiscibilidad en agua, por su diferencia de densidad con el agua y, sobre todo, porque tiene el rendimiento más alto de extracción del licopeno.

A pesar de sus ventajas en cuanto a su rendimiento, presenta diversos inconvenientes a tener en cuenta tales como; su volatilidad, inflamabilidad y explosividad, las posibles pérdidas a lo largo del proceso y por ser un contaminante tóxico considerado por la EPA desde 1998.

**Tabla 2.2.** Características de los principales disolventes utilizados en la extracción del licopeno de origen vegetal

Propiedad	Acetona	Acetato de etilo	Etanol	Hexano	Condición necesaria
Solubilidad en agua % (20°C)	100	8,7	100	0,001	Valor más bajo
Biocompatibilidad	Si	Si	Si	Si	Compatibilidad necesaria
Densidad, kg/m <sup>3</sup> (20°C)	786	894	789	655	Mayor diferencia de densidad con el agua
Tensión superficial, N/m (20°C)	0,0228	0,0238	0,0223	0,01843	Valor alto para evitar emulsiones
Reactividad química	No	No	No	No	Inerte a soluto y materiales del extractor
Viscosidad, kg/m·s (25°C)	0,00031	0,00041	0,00107	0,0003	Valor más bajo posible
Presión de vapor, mm Hg (20°C)	181,7	73	59	132	Valor más bajo posible
Punto de congelación, °C (1 atm)	-94,7	-83,97	-114,1	-95	Valor más bajo posible
Toxicidad, NFPA	1	2	0	1	Lo menos tóxico posible
Límites de Inflamabilidad, vol. % (25°C)	2,6 - 12,8	2-11,5	3,3-19	1,1-7,5	Menos inflamable
Coste (*)	40,4	12,8	68,9	46,4	Más barato

(\*): Precios consultados en la empresa “VWR International Eurolab, S.L.”

#### Equilibrio sólido-líquido:

Una vez transcurrido el tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, se separarán dos fases:

- Extracto o flujo superior: es la fase líquida formada mayoritariamente por el disolvente y el soluto. También se denomina miscela.
- Refinado o flujo inferior: se trata de un sólido humedecido formado por todos los sólidos que no se han disuelto, aunque también incorpora parte de

la disolución que ha quedado retenida en las partículas sólidas.

Si se ha alcanzado el equilibrio, la disolución retenida por el inerte en el refinado tendrá la misma composición que la disolución en el extracto. Y si la solución está saturada, el sólido inerte puede contener además soluto sin disolver.

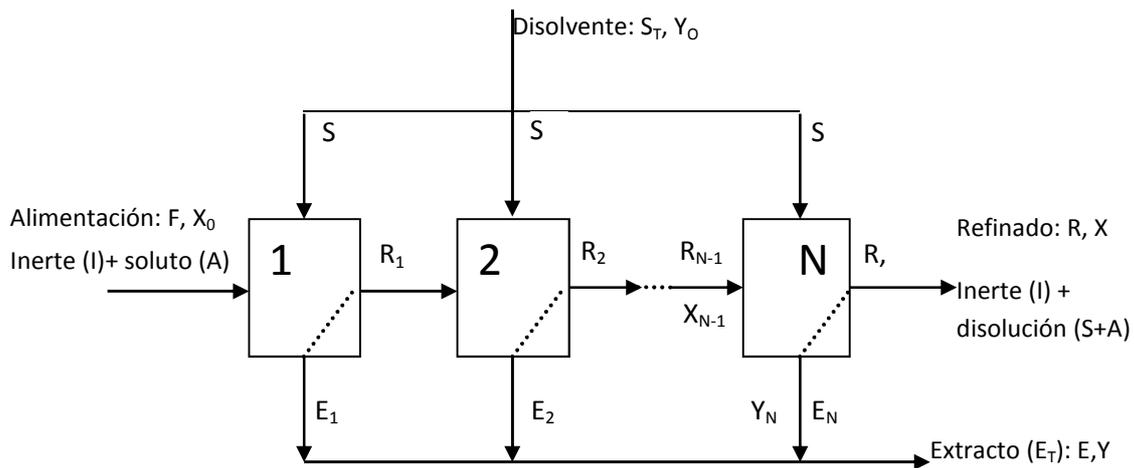
Normalmente, los datos de equilibrio de extracción han de obtenerse de forma experimental, lo que requiere la realización de diferentes ensayos a fin de generar una serie de parejas de datos de extracto y residuo en equilibrio. Sin embargo, con frecuencia se pueden utilizar, sin cometer grandes errores, datos de equilibrio simplificados si se cumplen las siguientes suposiciones:

- El sólido inerte es totalmente insoluble en el disolvente y la separación de las fases después de la extracción es tan eficaz que no existen partículas sólidas arrastradas por el extracto. En estas condiciones, el extracto está formado únicamente por soluto y disolvente, es decir, la línea del extracto coincide con la hipotenusa del diagrama triangular.
- La cantidad de disolución que queda retenida humedeciendo al residuo es constante, independientemente de su composición. En este caso, la línea del residuo sería una recta paralela a la hipotenusa. Para trazarla, bastará con tener un dato de la cantidad de disolución retenida por el sólido inerte en las corrientes de residuo.

Para el presente proyecto, el sistema de extracción se lleva a cabo por contacto simple repetido (Figura 2.7), en dos líneas de operación. Cada una de ellas consta de una serie de dos extractores dispuestos en serie con camisa de calefacción y provistos de agitación (Apartado 5, pág. 56). Esta disposición es ideal ya que en el caso de paro por emergencia, fallo mecánico o mantenimiento de algún equipo, no es necesario parar todo el proceso.

Teniendo en cuenta que el tiempo de cada etapa es de 1,67 h, para poder tratar los 1.018,9 kg/h de pulpa que salen de la centrífuga, se carga el primer extractor de cada

línea con 850,78 kg de esta pulpa y con 2.552,34 kg de hexano, como se puede comprobar en el Apartado 3.3 del Anejo I. A cada etapa se le alimenta la misma cantidad de disolvente. Una vez cargado el tanque, empieza la extracción, donde existe un periodo previo de calentamiento hasta llegar a la temperatura de operación de 60°C, la cual se mantiene mediante el encamisado. Para evitar la oxidación de la mezcla se inertiza la atmósfera, introduciendo nitrógeno.



**Figura 2.7.** Esquema del sistema de extracción sólido-líquido por contacto simple repetido. F, alimentación, (kg); R, refinado, (kg); S, disolvente, (kg); E, extracto, (kg); X, fracción másica en la alimentación y refinado; Y, fracción másica en el disolvente y el extracto.

Tras las dos etapas se consigue una recuperación de la oleorresina del 99,14%, obteniendo 4.853,40 kg de extracto con un 0,15 % de equivalentes de licopeno. Por otro lado se obtiene una masa de refinado de 1.090,21 kg conteniendo un 23% de hexano y una concentración de equivalentes de licopeno del 0,037%, siendo el resto agua y la pasta agotada.

## 2.4. FILTRACIÓN

El objetivo de la filtración es limpiar la corriente de extracto de cualquier partícula sólida que haya quedado en suspensión, es decir, retirar los sólidos finos de hasta 2 micras de tamaño. Este paso es fundamental, y si no es llevado a cabo correctamente, estas pequeñas partículas pueden depositarse en la superficie de calentamiento de los

equipos de evaporación. Esto conllevaría una disminución de la transferencia de calor reduciéndose por tanto el rendimiento de la calefacción y provocando caídas de caudal.

Se utilizará un filtro continuo de tambor rotatorio, dispositivo que se muestra en el Apartado 5 (pág. 57). Este equipo operará a vacío y estará cerrado herméticamente para evitar pérdidas de disolvente, el hecho de trabajar a vacío permitirá obtener una torta relativamente seca, facilitando así la descarga de ésta. Está formado por un tambor montado sobre un eje horizontal, cubierto en la porción cilíndrica por un medio filtrante sobre una estructura de apoyo constituida por una rejilla que permite el drenado hacia los colectores. Los materiales de construcción serán de acero al carbono y plástico. Todos los filtros de tambor rotatorio utilizan una disposición de válvula giratoria en el apoyo del eje del tambor, para facilitar la eliminación del filtrado y del líquido de lavado y permitir la entrada de aire o gas en caso de que sea necesario. Por medio de una válvula se controlará la duración de cada ciclo y se proporcionarán posiciones de ciclo mediante el empleo de bloques de puente. La velocidad de giro del filtro continuo tambor rotatorio suele estar entre 0,1 y 10 r.p.m., dependiendo de las necesidades. Un esquema del funcionamiento de este equipo se muestra en la Figura 2.8.

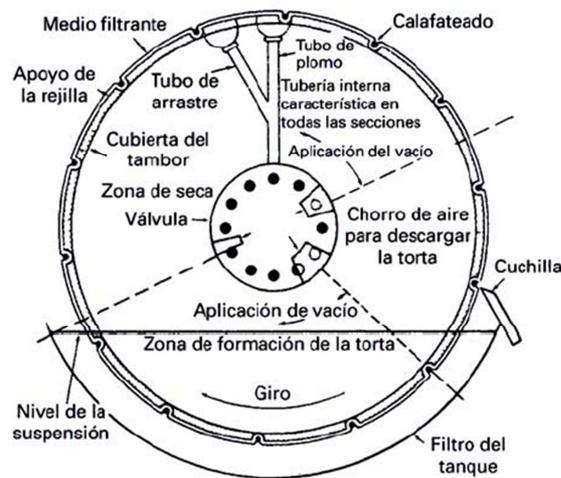


Figura 2.8. Filtro de tambor rotatorio

Los motivos por los que se ha escogido este equipo son por sus numerosas ventajas, tales como; automatización completa, capacidad de tratar grandes cantidades de

producto; al operar a vacío se obtiene tortas relativamente secas, minimizando así las pérdidas de disolvente y de aceite.

En cuanto al medio de filtración, éste debe asegurar la retención de partículas mayores a las de un tamaño fijado y una buena eficiencia en la separación, y una aceptable duración. El medio de filtración utilizado, que tendrá un tamaño de malla de 2 micras, pertenece al grupo de las fibras de telas tejidas, concretamente al grupo de los acrílicos. Se trata de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de al menos un 85% en peso por unidad de acrilonitrilo, y entre sus características más importantes cabe destacar que son resistentes a bases, ácidos, agentes oxidantes y disolventes entre otros, además de ser resistentes a la abrasión.

Es difícil cuantificar la cantidad de partículas finas que arrastra la corriente de extracto, es por ello que en este apartado no se hace un análisis cuantitativo, y para los cálculos posteriores se supondrá que este extracto sale suficientemente clarificado y las partículas finas se quedaron en el refinado.

## **2.5. CONCENTRACIÓN DE LA OLEORRESINA Y RECUPERACIÓN DE DISOLVENTE**

El objetivo de esta etapa es obtener una oleorresina exenta de disolvente o con una concentración máxima de hasta 50 ppm [37] y recuperar todo el disolvente para reutilizarlo en la extracción.

### **2.5.1. EVAPORACIÓN**

En este punto del proceso se tiene un disolvente que porta el soluto de interés, y para ello se procede a vaporizarlo para obtener una pasta oleorresinosa, con la menor cantidad posible de disolvente.

Existen varios modos de operar en una evaporación, pero la que se va a poner en práctica en este proyecto es una evaporación de múltiple efecto, consiguiendo con esto

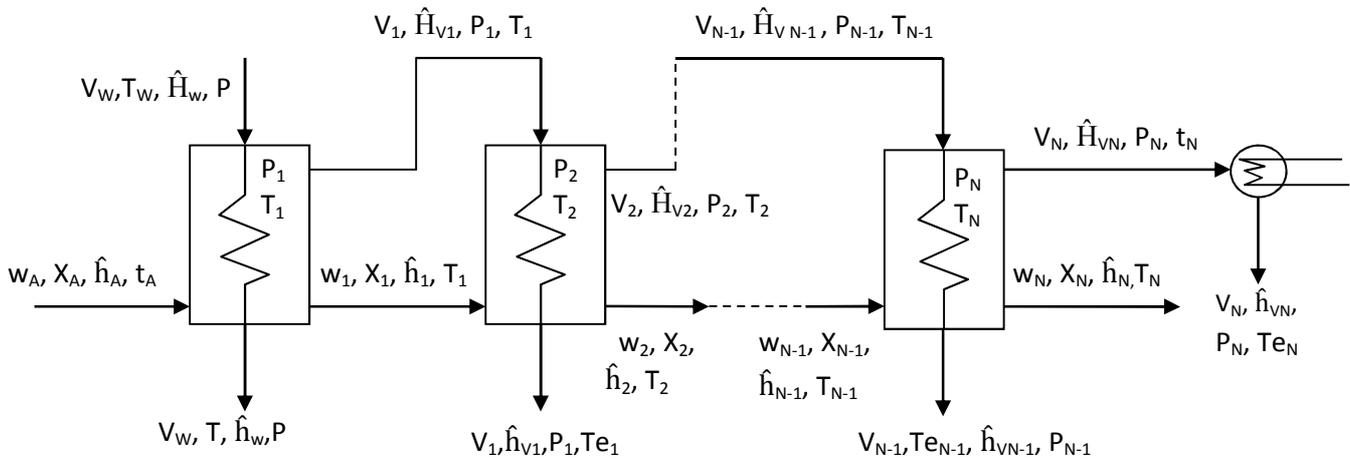
aprovechar el vapor de cada efecto para utilizarlo en el efecto siguiente. En el Apartado 5 (pág. 60) se puede observar una ilustración del dispositivo. Se opera a vacío debido a la termosensibilidad del licopeno a temperaturas altas, por lo que el vacío permite disminuir la temperatura de ebullición del disolvente hasta una temperatura adecuada que evite la degradación del licopeno.

Además se opera con corriente directa, esto es, las corrientes de vapor y solución concentrada de cada efecto siguen sentidos paralelos, para que la solución más concentrada esté en contacto con el vapor de menor temperatura.

Los evaporadores constan, esencialmente, de dos cámaras, una de condensación y otra de evaporación. En la de condensación se alimenta una corriente de vapor de agua saturada  $V_w$ , que posee una temperatura  $T$ , siendo  $\hat{H}_w$  su entalpía. Este vapor condensa y el único calor que cede es el de condensación, por lo que de esta cámara sale una corriente,  $V_w$ , de agua líquida a la temperatura de condensación  $T$ , siendo su entalpía  $\hat{h}_w$ , que se corresponde a la de agua a su punto de ebullición. El calor de condensación es transferido a través del área de intercambio del evaporador, y es captado por la corriente del alimento en la cámara de evaporación. En esta cámara se alimenta una corriente  $w_A$ , que se halla a una temperatura  $T_A$ , siendo su entalpía  $\hat{h}_A$ . Debido al calor que cede el vapor condensado  $Q$ , se obtiene una corriente concentrada  $w_i$ , cuya temperatura es  $t_i$  y  $\hat{h}_i$  es su entalpía. Además se obtiene una corriente de vapor  $V_i$ , a una temperatura  $T_i$  y cuya entalpía es  $\hat{H}_{V_i}$ . Es importante resaltar que las temperaturas de las corrientes de concentrado y de vapor que abandonan la cámara de evaporación son iguales. En la Figura 2.9 se esquematiza este sistema de evaporación múltiple donde aparecen las corrientes antes mencionadas.

Son numerosos los métodos propuestos para estimar el comportamiento de un evaporador de múltiple efecto, donde cada autor establece una serie de suposiciones, dependiendo de las condiciones del sistema y de los datos de que se disponga. Todos estos métodos tienen en común en que se basan en un sistema de tanteo, es decir, el procedimiento matemático a seguir es un proceso iterativo, en el que se llega a una

solución que da validez o no a las suposiciones iniciales. El método a seguir se explica con detalle en el Anejo I (Apartado 4.1).



**Figura 2.9.** Esquema de un sistema de evaporación de triple efecto con corriente directa.  $w_A$ , caudal disolvente portador,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $V_w$ , caudal de vapor de agua que entra a la cámara de vaporización y sale condensada por la cámara de condensación,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $w_i$ , caudal de concentrado que abandona la cámara de condensación,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $V_i$ , caudal de vapor que abandona la cámara de evaporación y sale condensado de la cámara de condensación,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $\hat{H}$ , entalpía de vapor,  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$ ;  $\hat{h}$ , entalpía líquida,  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$ ;  $Te_i$ , temperatura real de ebullición del disolvente a  $P_i$ , ( $^{\circ}C$ );  $T_i$ , temperatura de ebullición de la cámara de evaporación, ( $^{\circ}C$ ).

Básicamente, se introduce 420,12 kg/h de vapor de agua saturada a 70°C en el primer efecto, el cual sale condensado a la misma temperatura, para más tarde aprovecharse en otra unidad, como fluido calefactor. Al mismo efecto llegan 5824,08 kg/h de hexano portando el soluto de interés. Por un lado se consiguen 2274,05 kg/h y 2300,02 kg/h de hexano condensado procedentes del primer y segundo efecto respectivamente, y por otro lado del tercer efecto salen 1.238,76 kg/h de hexano evaporado que se llevará a una unidad de condensado.

### 2.5.2. STRIPPING (ARRASTRE CON GAS)

El stripping es una operación unitaria, donde la fase líquida y la fase gaseosa están en contacto íntimo, y se considera que es la operación inversa a la absorción. Generalmente se lleva a cabo en columnas cilíndricas verticales de platos o bien de relleno. Existen dos tipos de relleno (Figura 2.10); uno de geometría regular que suelen ser rejillas perforadas (a) y el otro tipo consiste en piezas de geometría aleatoria (b).



Figura 2.10. Tipos de relleno para el stripper

Ambos tipos de relleno deben cumplir una serie de características:

- Proporcionar un área interfacial elevada entre el gas y el líquido
- Tener una estructura abierta para ofrecer la menor resistencia al flujo del gas
- Promover una distribución uniforme del líquido en la superficie de relleno
- Promover un flujo de gas uniforme a través del relleno

La elección de un buen relleno es indispensable para el buen funcionamiento del proceso, ya que la proporción entre el tamaño del relleno y el de la columna debe ser lo más óptimo posible (Tabla 2.3). El tipo de relleno elegido se explica en el Apartado 4.2 del Anejo I.

Esta operación se basa en la transferencia de materia. La idea es hacer que las condiciones sean favorables para que el componente más volátil de la fase líquida, atraviese la interfase gas-líquido y se transfiera a la fase vapor. Las corrientes de entrada y salida del stripping se esquematizan en la Figura 2.11.

**Tabla 2.3.** Relación óptima entre el diámetro de la columna y el tamaño del relleno.  
Fuente: Perry, R. H. [11].

Column diameter	Use packing size
<0.3 m	<25 mm
0.3 to 0.9 m	25 to 38 mm
>0.9 m	50 to 75 mm

Para el presente proyecto se ha escogido una columna de relleno (Apartado 5, pág. 63) donde la corriente líquida se introduce por el tope de la columna y se va desplazando hacia abajo a través del relleno y el gas, sube en contracorriente por la misma sección.



**Figura 2.11.** Esquema de la unidad del stripping.  $w_C$ , caudal másico de oleorresina a la entrada,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $w_{CS}$ , caudal másico de oleorresina a la salida,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $\dot{m}_{GE}$ , caudal másico de gas de arrastre a la entrada,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ;  $\dot{m}_{GS}$ , caudal másico de gas de arrastre a la salida,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$ .

Generalmente en los procesos de extracción de aceites se debe tener un producto con una concentración de disolvente del rango de trazas. Es por ello, que la eliminación del disolvente se lleva a cabo en varias etapas, terminando con una purificación final con un arrastre de disolvente con gas o vapor. Debido a la termosensibilidad del licopeno esta operación se lleva a cabo a vacío.

Según se observa en el Anejo I (Apartado 4.2) la oleorresina empapada en hexano sale del último efecto del evaporador con una concentración de hexano del 20% y para extraer dicha cantidad de hexano hasta cantidades por debajo de 50 ppm se alimenta al stripper utilizando como gas de arrastre el nitrógeno. Tras esta operación se obtiene una oleorresina con una concentración de hexano de 12,22 ppm con un caudal de 9 kg/h, y por el tope de la columna sale el nitrógeno gas conteniendo un 10,11% de hexano (2,25 kg/h).

### 2.5.3. DESOLVENTIZACIÓN

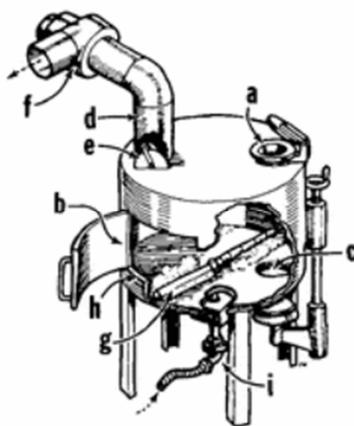
La corriente de extracto, que es una pasta o resina empapada en agua y hexano, se procesa para eliminar el disolvente contenido en ella para posteriormente recuperarlo. Este proceso se lleva a cabo por un equipo conocido como desolventizador. De entre los tipos de desolventizadores que se encuentran en el mercado (horizontales y verticales) se ha seleccionado el de tipo vertical por ocupar menos espacio, tener un rendimiento térmico mayor y por la facilidad para su inspección y control. En el Apartado 5 (pág. 58) aparecen detalles técnicos de este equipo.

El desolventizador vertical (Figura 2.12) consiste en un recipiente cilíndrico que opera en discontinuo. La alimentación entra por el tope de la columna (a) cayendo sobre el primer plato. Dispone de una puerta lateral de acceso (b). El disolvente evaporado y la humedad se expulsan a través de un conducto en el tope del recipiente (d), equipado con una válvula de mariposa de ventilación (e) y un ventilador de extracción (f). Cuando la válvula está cerrada, el recipiente permanece casi hermético al escape de vapores. Un sistema de palas giratorias (g) remueve la resina sobre la superficie del plato y la hace caer al plato inferior, y así sucesivamente, hasta llegar al último plato de la columna, de donde se recoge y descarga a través de un conducto (c). El encamisado de los lados y del fondo es calentados por vapor de agua procedente del proceso. Las palas están equipadas con una tubería perforada para pulverizar el vapor.

El proceso de desolventización comprende dos partes; la primera llamada “sparging” consiste en pulverizar vapor de agua sobre la pasta a través de los orificios de las paletas; la segunda denominada “toast-dryout” empieza cuando se para la entrada de vapor, y es donde se consigue la vaporización completa del disolvente y parte de la humedad mediante el calor proporcionado por el vapor y por el encamisado.

Si el disolvente ebulle a una temperatura inferior de la temperatura de condensación del vapor, el vapor inyectado se condensa en la pasta y aporta el calor necesario para vaporizar el disolvente. El exceso de vapor se condensa e incrementa la humedad de la pasta en la etapa de “sparging”. Se ha encontrado experimentalmente [43] en procesos de

extracción de aceite de soja con hexano, una relación lineal entre el contenido inicial de hexano en la pasta agotada (a la entrada del desolventizador) y la humedad al final de la misma (al término del “sparging”) a causa de la condensación del vapor.



**Figura 2.12.** Esquema de la unidad de desolventizado.

Según los datos obtenidos en el Anejo I (Apartado 4.3), tras este proceso se consigue 266,93 kg/lote de pasta con un 10% de humedad que se envía directamente a peletización. Por el tope de la columna se obtienen 1.913,49 kg/lote de vapores que contienen todo el hexano (26%). Posteriormente, esta corriente gaseosa se lleva a condensación.

#### 2.5.4. CONDENSACIÓN Y SEPARACIÓN DEL HEXANO

Hay tres unidades de proceso en las que se obtiene una corriente gaseosa que lleva hexano; la primera de ellas es la corriente procedente del tercer efecto del evaporador que se compone solamente de hexano, la segunda es una mezcla gaseosa de vapor de agua y hexano que sale del desolventizador y por último, una corriente de nitrógeno procedente del stripper que arrastra una pequeña cantidad de hexano.

Para condensar la primera y segunda corriente antes mencionadas, se utilizará un intercambiador placas (Apartado 5, pág. 61). Este intercambiador es similar al usado en el tratamiento térmico, es decir, se rige por el mismo principio de transferencia de calor con flujo en contracorriente, pero con la diferencia que está adaptado para una operación de

condensación. Tal y como se muestra en el Apartado 4.4 del Anejo I, a este intercambiador que consta de 5 placas, se introduce una corriente de aproximadamente 9,88 t/h de agua a 10°C procedente del chiller para condensar 2.386,85 kg/h de vapor. Seguidamente esta corriente se lleva a una centrifuga tubular (Apartado 5, pág. 62) adaptada para separar mezclas de líquidos con diferencia de densidades. Tras esta operación se obtendrán 849,8 kg/h de agua que se enviarán a depuración y una fase orgánica que corresponde al hexano, obteniendo un caudal de 1.537 kg/h.

Para la condensación de la corriente procedente del stripper se utilizará un destilador flash (Apartado 5, pág.64), utilizando como fluido refrigerante 47,02 kg/h de agua a 15°C obteniendo 19,81 kg/h de nitrógeno gas con trazas de hexano (0,07%) que se vierten a la atmósfera. Por otro lado sale una corriente de hexano líquido a razón de 2,44 kg/h.

La corriente gaseosa que se obtiene tras la destilación flash cumple con la directiva 1999/13/CE del Consejo europeo 11 marzo de 1999, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles; la cual establece un límite máximo permitido de 1,5 kg de hexano gaseoso por cada tonelada de aceite producido, para las instalaciones dedicadas a la extracción de aceites vegetales.

Resumiendo, el conjunto de corrientes resultantes de hexano condensado representan un caudal de 6.115,74 kg/h, que se recirculan directamente al tanque de almacenamiento de hexano.

### **2.6. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

Durante el proceso se tienen, por un lado los RVI descartados en la etapa de selección, y por otro lado los residuos sólidos de desecho generados por el proceso. Estos residuos sólidos, como se comentó en la memoria justificativa, constituyen una biomasa potencialmente aprovechable como recurso energético renovable. Es por ello que se procede a su transformación en pellets.

### 2.6.1. TRITURACIÓN 2

Parte de la biomasa desechada en la etapa de selección se somete a una trituración para manejarla con mayor facilidad, ya que esta biomasa se compone en mayor medida de restos de planta. Las especificaciones técnicas del equipo utilizado se encuentran en el Apartado 5 (pág. 52). Existe una regla general, la cual establece que tamaños más pequeños de partícula, proveen mayor duración del producto final. El tamaño de partícula recomendado para una buena calidad de pellets varía de 0,6 a 0,8 mm [31].

En el Apartado 6.1 del Anejo I, se tiene que la cantidad total de biomasa necesaria es de 264,7 kg/h, pero como se obtiene de la desolventización y del secador de bandejas un total de 183,99 kg/h residuos sólidos, sólo harían falta 80,71 kg/h. Como es preferible ser conservativos, se añadirá un 10% más de la cantidad total, es decir, 26,47 kg/h. Entonces resumiendo, se necesitarán triturar 107,18 kg/h de residuos.

### 2.6.2. SECADO

La deshidratación o secado es una operación unitaria en la que se reduce o elimina el contenido de agua de un alimento, consiguiendo así una mejor conservación microbiológica, además de retardar muchas reacciones indeseables. Generalmente la eliminación del agua del alimento se consigue de forma mayoritaria mediante una corriente de aire seco, que elimina el agua de la superficie del producto hacia el seno de la corriente de aire.

De entre todos los tipos de secaderos, se ha escogido un secadero de bandejas que opera en discontinuo (Apartado 5, pág. 70). Este secadero está compuesto de una cámara en la que se introduce el alimento mediante bandejas, ya sea por raíles o dispuestas en carros. Esta cámara, está equipada con un ventilador y conductos que permiten la circulación de aire caliente a través y alrededor del alimento. El agua se elimina de la superficie del alimento y se conduce fuera del secadero junto con la corriente de aire que lo abandona en una operación simple.

Un parámetro importante a fijar en la operación de secado es la humedad final de los sólidos, ya que influirá directamente en la calidad final de los pellets; según Ruiz, C. A. et al. [31] fija una humedad óptima entorno al 10%. Por consiguiente, los únicos sólidos que se van a tratar son los procedentes de la segunda trituración (85% de humedad), ya que los sólidos que salen de la etapa de desolventización ya contienen un 10% de humedad.

Como se describe en el Anejo I (Apartado 5), el tiempo de secado que invierte el equipo en procesar cada lote es de 9,99 h. En cada lote se procesan aproximadamente 1.428,19 kg con una humedad del 85%, consiguiendo al final del proceso 238,03 kg de pasta deshidratada (10% de humedad), valor aceptable según Ruiz, C. A. et al. [31].

### 2.6.3. PELETIZACIÓN

Este es el último paso para la obtención de pellets vegetales, listos para su uso como fuente de energía y para ello se utiliza una peletizadora cuyas especificaciones técnicas se detallan en el Apartado 5 (pág. 71).

Numerosos estudios están enfocados en la cuantificación del potencial energético de esta biomasa. Callejón Ferre, A.J. et al. [23], ha propuesto diversas ecuaciones empíricas que pueden estimar dicho potencial para diversos cultivos, donde los RVI de tomate aportan 4,12 kWh/kg. En el Apartado 6.1 del Anejo I, se puede observar que la potencia necesaria que debe suministrar la caldera es de 1.090,56 kW, y la cantidad de pellets necesarios para generar tal energía es de 264,7 kg/h.

## 2.7. TRATAMIENTO DEL SUERO

El suero todavía contiene nutrientes y compuestos bioquímicos de interés, entre los cuales se encuentran pequeñas cantidades de licopeno que se perdieron en el proceso de centrifugado. Uno de los usos que podría tener sería la recuperación de este pigmento o la extracción de compuestos hidrosolubles como polifenoles o antocianinas, entre otros

compuestos. Otra posibilidad es su recirculación al proceso para recuperar el licopeno perdido.

Debido a la falta de fuentes bibliográficas que enfoquen su trabajo en la recuperación de este suero, y sobre todo la poca información sobre su composición química, ha hecho que se tome la decisión de considerarlo como agua residual.

### **2.7.1. LEGISLACIÓN AMBIENTAL**

Las aguas residuales generadas durante la elaboración de diferentes productos contienen (entre otros contaminantes) altas cargas orgánicas, agentes de limpieza y blanqueantes, sales y sólidos suspendidos (fibras, partículas de tierra, etc.). En este caso el principal contaminante es la materia orgánica, que se caracteriza por presentar altos niveles de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y de Demanda Química de Oxígeno (DQO), que supera los límites máximos de vertido establecidos por la legislación tanto para el vertido a colectores municipales como al dominio público hidráulico.

Esta situación hace que la reducción de los niveles de carga contaminante (con el objetivo de cumplir los límites impuestos por la legislación) se haya convertido en una prioridad para este proyecto.

El cumplimiento de la legislación medioambiental vigente supone a veces un reto difícil de alcanzar, tanto por el elevado coste de las inversiones necesarias para llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales generadas por el proceso como por el desconocimiento de la efectividad de los tratamientos de depuración y que se hace difícil decantarse de forma clara por un sistema de depuración en concreto.

### **2.7.2. TRATAMIENTO PROPUESTO**

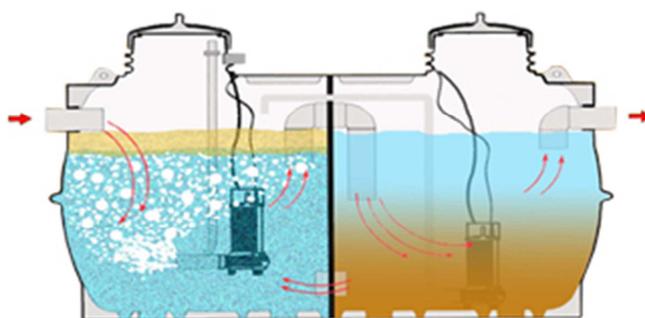
La mejor solución y la más extendida en la práctica es la oxidación total, debido a características tales como su fácil instalación (no ocupa espacio ya que se instala enterrado

en superficie), su mantenimiento simple, su óptimo funcionamiento, la ausencia de ruidos y olores y su gran capacidad para reutilizar el agua tratada.

Las depuradoras de aguas residuales por oxidación total cumplen con las exigencias de la Directiva del Consejo 91/271/CEE y con la normativa de vertido española: Real Decreto 606/2003. Su rendimiento de depuración es del 90% de reducción de DBO5 y del 93% de reducción de materia soluble.

El sistema de depuración que se representa en la Figura 2.13 cuenta con dos procesos:

- El primero es el que sucede en el compartimento del reactor donde, mediante una bomba soplante y unos difusores, las aguas residuales se someten a una aireación prolongada, creando un medio aeróbico (agua con oxígeno) donde las bacterias aeróbicas encuentran un medio de cultivo adecuado. Cuando existe suficiente flora bacteriana estas bacterias se encargan de digerir la materia orgánica disuelta, consiguiendo así la descomposición biológica de la materia orgánica mediante la oxidación.
- A pesar de que las dos corrientes van a estar prácticamente exentas de partículas sólidas, se hacen pasar al segundo compartimento de la depuradora para que decanten las partículas que hayan podido quedar.



**Figura 2.13.** Sistema de oxidación total.

Durante el proceso existen dos unidades que vierten agua con alto contenido biológico, una es la segunda trituración en el área de pretratamiento, en la cual se obtiene

un suero clarificado sin apenas partículas sólidas y la segunda es el decantador en el área de procesado, en el cual se separa el hexano del agua. Del conjunto de las dos corrientes se obtiene un total de 10,41 m<sup>3</sup>/h y para poder tratar esta cantidad se ha escogido un reactor biológico que se describe con más detalle en el Apartado 5 (pág.80).

## 2.8. SERVICIOS

### 2.8.1. SISTEMA DE VAPOR Y AGUA CALIENTE

Desde un primer momento, este proyecto se ha basado en las tres pautas básicas que rigen toda actividad sostenible; reciclar, reutilizar y reducir, con el objetivo de producir el menor impacto ambiental posible. Es por ello que no sería ético, desde el punto de vista del presente proyecto, dejar de lado el consumo energético que ocasiona el proceso de producción, y no proporcionarle una solución que influya positivamente en el medio ambiente.

Dicho esto, se va a tomar como fuente de energía los pellets para el autoabastecimiento energético del proceso. Como se comentó en apartados anteriores, estos residuos procedentes del cultivo de tomate proporcionan 4,12 kW·h/kg. Para transformar estos pellets en energía calorífica se utilizan dos calderas (Apartado 5, pág. 76) adaptadas para utilizar biomasa como combustible, con una eficiencia energética del 80% (teniendo en cuenta que se utiliza gas natural para la combustión de los pellets).

Una ampliación interesante para un futuro estudio es la implantación de un sistema de cogeneración, es decir, la producción simultánea de energía calorífica y energía eléctrica. Esta cogeneración es una alternativa energética de alta eficiencia que maximiza el aprovechamiento de la energía primaria y permite reducir de forma significativa los costes energéticos. Por lo general, para hacer cogeneración con biomasa como combustible se puede aplicar todos los ciclos que se utilizan con otros combustibles. Dicha ampliación consistiría en implementar una turbina de vapor, un generador y un transformador a la salida del vapor, para así obtener energía eléctrica.

Durante el proceso se necesitan varias corrientes de calefacción, por lo que se ha implementado un circuito cerrado para la optimización de la planta, representado en la Figura 2.14. En el Anejo I (Apartado 7.1) se detalla con más detenimiento la distribución energética de las corrientes.

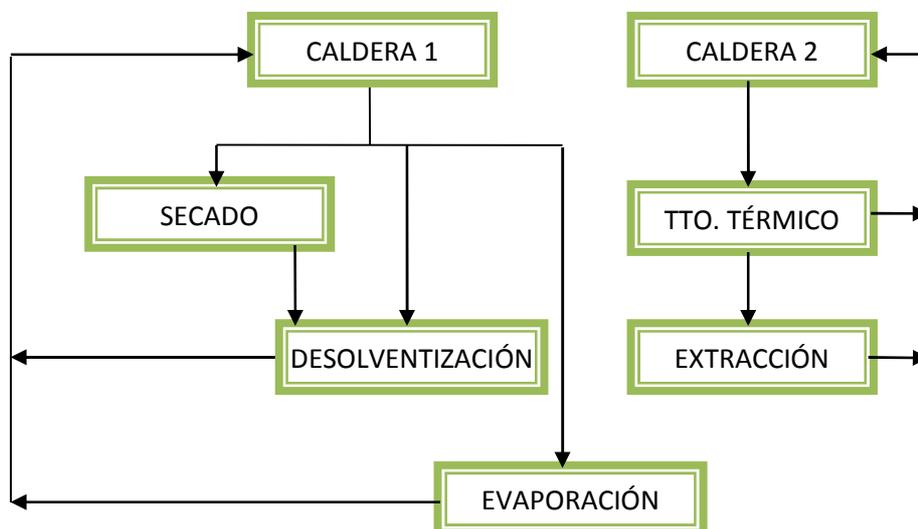


Figura 2.14. Circuito cerrado de calefacción

### 2.8.2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En la recuperación del hexano para su recirculación se hace uso de dos unidades (destilador flash y condensador) que requieren de agua fría como fluido refrigerante, tal como se aprecia en el Anejo I (Apartado 4.4). La potencia necesaria para llevar a cabo las dos operaciones es de 4.914 kJ/h (1,36 kW) y 2,05e6 kJ/h (569,44 kW) respectivamente, utilizándose para ello un chiller de refrigeración tipo tornillo para cada una de las corrientes. Las especificaciones técnicas de ambos equipos se detallan en el Apartado 5 (pág. 65).

### 2.8.3. SISTEMA DE VACÍO

El sistema de vacío, que se aplicará a la unidad de evaporación y de stripping, vendrá proporcionado por bombas de vacío de anillo líquido de 4,8 kW cada una, que son bombas de desplazamiento positivo consistentes en un impulsor de aspas múltiples montado excéntricamente dentro de una carcasa cilíndrica. Las especificaciones técnicas

de esta bomba se encuentran detalladas en el Apartado 5 (pág.68). El material de construcción acero al carbono, no requiere ningún tipo de lubricación, debido a la carencia de pistones, válvulas o paletas. Los gases bombeados pueden estar saturados de vapor y aspirar vapor condensado y líquido. Estas bombas pueden ser empleadas como compresores sin ninguna modificación.

Las características de este tipo de bombas son:

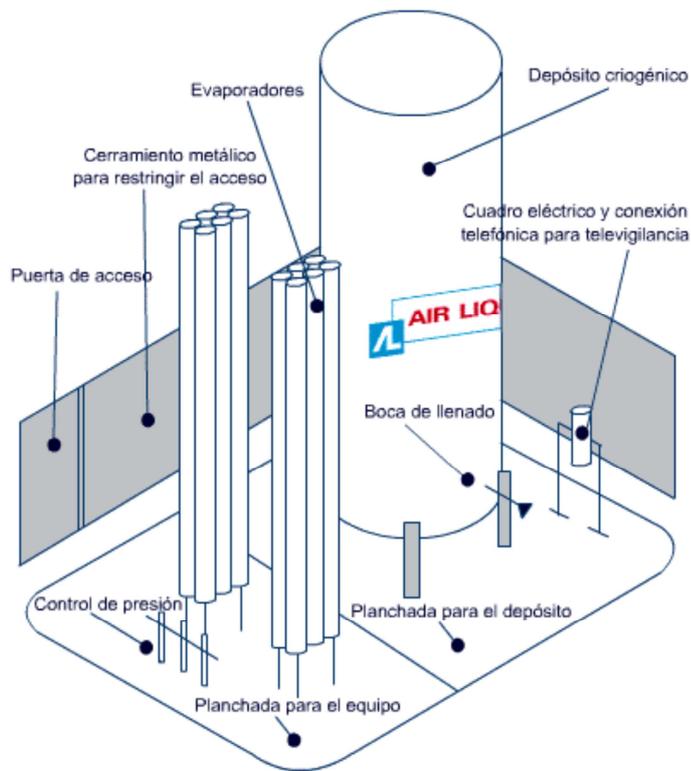
- Alta eficiencia: Estas bombas presentan una alta eficiencia debido a su doble cámara, por lo que el desplazamiento se mantiene a vacíos muy elevados y es posible evacuar grandes cantidades de aire o gas en un corto espacio de tiempo.
- Larga vida y facilidad de mantenimiento: Por su simplicidad de diseño y construcción, ya que tiene una sola pieza en movimiento (el impulsor) y no hay contacto entre sus partes internas.
- Operación sencilla y sin vibraciones: Están libres de vibración, golpeteos y trabajan silenciosamente por lo que no requieren cimientos especiales o barreras para sonido o vibración.
- Variedad de materiales de construcción: Se pueden construir de una amplia variedad de materiales, resistentes a gases o vapores especiales.

#### **2.8.4. SUMINISTRO DE NITRÓGENO**

El equipo de nitrógeno se hace imprescindible para inertizar los depósitos y todos los equipos donde intervengan disolventes inflamables o combustibles que presenten riesgo de incendio o explosión, donde es imperativo operar con atmósfera inerte. Se utilizará en el proceso de extracción, en el tanque de almacenamiento seguido de dicha extracción y el tanque de almacenamiento de hexano. El volumen vacío del tanque será llenado con nitrógeno, reduciendo así riesgos de incendio y explosión.

El sistema de almacenamiento del nitrógeno, que se muestra en la Figura 2.15, lo proporcionará la empresa “Air Liquide” y consta de un tanque en el cual se almacena el nitrógeno en estado líquido junto con un vaporizador que proporcionará a la planta el nitrógeno en forma gaseosa.

Según se muestra en el Anejo I (Apartado 6.2), para satisfacer las necesidades de nitrógeno que alcanzan los 16.791,34 m<sup>3</sup> mensuales, es necesario disponer de un tanque de 25,96 m<sup>3</sup>.



**Figura 2.15.** Sistema de almacenamiento y suministro de nitrógeno.

### 2.8.5. TRANSPORTE DE SÓLIDOS

La selección del transportador es un factor importante en el tratamiento de sólidos, por lo que se debe tener en cuenta la capacidad requerida, la longitud del desplazamiento y el tipo de sólido a transportar. El tipo de transportador utilizado será un transportador de bandas y transportará los residuos vegetales en las áreas de recepción, clasificación y tratamiento de residuos sólidos.

Las características del transportador de bandas son:

- Pueden alcanzar altas velocidades, hasta 5m/s.
- Las condiciones operacionales que afectan a este tipo de transportadores son el clima, el ambiente y el número de horas que el equipo trabaja en continuo.
- La velocidad y la anchura de la banda, dependerá de la cantidad a transportar por unidad de tiempo, su densidad y su tamaño de partícula.

#### **2.8.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL**

Una vez el producto ya está envasado se lleva al área de almacenamiento, donde la temperatura debe estar por debajo de 25°C para asegurar que las propiedades del producto no se ven alteradas. Teniendo en cuenta que la sala de almacenaje tiene un área de 400 m<sup>2</sup> se dispone de un refrigerador de 10 kW.

### **2.9. PRODUCTO FINAL**

#### **2.9.1. ENVASADO A GRANEL**

El 75% de la oleorresina se envasará a granel para su comercialización como colorante alimentario mediante un sistema de llenado automático en condiciones totalmente asépticas. Las especificaciones técnicas del equipo utilizado se detallan en el Apartado 5 (pág. 74). Este sistema, denominado “Bag-in-drum”, introducirá la oleorresina en bolsas asépticas dentro de bidones cerrados herméticamente.

Se obtiene anualmente en total de 71.280 kg de oleorresina, de la cual sólo se envasarán 53.460 kg en bidones de 25 kg, haciendo un total de 2.138 bidones al año.

### 2.9.2. ENCAPSULACIÓN

La resina aceitosa restante, el 25% del total, se encapsula en ampollas de gel blando (softgel). Se ha optado por este formato de comercialización por las diversas ventajas que tiene, tales como la buena biodisponibilidad de los nutrientes; su rápida absorción en el tracto digestivo debido a su pequeño tamaño; su fácil ingestión ya que no tienen gusto, ni malos olores y ofrecen una apariencia farmacéuticamente elegante; la excelente uniformidad de la dosis y la protección que ofrece a los nutrientes de la oxidación y la degradación y su fácil inspección, ya que se evidencia con facilidad cualquier manipulación, perforación o fuga indebida.

La gelatina utilizada para la elaboración de las cápsulas se compone principalmente de una proteína que se digiere fácilmente por las enzimas en el tracto intestinal, permitiendo que el ingrediente activo que se libere y se absorba en el torrente sanguíneo. La fórmula típica de la masa de gel consiste en un 35-35% de gelatina, un 15-25% de plastificante y un 40% de agua. Esta masa se deja madurar durante varias horas a fin de alcanzar la viscosidad y propiedades mecánicas deseadas antes del proceso rotativo.

El proceso de encapsulación, que se esquematiza en la (Figura 2.16), se realiza de forma simultánea con la formación de las paredes de las cápsulas. La tecnología rotativa comienza con la formación de dos películas plastificadas denominadas cintas, elaboradas con una preparación de masa de gelatina. Cada una de las cintas se pasa por una matriz y en el punto donde ambas se unen, simultáneamente se las rellena y sella. Las cápsulas se secan (dejando un 6% de agua residual) en tambor de secado y túnel de secado a una temperatura aproximada de 20°C y 25% de humedad relativa. El secado representa un paso largo y crítico en el proceso (de 1 día a 1 semana). Las especificaciones técnicas del equipo utilizado se describen en el Apartado 5 (pág. 72).

La zona de encapsulación, que está dentro del área de producto final (A6), debe cumplir las normativas de correcta fabricación de medicamentos de uso humano recogidas en la Directiva 2003/94 CE de la Comisión Europea, de 8 de octubre de 2003.

El personal encargado de esta última etapa del proceso debe cumplir el código de buenas prácticas que se desprende de la misma Directiva antes citada.

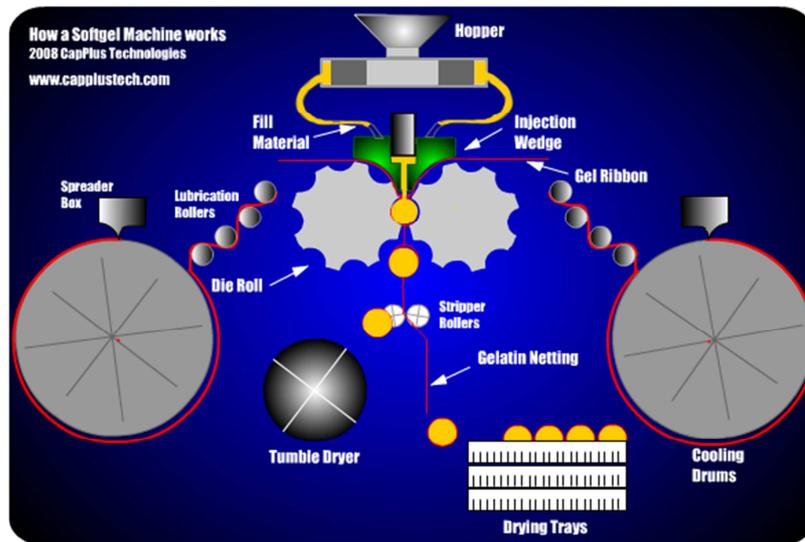


Figura 2.16. Proceso de elaboración de cápsulas de gel blanda (softgel).

El 25% del producto obtenido corresponde a 17.820 kg anuales, teniendo en cuenta que cada cápsula contiene 15 mg de oleorresina, y en cada bote se envasan 60 cápsulas, se obtiene una producción anual de nutracéutico de 1.188.000.000 de cápsulas envasadas en 19.800.000 botes.

### 2.9.3. ENVASADO Y ETIQUETADO

La última etapa del proceso es llevado a cabo por el personal cualificado para la manipulación de este tipo de producto. Para envasar las cápsulas se utilizará un sistema semi-automático de envasado y etiquetado, tal y como se muestra en la Figura 2.17. El personal introducirá los botes vacíos al principio de la cadena (a); mediante una cinta transportadora, estos botes pasan a un contador de listón (b) que se encarga de rellenar los botes con las cápsulas procedentes de la etapa de encapsulación; a continuación los botes pasan por un “cottoner” (c), que es una máquina que introduce una pequeña cantidad de algodón en el bote. Una vez los botes están llenos, pasan por un dispensador de tapones (d) para luego pasar por una taponadora (e) que fija la tapa al bote. Luego, los botes son transportados al siguiente equipo que coloca una banda protectora sobre la tapa

y el cuello (f); a continuación pasan por un túnel de calor (g) donde las bandas se contraen con fuerza sobre la tapa y el cuello de manera que forma una única pieza a prueba de manipulaciones. Por último los botes pasan por una etiquetadora (h), que coloca la etiqueta alrededor de todo el bote.

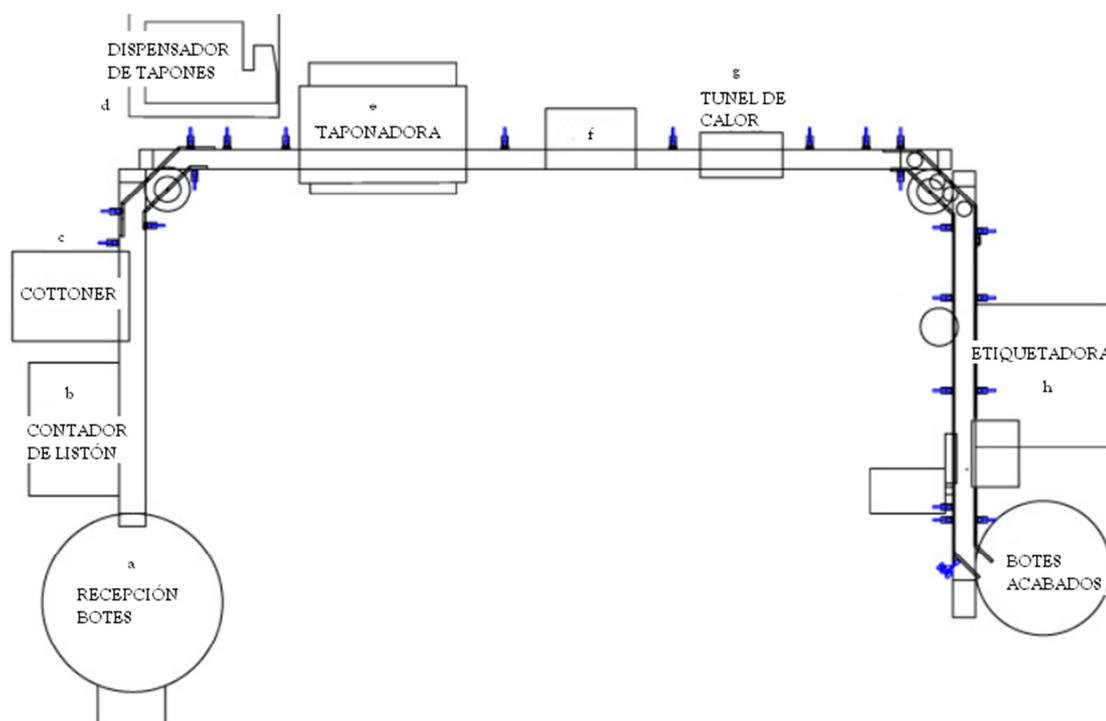


Figura 2.17. Sistema de envasado y etiquetado.

### 3. DEGRADACIÓN DEL LICOPENO

Como se ha comentado en la memoria justificativa, el licopeno es susceptible de ser degradado, ya sea por oxidación o por polimerización, en diferentes ambientes y a causa de varios factores.

Las condiciones de operación de cada unidad se han establecido, para que en la medida de lo posible, no favorecieran la degradación del licopeno, aunque ha sido inevitable en ciertos puntos del proceso asegurarlo al ciento por ciento.

Debido a la cantidad de factores que influyen en el comportamiento de la degradación de este carotenoide (temperatura, presencia de disolventes, luz, etc.), se hace

difícil comparar datos de diferentes estudios, aun así, se han rescatado de la literatura diversos valores de la constante de velocidad, como se aprecia en la Tabla 2.4. En varias fuentes bibliográficas [3, 6, 28, 44] se ha encontrado que la velocidad de degradación corresponde a un modelo cinético de pseudo-primer orden:

$$C = C_0(\exp(-kt)) \quad (2.1)$$

Siendo C, concentración de licopeno a tiempo t, (ppm);  $C_0$ , concentración de licopeno inicial, (ppm); k, constante de velocidad de reacción ( $\text{min}^{-1}$ ).

**Tabla 2.4.** Valores de la constante de degradación del licopeno.

Fuente	Constante de velocidad de degradación, k [ $\text{min}^{-1}$ ]	Temperatura T [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Condiciones del experimento
[3]	2,30E-03	100	Calentamiento y concentración de tomate sin piel y sin semillas
[3]	1,70E-03	100	Calentamiento de tomate sin piel y sin semillas
[3]	1,74E-05	25	Almacenamiento de la pulpa (fracción rica en fibra obtenida tras una centrifugación) en presencia de luz y aire
[3]	1,53E-05	25	Almacenamiento de la pulpa (fracción rica en fibra obtenida tras una centrifugación) en presencia de aire y en oscuridad
[3]	1,25E-05	25	Almacenamiento de la pulpa (fracción rica en fibra obtenida tras una centrifugación) al vacío y en oscuridad
[6]	7,50E-03	25	Calentamiento de licopeno industrial con hexano
[6]	1,24E-02	100	Calentamiento de licopeno industrial con hexano
[6]	1,65E-01	150	Calentamiento de licopeno industrial con hexano

Como puede observarse en la Tabla 2.4, las constantes cinéticas de la primera fuente bibliográfica, [3], son mucho menores que las proporcionadas por la segunda fuente

bibliográfica, [6]. Estas diferencias pueden deberse a diversos factores, tales como la presencia de ciertas macromoléculas en la pulpa de tomate, como la pectina, que puede ofrecer protección al licopeno, frente al licopeno industrial que no posee dichas macromoléculas o deberse a factores como la presencia de un disolvente orgánico provocando una mayor degradación por polimerización.

Es importante resaltar que las constantes cinéticas mostradas en la anterior tabla están evaluadas en unas condiciones más desfavorables que las del presente proyecto, por lo que cabría esperar unas pérdidas menores en el producto final, ya que en ninguna de las operaciones se llega a tal temperatura. Los puntos del proceso en los que cabe esperar una degradación notable del licopeno son los siguientes:

- Tratamiento térmico
- Centrifugación
- Extracción sólido-líquido
- Evaporación
- Stripping

## 4. PRODUCTO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El producto que se va a comercializar se hará en dos formatos, uno como una oleorresina destinada a la industria alimenticia y otro como cápsulas de gel blandas para la industria farmacéutica.

En el sector de la alimentación se encuentran dos tipos de colorantes atendiendo a su origen; los colorantes sintéticos y los colorantes naturales. Es importante destacar que la preferencia por los colorantes de origen natural por encima de los sintéticos empezó hace aproximadamente 50 años y a día de hoy sigue creciendo. Por esta razón cabe esperar una gran aceptación del producto por parte de los consumidores y con el valor añadido que la oleorresina se obtiene de unos tomates de alta calidad como son los almerienses. Además

los pigmentos no sólo aportan color, sino que son compuestos biofuncionales que determinan el estado de un alimento, es decir, una determinada intensidad de color está relacionada con la calidad biofuncional del producto. Otro dato de interés es que las empresas alimentarias están reformulando sus productos para introducir en su composición aditivos naturales.

En el sector farmacéutico existen también empresas que comercializan el licopeno como nutraceutico tanto sintético como de origen vegetal. Bien es cierto que el producto sintético tiene un precio más bajo que el natural, pero como se ha comentado más arriba la tendencia por parte de los consumidores de adquirir productos naturales está creciendo.

La comercialización de oleorresina de licopeno de tomates como nuevo ingrediente alimentario ha sido autorizada con arreglo al Reglamento (CE) nº 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo (2009/355CE). La solicitud para dicha autorización fue presentada por la empresa Ottaway & Associates Ltd, en nombre de la empresa LycoRed. Esta oleorresina extraída con disolventes orgánicos a partir de tomates maduros debe cumplir las siguientes especificaciones mostradas en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5.** Concentración esperable de la oleorresina de licopeno, [36].

Composición	%
Licopeno total	5 a 15
Licopeno trans en porcentaje del licopeno total	90 a 95
Carotenoides totales (calculados en licopeno)	6,5 a 16,5
Otros carotenoides	1,75
(fitoeno/fitoflueno/ $\beta$ caroteno)	0,5 a 0,75/0,4 a 0,65/0,2 a 0,35
Tocoferoles totales	1,5 a 3
Materia no saponificable	13 a 20
Ácidos grasos totales	60 a 75
Agua	No más del 0,5

Este mismo reglamento establece una lista de alimentos a los que se puede añadir oleorresina de licopeno, que se especifican en la Tabla 2.6. Para la obtención de esta oleorresina, la empresa LycoRed se basó en dos patentes; una es EU 844,831 y la otra es

US 5.837.311, la cual ha sido la principal referencia del presente proyecto. Las fichas técnicas de ambos productos proporcionadas por la empresa Pharmafoods (representante de LycoRed en España) se muestran en los Anexos I y II.

**Tabla 2.6.** Cantidad de licopeno permitido en diversos alimentos, [36].

Categoría de alimentos	Contenido máximo de licopeno
Bebidas a base de zumos de frutas u hortalizas (incluidos los concentrados)	2,5 mg/100 g
Bebidas adaptadas a un intenso desgaste muscular, sobre todo para los deportistas	2,5 mg/100 g
Productos alimenticios destinados a ser utilizados en dietas de bajo valor energético para reducción de peso	8 mg por sustitutivo de una comida
Cereales para el desayuno	5 mg/100 g
Grasas y salsas para ensaladas	10 mg/100 g
Sopas, salvo las de tomate	1 mg/100 g
Pan (incluidos los panecillos tostados)	3 mg/100 g
Alimentos dietéticos para usos médicos especiales	Conforme a los requisitos nutricionales particulares

#### 4.2. NORMATIVA APLICABLE

El producto que se va a comercializar debe cumplir las siguientes normas y reglamentos:

- Normativa aplicable a suplementos alimenticios: Reglamento 1170/2009/CE del Parlamento Europeo.
- Norma general de etiquetado: Real Decreto 1487/2009 de 26 de Septiembre.
- Declaraciones nutricionales y propiedades saludables en los alimentos y su modificación: Reglamento (CE) 1924/2006.
- Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la utilización de sustancias distintas de las vitaminas y los minerales en los complementos alimenticios: SEC(2008)2976 y SEC(2008)2977.

- Registro obligatorio de la empresa responsable de la comercialización de un complemento alimenticio en España en el Registro General Sanitario de Alimentos (RGSA): Artículo 10 del Real Decreto 1487/2009.

### 4.3. PRESENTACIÓN

Por un lado, el nutracéutico se distribuirá en botes de 60 cápsulas (300 mg c/u) con un extracto lipofílico de licopeno de 15 mg c/u; en cambio el colorante alimentario se venderá a granel.

### 4.4. ENVASE Y EMPAQUETADO

Formato listo para la ingestión: Se proporcionan en cápsulas blandas de una sola pieza (ver Figura 2.18).



**Figura 2.18.** Cápsulas de gel blando.

Envase primario: El envase plástico es especialmente diseñado para productos de aplicación en el campo de la salud, es utilizado en diversos sectores: farmacéutico, médico, hospitalario, cosmético y veterinario.

Puesto que las necesidades de los servicios de atención de la salud son cada vez mayores, las numerosas cualidades del envase plástico ayudan a satisfacer los requerimientos de cada sector, tales como:

- Seguridad para los usuarios (Inocuo, hermético, a prueba de roturas, etc.)
- Conservación
- Higiene

- Envase discreto y práctico
- Buena relación coste/producto
- Conveniencia

Con una amplia variedad de materiales, usos, formas, grados de rigidez o de flexibilidad, el envase plástico siempre resulta la mejor opción y contribuye a la efectividad del tratamiento. El envase plástico puede usarse en todo tipo de presentaciones farmacéuticas. El polietileno de alta densidad (PET), es el material elegido para el envase y presenta las siguientes propiedades:

- Químicamente Inerte
- Barrera al vapor de agua
- Rigidez
- Esterilización
- Resistencia al impacto
- Opacidad



**Figura 2.19.** Bote para cápsulas

Embalaje: Para su distribución el producto se presentara en cajas de cartón, las cuales contendrán 50 frascos c/u.



**Figura 2.20.** Embalaje

Envase a granel: La oleoresina bruta se envasará en una bolsa aséptica dentro de un tonel de metal con cierre de tapa (ver Figura 2.21).



**Figura 2.21.** Bidones de embalaje a granel.

#### 4.5. VIDA ÚTIL

La vida útil media de complementos alimenticios presentados en cápsulas de gel blanda suele estar entre 2 y 3 años, siempre y cuando cumpla los siguientes requisitos:

- Envases bien cerrados y protegidos de la luz, del aire y del calor.
- Almacenado en un lugar seco a una temperatura inferior a los 25°C.

#### 4.6. MARCA

Una marca toma la forma de una estructura simbólica creada por una firma para representar un conjunto de informaciones sobre un producto, servicio o grupo de productos. Esta construcción genéricamente consiste en un nombre con una tipografía determinada, un logotipo, imágenes visuales, símbolos o conceptos mentales que distinguen al producto o servicio. En la Figura 2.22 aparece el nombre y logotipo tanto de la empresa como del producto.

Los trámites burocráticos para el registro de una marca a nivel internacional, se hace a través de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). La adquisición, defensa, transmisión y mantenimiento de derechos para este año 2013, conlleva las siguientes tasas para una validez de 10 años:

- Solicitud de registro de marca de la empresa (clase 5): 120,47 €

- Solicitud de registro internacional: 35,92 €
- Solicitud marca comunitaria: 28,17 €



Figura 2.22. a) Nombre y logotipo de la empresa; b) nombre y logotipo del nutraceutico; c) etiqueta del nutraceutico. Rubén Expósito ®.

## 5. SELECCIÓN DE EQUIPOS

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Todos los equipos abajo descritos vienen definidos por un código como el siguiente utilizado en los planos 2 y 3 del Anejo V:

A305/C2

Donde la letra A junto con el primer dígito hace referencia al área donde se encuentra el equipo. Los dos dígitos que le siguen hacen referencia al número de equipo de dicha área. La siguiente letra junto con el número hace referencia al tipo de equipo y al número de equipo que le corresponde en todo el proceso.

La nomenclatura utilizada para las áreas es la siguiente:

- A1: Área de recepción de los RVI
- A2: Área de clasificación
- A3: Área de pretratamiento
- A4: Área de procesado
- A5: Área de tratamiento de residuos sólidos
- A6: Área producto final
- A7: Área de almacenamiento del producto envasado
- A8: Área de almacenamiento de hexano
- A9: Área de caldera
- A15: Área de almacenaje y suministro de nitrógeno

La nomenclatura utilizada para los equipos es la siguiente:

- A: Generador aire caliente
- B: Caldera de biomasa

BT: Banda transportadora  
C: Centrífuga decantadora  
D: Secador de bandejas  
E: Extractor  
F: Filtro rotatorio  
H: Destilador flash  
I: Stripper  
IC: Intercambiador de calor de placas y marcos  
K: Envasadora a granel  
L: Peletizadora  
LL: Chiller  
MC: Bomba centrífuga  
MT: Bomba de tornillo  
MV: Bomba de vacío  
P: Encapsuladora  
Q: Línea de envasado y/o etiquetado  
R: Centrífuga tubular  
S: Almacenamiento  
T: Trituradora  
V: Evaporador de triple efecto  
X: Depuradora  
Y: Banda transportadora  
Z: Desolventizador

Así, el código antes citado corresponde a una centrífuga que se encuentra en el área de pretratamiento y representa el equipo número 5 de dicho área. Además es la segunda centrífuga del proceso.

## 5.2. RESUMEN DE EQUIPOS

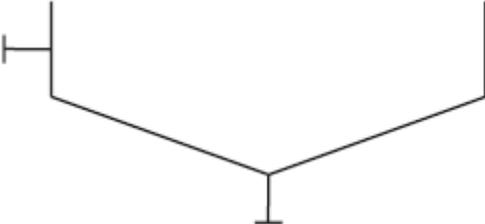
Tabla 2.7. Resumen de equipos utilizados en la planta.

Área	Nombre	Denominación	Uso
A1	A101/S1 - A102/S2	Tolvas de recepción	Almacenar los RVI en la zona de recepción
A2	A203/BT1 - A206/BT4	Banda transportadora de sólidos	Transportar los residuos en la etapa de selección
A2	A205/S3	Almacenamiento de tomate	Almacenar los frutos de tomate
A2	A206/S4	Almacenamiento residuos restantes	Almacenar el residuo de desecho
A3	A301/T1 - A302/T2	2 trituradores de martillos cortantes	Trituración de RVI
A3	A303/IC1	Intercambiador de calor de placas	Calentamiento de RVI
A3	A304/C1	Centrífuga decantadora	Separación del suero y la pulpa
A3	A305/C2	Centrífuga decantadora	Eliminación de partículas finas del suero
A3	A306/S5	Tanque almacenamiento intermedio	Almacenamiento frutos de tomate triturados
A4	A401/E1 - A404/E4	4 extractores agitados con encamisado	Extracción fracción lipídica del tomate
A4	A405/F1	Filtro rotatorio continuo	Eliminación de partículas finas del extracto
A4	A406/Z1	Desolventizador	Eliminación del disolvente de la pulpa agotada
A4	A407/S6	Tanque almacenamiento intermedio	Almacenamiento de la fase hexánica
A4	A408/V1	Evaporador de triple efecto	Evaporación del hexano
A4	A409/IC2	Condensador tipo intercambiador de placas	Condensar corrientes de hexano y vapor de agua
A4	A410/R1	Centrífuga tubular	Separar la mezcla líquida de hexano y agua
A4	A411/I1	Stripper	Purificación de la oleorresina (evaporación restos de hexano)
A4	A412/H1	Separador flash	Separación de la mezcla gaseosa de nitrógeno y hexano
A4	A413/LL1 - A414/LL2	Chiller	Enfriamiento de agua para refrigeración

(continuación)

Área	Nombre	Denominación	Uso
A4	A415/MV1 - A418/MV4	Bomba de vacío	Aplicar vacío
A5	A501/T3	Triturador	Triturar parte de los residuos
A5	A502/BT5 - A503/BT6	Banda transportadora de sólidos	Transportar los sólidos a peletización
A5	A504/D1	Secador de bandejas	Secado de los residuos sólidos
A5	A505/L1	Peletizadora	Formación de pellets de biomasa
A6	A601/P1	Encapsuladora	Encapsular la oleoresina en cápsulas de gel blando
A6	A602/Q1	Línea de envasado y etiquetado	Etiquetar los botes para comercializar
A6	A603/Q2	Línea de envasado a granel	Envasar la oleoresina a granel en bidones asépticos
A8	A801/S7 - A802/S11	Tanque de almacenamiento de hexano	Almacenar y suministrar hexano
A9	A901/B1 - A902/B2	Caldera de biomasa	Generación de energía térmica partir de pellets
A9	A903/S9 - A904/S10	Tanque de almacenaje con sinfín para pellets	Almacenar y suministrar pellets a la caldera
A15	A1501/S8	Tanque de almacenamiento de nitrógeno	Almacenar y suministrar nitrógeno
-	X1	Depuradora de oxidación total	Depuración de las aguas residuales del proceso
-	MC	Bomba centrífuga	Bombear líquidos, gases y vapores
-	MT	Bomba de tornillo	Bombear el material más viscoso

## 5.3. FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p> <p><b>TOLVAS DE RECEPCIÓN</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A101/S1 - A102/S2</p>	<p><b>EMPRESA</b> López Palomo</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Tolvas acumuladoras</p>
<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 		
<p><b>EQUIPO</b></p> 		
<p><b>SERVICIO:</b> Almacenamiento y suministro de sólidos</p>		

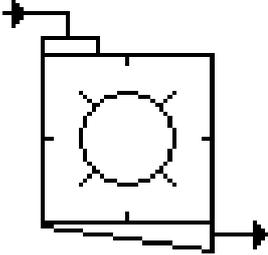
 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>BANDA TRANSPORTADORA DE SÓLIDOS</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A203/BT1 - A206/BT4 A502/BT5 - A503/BT6</p>	<p><b>EMPRESA</b> López Palomo</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Transportadora de banda sintética</p>
<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 		
<p><b>EQUIPO</b></p> 		
<p><b>SERVICIO:</b> Transportar los residuos vegetales en el área de selección</p>		

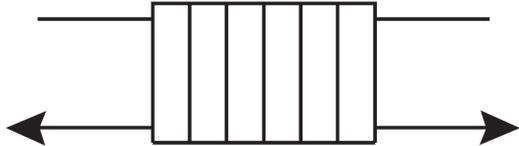
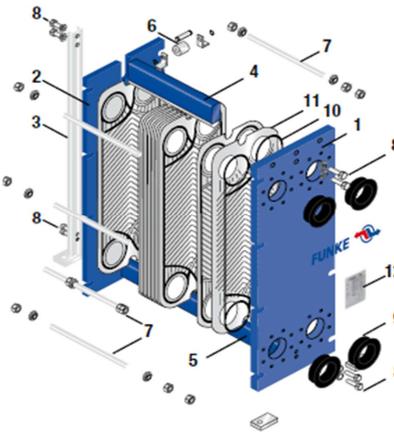


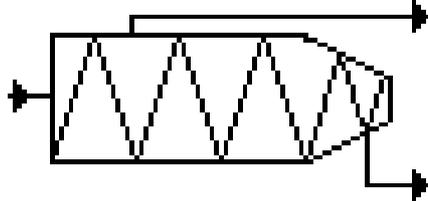
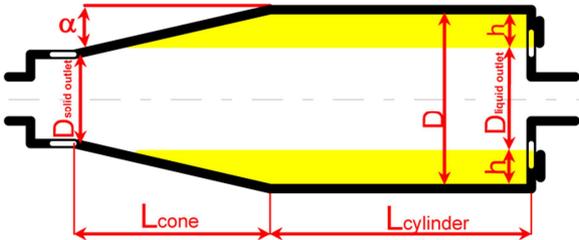
## UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE  
OLEORRESINA DE LICOPENO

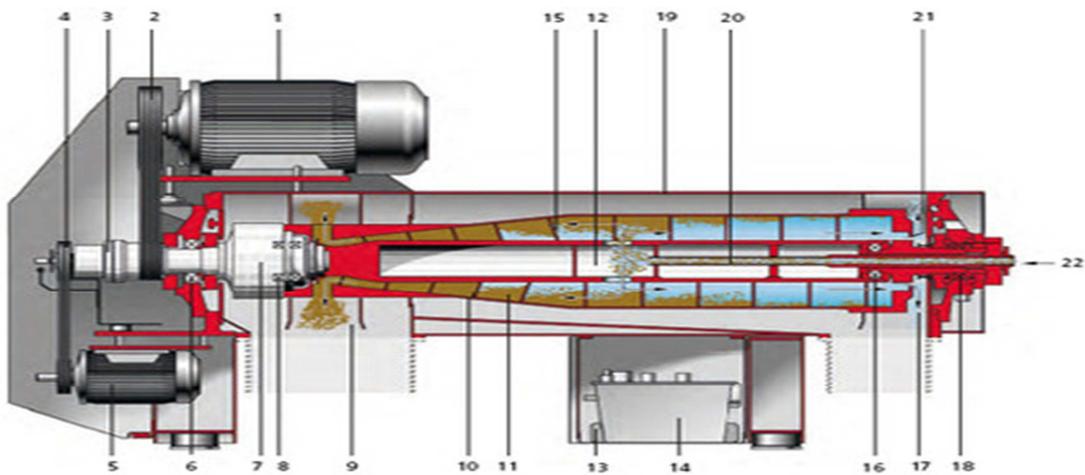
## MOLINO DE MARTILLO CORTANTES

NOMBRE DEL EQUIPO A301/T1, A302/T2, A501/T3	EMPRESA Munson Machinery	NOMBRE COMERCIAL Hammer Mills
<p align="center"><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Producción: 4 a 10 t/h            Potencia total: 30 a 60 HP (22 - 45 kW)            Número de rotores del molino: 1            Revoluciones: 3600 - 17.000 fpm            Mallas perforadas: hasta 20 -300 mesh            Materiales de construcción: Placa de acero pesado, fabricación soldada y atornillada            Tolvas de distintos tamaños y formas  <u>Dimensiones del equipo completo</u>            Largo: 1,8 m            Ancho: 1,2 m            Alto: 2 m</p>		<p align="center"><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 
<p align="center"><b>EQUIPO</b></p> 		
<p align="center"><b>SERVICIO:</b> Reducir tamaño de los frutos de tomate</p>		

 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>INTERCAMBIADOR DE PLACAS</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A303/IC1</p>	<p><b>EMPRESA</b> Funke</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Serie FP</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Intercambiador de placas tipo atornillado                  Placas: Acero Inoxidable 1.4301/AISI 316L                  Dimensiones equipo:                  Alto: 1,332 m                  Largo: 0,87 m                  Ancho: 0,48 m                  Espesor de placa: 0,0031 m                  Número de placas: 145                  Rango de temperatura: -20 - 195°C                  Conexiones: DN 100</p>		<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 
<p><b>EQUIPO</b></p>		
<p><b>Partes del intercambiador</b></p>  <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fixed plate</li> <li>2. Movable plate</li> <li>3. Support column</li> <li>4. Carrying bar</li> <li>5. Lower plate guiding bar</li> <li>6. Carrier roller</li> <li>7. Tightening bolt and nuts</li> <li>8. Fixing bolts</li> <li>9. Rubber/metal liners</li> <li>10. Gaskets</li> <li>11. Heat transfer plates</li> <li>12. Name plate</li> </ol>		
<p><b>Geometría de paso</b></p>  <p style="text-align: center;">Weld seams</p>		
<p><b>SERVICIO:</b> Calentar los residuos triturados</p>		

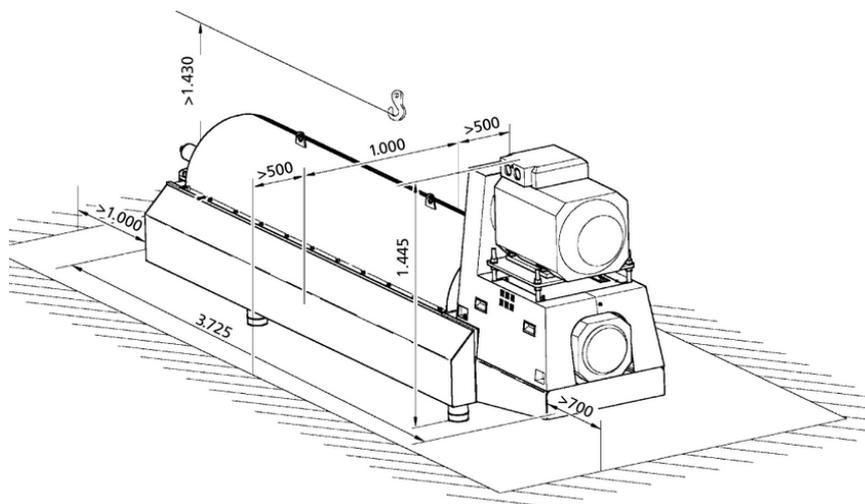
 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>CENTRÍFUGA DECANTADORA</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A304/C1, A305/C2	<b>EMPRESA</b> Westfalia	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> GCF 405-01/71-35/36
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>Capacidad: <math>50 \left(\frac{m^3}{h}\right)</math></p> <p>Fuerza G máxima: 5590</p> <p>Velocidad máxima: <math>5000 \left(\frac{rev}{min}\right)</math></p> <p>Velocidad de operación: <math>4500 \left(\frac{rev}{min}\right)</math></p> <p><u>Motor:</u></p> <p>Potencia: 30 - 75 kW</p> <p>Tipo: IM B3</p> <p>Protección: IP 55</p> <p>Motor secundario: 11 kW</p> <p><u>Dimensiones equipo:</u></p> <p>Alto: 1,43 m</p> <p>Largo: 5,425 m</p> <p>Ancho: 2,0 m</p> <p><u>Dimensiones cesta:</u></p> <p>Diámetro: 0,4 m</p> <p>Longitud: 1,6 m</p> <p>Ángulo del cono: 8°</p> <p>Diámetro salida del líquido: 0,35m</p> <p>Conexiones: DIN 11851</p> <p>Material: Acero inoxidable AISI 316</p> <p>Peso: 2550 kg</p>		
<b>EQUIPO</b>		
<u>Cesta</u>		
		

Partes del equipo



- |                   |                       |   |
|-------------------|-----------------------|---|
| 1 Drive motor     | 9 Solids discharge    | 17 Liquid discharge                                 |
| 2 Bowl drive      | 10 Bowl               | 18 Bowl bearing                                     |
| 3 Secondary gear  | 11 Separation chamber | 19 Housing  |
| 4 Scroll drive    | 12 Distributor        | 20 Feed tube  |
| 5 Secondary motor | 13 Oil cooler         | 21 Regulating plates                                |
| 6 Bowl bearing    | 14 Oil unit           | 22 Feed   |
| 7 Primary gear    | 15 Scroll             | 23 Centripetal pump                                 |
| 8 Scroll bearing  | 16 Scroll bearing     | 24 Discharge of the clarified liquid under pressure |

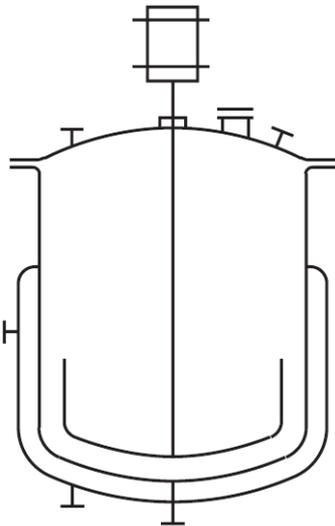
Dimensiones del equipo

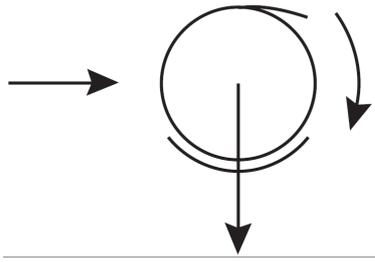
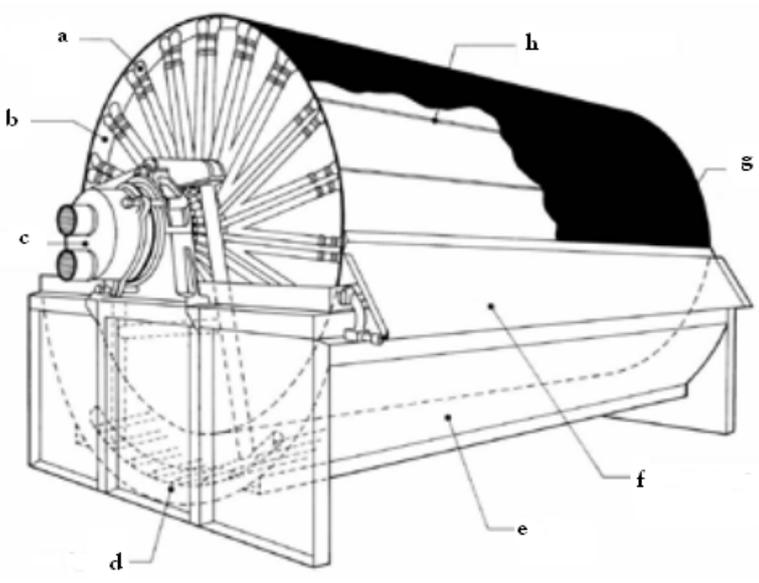


**SERVICIO:**

A305/C1: Separación del suero y la pulpa

A306/C2: Eliminación de pequeñas partículas retenidas en el suero

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>EXTRACTOR CON AGITACIÓN</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A401/E1 , A402/E2 A403/E3 , A404/E4	<b>EMPRESA</b> Bachiller	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Reactor agitado
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>Dimensiones del extractor 1:  Alto: 4,557 m  Diámetro: 1,369 m  Potencia agitación: 30,32 kW  Volumen total: 5,26 m<sup>3</sup>  4 soportes de apoyo IPN</p> <p>Dimensiones del extractor 2:  Alto: 5,225 m  Diámetro: 1,55 m  Potencia agitación: 30,32 kW  Volumen total: 7,24 m<sup>3</sup>  4 soportes de apoyo IPN</p> <p>Material recipiente: SS-304 (18/8)  Material soportes: Acero al carbono A42</p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<b>SERVICIO:</b> Extracción de la resina aceitosa con hexano		

 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>FILTRO CONTINUO TAMBOR ROTATORIO</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A405/F1</p>	<p><b>EMPRESA</b> FLSmith</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Rotary Drum Filter</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Potencia: 3-11 kW                  Capacidad: 1-200 m<sup>3</sup>/h                  Tamaños de tambor: 0,9-4,2 m                  Área de filtración: 0,5 - 140 m<sup>2</sup>                  Material: acero dulce, caucho revestido de acero                  Temperatura de op.: -40°C - 85°C</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<p><b>EQUIPO</b></p>		
		
<p>a, conducto de filtración; b, tambor; c, válvula de vacío; d, agitador; e, tonel; f, descarga de torta; g, filtro de torta</p>		
<p><b>SERVICIO:</b> Eliminar partículas finas remanentes en el extracto</p>		



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

DESOLVENTIZADOR

NOMBRE DEL EQUIPO

A406/Z1

EMPRESA

Crown Iron Works Company

NOMBRE COMERCIAL

Crown/Schumacher Desolventizer-toaster

DATOS TÉCNICOS

Capacidad máxima: hasta 250 t/h

Dimensiones equipo:

Diámetro: 2 - 6 m

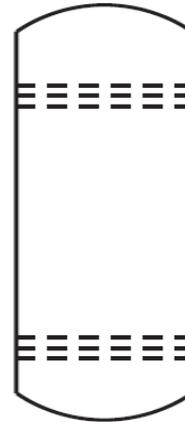
Altura: 4 - 14 m

Número de pisos: hasta 13

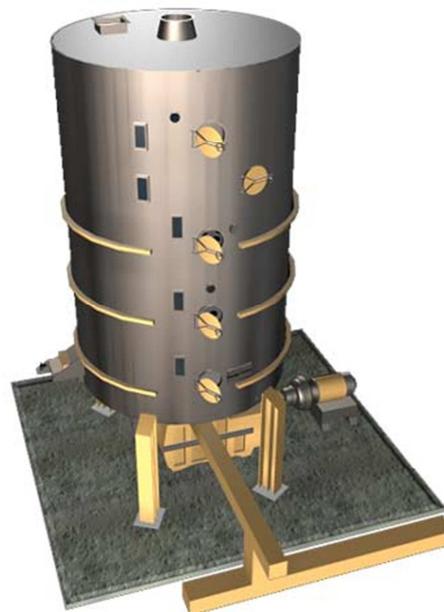
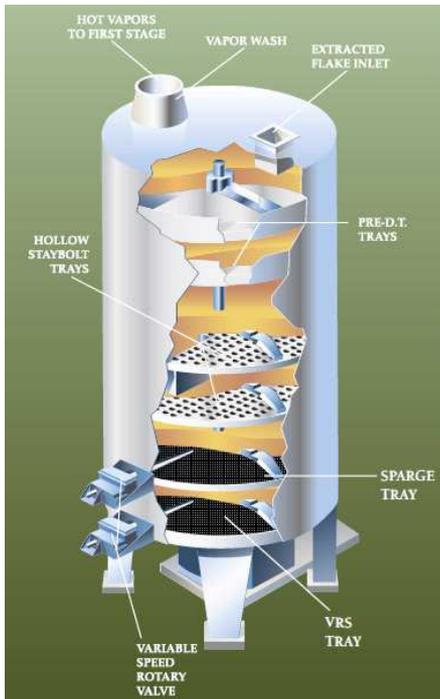
Tiempo de residencia: 5 - 60 minutos

Material: Acero inoxidable 316

SIMBOLOGÍA

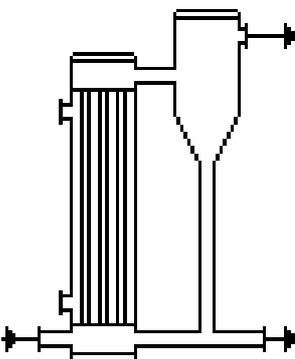
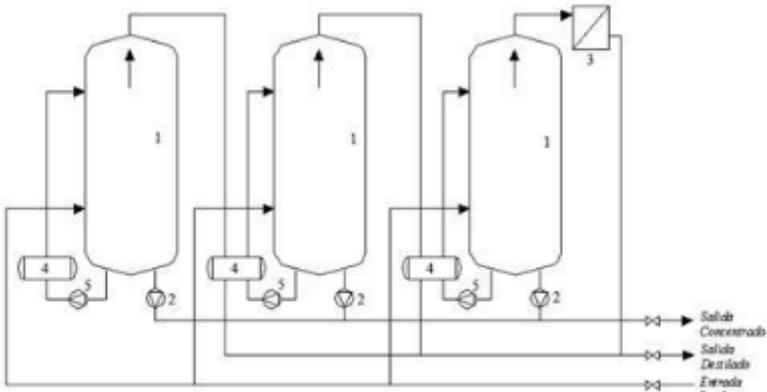


EQUIPO



SERVICIO: Eliminación del disolvente remanente en la pasta agotada

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>TANQUE ALMACENAMIENTO DEL EXTRACTO</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A407/S6	<b>EMPRESA</b> Jhen Ten	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Tanque de almacenaje
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>           Altura del tanque: 3,625 m            Diámetro: 2,89            Volumen: 20,56 m<sup>3</sup>            Material: acero al carbono SA-515 grado 60            provisto de una resina epoxi en su interior         </p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<b>SERVICIO:</b> Almacenar la fase hexánica procedente de la extracción y suministrar la cantidad pertinente a la unidad de desolventización.		

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>EVAPORADOR DE TRIPLE EFECTO</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A408/V1	<b>EMPRESA</b> Condorchem Envitech	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Envidest MFE. Modelo 150.000
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>           Capacidad diaria: 150.000 l/d            Capacidad horaria: 6.250 l/h            Consumo de energía: 1.250.000 kCal/h            Potencia instalada: 75 kW            Dimensiones del equipo:            Alto: 6,5 m            Largo: 10 m            Ancho: 4 m            Material de construcción: AISI 316 L         </p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<p>           1. Cámara de ebullición    4. Intercambiador de calor            2. Bomba concentrado    5. Bomba recirculación            3. Condensación         </p>		
<b>SERVICIO:</b> Evaporación del hexano para concentrar la oleorresina		



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

CONDENSADOR

NOMBRE DEL EQUIPO A409/IC2	EMPRESA Alfa Laval	NOMBRE COMERCIAL Alfa Condplate condenser
-------------------------------	-----------------------	--

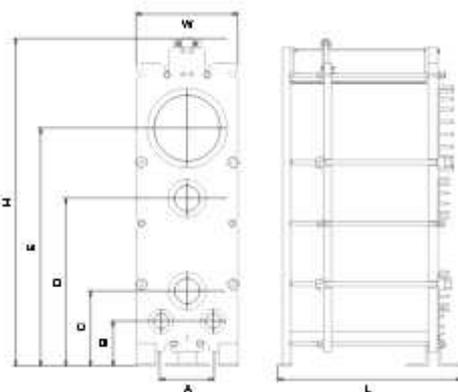
DATOS TÉCNICOS

Intercambiador de placas tipo atornillado  
 Placas: Acero inoxidable AISI 316L  
 Dimensiones del equipo:  
 Alto: 3,101 m  
 Largo: 2,3 m  
 Ancho: 1,37 m  
 Espesor de placa: 0,0035 m  
 Número de placas: 5

SIMBOLOGÍA



EQUIPO



	H	W	A	B	C	D	E	L
AlfaCond 400	2217	617	270	236	457	1215	1658	1153-3253
AlfaCond 600	2870	888	455	303	657	1470	2085	1505-4505
AlfaCond 800	3101	1132	686	386	627	1526	2303	2220-5820

**SERVICIO:** Condensar las corrientes de hexano vapor.



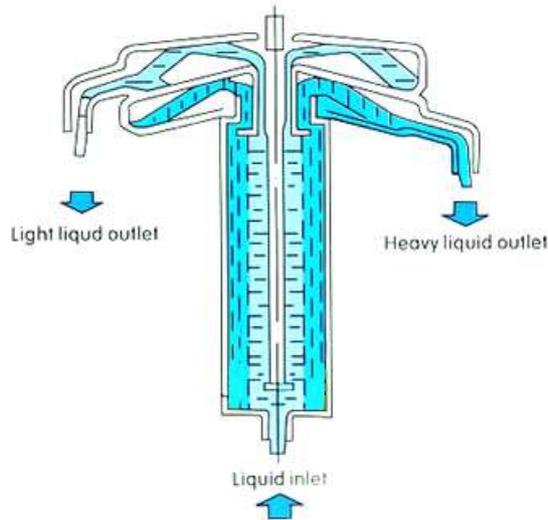
UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

CENTRÍFUGA TUBULAR

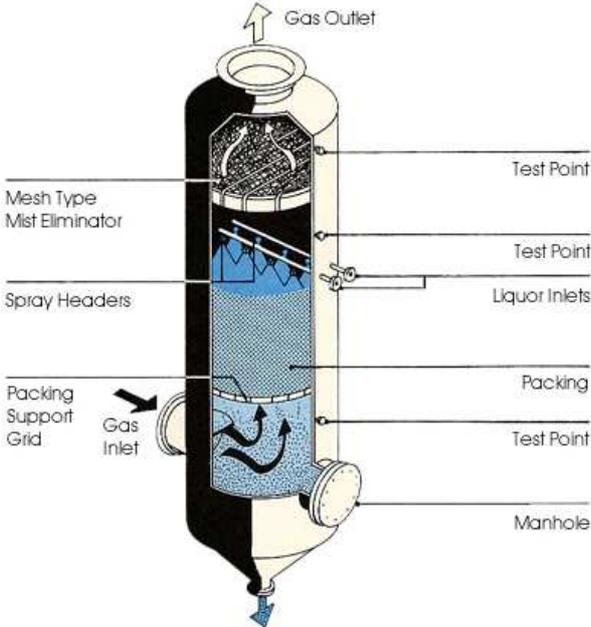
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A410/R1	<b>EMPRESA</b> Huading Separator	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> GF 150 Tubular Centrifuge
<b>DATOS TÉCNICOS</b>  Capacidad: 3000 kg/h Motor: 3kW Volumen: 10 l Velocidad: 15.000 rev/min Peso: 550 kg		<b>SIMBOLOGÍA</b>  

EQUIPO



	Transfer drum					Nozzle diameter (mm)	Capacity (Through water) (kg/h)	Motor Power (kw)	Weight (kg)
	Diameter (mm)	Height (mm)	Volume (L)	Speed (r/min)	Separation factor				
GF45	45	280	0.45	50000	60000	2, 3	150	0.75	90
GF75	75	450	2.7	21000	22500	4, 6	500	1.5	300
GF105	105	730	6	19000	21000	6, 8	1500	2.2	480
GF125	125	730	7.4	16000	18000	5, 8, 9	2000	3.0	520
GF137	137	730	9	15000	17000	6, 8, 10	3000	3.0	550
GF150	142	730	10	15000	17000	8, 10, 12	3000	3.0	550

**SERVICIO:** Separar la fase hexánica de la fase acuosa.

 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>STRIPPER</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A411/11</p>	<p><b>EMPRESA</b> Fisher-Klosterman</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Packed Bed Scrubber</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Capacidad: hasta 85.000 m<sup>3</sup>/h</p> <p>Materiales de construcción: Fibra de vidrio con refuerzo de plástico (FRP) Acero al carbono PVC o CPVC Aceros inoxidables 304 o 316 Aleaciones como C-276 Acero inoxidable dúplex</p> <p>Equipo de monitorización completo.</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<p><b>EQUIPO</b></p> 		
<p><b>SERVICIO:</b> Purificación de la oleoresina</p>		



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

SEPARADOR FLASH

NOMBRE DEL EQUIPO  
A412/H1

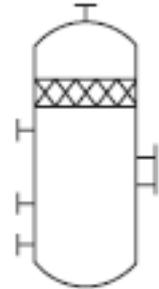
EMPRESA  
Wessels company

NOMBRE COMERCIAL  
FTAV Series

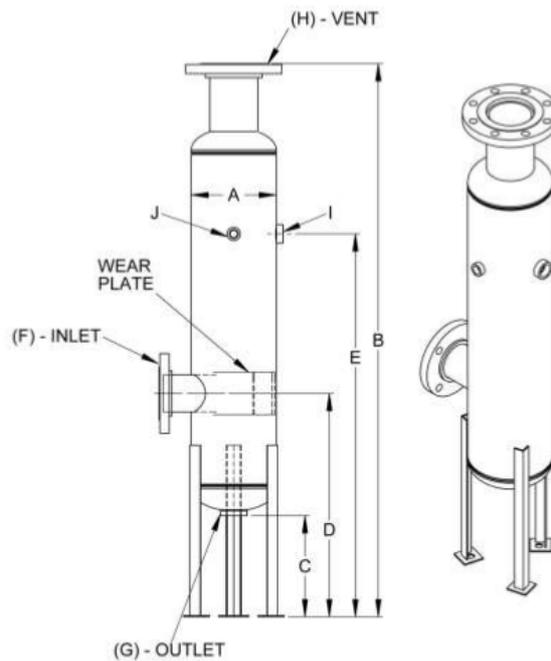
DATOS TÉCNICOS

Volumen: 0,1223 m<sup>3</sup>  
 Diámetro: 0,3048  
 Altura: 1,676  
 Material de construcción: Acero al carbono

SIMBOLOGÍA

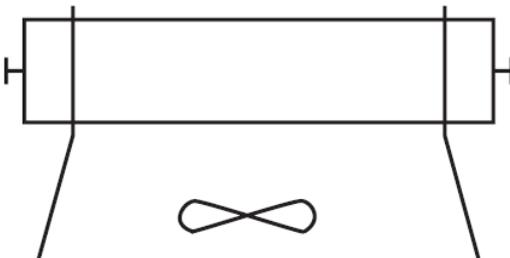
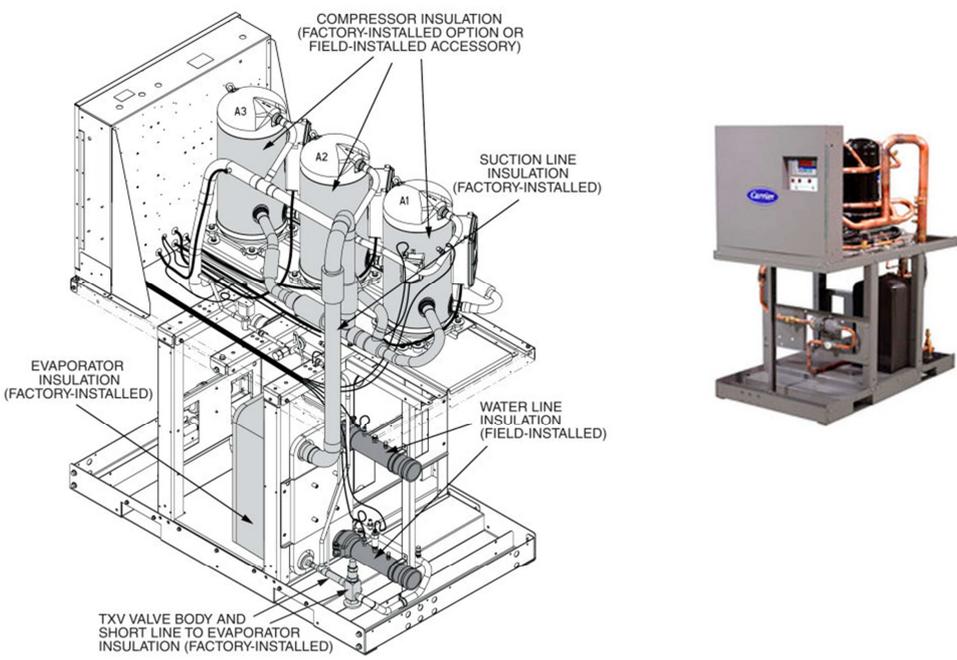


EQUIPO



Model Number	Dimensions in Inches										Approx. Ship Wt. (lbs)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
FTA-6V	6	50	9 1/2	21	36	2	1 1/2	2 1/2	3/4	1/2	82
FTA-8V	8	52		23	40	3		4	1		64
FTA-12V	12	55 1/2		26	48	4	2	6	1 1/2		104
FTA-16V	16	63 1/2		26	48	6					170

**SERVICIO:** Condensar el hexano que porta la corriente de nitrógeno gaseoso

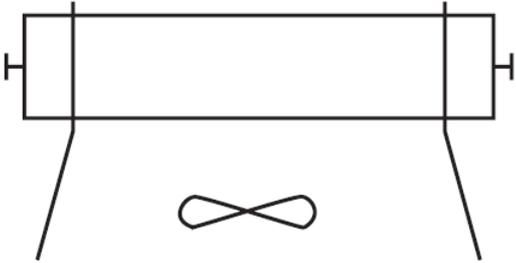
 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>CHILLER</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A413/LL1</p>	<p><b>EMPRESA</b> Carrier</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> AQUASNAP®</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Potencia: 15 to 45 Nominal Tons (53 to 158 kW)</p> <p>Chiller refrigerado por aire tipo tornillo</p> <p>Accesorio: Tanque de almacenamiento de agua de 20 m<sup>3</sup></p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<p><b>EQUIPO</b></p>		
		
<p><b>SERVICIO:</b> Sistema de enfriamiento de las corrientes de refrigeración</p>		



## UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

## DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO

## CHILLER

<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A414/LL2	<b>EMPRESA</b> Carrier	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> 23XRV EVERGREEN®
<b>DATOS TÉCNICOS</b>  Potencia: 300 to 550 Nominal Tons (1055 to 1934 kW)  Chiller refrigerado por aire tipo tornillo  Accesorio: Tanque de almacenamiento de agua de 0,1 m <sup>3</sup>	<b>SIMBOLOGÍA</b>  	

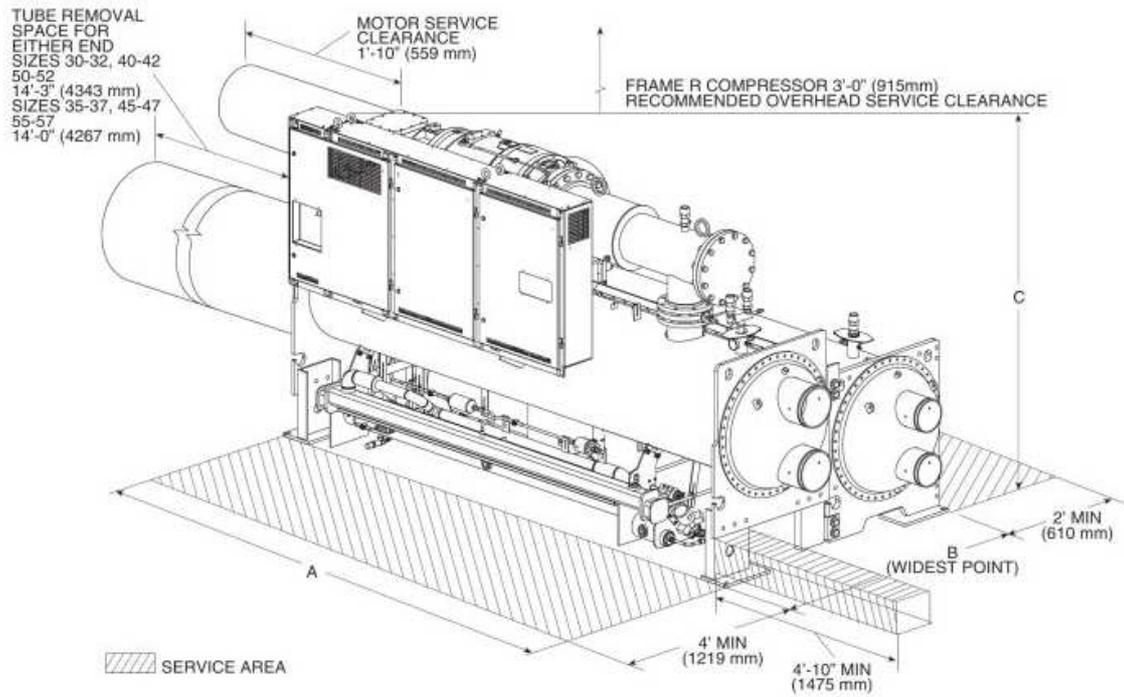
## EQUIPO



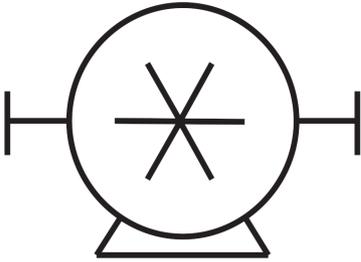
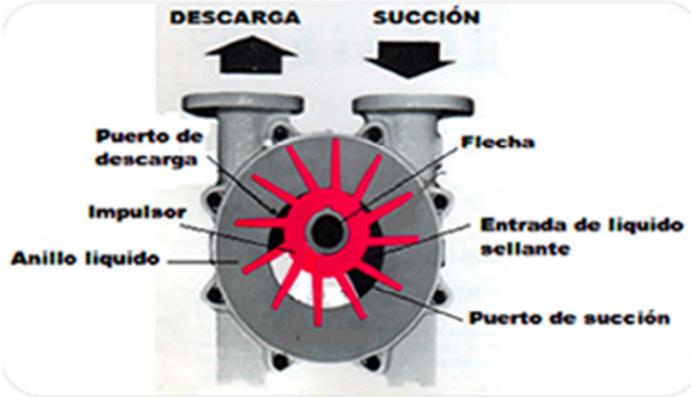
HEAT EXCHANGER SIZE	A (Length, with Nozzle-in-Head Waterbox)					
	1 Pass		2-Pass*		3 Pass	
	ft-in.	mm	ft-in.	mm	ft-in.	mm
30 to 32	14- 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	4350	13- 8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	4172	14- 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	4350
35 to 37	15-11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4870	15- 4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4693	15-11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4870
40 to 42	14- 9	4496	14- 3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	4347	14- 6	4420
45 to 47	16- 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5017	15-11 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	4867	16- 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4940
50 to 52	14-10	4521	14- 4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4382	14- 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4432
55 to 57	16- 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5042	16- 1	4902	16- 3	4953

Esquema del equipo

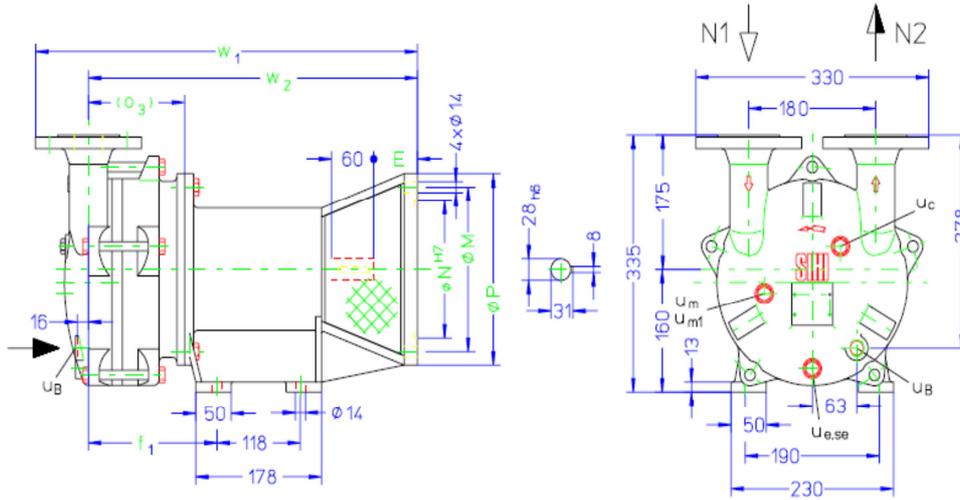
**23XRV DIMENSIONS  
(UNIT WITH R COMPRESSOR SHOWN)**



**SERVICIO:** Sistema de enfriamiento de las corrientes de refrigeración

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO</b>		
<b>BOMBA DE VACIO</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A415/MV1, A416/MV2 A417/MV3, A418/MV4	<b>EMPRESA</b> SIHI Group	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> LEM 125
<p style="text-align: center;"><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Tipo: Bomba de desplazamiento de una etapa  Rango de presión: 33 a 1013 mbar  Flujo volumétrico de succión: 32 a 170 m<sup>3</sup>/h  Revoluciones por minuto: 1750 (60Hz)  Potencia: 4,8 kW (6,44 HP)  Succión y descarga: 1.5”  Líquido sellante: 0,39 m<sup>3</sup>/h  Peso: 101 kg</p>	<p style="text-align: center;"><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<b>EQUIPO</b>		
		
		

**Esquema y dimensiones del equipo**



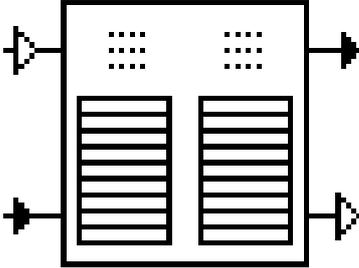
- N 1 = gas inlet DN 40
- N 2 = gas outlet DN 40
- U<sub>A</sub> = connection for liquid drain G 1/4
- U<sub>B</sub> = connection for service liquid G 1/2
- U<sub>C</sub> = connection for protection against cavitation G 3/8
- U<sub>E</sub> = drain connection G 3/8
- U<sub>se</sub> = connection for dirt drain G 3/8
- U<sub>t</sub> = connection for vent cock G 1/2
- U<sub>m</sub> = connection for pressure gauge G 3/8
- U<sub>m1</sub> = connection for drain valve G 3/8
- U<sub>t</sub> = connection for thermometer G 1/2

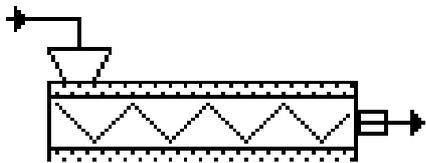
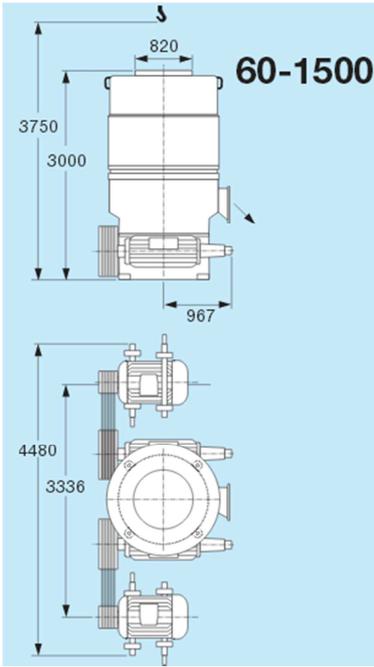
	electric motor 50 Hz				f <sub>1</sub>	o <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	E	M	N	P	weight abt. kg	
	size	IP 55	kW											LEL	+ integr. pre-arranged separator
LEL 90	100 L	2,2	2,5		182	136	541	466	745					60	72
I FI 125	100 L	3,0	-		191	145	550	475	754	62	215	180	250	63	75
	112 M	-	3,6											67	79
I FI 150	112 M	4,0	-		208	162	567	492	771	82	265	230	300	67	79
	132 S	-	5,0											67	79

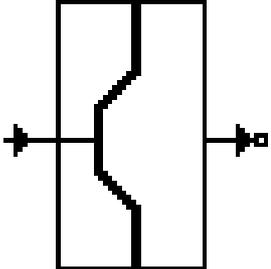
other motors on request  
flange connections see page 10

**SERVICIO:**

A904/MV1, A905/MV2, A906/MV3: Aplicar vacío cada efecto del evaporador  
A907/MV4: Aplicar vacío al stripper

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>SECADOR DE BANDEJAS</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A504/D1	<b>EMPRESA</b> Jas Enterprises	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> JAS-12
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>           Área de evaporación: 3,96 m<sup>2</sup>            Consumo de vapor: 40 - 75 kg/h            Potencia de calefacción eléctrica: 60 kW            (140°C, P= 3 - 7 atm)            Potencia de ventilador: 0,37 x 4 kW            Tolerancia de temperatura dentro del horno: ±2°C            Dimensiones exteriores:            Alto: 2,125m            Largo: 4,2 m            Ancho: 2,1 m            Dispone de 4 carritos porta bandejas            Número de bandejas: 192         </p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<b>SERVICIO:</b> Eliminación del agua de los residuos sólidos		

 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>PELETIZADORA</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A505/L1</p>	<p><b>EMPRESA</b> AmandusKhal</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> 60-1500</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Capacidad producción: hasta 8 t/h                  Diámetro de matriz: 1500 mm                  Diámetro ancho rodillo: 450/242 mm                  Número de rodillos: 4-5                  Motor de acondicionamiento: 2x200 kW                  Velocidad de rodillos: 2,67 m/s                  Superficie perforada de matriz: 8769 cm<sup>2</sup>                  Peso total de máquina: 12.800 kg</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<p><b>EQUIPO</b></p>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>		
<p><b>SERVICIO:</b> Transformación de los residuos sólidos en pellets</p>		

		
<b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>ENCAPSULADORA</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A601/P1	<b>EMPRESA</b> Capplus Technologies	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Serie R-1
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>Capacidad producción total: hasta 230.400 cápsulas/h</p> <p>Velocidad máxima de operación: 10,5 rpm</p> <p>PLC con pantalla táctil</p> <p>Bomba de inyección de alta velocidad</p> <p>Rodillos: 7,25" longitud y 4" diámetro (R-1)</p> <p>Cuña de inyección de latón</p> <p>Sistema de descarga y de transporte de cápsulas</p> <p>Sistema de secado incorporado</p> <p>Tanque de almacenamiento del gel</p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<b>SERVICIO:</b> Formar cápsulas de gel blanda		



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO

LÍNEA COMPLETA DE ENVASADO Y ETIQUETADO

NOMBRE DEL EQUIPO  
A602/Q1

EMPRESA  
CapPlus Technologies

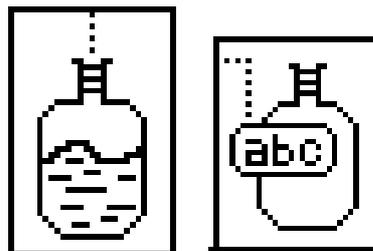
NOMBRE COMERCIAL  
Packaging Line

DATOS TÉCNICOS

Resumen de equipos que constan la línea:

- Contador de cápsulas
- Dispensador de algodón
- Taponadora
- Etiquetadora

SIMBOLOGÍA



EQUIPO

Contador de cápsulas



Model	<b>RC120.24.6</b>	
Number of Channels	24	
Number of Filling Drops	6	
Max Output (pieces/Min)	12,000	
Max Output (CPM)	250	
Power	Standard: 220V - 60Hz - 3 Ph	
	1 KW	
Compressed Air	6 - 7 Kg/Cm <sup>2</sup> , 120 L/Min.	
Dimensions (mm)	W	3,000
	D	1,280
	H	1,990
Est. Weight (kg)	950	

Dispensador de algodón



Taponadora



Etiquetadora



SERVICIO: Envasar las cápsulas y etiquetar los botes.



## UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE  
OLEORRESINA DE LICOPENO

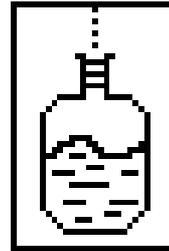
## ENVASADORA A GRANEL

NOMBRE DEL EQUIPO A603/Q2	EMPRESA HRS heat exchangers	NOMBRE COMERCIAL HRS Aseptic Filler 200 2H
------------------------------	--------------------------------	---

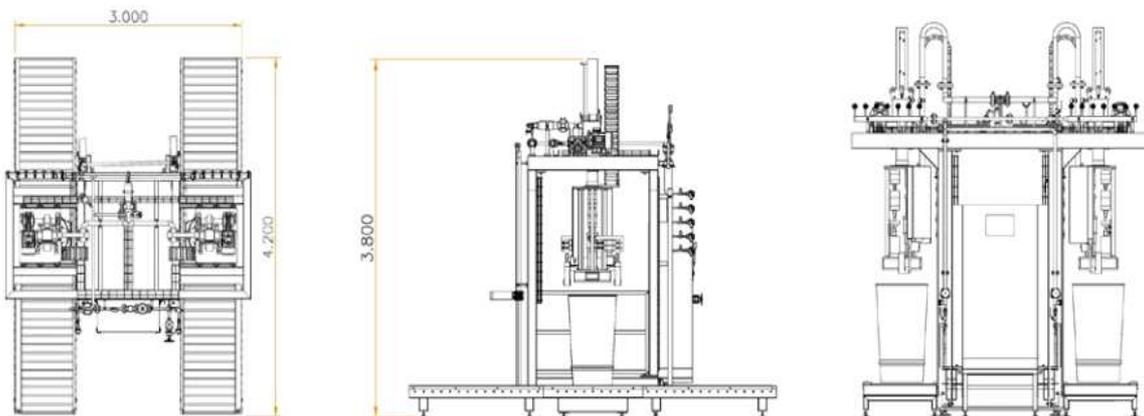
## DATOS TÉCNICOS

Producción hasta 60 bolsas /h  
Bidones con bolsas asépticas desde 10 a 1000 l.  
Dos cabezas llenadoras  
Llenado automático controlado por PLC

## SIMBOLOGÍA



## EQUIPO



HRS Aseptic filler 200		HRS AF-200-2H
Overall dimensions	Length (l)	4.200 mm
	Width (w)	3.000 mm
	Height (h)	3.800 mm
Consumptions	Installed electric power	5 kW
	Water	1 m <sup>3</sup> /h
	Dry saturated steam 4 bar(a)	150 kg/h
	Compressed air 8 bar(a)	100 NI/min
Net weight		3.500 kg

**SERVICIO:** Envasar la oleorresina en bidones asépticos

			<b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>					
<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HEXANO</b>					
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A801/S7 - A802/S11		<b>EMPRESA</b> Jhen Ten		<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Tanque de almacenaje	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>			<b>SIMBOLOGÍA</b>		
<p>           Altura del tanque: 27,075 m            Diámetro: 0,96 m            Volumen: 19,09 m<sup>3</sup>            Material: acero al carbono SA-515 grado 60         </p>					
<b>EQUIPO</b>					
					
<b>SERVICIO:</b> Almacenamiento y suministro de hexano					



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO

CALDERA DE BIOMASA

**NOMBRE DEL EQUIPO**  
A901/B1

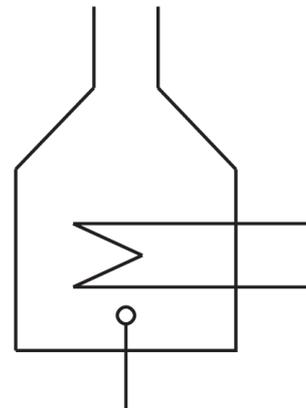
**EMPRESA**  
Unión Calor

**NOMBRE COMERCIAL**  
Caldera Gilles HPKI-R 1200

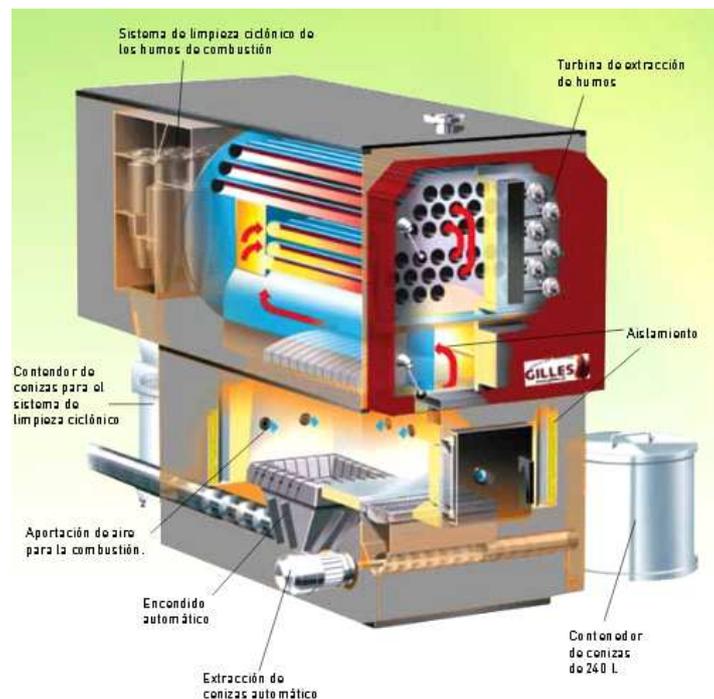
**DATOS TÉCNICOS**

Potencia: 1.200 kW  
 Coeficiente de caudal (Kv): 283 m<sup>3</sup>/h  
 Dimensiones:  
 Longitud: 5,59 m  
 Anchura: 1,8 m  
 Altura: 3,5 m  
 Conexión hidráulica: DN 125  
 Peso: 12 toneladas  
 Accesorio: Tanque de almacenamiento de agua de 65 m<sup>3</sup>  
 Monitorización completa por PLC (“SIGMA-TEC”) con software “FireView” desarrollado por Gilles.  
 Emisiones de gases cumplen legislación actual  
 Limpieza automática con recogida de cenizas  
 Rueda celular que impide retroceso de llama

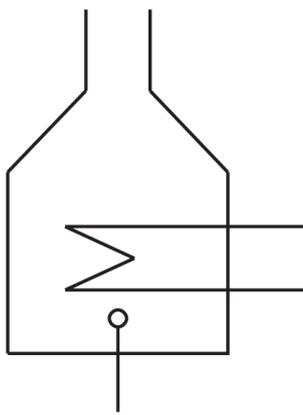
**SIMBOLOGÍA**

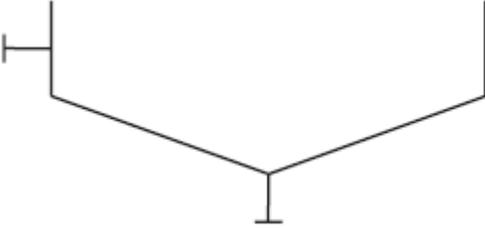


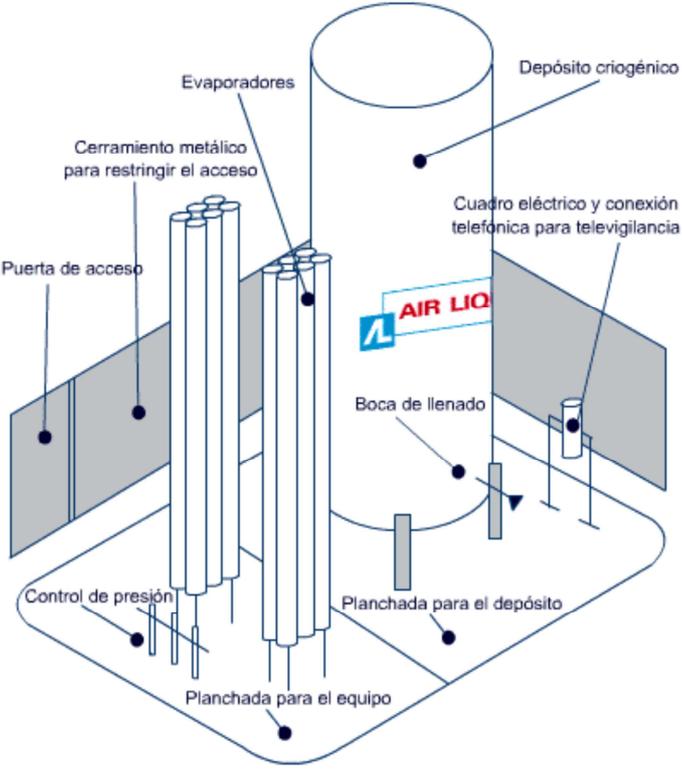
**EQUIPO**

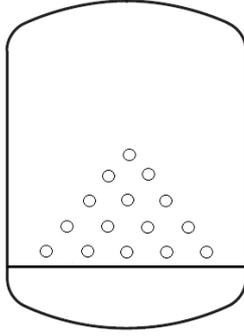


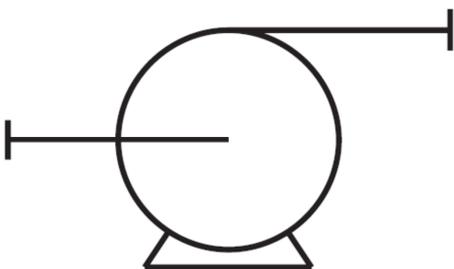
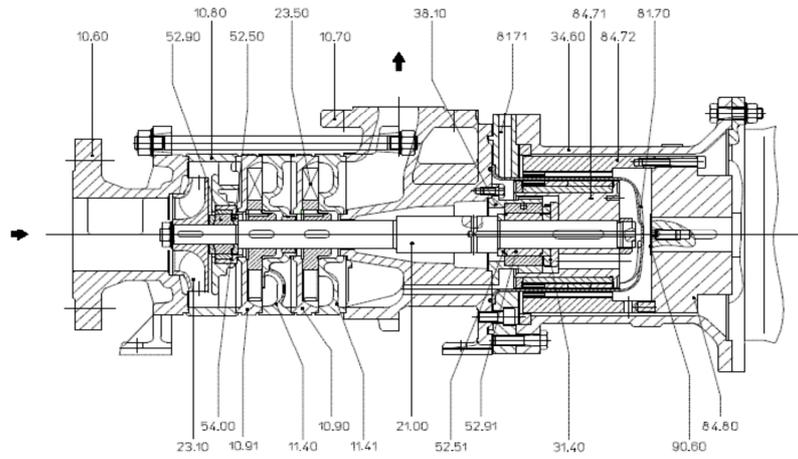
**SERVICIO:** Generar energía calorífica a partir de pellets

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b>		
<b>CALDERA DE BIOMASA</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A902/B2	<b>EMPRESA</b> Fontalcón	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Línea Missouri
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		<b>SIMBOLOGÍA</b>
<p>           Potencia de 150 kW            Potencia térmica nominal: 138.000 kcal/h            Potencia térmica máxima: 150.000 kcal/h            Presión máxima de funcionamiento: 3 bar            Caudal modulable de consumo de gas: 15 - 40 kg/h            Presión modulable de alimentación de aire para combustión: 300 - 1000 hPa            Accesorios:            Regulador de temperatura de la caldera            Termostato para límite máximo de temperatura en caldera            Termostato para temperatura mínima            Cuadro de control de alimentación de combustible            Dimensiones:            Alto: 1,4 m            Largo: 1,6 m            Fondo: 1,5 m            Peso (en vacío): 750 kg            Accesorio: Tanque de almacenamiento de agua de 1 m<sup>3</sup> </p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<b>SERVICIO:</b> Generar energía calorífica a partir de pellets		

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p> <p><b>SILO DE ALMACENAJE CON SINFIN</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A903/S9 - A904/S10</p>	<p><b>EMPRESA</b> Fontalcón</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Silo de almacenaje con sinfín</p>
<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 		
<p><b>EQUIPO</b></p> 		
<p><b>SERVICIO:</b> Almacenamiento y suministro de pellets.</p>		

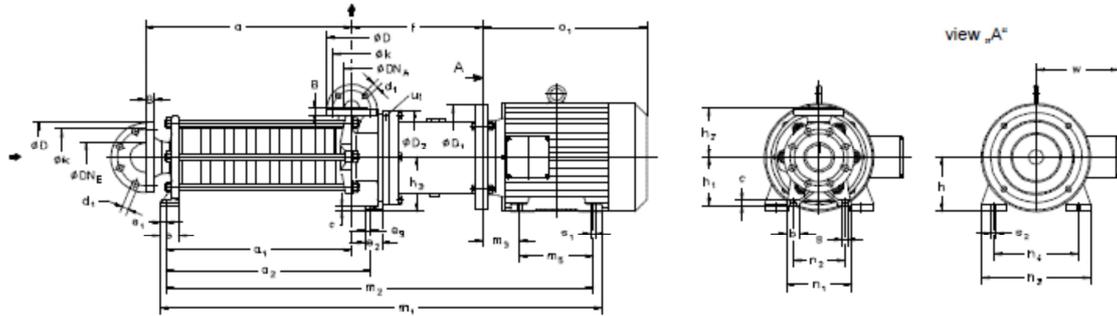
 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NITRÓGENO</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> A1501/S8</p>	<p><b>EMPRESA</b> Air Liquide</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> -</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Volumen: 30,8 m<sup>3</sup>                  Diámetro: 2,5 m                  Altura: 11,53 m                  Área total instalaciones: 12,25 m<sup>2</sup>                  Peso vacío: 16.000 kg</p>		<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 
<p><b>EQUIPO</b></p> 		
<p><b>SERVICIO:</b> Almacenamiento y suministro de nitrógeno</p>		

 <b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b>		
<b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO</b>		
<b>DEPURADORA DE OXIDACIÓN TOTAL</b>		
<b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> X1	<b>EMPRESA</b> Depuradoras poliéster	<b>NOMBRE COMERCIAL</b> Depuradoras de oxidación total de DPR
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	
<p>Capacidad para 290 m<sup>3</sup>/día (1250 habitantes equivalentes)</p> <p>Material de fabricación: Poliéster reforzado con fibra de vidrio</p>		
<b>EQUIPO</b>		
		
<b>SERVICIO:</b> Depurar las aguas residuales del proceso		

 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>BOMBA CENTRÍFUGA</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> MC</p>	<p><b>EMPRESA</b> SIHI Group</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> CEH</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Tipo: Bomba centrífuga                  Caudal: hasta 35 m<sup>3</sup>/h                  Altura: hasta 354 m                  Velocidad máxima: 1800 rpm                  Temperatura máxima: 180°C                  Presión del cuerpo: hasta 40 bar                  Cierre del eje: accionamiento magnético                  Materiales: fundición gris, fundición nodular, acero inoxidable</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<p><b>EQUIPO</b></p> 		
<p><b>Esquema del equipo</b></p> 		

10.60	suction casing	23.50	vane wheel impeller	81.70	isolation shroud
10.70	discharge casing	31.40	thrust bearing	81.71	flange for can
10.80	intermediate piece	34.60	stool	84.71	interior magnet
10.90, 10.91	suction piece	38.10	bearing carrier	84.72	exterior magnet
11.40, 11.41	discharge piece	52.50, 52.51	spacer	84.80	driving flange
21.00	shaft	52.90, 52.91	sleeve	90.60	shaft screw
23.10	impeller	54.00	bearing bush		

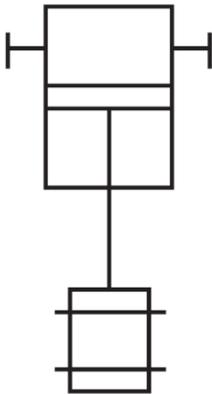
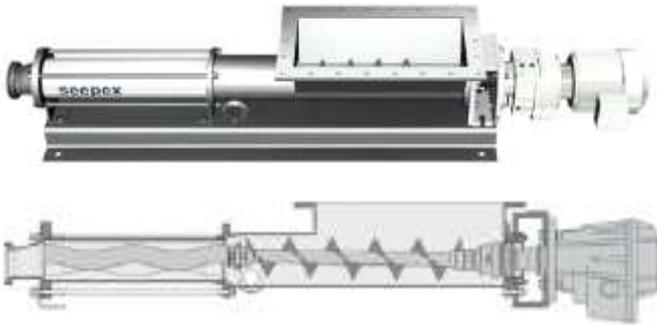
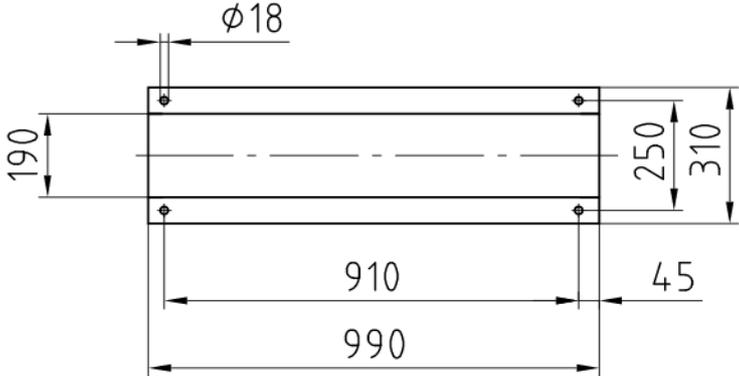
**Dimensiones del equipo**

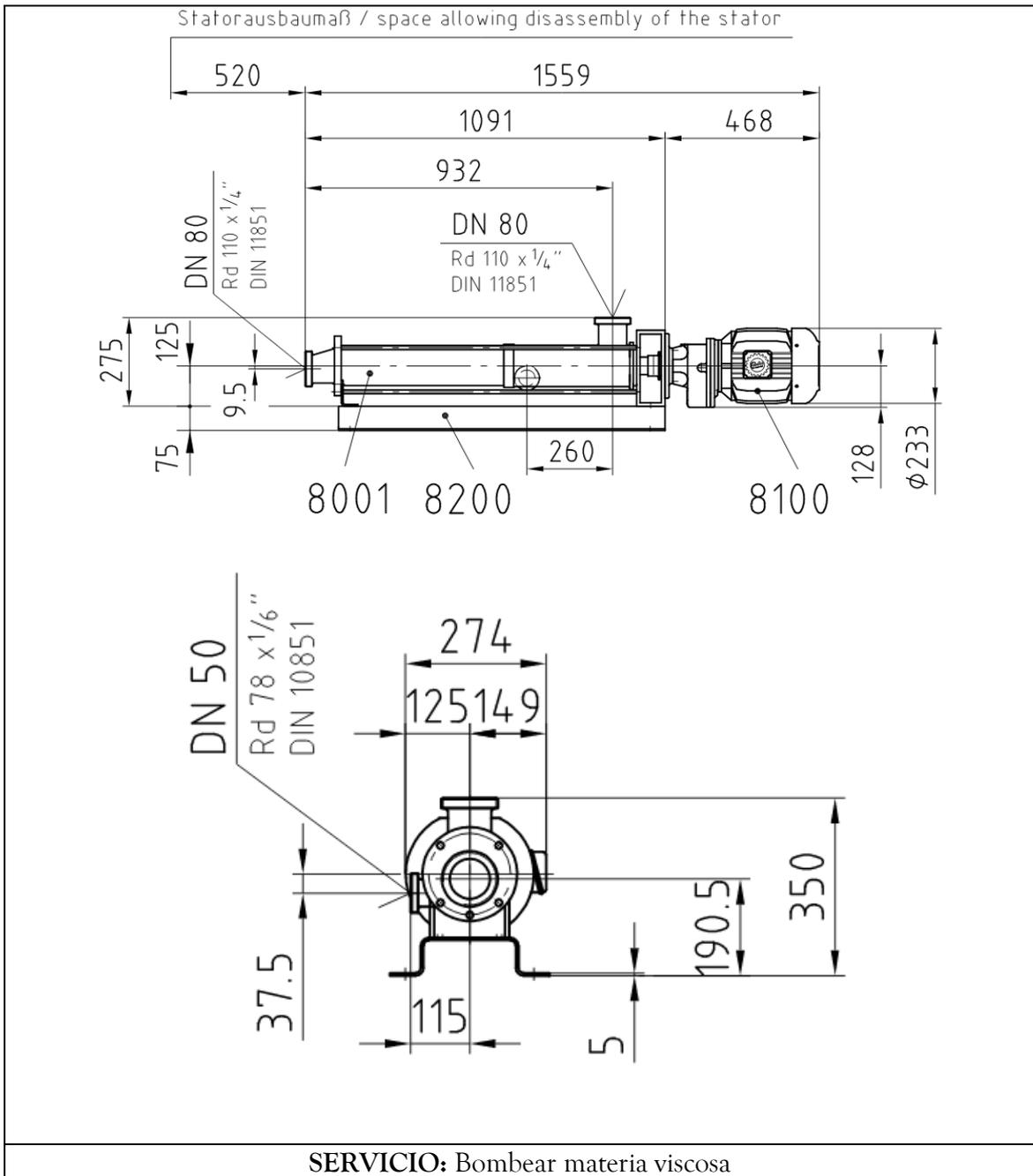


size	nominal power		D <sub>1</sub>	h	m <sub>3</sub>	m <sub>5</sub>	n <sub>3</sub> *	n <sub>4</sub>	o <sub>1</sub> *	s <sub>1</sub> *	s <sub>2</sub> *	w*	weight abt. kg
	IP54resp. EExde	EExe											
80A	0,55	0,55	200	80	50	100	151	125	229	8,5	15	121	8,3
80B	0,75	0,75	200	80	50	100	151	125	229	8,5	15	121	10
90 S	1,1	1,0	200	90	56	100	180	140	250	10,5	-	167	14
90 L	1,5	1,35	200	90	56	125	180	140	275	10,5	-	167	18
100 L 1	2,2	2,0	250	100	63	140	205	160	323	12	-	175	23
100 L 2	3,0	2,5	250	100	63	140	205	160	323	12	-	175	25
112 M	4,0	3,6	250	112	70	140	230	190	329	12	18	191	38
132 S	5,5	5,0	300	132	89	140	266	216	361	12	18	213	59
132 M	7,5	6,8	300	132	89	178	266	216	399	12	18	213	69
160 M	11,0	10,0	350	160	108	210	310	254	470	15	22	245	108
160 L	15,0	13,5	350	160	108	254	310	254	514	15	22	245	130
180 M	18,5	15,0	350	180	121	241	345	279	536	15	25	280	162
180 L	22,0	17,5	350	180	121	279	345	279	574	15	25	295	176
200 L	30,0	24,0	400	200	133	305	400	318	656	20	26	329	254
225 S	37,0	30,0	450	225	149	286	450	356	678	20	26	365	305
225 M	45,0	36,0	450	225	149	311	450	356	703	20	26	365	335
250 M	55,0	44,0	550	250	168	349	505	406	790	25	36	406	425

\* : dimension dependent on motor make

**SERVICIO:** Bombear el material desde una unidad a otra

 <p><b>UNIVERSIDAD DE ALMERÍA</b></p>		
<p><b>DISEÑO PREELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINDA DE LICOPENO</b></p>		
<p><b>BOMBA DE TORNILLO</b></p>		
<p><b>NOMBRE DEL EQUIPO</b> MT</p>	<p><b>EMPRESA</b> Novatec Fluid System S.A.</p>	<p><b>NOMBRE COMERCIAL</b> Serie BTCS</p>
<p><b>DATOS TÉCNICOS</b></p> <p>Tipo: Bomba rotatoria de desplazamiento positivo tipo tornillo, con tolva abierta                  Rango de presión: hasta 24 bar                  Caudales: hasta 130 m<sup>3</sup>/h</p>	<p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> 	
<p><b>EQUIPO</b></p>		
		
<p><u>Esquema del equipo y dimensiones</u></p> 		



## 6. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN PLANTA

### 6.1. INTRODUCCIÓN

La distribución en planta consiste en la ordenación física (dónde) de los factores y elementos industriales que participan en el proceso productivo de la empresa, en la distribución del área (cuánto), en la determinación de las figuras, formas (cómo) relativas y ubicación de los distintos departamentos. Los objetivos de la distribución en planta son:

- Integración de todos los factores que afecten a la distribución
- Movimiento de material según distancias mínimas
- Circulación del trabajo a través de la planta
- Utilización efectiva de todo el espacio
- Mínimo esfuerzo y seguridad en los trabajadores
- Flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o ampliaciones.

### 6.2. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN

A la hora de la distribución, existen diferentes criterios entre los que se debe escoger el más adecuado para las características del proyecto. Estos criterios son:

- Distribución de proyecto singular

Vendrá referida al conjunto de actividades, en algunos casos de carácter irrepetible, que tienen lugar como consecuencia de proyectos de alta envergadura. Este tipo de distribución se desarrolla emplazando las estaciones de trabajo o centros de producción alrededor del producto en función de la secuencia adecuada del proceso.

- De posición fija

La distribución de producto fijo o estático, como también se la denomina, se usa cuando el producto es demasiado grande o engorroso para moverlo a lo largo de las

distintas fases del proceso. En este caso, más que mover el producto de unas estaciones de trabajo a otras, lo que se hace es adaptar el proceso al producto.

- Distribución basada en el producto

Se utiliza en procesos de producción en los cuales la maquinaria y los servicios auxiliares se disponen unos a continuación de otros de forma que los materiales fluyen directamente desde una estación de trabajo a la siguiente, de acuerdo con la secuencia de proceso del producto.

- Distribución basada en el proceso

En este tipo de producción la maquinaria y los servicios se agrupan según sus características funcionales, es decir, de acuerdo con la función que desempeñan.

Esta distribución se emplea principalmente cuando existe un bajo volumen de producción de numerosos productos desiguales, así como cuando ocurren frecuentes cambios en la composición o volumen a producir. También recibe el nombre de “producción flexible”.

- Por grupos autónomos de trabajo

Se usa cuando los volúmenes de producción para cada producto particular no son suficientes como para justificar una distribución de producto, mientras que si se agrupan de forma lógica ciertos productos en familias, la distribución de producto puede ser adecuada para cada familia. De esta manera, cada grupo homogéneo de productos se destinará a un grupo o subdivisión de trabajo, que funcionará de forma autónoma de los demás y completará, total o de forma mayoritaria, el proceso.

Para el presente proyecto la distribución se ha realizado basándose en el producto. Esta disposición sigue una linealidad, de tal forma que el recorrido del trabajo sigue rutas

directas, elimina esperas y reduce la manipulación de materiales, posibles accidentes, problemas de contaminación, etc.

### 6.3. ASPECTOS GENERALES DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

En la distribución en planta de todo proceso químico se ha de considerar una serie de características comunes:

- Recinto de la planta

El emplazamiento de la planta ha de encontrarse vallado en todos sus límites y todas las entradas han de constar de una puerta. Por motivos de seguridad, el número de puertas ha de ser el mínimo. Las zonas de sustancias peligrosas han de encontrarse aisladas del resto de la instalación en medida de lo posible con vallas de seguridad e incluso muros de contención cuando sea necesario. La red de tuberías de la planta, tanto las propias de la planta como las de servicios han de encontrarse dispuestas en paralelo al sistema de carreteras en la medida de lo posible.

- Edificios

Las distintas secciones de la planta, según las características, necesitan un determinado tipo de edificio, o al menos una estructura que las albergue. Para facilitar el buen funcionamiento del proceso o para albergar determinados servicios generales, auxiliares y sociales, suele ser necesario aislar correctamente determinados servicios del exterior.

Los edificios auxiliares deben incluir:

- Almacenaje de materias primas: tanques y almacenes
- Almacenaje de suministro para el mantenimiento y operación
- Talleres de mantenimiento
- Laboratorios para el control del proceso

- Servicios
- Aparcamiento

Los edificios administrativos se suelen situar cerca de la entrada principal y aguas debajo de la dirección del viento. Los laboratorios se colocan en el centro de la planta a la que pertenecen pero siempre en zonas seguras. La sala de calderas, subestación eléctrica, centro de mando de motores, estación de bombeo, salas de control, etc. deben quedarse en sitios donde no corran peligro de quedar fuera de servicio por defecto de un incendio, explosión o inundación.

Las bombas y los motores eléctricos que accionan los diferentes equipos, han de situarse dentro de los edificios, para evitar que puedan sufrir daños debido a agentes meteorológicos. Además es conveniente localizar las bombas en línea a cada lado de un camino de acceso, con los motores alineados hacia el exterior, para que sea fácil acceder a ellos.

Todos los edificios y zonas de proceso han de disponer de las vías libres y amplias para que los operarios puedan salvar desniveles y obstáculos, y de plataformas con salidas de escape.

- Acceso a zonas de carga y descarga

Las zonas de acceso a la planta de tráfico rodado deben situarse en la periferia del recinto. Del mismo modo, las áreas de carga y descarga se ubicarán en un lugar cercano a la entrada de la planta y a las zonas de acceso a la carretera. Se ha de evitar en la medida de lo posible, que las carreteras atraviesen áreas de proceso o áreas peligrosas.

En el interior de la planta se intentará que las distancias que recorran los productos desde/hacia el almacenamiento durante el proceso sean las mínimas posibles.

- Evacuación de efluentes

El agua de lluvia y las corrientes de agua no dañinas pueden ir directamente al alcantarillado. La lluvia recogida en áreas contaminadas se tratará junto con los efluentes acuosos del proceso. Los efluentes líquidos no inocuos deberán ir en sistemas cerrados y autolimpiables.

La pendiente mínima en áreas pavimentadas debe ser de 1,25% y del 2,5% para líquidos corrosivos.

### 6.4. MÉTODO SLP

El método que se ha utilizado es el “Systematic Layout Planning” (SLP) o Planificación sistemática de la distribución en planta, método implantado por Muther.

Este método, es una forma organizada para realizar la planificación de una distribución. Se divide en cuatro fases, en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas en dicha planificación. Estas fases son las siguientes:

- Fase I de localización

En esta fase se decide dónde va a estar el área a organizar. Normalmente la nueva organización o reorganización es en el mismo lugar donde se va a llevar a cabo la actividad, en un edificio de nueva adquisición o en una localización de área similar.

- Fase II de organización general completa

Establece el patrón o patrones básicos de flujo para el área que va a ser organizada. Esto también indica el tamaño, relación y configuración de cada actividad mayor, departamento o área.

- Fase III de preparación en detalle

Se procede a elaborar detalladamente el plan de organización donde se aclara la localización específica de cada pieza y equipo.

- Fase IV de instalación

Esta fase comprende, tanto planear la instalación como hacer físicamente los movimientos necesarios. Indica los detalles de la distribución y se realizan los ajustes necesarios conforme se van colocando. Estos pasos pueden ser iniciados por separado, aunque no se haya terminado el anterior.

Todo proyecto de distribución en planta ha de pasar por estas fases y ser analizadas por un grupo interdisciplinado que sea al mismo tiempo el responsable de todas ellas. La preparación racional de la distribución en planta, no es más que una forma organizada de enfocar dicha distribución. En ella se fija un cuadro operacional de fases, una serie de procedimientos, un conjunto de normas que permitan la identificación, valoración y visualización de todos los elementos que intervienen en la distribución en planta.

## **6.5. DATOS BÁSICOS DE CONSUMO PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN**

Antes de comenzar un análisis más profundo de la segunda y tercera fase, hemos de mencionar los datos básicos de consumo o factores que se van a tener en cuenta en el proyecto. Esto se recuerda con facilidad con la clave de “alfabeto de las facilidades de la ingeniería de la planeación” (PQRST). Hay cinco principios básicos en los que se fundamenta todo problema de distribución, estos son la base del procedimiento SLP simplificado.

- P, representa al producto o material que debe fabricarse, incluyendo las posibles variaciones y características: ¿Qué se va a hacer?

- Q, se refiere a la cantidad y volumen de cada variedad de producto o artículos que deben ser fabricados: ¿Qué cantidad?
- R, hace referencia al recorrido del proceso, es decir, a las operaciones, su secuencia o el orden en el que se realizan las operaciones.
- S, está relacionado con los servicios, actividades soporte y funciones necesarias en los distintos departamentos para que puedan cumplir las funciones que se les ha encomendado.
- T, tiene que ver con el tiempo o toma de tiempos que relaciona PQRS, influye de manera directa sobre los cuatro elementos anteriores y permite calcular cuando deben fabricarse los productos y en qué cantidades. Determina cuánto durará el proceso y qué tipo de máquinas lo acelerarán, qué servicios son necesarios y su situación, ya que en ellos depende la velocidad a la que el personal se desplace de un punto de trabajo a otro.

El elemento más importante para las personas que preparan una distribución en planta es el tiempo, el cual va a estar establecido para evitar costes excesivos en la instalación de los activos.

### 6.6. APLICACIÓN AL PROYECTO

Fase I: Localización: El área sobre la que se va a disponer la planta que describe este proyecto posee 8.029,5 m<sup>2</sup> de superficie y está situada en el Término Municipal de El Ejido. Aunque el área destinada a las actividades más abajo descritas es de 2.804,5 m<sup>2</sup>.

Fase II: Organización general completa: El área está dividida en las siguientes zonas:

A-1. Zona de recepción de los RVI

A-2. Zona de clasificación

A-3. Zona de pretratamiento

- A-4. Zona de procesado
- A-5. Zona de tratamiento de residuos sólidos
- A-6. Zona producto final
- A-7. Zona de almacenamiento de producto acabado
- A-8. Zona de almacenamiento de hexano
- A-9. Zona de almacenamiento de nitrógeno
- A-10. Zona de gerencia
- A-11. Laboratorio
- A-12. Zona de aseos y vestuarios
- A-13. Almacén de repuestos y herramientas
- A-14. Zona de control
- A-15. Zona de calderas

En el plano 1 del Anejo V se puede ver la distribución de estas áreas.

Fase III: Preparación en detalle: La disposición de la maquinaria en cada área se ha elegido siguiendo los criterios de la continuidad del proceso y ahorro de espacio.

Fase IV: Instalación: Fase consistente en la instalación real de la maquinaria proyectada.

## 6.7. FACTORES QUE AFECTAN A LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para una distribución óptima de la planta se han tenido en cuenta los siguientes factores.

- Factor material: Materia prima, producto acabado, subproductos, etc.
- Factor maquinaria: Máquinas de producción, equipos de proceso, depósitos especiales, etc.
- Factor trabajador: Mano de obra directa, jefes de equipo, jefes de departamento, etc.

- Factor movimiento: Rampas, conductos, transportadores, tuberías, montacargas, etc.
- Factor espera: Área de recepción de material entrante, almacenaje dentro del proceso, demoras entre dos operaciones, etc.
- Factor servicio: Vías de acceso, instalaciones y equipos de uso personal, protección contra incendios, etc.
- Factor edificio: Carreteras y caminos, canales, ramblas, puentes, etc.
- Factor cambio: Cambio en las materias, maquinaria, personal, etc.

### 6.8. EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para la justificación de la distribución en planta se aplica una evaluación multicriterio, cuyos pasos son los siguientes:

1. Se define las actividades que forman parte del proceso productivo que se van a organizar
2. Se define las pautas de posible proximidad entre las distintas actividades
3. Se enumera las diferentes justificaciones por las que se razona la relación establecida entre las actividades
4. Se representan en un esquema los resultados obtenidos para visualizar las relaciones existentes y poder reducir la distribución en planta.

Este esquema puede ser de diversa naturaleza. En este caso se parte de una matriz relacional de actividades, para facilitar posteriormente la realización de un esquema de bloques, a partir del cual se obtiene la distribución en planta del proceso.

#### Actividades

1. Recepción de RVI

2. Clasificación de RVI
3. Trituración 1
4. Tratamiento térmico
5. Centrifugación 1
6. Centrifugación 2
7. Extracción sólido-líquido
8. Filtración
9. Evaporación
10. Stripping
11. Destilación flash
12. Condensación
13. Desolventización
14. Decantación
15. Secado
16. Almacenamiento de hexano
17. Almacenamiento de nitrógeno
18. Peletización
19. Encapsulado
20. Línea de envasado y etiquetado
21. Caldera
22. Equipos de refrigeración

Estas actividades se van a evaluar mediante criterios a los que se les agregará un valor cualitativo de relación de cercanía, tal y como se muestra en la Tabla 2.8 y 2.9.

**Tabla 2.8.** Criterios para evaluar la cercanía entre actividades.

Código	Motivo
1	Flujo de material
2	Facilidad de control
3	Seguridad
4	Higiene
5	Protección producto

**Tabla 2.9.** Valor cualitativo de la cercanía entre actividades.

Tipo de relación	Definición
A	Absolutamente necesaria
E	Especialmente necesaria
I	Importante
O	Ordinaria
U	Sin importancia
X	No deseable

El diagrama SLP se muestra en la Figura 2.23.

## 6.9. ESTIMACIÓN DEL ESPACIO NECESARIO

Cada una de las actividades antes mencionadas se agrupa en las distintas zonas de la planta, estimándose el espacio para cada zona como se muestra en la Tabla 2.10.

**Tabla 2.10.** Áreas ocupadas por cada sección de la planta.

Área	Longitud (m)	Anchura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Recepción de los RVI	10	6	60,00
Clasificación	10	10	100,00
Pretratamiento	17,5	10	175,00
Procesado	15	25	375,00
Tratamiento residuos sólidos	6	8	48,00
Producto final	20	12	240,00
Almacén producto acabado	20	20	400,00
Almacenamiento de hexano	5	5	25,00
Calderas	8,5	8	68,00
Gerencia	10	10	100,00
Laboratorio	10	6	60,00
Aseos y vestuarios	10	4,5	45,00
Almacén de repuestos y herramientas	10	8	80,00
Control	10	5	50,00
Almacenamiento de nitrógeno	7,5	5	37,50
<b>TOTAL</b>			<b>1863,50</b>

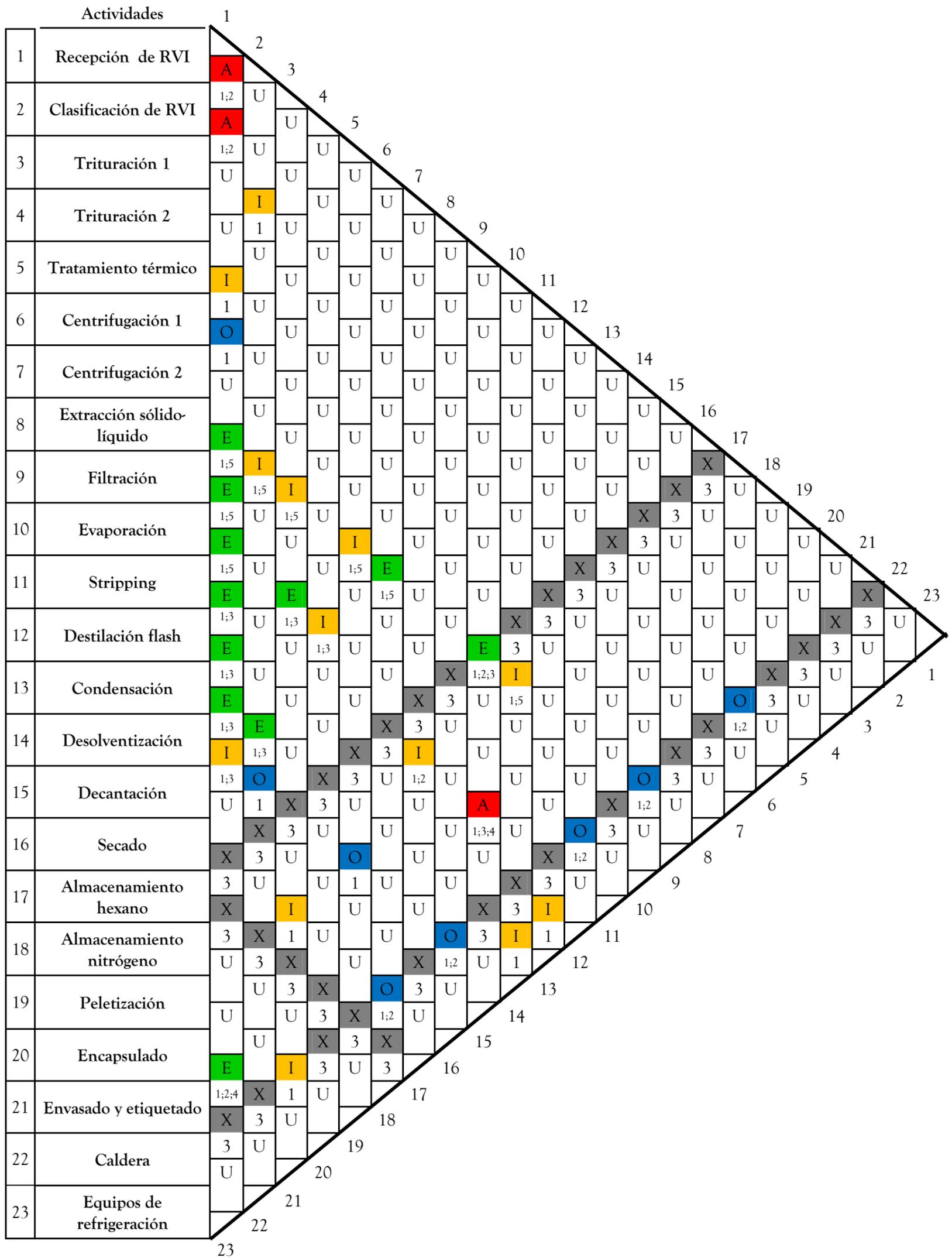


Figura 2.23. Diagrama de actividades y criterios según el método SLP.

## 7. UBICACIÓN DE LA PLANTA

El procedimiento para su ubicación se rige por criterios que minimicen por un lado el coste de la planta y por otro el coste del transporte de RVI, todo ello respetando la legislación vigente en cuanto a la ubicación de este tipo de industria se refiere. Son diversos los criterios que minimizan el coste de la planta, y que se detallan a continuación, pero uno de los aspectos importantes es evitar que no ocupe superficie invernada, por el alto valor de este suelo, pues el precio por hectárea ascendió a 137.300 € de media en el año 2010 en la provincia de Almería.

El modelo de ubicación se ha desarrollado mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), [59], y el visor de datos geográficos (OGC), [60], proporcionado por la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). La localización óptima de la planta se rige por los siguientes criterios:

- Se escoge la zona de mayor producción agrícola bajo plástico (Figura 2.24), que como se puede comprobar en el mapa corresponde a la zona del poniente almeriense. De esta manera se consigue minimizar los costes de transporte desde los invernaderos hasta la planta.



Figura 2.24. Localización de la zona en la Provincia de Almería.

- Se evitan áreas de influencia de núcleos urbanos. La zona más deshabitada en cuanto a núcleos urbanos se refiere, se encuentra entre Matagorda, Almerimar, San Agustín, Las Norias de Daza y El Ejido (Figura 2.25).

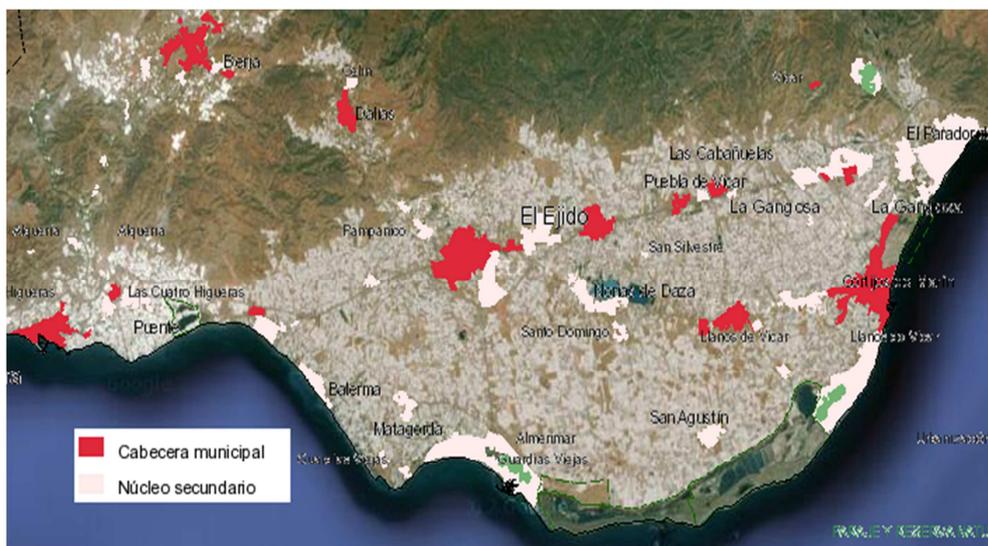


Figura 2.25. Núcleos urbanos de la zona del poniente almeriense.

- Se excluyen zonas lindantes con parajes naturales y espacios con protección arqueológica.
- Se impone una restricción de distancia mínima a núcleo urbano de 2000 m. Esta restricción viene dado por el Decreto 2414/1961, de 30 de Noviembre, por el que se aprueba el reglamento de industrias molestas, insalubres, nocivas y peligrosas. La zona viable está delimitada por líneas de color amarillo (Figura 2.26)
- Se procurará que la planta esté lo más cercana posible a una vía de comunicación principal. La vía más cercana es la Autovía del Mediterráneo A-7/E-15, a la cual se puede acceder por la carretera autonómica A-389, con dirección Almería o Málaga (Figura 2.27).
- La planta requiere una superficie aproximada de 8.029,5 m<sup>2</sup>, por lo que la parcela elegida se muestra en el siguiente mapa (Figura 2.28).



Figura 2.26. Delimitación de las zonas viables para la planta.

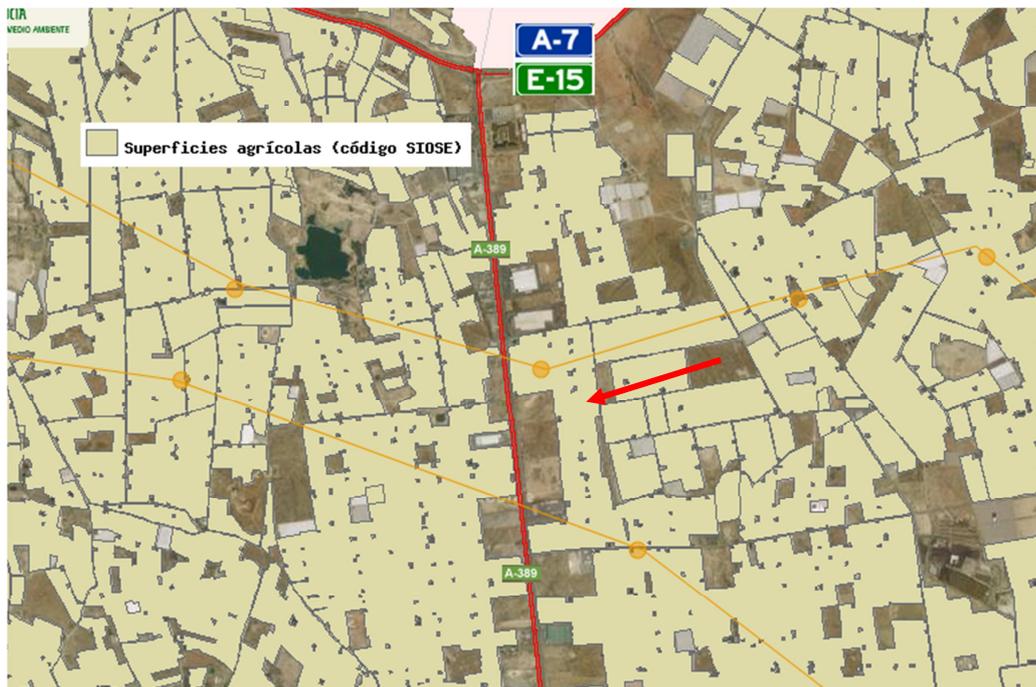


Figura 2.27. Mapa con parcelas libres.



**Figura 2.28.** Parcela elegida para la planta.

## 8. MEJORAS

### Mejora 1:

Como se ha comentado en apartados anteriores, la variedad de frutas y hortalizas que se producen en los invernaderos, da lugar a un conjunto de residuos de lo más variopinto susceptibles de ser tratados y transformados en diversos extractos vegetales.

La extracción de estos extractos que contienen componentes de gran valor industrial, sigue un camino prácticamente paralelo, diferenciándose en puntos muy concretos de la ruta. Estas pequeñas diferencias pueden estar referidas al uso de algunos elementos físicos especiales, en algún caso, y, sobre todo, a las condiciones experimentales de tiempo, temperatura, presión, agitación, etc., siendo estas características fruto de una optimización posterior al desarrollo del proyecto.

Aunque la planta se va a diseñar y dimensionar en función de la cantidad de residuos de tomate disponibles, una mínima ampliación de la misma podría ser tenida en cuenta para obtener el mismo pigmento, pero de una fuente diferente rica en él, como es la sandía. Esta ampliación consistiría en una modificación de la unidad de triturado que se adecúe al tamaño y a las características fisicoquímicas de la sandía.

Mejora 2:

El producto final de la extracción dependerá del mercado en el que se quiera comercializar; es el caso de su uso para productos farmacéuticos, cuya elaboración necesita un producto con una elevada pureza. Para este caso, habría que implementar una fase más de purificación para separar los componentes de la oleorresina y obtener licopeno de alta pureza. Esto se consigue haciendo uso de cromatografía de columna, donde las más empleadas son las de tipo C18 y C30, permitiendo estas últimas la separación de distintos isómeros. En cuanto a las fases móviles, pueden incluir disolventes como acetonitrilo, metanol, 1-butanol, 2-propanol, acetato de etilo, THF, agua y diclorometano entre otras.

## ANEXO I. FICHA TÉCNICA DEL NUTRACÉUTICO.

		LycoRed Ltd. Hebron Road, Industrial Zone P.O.Box 320, Beer-Sheva 84102 Israel Tel: +972 73 2327300, Fax: +972 8 6236310 <a href="http://www.lycored.com">www.lycored.com</a> <a href="mailto:info@lycored.com">info@lycored.com</a>	
<b>DATA SHEET</b>		Version: 08	Date: January 2013
Product:	<b>Lycobeads 5% VBAF</b>	Catalogue no: 400770 (1Kg), 400771 (25Kg), 400772 (5Kg)	
<b>Description:</b>	Microencapsulated tablet grade free flowing powder of natural Lycopene extracted from tomatoes.		
<b>Ingredients</b>	Alginate (E401), Pea starch, Lycopene from red tomatoes, Gum Acacia (E414) and Water.		
<b>Appearance &amp; Odor</b>	Dark red free flowing beadlets with characteristic odor.		
<b>Application</b>	Tablets and hard shell capsules. It may be used in functional and nutraceutical products.		
<b>Certifications</b>	ISO 9001 and ISO 22000 (HACCP) certificates, Israeli Ministry of Health GMP permit, Kosher certification by the Orthodox Union (OU) and Halal certification.		
<b>Regulatory Status</b>	The active ingredient is Generally Recognized As Safe (GRAS), in conformance with US regulatory requirements and as a color additive in the United States (70CFR 43043). Approved as food color and for use in Dietary Supplements in EU. Approved as food colorant for use in Dietary Supplements and for food fortification in Japan. All ingredients are food-grade materials approved by USFDA, European and Israeli Authorities and are non GMO. This product does not contain any animal based ingredients and is therefore suitable for vegetarians.		
<b>Stability and Storage</b>	Stable for three years when stored dry at Room Temperature (~25°C) and in the original package. The opened packaging should be used as soon as possible.		
<b>Chemical &amp; Physical Analysis</b>		<b>Microbial Evaluation (USP &lt;61&gt; &amp; &lt;62&gt;)</b>	
Natural Lycopene content	5.0% (min) (HPLC)	Total plate count	Less than 1,000/g
Particle Size	150-425 microns (100-40 mesh) (min. 70%)	E. Coli	Negative/g
Loss on drying	10% (max)	Salmonella	Absent in 10 g
Bulk Density	Untapped 0.55-0.75 g/ml	Ps. Aeruginosa	Negative/g
Heavy metals	Tapped 0.6-0.8 g/ml	Staph.aureus	Negative/g
Lead	< 10 ppm (USP, <231>)	Yeasts/Molds	Less than 100/g
Arsenic	≤ 1 ppm (ICP)		
Mercury	≤ 0.1 ppm (DMA)		
Cadmium	≤ 1 ppm (ICP)		
<b>Packaging</b>	1, 5 & 25 kg in polyethylene bags within aluminum laminate bags and packed in cardboard boxes.		

## ANEXO II. FICHA TÉCNICA DEL COLORANTE ALIMENTARIO.

		LycoRed Ltd. Hebron Road, Industrial Zone P.O.Box 320, Beer-Sheva 84102 Israel Tel: +972 7 32327300, Fax: +972 8 6236310 <a href="http://www.lycored.com">www.lycored.com</a> <a href="mailto:info@lycored.com">info@lycored.com</a>																																																					
<b>DATA SHEET</b>		Version: 13	Date: April 2013																																																				
Product:	<b>Lyc-O-Mato® 6%</b>	Catalogue no: 400005 (25Kg), 400007 (10Kg), 400008( 1Kg)																																																					
<b>Description</b>	Tomato extract containing 6% Lycopene as well as other natural tomato phytonutrients (such as tocopherols, phytoene, phytofluene, beta-carotene, phospholipids and phytosterols) extracted from Lycopene rich tomatoes and produced according to US patent No. 5,837,311 and EU patent No. 844,831.																																																						
<b>Ingredients</b>	Tomato extract containing Lycopene from red tomatoes.																																																						
<b>Source</b>	Selected, ripe tomatoes.																																																						
<b>Appearance &amp; Odor</b>	Viscous, dark red liquid with characteristic odor.																																																						
<b>Applications</b>	A source of Lycopene and natural color to be used in food, dietary supplements and cosmetic products.																																																						
<b>Certifications</b>	ISO 9001 and ISO 22000 (HACCP) certificates, Israeli Ministry of Health GMP permit, Kosher certification by the Orthodox Union (OU) and Halal certification.																																																						
<b>Regulatory Status</b>	<p>The active ingredient is Generally Recognized As Safe (GRAS), in conformance with US regulatory requirements and as a color additive in the United States (70 CFR 43043). Approved as food color and for use in Dietary Supplements in EU. Approved as food colorant for use in Dietary Supplements and for food fortification in Japan.</p> <p>All ingredients are food-grade materials approved by USFDA, European and Israeli Authorities and are non GMO.</p> <p>This product does not contain any animal based ingredients and is therefore suitable for vegetarians.</p>																																																						
<b>Stability &amp; Storage</b>	Stable for five years when stored dry at Room Temperature (~25°C) in the original packaging. The opened package should be used as soon as possible.																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Chemical &amp; Physical Analysis</th> <th colspan="2">Microbial Evaluation (USP &lt;61&gt;&amp; &lt;62&gt;)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lycopene</td> <td>≥ 6.0% (HPLC, USP)</td> <td>Total plate count</td> <td>Less than 1,000/g</td> </tr> <tr> <td>Natural tocopherols</td> <td>≥ 1.5%</td> <td>E. Coli</td> <td>Negative/g</td> </tr> <tr> <td>Phytoene &amp; phytofluene</td> <td>≥ 1.0%</td> <td>Salmonella</td> <td>Negative in 10 g</td> </tr> <tr> <td>β-carotene</td> <td>≥ 0.2%</td> <td>Ps. aeruginosa</td> <td>Negative/g</td> </tr> <tr> <td>Water</td> <td>&lt; 0.5%</td> <td>Staph. aureus</td> <td>Negative/g</td> </tr> <tr> <td>Solvent residue</td> <td>&lt; 50 ppm Ethyl Acetate (Head Space Method)</td> <td>Yeasts/Molds</td> <td>Less than 100/g</td> </tr> <tr> <td>Pesticides</td> <td>Meets botanical extracts requirements (USP &lt;561&gt;)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heavy metals</td> <td>&lt; 10 ppm (USP, &lt;231&gt;)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lead</td> <td>≤ 1 ppm (ICP)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arsenic</td> <td>≤ 1 ppm (ICP)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mercury</td> <td>≤ 0.1 ppm (DMA)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cadmium</td> <td>≤ 1 ppm (ICP)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Chemical & Physical Analysis	Microbial Evaluation (USP <61>& <62>)		Lycopene	≥ 6.0% (HPLC, USP)	Total plate count	Less than 1,000/g	Natural tocopherols	≥ 1.5%	E. Coli	Negative/g	Phytoene & phytofluene	≥ 1.0%	Salmonella	Negative in 10 g	β-carotene	≥ 0.2%	Ps. aeruginosa	Negative/g	Water	< 0.5%	Staph. aureus	Negative/g	Solvent residue	< 50 ppm Ethyl Acetate (Head Space Method)	Yeasts/Molds	Less than 100/g	Pesticides	Meets botanical extracts requirements (USP <561>)			Heavy metals	< 10 ppm (USP, <231>)			Lead	≤ 1 ppm (ICP)			Arsenic	≤ 1 ppm (ICP)			Mercury	≤ 0.1 ppm (DMA)			Cadmium	≤ 1 ppm (ICP)				
	Chemical & Physical Analysis	Microbial Evaluation (USP <61>& <62>)																																																					
Lycopene	≥ 6.0% (HPLC, USP)	Total plate count	Less than 1,000/g																																																				
Natural tocopherols	≥ 1.5%	E. Coli	Negative/g																																																				
Phytoene & phytofluene	≥ 1.0%	Salmonella	Negative in 10 g																																																				
β-carotene	≥ 0.2%	Ps. aeruginosa	Negative/g																																																				
Water	< 0.5%	Staph. aureus	Negative/g																																																				
Solvent residue	< 50 ppm Ethyl Acetate (Head Space Method)	Yeasts/Molds	Less than 100/g																																																				
Pesticides	Meets botanical extracts requirements (USP <561>)																																																						
Heavy metals	< 10 ppm (USP, <231>)																																																						
Lead	≤ 1 ppm (ICP)																																																						
Arsenic	≤ 1 ppm (ICP)																																																						
Mercury	≤ 0.1 ppm (DMA)																																																						
Cadmium	≤ 1 ppm (ICP)																																																						
<b>Packaging</b>	1 kg in an aluminum bottle. 10 kg & 25 kg in an aseptic bag within a metal drum with a wide lid closure.																																																						

### III. ANEJO I. CÁLCULOS

### III. ANEJO I. CÁLCULOS

ÍNDICE	Pág.
1. BALANCES DE MATERIA .....	1
2. PRETRATAMIENTO .....	6
2.1. TRITURACIÓN .....	6
2.2. TRATAMIENTO TÉRMICO .....	7
2.3. CENTRIFUGACIÓN 1 .....	16
2.4. CENTRIFUGACIÓN 2 .....	21
3. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO .....	22
3.1. EXTRACCIÓN .....	22
3.2. FLUIDO CALEFACTOR .....	31
3.3. TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN .....	37
4. CONCENTRACIÓN DE LA OLEORRESINA Y RECUPERACIÓN DEL DISOLVENTE .....	38
4.1. EVAPORACIÓN .....	38
4.2. STRIPPING (ARRASTRE CON GAS) .....	45
4.3. DESOLVENTIZACIÓN .....	47
4.4. RECUPERACIÓN DEL HEXANO .....	49
5. SECADO .....	52
6. SERVICIOS .....	56
6.1. SISTEMAS DE VAPOR Y AGUA CALIENTE .....	56
6.2. SUMINISTRO DE NITRÓGENO .....	58

## ANEJO I. CÁLCULOS

### 1. BALANCES DE MATERIA

En las siguientes tablas se detallan todas las corrientes del proceso que se esquematizan en los planos 2 y 3 del Anejo V y en el apartado 3.2 del Anejo III.

Tabla 3.0. Resumen de las corrientes del proceso.

	Unidades	C101	C201	C202	C203/C204/C301/C302	C303	C304	C305	C306
Caudal másico	kg/h	56.448,99	10.725,31	45.723,68	5.362,65	10.725,31	9.706,40	1.018,90	9.563,40
Temperatura	°C	25,00	25,00	25,00	25,00	80,00	72,28	72,28	65,23
Presión	atm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Estado		S	S	S	S/S/L/L	L	L	L	L
Restos vegetales	kg/kg	0,80	-	1,00	-	-	-	-	-
Tomate	kg/kg	0,20	1,00	-	1,00	-	-	-	-
Hexano	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	kg/kg	-	0,945	0,15	0,94	0,945	0,998	0,85	1,00
Sólidos	kg/kg	-	0,055	0,85	0,055	0,055	0,002	-	-
Pulpa de tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	0,15	-
eq. Licopeno	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-
eq. Licopeno	ppm	-	928,57	-	928,57	928,57	92,86	8.889,85	8,53

(continuación)

	Unidades	C307	C308/C309	C401-C404	C405/C406	C407/C408	C409/C410	C411/C412	C413/C414	C415/C416
Caudal másico	kg/h	143,00	510,47	1.531,40	0,47	0,70	651,41	654,13	1.386,40	1.525,64
Temperatura	°C	65,23	72,28	40,00	15,00	15,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Presión	atm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estado		L	L	L	G	G	L	L	L	L
Restos vegetales	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexano	kg/kg	-	-	1,00	-	-	0,23	0,231	0,997	0,9997
Nitrógeno	kg/kg	-	-	-	1,00	1,00	-	-	-	-
Agua	kg/kg	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos	kg/kg	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa de tomate	kg/kg	-	0,15	-	-	-	0,77	0,769	-	-
eq. Licopeno	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,0003
eq. Licopeno	ppm	5.732,29	8.889,85	-	-	-	681,81	60,95	2.954,53	264,10

ANEJO I. CÁLCULOS

---

(continuación)

	Unidades	C417	C418	C419	C420	C421	C422	C423	C424	C425	C426
Caudal másico	kg/h	5.824,08	11,25	2.274,05	2.300,02	1.238,76	1.148,09	2.386,85	849,80	1.537,00	9,00
Temperatura	°C	50,00	63,29	66,04	64,44	63,29	112,00	22,05	22,05	22,05	30,3
Presión	atm	1	0,86	0,94	0,89	0,86	1	0,86	1,00	1,00	0,58
Estado		L	L	L	L	G	G	L	L	L	S
Restos vegetales	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexano	kg/kg	0,9985	0,20	1,00	1,00	1,00	0,26	0,644	-	1,00	1,3E-05
Nitrógeno	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	kg/kg	-	-	-	-	-	0,74	0,356	1,00	-	-
Sólidos	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa de tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
eq. Licopeno	kg/kg	0,0015	0,80	-	-	-	-	-	-	-	0,99998
eq. Licopeno	ppm	1544,99	800.000	-	-	-	-	-	-	-	999.987,78

(continuación)

	Unidades	C427	C428	C429	C430	C431	C432	C501	C502	C503	C504
Caudal másico	kg/h	22,25	19,81	2,44	160,16	9.879,46	47,02	23,83	291,17	291,17	107,18
Temperatura	°C	30,30	-61,69	-20,46	112,00	10,00	15,00	64,04	108,80	25,00	25,00
Presión	atm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Estado		G	G	L	S	L	L	S	S	S	S
Restos vegetales	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexano	kg/kg	0,11	0,0007	0,9985	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno	kg/kg	0,89	0,9993	0,0015	-	-	-	-	-	-	-
Agua	kg/kg	-	-	-	0,10	1,00	1,00	0,10	0,10	0,10	0,15
Sólidos	kg/kg	-	-	-	0,90	-	-	0,90	0,90	0,90	0,85
Pulpa de tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
eq. Licopeno	kg/kg	-	-	-	0,0025	-	-	0,034	0,042	0,042	-
eq. Licopeno	ppm	-	-	-	2.523,62	-	-	34.393,72	4.203,42	4.203,42	-

ANEIO I. CÁLCULOS

---

(continuación)

	Unidades	C901	C902 - C905	C906 - C909	C910	C911	C912	C913
Caudal másico	kg/h	32.175,92	8.043,98	8.043,98	32.175,92	57,50	23,86	420,12
Temperatura	°C	90,00	70,79	62,39	62,39	140,00	140,00	70,79
Presión	atm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30
Estado		S	L	L	L	G	G	G
Restos vegetales	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
Tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
Hexano	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
Agua	kg/kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sólidos	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa de tomate	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
eq. Licopeno	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-
eq. Licopeno	ppm	-	-	-	-	-	-	-

## 2. PRETRATAMIENTO

### 2.1. TRITURACIÓN

El diseño del equipo de trituración se basará en calcular la potencia necesaria para conseguir una reducción de tamaño determinada. Para dicho cálculo, se pueden emplear diferentes relaciones empíricas, entre las que deben destacarse las leyes de Kick, Rittinger y Bond.

Se ha observado que la primera de ellas es buena una aproximación para la trituración de partículas groseras, en las que el aumento de área superficial por unidad de masa es relativamente pequeño. Por otra parte, la ley de Rittinger encaja mejor con los datos experimentales de la reducción de tamaño de polvos finos. Por último, la ley de Bond tendría un comportamiento entre las dos anteriores y viene definida por la siguiente ecuación [16]:

$$E = \frac{P}{\dot{m}_R} = 0,3162W \sqrt{\left(\frac{100}{d_{PAf}}\right)} - \sqrt{\left(\frac{100}{d_{PAi}}\right)} \quad (3.1)$$

Donde,

$E$ , energía necesaria por unidad de masa,  $\left(\frac{kW \cdot h}{kg}\right)$

$P$ , potencia consumida por el equipo,  $(kW)$

$\dot{m}_R$ , caudal de RVI,  $\left(\frac{t}{h}\right)$

$W$ , índice de trabajo de Bond,  $\left(\frac{kW \cdot h}{t}\right)$

$d_{PAi}$ , diámetro del tamaño de orificio de la criba que permite que el 80% del alimento lo atraviese,  $(mm)$

$d_{PAf}$ , diámetro del orificio de la criba que permite que el 80% del producto molturado lo atraviese,  $(mm)$

Según Fellows, P. [12], el índice de trabajo de Bond para alimentos duros como el azúcar está entre 40.000 - 80.000 J/kg, por otro lado McCabe, W. L. et al [16] establece una tabla con valores para distintos materiales, y de los cuales, el que tiene el valor más

pequeño es la arcilla (26.741,7 J/kg). Por falta de datos experimentales de dicho índice para tomates y en base a lo citado arriba se supondrá para este estudio el valor de la arcilla.

Otro parámetro a tener en cuenta es el tiempo que tarda la trituración (Tabla 3.1), pudiéndolo controlar con la velocidad del rotor, es decir, a más velocidad menos tiempo se invierte en el proceso, mayor es la concentración de licopeno que se obtiene en la pulpa y menor en el suero tras su separación:

**Tabla 3.1.** Relación entre el tiempo de triturado y licopeno obtenido en la pulpa, [1].

$[L]_0$	Tiempo	[L] suero	[L] pulpa	Rendimiento de Licopeno en pulpa
120 ppm	1 min	12 ppm	1200 ppm	94 %
120 ppm	5 min	43 ppm	1150 ppm	72 %

Los datos de partida y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Resultados correspondientes a la trituración.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Índice de trabajo de Bond	W	6,3	kW·h/t
Tamaño inicial de las partículas	$d_{PAi}$	150	mm
Tamaño final partículas	$d_{PAf}$	1,5	mm
Fración másica de sólidos	$X_s$	0,05	
Caudal másico total a tratar	$\dot{m}_{RT}$	10,73	t/h
Número de equipos	N	2	
Caudal másico en cada equipo	$\dot{m}_R$	5,36	t/h
Potencia mínima necesaria	P	7,85	kW

## 2.2. TRATAMIENTO TÉRMICO

Una de las variables fundamentales que hay que definir es la temperatura a la cual se deben calentar los residuos, ya que influye directamente sobre el rendimiento final del proceso. La relación óptima entre la pulpa obtenida tras una centrifugación y la

alimentación a dicha centrifuga, preferiblemente debe comprender un rango entre 0,08 y 0,13. Esta relación se consigue a temperaturas elevadas (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3.** Influencia de la temperatura en la separación de la pulpa, [1].

Temperatura de alimentación	Relación pulpa/alimentación
30°C	0,18
50°C	0,14
90°C	0,11

Con el calentamiento se consigue un segundo objetivo (Tabla 3.4), ya que cuanto menor es esta relación, mayor es el rendimiento de licopeno obtenido en la pulpa.

**Tabla 3.4.** Influencia de la temperatura en la concentración de licopeno en la pulpa y el suero, [1].

Temperatura alimentación	Contenido en licopeno	
	Pulpa	Suero
80°C	800 ppm	10 ppm
50°C	700 ppm	50 ppm

Para el diseño del intercambiador de calor se puede utilizar un método simplificado de iteración obteniendo una buena aproximación, y para ello se deben realizar una serie de hipótesis para resolver el modelo matemático pertinente. Se va a suponer que se cumplen las siguientes condiciones:

- Las pérdidas de calor hacia el exterior son despreciables
- No se forman bolsas de aire en el interior del intercambiador
- El coeficiente global de transmisión de calor es constante a lo largo de todo el intercambiador.
- La temperatura en el interior de cada canal sólo varía en la dirección del flujo.

El proceso de cálculo a seguir es el siguiente:

1. Aplicando un balance global de energía se obtiene una expresión para calcular la

velocidad de flujo de calor, el cual establece que el flujo de calor cedido por el fluido caliente es absorbido por el fluido frío, aumentando así su temperatura. Además esta ecuación permite conocer la temperatura a la cual sale el fluido caliente:

$$Q = \dot{m}_{RT}C_{pR}(T_{RE} - T_{RS}) = \dot{m}_WC_{pW}(T_{WS} - T_{WE}) \quad (3.2)$$

Donde,

$Q$ , calor cedido entre ambas corrientes,  $\left(\frac{kJ}{h}\right)$

$\dot{m}_{RT}$ , caudal másico de RVI,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$

$C_{pR}$ , calor específico de los RVI,  $\left(\frac{kJ}{^{\circ}C \cdot kg}\right)$

$T_{RE}$ , temperatura de entrada de los RVI, ( $^{\circ}C$ )

$T_{RS}$ , temperatura de salida de los RVI, ( $^{\circ}C$ )

$\dot{m}_W$ , caudal másico de agua,  $\left(\frac{kg}{h}\right)$

$C_{pW}$ , calor específico del agua,  $\left(\frac{kJ}{^{\circ}C \cdot kg}\right)$

$T_{WE}$ , temperatura de entrada del agua, ( $^{\circ}C$ )

$T_{WS}$ , temperatura de salida del agua, ( $^{\circ}C$ )

El calor específico del agua se encuentra tabulada y el calor específico de los RVI se obtiene a partir de la ecuación adaptada de “Singh and Heldman, 1993” [34]:

$$C_{pR} = 1,424X_{CH} + 1,549X_P + 1,675X_L + 0,8317X_C + 4,187X_W \quad (3.3)$$

Donde  $X_{CH}$ ,  $X_P$ ,  $X_L$ ,  $X_C$ ,  $X_W$ , son las fracciones másicas de carbohidratos, proteínas, lípidos, cenizas y agua respectivamente, contenidos en el alimento.

2. Se calcula la diferencia de temperaturas media logarítmica para flujos en contracorriente:

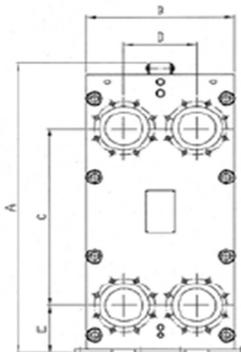
$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{WE} - T_{RS}) - (T_{WS} - T_{RE})}{\ln\left(\frac{T_{WE} - T_{RS}}{T_{WS} - T_{RE}}\right)} \quad (3.4)$$

3. Se calcula el número de unidades de transferencia (NUT), o también denominado, factor de ejecución, longitud térmica o razón de temperaturas. Este factor es necesario para poder evaluar, posteriormente, el factor de corrección (F) de la diferencia de temperaturas media logarítmica. Además, la elección del tipo de placa vendrá determinada por este número.

Así, para valores bajos de NUT deben utilizarse placas cortas y anchas, que se caracterizan por presentar bajos coeficientes de transmisión de calor, siendo pequeñas las pérdidas de presión en cada caso. Por el contrario, para valores altos de NUT se utilizan placas largas y estrechas con profundas arrugas en su superficie, y que dejan pequeños huecos entre las placas, siendo los canales estrechos.

$$NUT = \frac{(T_{RS}-T_{RE})}{\Delta T_{ml}} \quad (3.5)$$

4. Se elige el tipo de placa (Figura 3.1) dependiendo del valor obtenido en el apartado anterior. Según Perry, R. H. et al [11], los valores de NUT para intercambiadores de placas, varían entre 0,5 y 4, siendo el rango más común entre 2-3. Por lo que se establecen 3 rangos de valores: valores bajos, valores óptimos y valores altos, los cuales determinan la geometría de la placa a utilizar (Tabla 3.5).



**Figura 3.1.** Esquema de la parte frontal del intercambiador de placas por donde entran las corrientes.

**Tabla 3.5.** Distintos tamaños de placas. Datos adaptados de la empresa Funke. FP, marco taladrado (no soldado); DN, diámetro nominal, (mm).

Tipo de placa	NUT	Marco	Máx. presión bar	Máx. número platos	Área plato m <sup>2</sup>	B mm	C mm	Conexiones	Área máxima m <sup>2</sup>
Placa estrecha	>3	FP	25	500	0,7	480	1882	DN 100	350
Placa estándar	2-3	FP	25	500	0,3	480	894	DN 100	150
Placa ancha	<2	FP	25	700	0,41	760	770	DN200	300

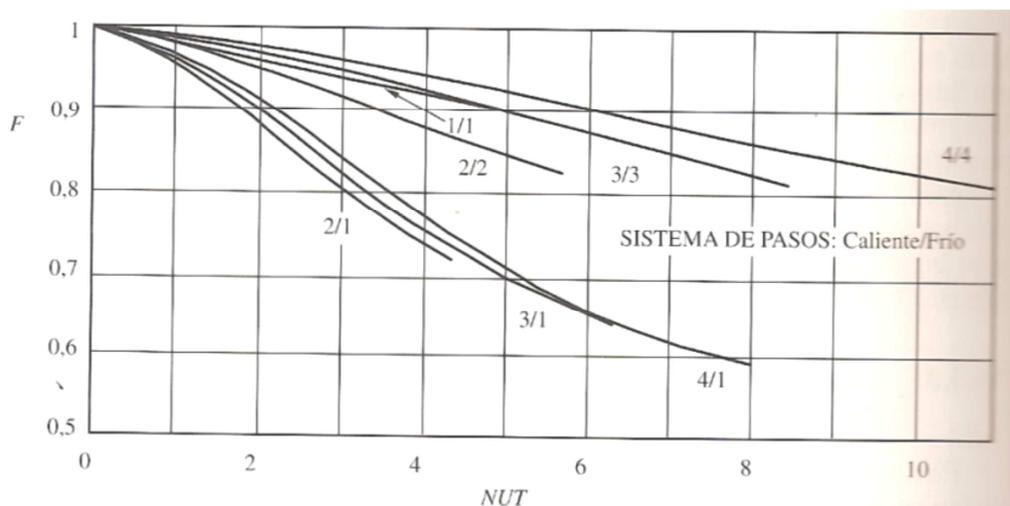
5. Se calcula el diámetro efectivo:

$$D_e = 2b \tag{3.6}$$

Donde,

b, espacio entre placas, (m)

6. Se calcula el factor de corrección (F) mediante la Figura 3.2:



**Figura 3.2.** Diagrama del factor de corrección en función del sistema de pasos y el NUT. Adaptado de Ibarz, A. [13], pág. 428.

A continuación se calculan las características de los dos fluidos (agua y residuos triturados), por lo que desde el paso 6 hasta el 11, los cálculos son por duplicado para cada uno de los dos fluidos.

7. Se calcula el flujo másico:

$$G = \frac{\dot{m}}{ab} \quad (3.7)$$

Donde,

a, ancho de la placa, (m)

8. En este paso empieza el proceso iterativo suponiendo un número de canales para cada fluido (n).

9. A continuación se calcula en número de Reynolds:

$$Re = \frac{(G/n)D_e}{\mu} \quad (3.8)$$

Donde,

n, número de canales de cada tipo de fluido

$\mu$ , viscosidad del fluido, (Pa · s)

La viscosidad del agua se encuentra tabulada y para la de los residuos se toma la siguiente correlación [13]:

$$\mu = (1,75E - 04)e^{\frac{4000}{T}} \text{ (mPa} \cdot \text{s) y } T \text{ en (K)} \quad (3.9)$$

10. Se calcula el número de Prandtl:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \quad (3.10)$$

Donde,

$k$ , conductividad térmica del fluido,  $\left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right)$

La conductividad térmica del agua, expresada en  $^{\circ}C$ , se encuentra tabulada y la de los residuos se toma la siguiente la expresión adaptada de “Riedel, 1949” [34]:

$$k = (326,58 + 1,0412T - 0,00337T^2)(0,46 + 0,54X_w)0,00173 \left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right) \quad (3.11)$$

11. Se calcula en número de Nusselt para intercambiadores de placas y convección forzada [35].

$$\text{Para régimen turbulento (Re}>400) \rightarrow Nu = 0,374(Re)^{0,668} Pr^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (3.12)$$

$$\text{Para régimen laminar (Re}<400) \rightarrow Nu = 3,18 \left(Re Pr \frac{D_e}{L}\right)^{0,333} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (3.13)$$

Donde,

$L$ , longitud característica del área de transmisión o longitud de flujo, ( $m$ ).

Esta longitud corresponde a la diagonal de la placa,  $L = \sqrt{l_F^2 + a^2}$

$\mu$ , viscosidad en el seno del fluido, ( $Pa \cdot s$ )

$\mu_w$ , viscosidad en la pared, ( $Pa \cdot s$ )

Se supondrá que no hay variación de temperatura en la sección transversal al flujo, por lo que la viscosidad también será uniforme a lo largo de esta sección,  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right) = 1$ .

12. Se calcula el coeficiente individual de transmisión de calor:

$$h = \frac{Nu \cdot k_M}{D_e} \quad (3.14)$$

Donde,

$h$ , coeficiente individual de transferencia de calor,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right)$

$k_M$ , conductividad térmica del material (Acero inoxidable AISI 316L),  
 $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)$

13. Se calcula el coeficiente global de transmisión de calor:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_W} + \frac{1}{h_R} + \frac{e}{k_M} \quad (3.15)$$

Donde,

$h_W$ , coeficiente individual del agua,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$

$h_R$ , coeficiente individual de los RVI,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$

$e$ , espesor de la pared de la placa,  $(m)$

14. Se calcula el área total de transmisión:

$$A_T = \frac{Q}{U \Delta T_{ml} F} \quad (3.16)$$

Donde,

$A_T$ , es el área total de transmisión de calor,  $(m^2)$

15. Se calcula el número de pasos y se compara con el supuesto, si coincide, la iteración termina, de lo contrario, se vuelve a suponer otro valor de “n” y se vuelve a iterar:

$$N = \frac{A_T}{A_P}; n = n_R + n_W = N + 1 \quad (3.17)$$

Donde,

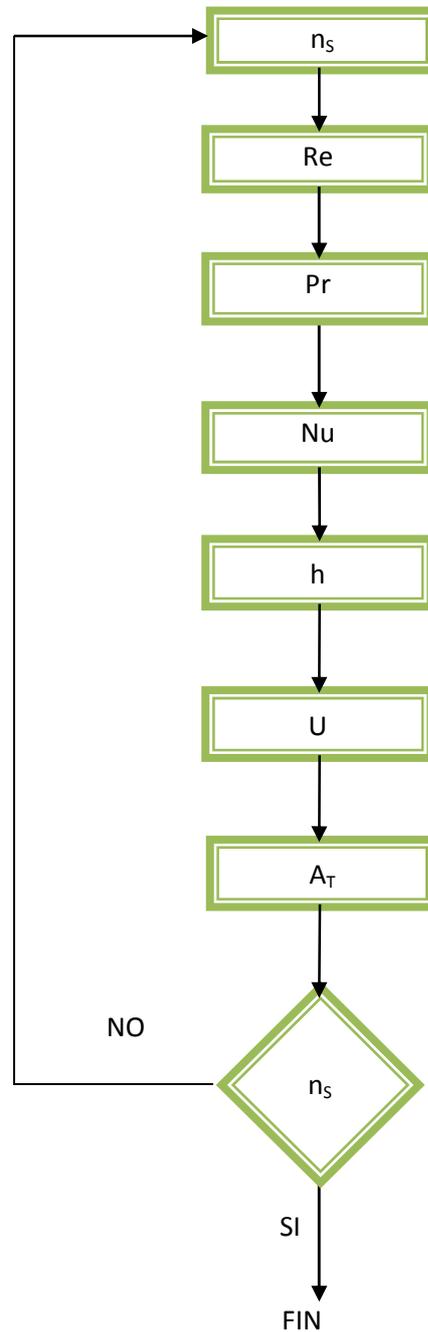
$n_R$ , número de canales de los RVI

$n_W$ , número de canales del agua

$N$ , número de placas térmicas

$A_P$ , área de la placa,  $(m^2)$

El proceso iterativo se esquematiza como sigue:



**Figura 3.3.** Proceso de cálculo correspondiente a las etapas de 8 a 15.

16. Finalmente se calcula la eficacia del intercambiador de calor, que aumenta cuanto mayor es el NUT [13]:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1-\beta)]}{1 - \beta \exp[-NUT(1-\beta)]} \quad (3.18)$$

Donde,

$\varepsilon$ , comprende valores entre 0 y 1

$\beta$ , relación de capacidades térmicas por unidad de tiempo, mínima y máxima. Estas capacidades corresponden al producto del caudal másico por el calor específico de la corriente de residuo y agua caliente respectivamente.

$$\beta = \frac{(\dot{m}C_p)_{\min}}{(\dot{m}C_p)_{\max}} \quad (3.19)$$

El diseño final de esta unidad de proceso se basa principalmente en aspectos económicos, por lo que se tiene que conseguir que el coste sea lo más bajo posible. En este coste influirán básicamente dos factores, uno es el caudal de agua caliente a alimentar al intercambiador y el otro es su temperatura. Ambos factores influyen a su vez en el NUT, que como más arriba se ha comentado determina el tipo de placa a utilizar, y en la cantidad de energía necesaria para calentar el agua de servicio.

Por lo tanto, se debe fijar tanto el caudal de agua como su temperatura de tal manera que todos los factores estén dentro de un rango económicamente viable. Tanto los datos utilizados como los resultados obtenidos se muestran en las tablas 3.6 y 3.7.

### 2.3. CENTRIFUGACIÓN 1

La centrifugación es viable siempre y cuando el tiempo que tardan las partículas en alcanzar la pared de la centrífuga, sea menor que el tiempo de residencia del fluido en la centrífuga. Este tiempo de residencia depende de las características de la centrífuga y del caudal a tratar y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$t_R = \frac{V_C}{q} = \frac{\pi r_C^2 l_C}{\dot{m}_{RT}/\rho_R} \quad (3.20)$$

Donde,

$V_C$ , volumen de la centrífuga, ( $m^3$ ).

$r_C$ , radio de la centrífuga, ( $m$ )

$l_C$ , longitud de la centrífuga, ( $m$ )

$q$ , caudal de alimentación, ( $\frac{m^3}{h}$ ).

$\rho_R$ , densidad de los RVI, ( $\frac{kg}{m^3}$ ). Valor propuesto por Ibarz, A. [13].

Tabla 3.6. Datos de partida para el diseño del intercambiador de placas.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Caudal másico RVI	$\dot{m}_{RT}$	10.725,31	kg/h
Conductividad térmica RVI	$k_R$	0,633	W/m°C
Caudal másico agua caliente	$\dot{m}_W$	32.175,92	kg/h
Conductividad térmica agua	$k_W$	0,660	W/m°C
Grosor de placa	$e$	0,0031	m
Altura de placa	$H_p$	0,89	m
Longitud de flujo	$L$	1,01	m
Espacio entre placas	$b$	0,0020	m
Ancho de placa	$a$	0,48	m
Área de placa	$A_p$	0,3	$m^2$
Conductividad térmica del material	$k_M$	16,0	W/m°C
Calor específico agua caliente	$C_{pW}$	4,2	kJ/(°C·kg)
Calor específico de RVI	$C_{pR}$	4,04	kJ/(°C·kg)
Temperatura entrada RVI	$T_{RE}$	20	°C
Temperatura entrada agua caliente	$T_{WE}$	90	°C
Temperatura salida RVI	$T_{RS}$	80	°C

Seguidamente, se calcula el tiempo necesario para la centrifugación y se compara con el tiempo de residencia para evaluar la viabilidad de la operación (Tabla 3.8), a través de la siguiente expresión:

$$t_C = \frac{18\mu_R}{d_{pA}^2(\rho_S - \rho)\omega^2} \ln \frac{r_C}{r_1} \quad (3.21)$$

Donde,

$\mu_R$ , viscosidad de los RVI, ( $Pa \cdot s$ )

$d_{pA}$ , diámetro de partícula, ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$\rho_s$ , densidad de los sólidos, ( $\frac{kg}{m^3}$ ). Valor propuesto por Ibarz, A. [13]

$\rho$ , densidad del fluido, ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$r_i$ , superficie del líquido, ( $m$ )

$\omega$ , revoluciones, ( $\frac{rad}{s}$ )

Tabla 3.7. Resultados obtenidos del diseño del intercambiador de placas.

	Nomenclatura	Valor		Unidades
Velocidad de transmisión de calor	Q	2.596.597,45		kJ/h
Temperatura salida agua caliente	T <sub>ws</sub>	70,79		°C
Dif. Tª media logarítmica	$\Delta T_{ml}$	25,10		
Número unidades transferencia	NUT	2,39		
Diámetro efectivo	D <sub>e</sub>	0,004		m
Factor de corrección. Pasos 1/1	F	0,95		
		RVI (R)	AGUA (W)	
Viscosidad	$\eta$	0,04	0,00034	Pa·s
Flujo másico	G	3.103,39	9.310,16	kg/s·m <sup>3</sup>
Número de canales RVI/agua	$n_R/n_W$	84,00	83,00	
Número de Reynolds	Re	3,53	1.335,36	
Número de Prandtl	Pr	286,71	2,14	
Número de Nusselt	Nu	5,04	58,98	
Coeficientes individuales de T.C.	h	741,92	9.731,08	W/m <sup>2</sup> °C
Coeficiente global de T.C.	U	608,13		W/m <sup>2</sup> °C
Área total de transmisión	A <sub>T</sub>	49,74		m <sup>2</sup>
Número de placas	N	166		
Relación capacidades	$\beta$	0,32		
Eficacia	$\epsilon$	0,86		

Siendo la velocidad de sedimentación de los sólidos en la pared de la centrífuga:

$$v_g = \frac{d_{pA}^2 g(\rho_s - \rho)}{18\mu} \quad (3.22)$$

Donde,

g, velocidad de la gravedad,  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

La separación se realiza de tal manera que se separan todas las partículas por encima de 20 micras, es decir, en el suero quedarán todavía las partículas finas.

Una vez comprobado que la centrifugación se puede llevar a cabo, han de caracterizarse las corrientes de salida, y para ello se asume que se cumplen una serie de condiciones basados en experimentos (Tabla 3.9).

**Tabla 3.8.** Datos de partida y resultados obtenidos del tiempo de centrifugación.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Radio de la centrífuga	$r_C$	0,20	m
Longitud de la centrífuga	$l_C$	1,60	m
Caudal másico de RVI	$\dot{m}_{RT}$	10,73	kg/h
Densidad de los sólidos	$\rho_s$	1.632	kg/m <sup>3</sup>
Volumen de la centrífuga	$V_C$	0,20	m <sup>3</sup>
Caudal de RVI	$q_R$	10,38	m <sup>3</sup> /h
<u>Tiempo de residencia</u>	$\tau_{R1}$	69,71	s
Viscosidad del líquido	$\mu_1$	0,015	Pa·s
Diámetro de partícula	$d_{pA1}$	2E-05	m
Densidad líquido	$\rho_1$	1.033	kg/m <sup>3</sup>
Revoluciones	$\omega_1$	419	rad/s
Revoluciones	$\omega_1$	4.000	rpm
Superficie del suero en la centrífuga	$r_1$	0,175	m
Velocidad de sedimentación	$v_{g1}$	8,94E-06	m/s
<u>Tiempo de centrifugación</u>	$t_{C1}$	0,83	s

Mediante un balance de materia global y de soluto se obtienen las corrientes de salida de la centrifugación (Tabla 3.10).

Tabla 3.9. Condiciones impuestas en la centrifugación [1].

	Porcentaje (%)
Pulpa separada	9,5
Humedad de la pulpa	85
Licopeno recuperado en pulpa	90,95
Licopeno perdido en el suero	9,05

Tabla 3.10. Resultados obtenidos de los balances de materia.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Residuos	$\dot{m}_{RT}$	10.725,31	kg/h
Contenido eq. licopeno	$[eq.L]_R$	928,57	ppm
Pulpa	$\dot{m}_P$	1.018,9	kg/h
Contenido eq. licopeno	$[eq.L]_P$	8.889,85	ppm
Suero	$\dot{m}_{SU}$	9.706,4	kg/h
Contenido eq. licopeno	$[eq.L]_{SU}$	92,86	ppm
Cantidad de finos	$\%_F$	0,221	

Durante el proceso de centrifugado es posible que tanto el suero como la pulpa pierdan algo de calor. Para calcular esa disminución de temperatura habrá que suponer que la centrífuga se comporta como una tubería por el que circula un fluido ocupando todo el volumen (ver Figura 3.4).

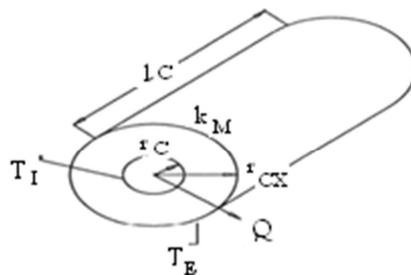


Figura 3.4. Esquema de la centrífuga tubular (cilindro).

Entonces el calor perdido desde el interior de la centrifuga hacia el exterior se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{2\pi k_M l_C (T_I - T_E)}{\ln\left(\frac{r_C}{r_{CX}}\right)} \quad (3.23)$$

Donde,

$k_M$ , conductividad térmica del material (Acero inoxidable),  $\left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right)$

$l_C$ , longitud de la centrifuga, (m)

$T_I$ , temperatura en la pared interior de la centrifuga, ( $^{\circ}C$ )

$T_E$ , temperatura en la pared exterior de la centrifuga, ( $^{\circ}C$ )

$r_{CX}$ , radio exterior, (m)

Con el flujo de calor y la ecuación 3.2 adaptada a este caso, se obtiene la temperatura de salida de las dos corrientes (ver Tabla 3.11).

**Tabla 3.11.** Temperatura de salida del suero y la pulpa

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Conductividad térmica</b>	$k_M$	16	W/m $^{\circ}C$
<b>Radio exterior</b>	$r_{CX}$	0,22	m
<b>Flujo de calor</b>	Q	92,82	kW
<b>Flujo de calor</b>	Q	334.153,29	kJ/h
<b>Temperatura de salida</b>	T	72,28	$^{\circ}C$

## 2.4. CENTRIFUGACIÓN 2

En esta unidad se consiguen separar los finos que hayan podido quedar en el suero, mediante una centrifugación más exhaustiva, de tal manera que se separen los sólidos finos con un tamaño por encima de 2 micras. El proceso de cálculo es idéntico a la otra centrifugación (Apartado 2.3) por lo que sólo se muestran los datos y resultados obtenidos (ver Tabla 3.12). Además se calcula de nuevo la caída de temperatura del mismo modo que en el apartado 2.3, obteniéndose una temperatura de ambas corrientes a la salida de 65,23 $^{\circ}C$ .

Tabla 3.12. Datos y resultados correspondientes a la segunda unidad de centrifugación.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Radio de la centrífuga	$r_C$	0,2	m
Superficie del suero en la centrífuga	$r_1$	0,175	m
Longitud de la centrífuga	$l_C$	1,6	m
Caudal másico de suero	$\dot{m}_{SU}$	9.706,4	kg/h
Densidad del suero	$\rho_{SU}$	971,8	kg/m <sup>3</sup>
Volumen de la centrífuga	$V_C$	0,20	m <sup>3</sup>
<u>Tiempo de residencia</u>	$t_{R2}$	74,57	s
Viscosidad del líquido	$\mu_2$	0,00035	Pa·s
Diámetro de partícula	$d_{PA2}$	2E-06	m
Densidad de los sólidos finos	$\rho_S$	1.632	kg/m <sup>3</sup>
Revoluciones	$\omega_2$	4.500	rpm
Revoluciones	$\omega_2$	471	rad/s
<u>Velocidad de sedimentación</u>	$v_{g2}$	4,11E-06	m/s
<u>Tiempo de centrifugación</u>	$t_{C2}$	1,43	s
Caudal másico de agua residual	$\dot{m}_D$	9.563,4	kg/h
Caudal másico de sólidos finos	$\dot{m}_F$	143,00	kg/h
Humedad sólidos	$Y_S$	85,00	%

### 3. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

#### 3.1. EXTRACCIÓN

El mecanismo de la extracción de un soluto contenido en una partícula sólida mediante un líquido, se considera que ocurre en tres etapas sucesivas hasta que se alcanza el equilibrio. Estas etapas son las siguientes:

- Cambio de fase del soluto.

Es el paso del soluto desde la fase sólida al líquido. La disolución del soluto se realiza a través de una interfase sólido-líquido. Aunque para el estudio de esta etapa podría

aplicarse la teoría de la capa límite, no ha sido desarrollada en este caso, y es por ello que suele considerarse que este fenómeno de disolución es instantáneo, por lo que no influye en la velocidad global de extracción.

- Difusión del soluto en el disolvente contenido en los poros del sólido.

En la mayoría de los casos, el soluto se encuentra en el interior de las partículas sólidas, siendo preciso que el disolvente se ponga en contacto con él, por lo que debe llenar los poros del sólido inerte. La transferencia del soluto desde el interior de la partícula sólida hasta su superficie, se realiza debido al gradiente de concentración existente entre la interfase sólido-líquido y la superficie exterior del sólido. Se considera que el disolvente en el interior de los poros permanece prácticamente estacionario, por lo que la transferencia de soluto desde zonas de mayor concentración al exterior, se realiza únicamente por difusión molecular. La expresión de la velocidad de transferencia de materia en esta etapa vendrá dada por la ley de Fick:

$$N_S = -D_L \frac{dc}{dz} \quad (3.24)$$

Donde,

$N_S$ , densidad de flujo de materia,  $\left(\frac{kg}{m^2 \cdot s}\right)$ .

$D_L$ , difusividad del soluto a través del disolvente,  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$ .

$C$ , concentración de la disolución,  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ .

$z$ , distancia en el interior del poro,  $(m)$ .

- Transferencia de soluto desde la superficie de las partículas hasta el seno de la disolución.

Una vez que el soluto ha alcanzado la superficie de la partícula, se transfiere desde este punto hasta el seno de la disolución gracias a un gradiente de concentración, realizándose esta transferencia de materia por transporte molecular y turbulento, de forma simultánea. En esta etapa la velocidad de transferencia de materia viene dada por la expresión:

$$N_S = \frac{dM}{A dt} = K_L(C_S - C) \quad (3.25)$$

Donde,

$M$ , masa del soluto transferida, ( $kg$ ).

$A$ , área interfacial sólido-líquido, ( $m^2$ ).

$t$ , tiempo, ( $s$ ).

$C_S$ , concentración del soluto en la superficie del sólido, ( $\frac{kg}{m^3}$ ).

$C$ , concentración del soluto en el seno de la disolución, ( $\frac{kg}{m^3}$ ).

$K_L$ , coeficiente global de transferencia de materia, ( $\frac{m}{s}$ ).

Cada una de las etapas descritas posee su propia velocidad de transferencia, siendo la más lenta la que controla el proceso de extracción. Tal como se ha indicado más arriba, en la primera etapa la disolución del sólido se considera instantánea, por lo que no va a influir en el proceso. De las otras dos etapas, es la segunda la que suele controlar la velocidad del proceso, ya que normalmente se desarrolla lentamente.

Para procesos por lotes,  $V$  es el volumen total de disolución y se asume que permanece constante, entonces:

$$dM = V dC \quad (3.26)$$

Combinando las ecuaciones 3.25 y 3.26 se obtiene una expresión que pone de manifiesto que la concentración de soluto en un tanque agitado tiende a la saturación de forma exponencial:

$$C = C_S \left( 1 - e^{-\left(\frac{K_L A}{V}\right)t} \right) = C_S (1 - e^{-bt}) \quad (3.27)$$

Además, esta ecuación linealizada se utiliza para calcular empíricamente  $K_L$  representando gráficamente valores experimentales de  $\ln \frac{C_s - C}{C_s}$  frente al tiempo t, donde C hace referencia a la concentración de carotenoides totales (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Parámetros de la ecuación 3.27. Fuente: Strati, I. F. [4].

	Cs (mg L <sup>-1</sup> )	b (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Hexano	1,99 ± 0,43	0,05 ± 0,02	0,89

Para estimar el tiempo de extracción se utilizan estos valores experimentales, pero hay que resaltar que este estudio fue realizado a 25°C, y se ha documentado que el rendimiento es mayor a la temperatura de operación del presente proyecto (60°). Teniendo en cuenta esto, la concentración final que se obtenga a la conclusión del proceso será inferior a la concentración teóricamente esperada.

De la misma fuente bibliográfica se obtiene que la concentración de carotenoides aumenta bruscamente durante los primeros 50 minutos y alcanza la concentración de equilibrio aproximadamente a los 90 minutos, cuando los cambios de composición son muy bajos, tal y como se muestra en la Figura 3.5.

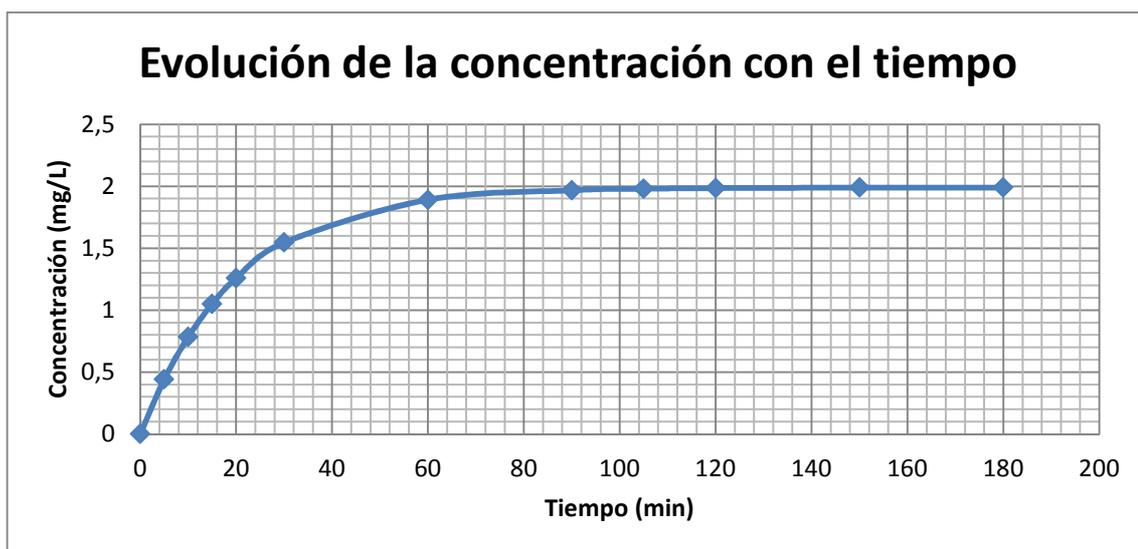


Figura 3.5. Gráfica de la evolución de la concentración de carotenoides con el tiempo. Fuente: Strati, I. F. [4].

Para los cálculos de esta etapa se deben adoptar una serie de suposiciones previas:

- El inerte y el disolvente son totalmente insolubles
- La retención de disolvente en el refinado por parte de la mezcla inerte y soluto es constante a lo largo del proceso. Se ha estudiado que para un proceso de extracción de aceite de soja, la pasta resultante de la extracción contiene entre un 25 - 35 % de disolvente [38].

A continuación se define el sistema empezando por realizar balances de materia al conjunto de extractores:

- Balance global:  $F + S = E + R = M$  (3.28)

- Balance soluto (A):  $FX_{A_{i-1}} + SY_{A_{i-1}} = EY_{A_i} + RX_{A_i} = MX_{M_i}$  (3.29)

- Balance de disolvente (S):  $FX_{S_{i-1}} + SY_{S_{i-1}} = EY_{S_i} + RX_{S_i} = MY_{M_i}$  (3.30)

F, S, E y R, son las masas de alimentación, disolvente, extracto y refinado respectivamente expresadas en kilogramos.

$X_A$  e  $Y_A$ , son las fracciones másicas de soluto en el refinado y extracto respectivamente.

$X_S$  e  $Y_S$ , son las fracciones másicas de disolvente en el refinado y extracto respectivamente.

M, es el punto de mezcla y  $X_{M_i}$  e  $Y_{M_i}$ , son las fracciones másicas de soluto y disolvente respectivamente, de este punto.

La relación de equilibrio viene definida por la retención (p) que se define como la relación entre la cantidad de disolución y la cantidad de inerte, pudiéndose expresar como se muestra a continuación:

$$p = \frac{1-X_{Ii}}{X_{Ii}} \quad (3.31)$$

Donde  $X_I$  es la fracción másica de inerte.

Aplicando el concepto de etapa de equilibrio, es decir, la composición de la disolución en el extracto,  $Y_{Ai}$ , es igual a la composición de la disolución retenida sobre el inerte, se puede llegar a la siguiente expresión:

$$Y_{Ai} = \frac{X_{Ai}}{X_{Ai} + X_{Si}} = \frac{X_{Ai}}{1 - X_{Ii}} \quad (3.32)$$

Ahora el sistema de ecuaciones ha quedado definido con 5 ecuaciones (3.28 a 3.32) y 5 incógnitas ( $M$ ,  $Y_{Ai}$ ,  $X_{Ai}$ ,  $Y_{Si}$ ,  $X_{Si}$ ) por lo que se está en disposición de resolverlo, y para ello se hace uso de un diagrama triangular rectangular. Así, el procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Se sitúa el punto de alimentación  $F (X_{AO})$  y se une con el vértice  $S (X_{SO})$ , (Figura 3.6).

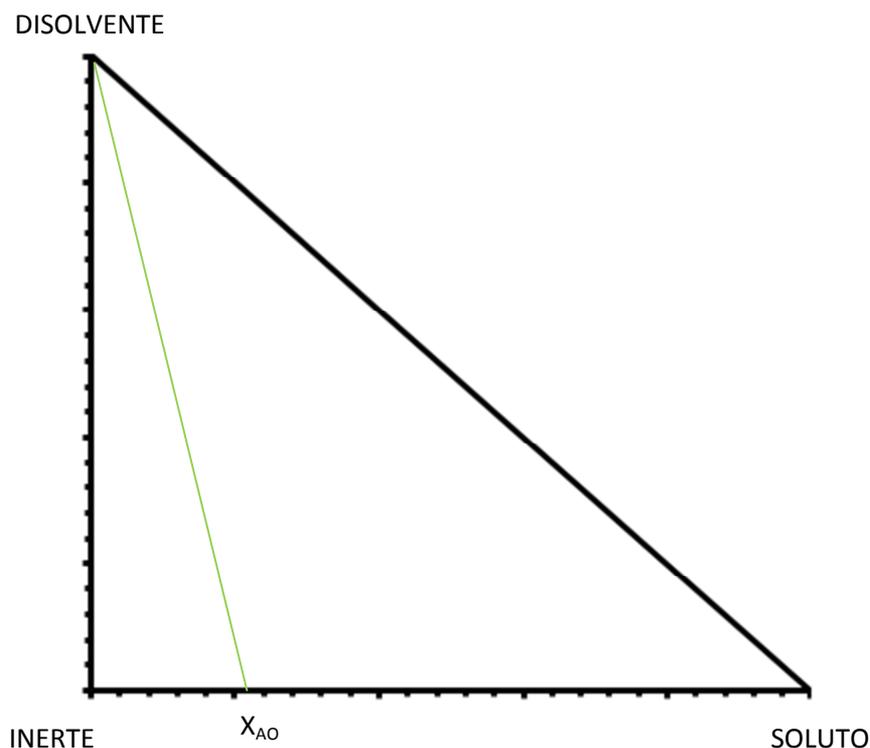


Figura 3.6. Diagrama triangular.

2. Se representa la línea de retención, que en este caso es una recta porque la retención es constante, y por ello, se representa utilizando las condiciones límite (Figura 3.7).

$$X_A=0 \rightarrow X_S = 1 - X_I = \frac{p}{1+p} \quad (3.33)$$

$$X_S=0 \rightarrow X_A = 1 - X_I = \frac{p}{1+p} \quad (3.34)$$

Esta línea de retención tiene de ecuación:

$$X_S = \frac{p}{1+p} - X_A \quad (3.35)$$

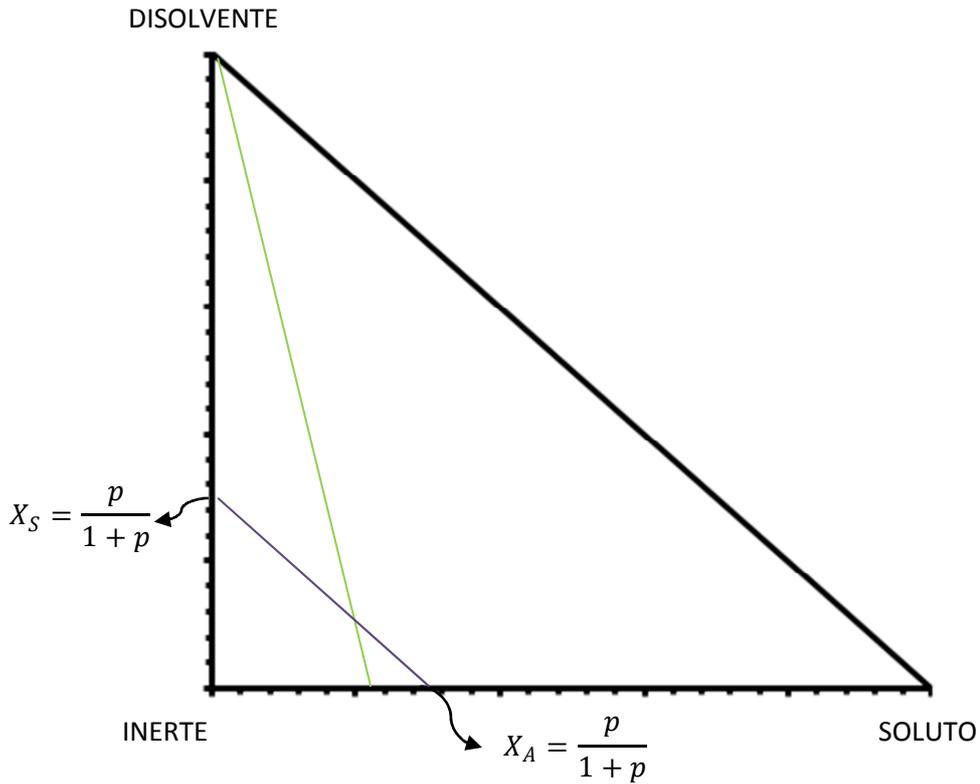


Figura 3.7. Diagrama triangular.

3. Se sitúa el punto de mezcla mediante los balances de materia (Figura 3.8).
4. Se une el punto M con el origen de coordenadas y se prolonga hasta la diagonal. Esta recta corta a la línea de retención caracterizando la corriente de refinado y también corta la diagonal caracterizando la corriente del extracto. De este modo se obtiene las composiciones de ambas corrientes tal y como se muestra en la Figura 3.9.

Este proceso se repite para cada una de las dos etapas, mostrándose los resultados en la Tabla 3.14.

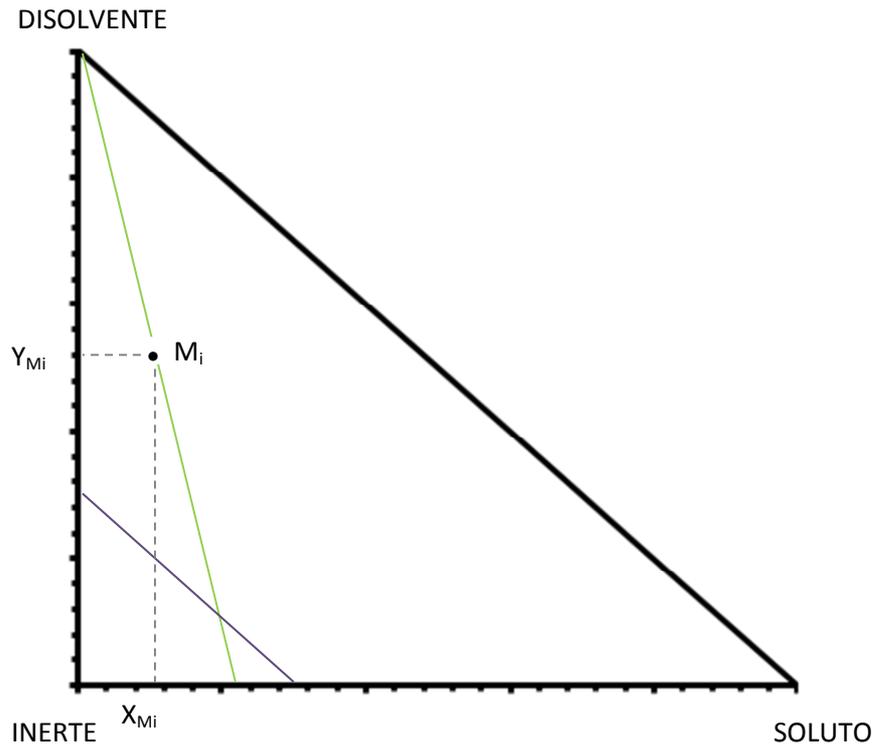


Figura 3.8. Diagrama triangular.

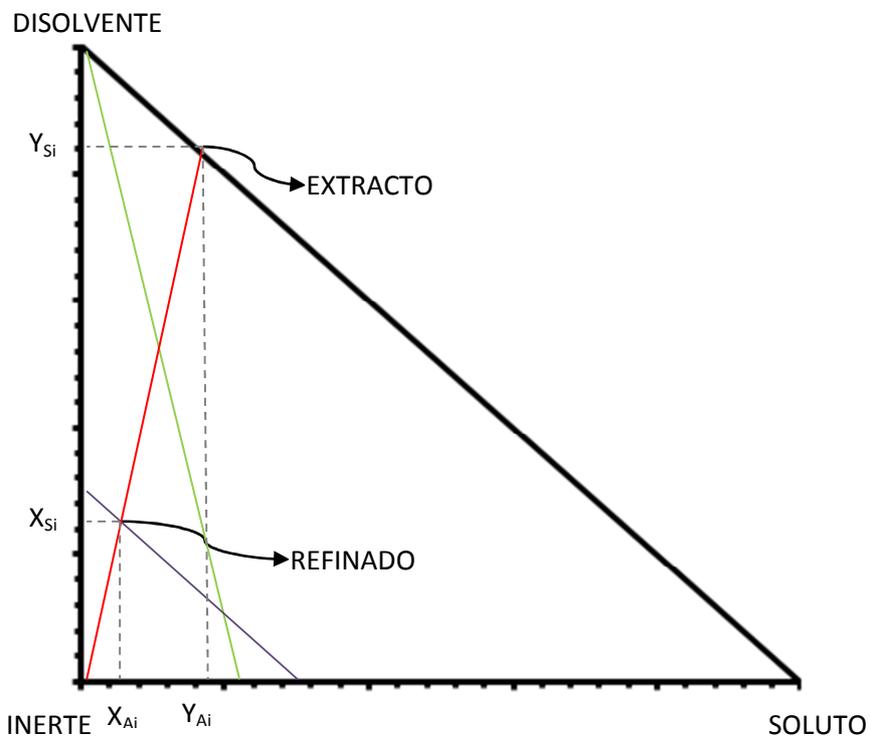


Figura 3.9. Diagrama triangular.

Tabla 3.14. Datos y resultados correspondientes a la etapa de extracción

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>DATOS DE PARTIDA</b>			
Pulpa	F	850,78	kg
Disolvente	S	2.552,34	kg
Composición eq.L en la alimentación	$X_{A0}$	0,0089	
Composición inerte en la alimentación	$X_{I0}$	0,991	
Composición disolvente en la alimentación	$X_{S0}$	0	
Retención de disolvente + soluto en extracto	P	0,30	
<b>1ª ETAPA</b>			
Coordenada X del punto mezcla	$X_{m1}$	0,002	
Coordenada Y del punto mezcla	$Y_{m1}$	0,75	
Fracción másica de inerte en el refinado	$X_{I1}$	0,77	
Recta de reparto	$X_A, X_S$	0,23	
Fracción másica eq.L en el refinado	$X_{A1}$	0,0007	
Fracción másica disolvente en el refinado	$X_{S1}$	0,23	
Fracción másica disolvente en el extracto	$Y_{S1}$	0,997	
Fracción másica eq.L en el extracto	$Y_{A1}$	0,003	
Extracto	$E_1$	2.310,67	kg
Refinado	$R_1$	1.085,68	kg
Porcentaje de recuperación	%	90,26	
<b>2ª ETAPA</b>			
Coordenada X del punto mezcla	$X_{m2}$	0,0002	
Coordenada Y del punto mezcla	$Y_{m2}$	0,77	
Fracción másica de inerte en el refinado	$X_{I2}$	0,77	
Fracción másica eq.L en el refinado	$X_{A2}$	0,00006	
Fracción másica disolvente en el refinado	$X_{S2}$	0,231	
Fracción másica disolvente en el extracto	$Y_{S2}$	0,9997	
Fracción másica eq.L en el extracto	$Y_{A2}$	0,0003	
Extracto	$E_2$	2.542,74	kg
Refinado	$R_2$	1.090,21	kg
Porcentaje de recuperación	%	8,88	

(continuación)

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>FINAL</b>			
Extracto total	$E_T$	4.853,40	kg
Fracción másica eq.L final	$Y_{AF}$	0,0015	
Fracción másica disolvente final	$Y_{SF}$	0,9985	
Refinado total	$R_T$	1.090,21	kg
Fracción másica eq.L final	$X_{AF}$	0,00037	
Fracción másica disolvente final	$X_{SF}$	0,23	
Porcentaje de recuperación	%	99,14	

Se da por buena la recuperación en la segunda etapa, ya que la mejora del rendimiento con una tercera etapa es prácticamente inapreciable.

### 3.2. FLUIDO CALEFACTOR

El fluido caliente que se utiliza para calentar la mezcla en el extractor encamisado es agua caliente procedente de un circuito interno.

Dado que el proceso no opera en modo continuo, sino discontinuo o batch, no se puede hablar de caudal másico de pulpa  $m_p$  (kg/h), sino de masa de pulpa (kg), ya que toda la mezcla inicial se carga desde el principio. De este modo, el calor que se calcule vendrá dado en kJ y no en kJ/h, y es el calor total necesario para calentar la totalidad de la mezcla a la temperatura de operación.

El hexano inicialmente se encuentra a temperatura ambiente, pero una vez iniciado el proceso, éste se recircula constantemente estimando que la temperatura de estado estacionario en el tanque de almacenamiento es de 45°C. Por lo tanto, se tendrá una temperatura de mezcla diferente para cada extractor (Tabla 3.15 y Tabla 3.16).

$$m_P C_{pP} (T_P - T_M) = m_H C_{pH} (T_M - T_H) \quad (3.36)$$

Dado que los recipientes encamisados son fundamentalmente aparatos para procesar lotes, la diferencia de temperatura durante el proceso de calentamiento no es constante,

es distinta para cada instante de tiempo. Es decir, antes de que el proceso llegue a tener condiciones de estado estacionario, debe transcurrir cierto tiempo después de iniciarse la transferencia de calor, para permitir que desaparezcan las condiciones de estado no estacionario. Por tanto, no se puede hacer uso de las ecuaciones de transmisión de calor que admiten régimen isotérmico, sino que se debe utilizar una ecuación de estado no estacionario que tome en consideración el tiempo requerido para cambiar la temperatura del lote y emplee una diferencia de temperatura que varíe con el tiempo.

**Tabla 3.15.** Cálculo de la temperatura inicial de la mezcla en el primer extractor.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Pulpa</b>	$m_{P1}$	850,78	kg
<b>Hexano</b>	$m_{H1}$	2.552,34	kg
<b>Calor específico pulpa</b>	$C_{pP}$	4,04	kJ/kg°C
<b>Calor específico hexano</b>	$C_{pH}$	2,29	kJ/kg°C
<b>Temperatura de pulpa</b>	$T_{P1}$	80,00	°C
<b>Temperatura de hexano</b>	$T_H$	45,00	°C
<b>Temperatura inicial mezcla</b>	$T_{i1}$	57,95	°C

**Tabla 3.16.** Cálculo de la temperatura inicial de la mezcla en el segundo extractor.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Pulpa</b>	$m_{P2}$	1.085,68	kg
<b>Hexano</b>	$m_{H2}$	2.552,34	kg
<b>Calor específico pulpa</b>	$C_{pP}$	4,04	kJ/kg°C
<b>Calor específico hexano</b>	$C_{pH}$	2,29	kJ/kg°C
<b>Temperatura de pulpa</b>	$T_{P2}$	60,00	°C
<b>Temperatura de hexano</b>	$T_H$	45,00	°C
<b>Temperatura inicial mezcla</b>	$T_{i2}$	51,43	°C

El análisis en estas circunstancias recibe el método de capacidad global donde se supone que la resistencia interna del extractor es muy baja y se puede considerar que la temperatura en el seno del fluido permanece uniforme en cualquier momento. Aplicando un balance de energía y realizando las operaciones oportunas se obtiene la siguiente expresión [11]:

$$\ln \left( \frac{T_{\infty} - T_f}{T_{\infty} - T_i} \right) = - \frac{m_C c_{pC} U A}{c_{pM} m_M (m_C c_{pC} + U A)} t \quad (3.37)$$

Donde,

$T_f$ , temperatura final de la mezcla, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_i$ , temperatura inicial de la mezcla, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\infty}$ , temperatura del fluido calefactor, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U$ , coeficiente global de transmisión de calor,  $\left( \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{h}^{\circ}\text{C}} \right)$

$A$ , área de intercambio, ( $\text{m}^2$ )

$c_{pM}$ , calor específico de la mezcla,  $\left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \right)$

$c_{pC}$ , calor específico del fluido calefactor,  $\left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \right)$

$m_C$ , masa fluido de calefacción, (kg)

$m_M$ , carga inicial de la mezcla, (kg)

$t$ , tiempo de calentamiento, (h)

La capacidad calorífica de la mezcla es función de las fracciones másicas de pulpa y hexano respectivamente ( $X_P$  y  $X_H$ ), y se obteniéndose manera sencilla a partir de la siguiente expresión:

$$c_{pM} = X_P c_{pP} + X_H c_{pH} \quad (3.38)$$

El área de intercambio, es el área total a través de la cual se pone en contacto el fluido caliente que circula por la camisa que rodea al extractor y la mezcla que se encuentra en su interior, es decir, el área de las paredes del extractor:

$$A_T = 2rH \quad (3.39)$$

Donde,

$r$ , radio del extractor, (m)

$H$ , altura del extractor, (m)

Otra incógnita es el coeficiente global de transmisión de calor, el cual se supone que se mantiene constante a lo largo de todo el proceso. Para el calentamiento de una mezcla en el interior de un reactor cilíndrico encamisado con agitación interna, dicho coeficiente viene dado por la siguiente expresión [11]:

$$\frac{Ud}{k} = 0,4 \frac{(d_A^2 v \rho)^{0,52}}{\mu} \times \frac{(C_{pM} \mu)^{\frac{1}{3}}}{k} \times \frac{(\mu)^{0,14}}{\mu_W} \quad (3.40)$$

Donde,

d, diámetro del extractor, (m)

k, conductividad térmica de la mezcla,  $\left(\frac{kJ}{mh^\circ C}\right)$

d<sub>A</sub>, diámetro del agitador, (m)

v, velocidad del agitador (rph)

ρ, densidad de la mezcla,  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

μ, viscosidad de la mezcla a su temperatura global,  $\left(\frac{kg}{mh}\right)$

μ<sub>W</sub>, viscosidad de la mezcla a la temperatura de la pared de la camisa,

$\left(\frac{kg}{mh}\right)$

C<sub>PM</sub>, calor específico de la mezcla,  $\left(\frac{kJ}{kg^\circ C}\right)$

Más arriba se ha supuesto que la temperatura en el seno del fluido es uniforme, hecho que hace que la viscosidad, al ser una variable función de la temperatura, también sea uniforme, por lo que el término  $\mu/\mu_W$  se considera igual a la unidad.

Conocido el tiempo de calentamiento se puede promediar el calor total intercambiado:

$$Q = \frac{\dot{Q}}{t} \quad (3.41)$$

Por último, se calcula la temperatura de salida del fluido caliente:

$$Q = m_C C_{pC} (T_E - T_S) \quad (3.42)$$

En las tablas 3.17 y 3.18 se muestran los datos y resultados obtenidos para el primer y segundo extractor respectivamente, de cada línea de producción.

**Tabla 3.17.** Cálculo de las necesidades energéticas para el primer extractor.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Calor específico del hexano	$C_{pH}$	2,29	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
Calor específico de la pulpa	$C_{pP}$	4,04	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
Fracción másica de hexano	$X_H$	0,75	
Fracción másica de pulpa	$X_P$	0,25	
Calor específico de la mezcla	$C_{pM}$	2,73	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
Área de intercambio	$A$	5,00	$\text{m}^2$
Diámetro del extractor	$d$	1,29	$\text{m}$
Conductividad térmica de la mezcla	$k$	0,23	$\text{kJ/mh}^\circ\text{C}$
Diámetro del agitador	$d_A$	0,58	$\text{m}$
Velocidad del agitador	$v$	2,46	$\text{rev/s}$
Densidad de la mezcla	$\rho$	737,69	$\text{kg/m}^3$
Viscosidad de la mezcla	$\mu$	0,0074	$\text{Pa}\cdot\text{s}$
Coefficiente global de transmisión de calor	$U$	1.153.841,12	$\text{kJ/m}^2\cdot\text{h}^\circ\text{C}$
Carga inicial de la mezcla	$m$	3.043,12	$\text{kg}$
Temperatura final de la mezcla	$T$	60	$^\circ\text{C}$
Temperatura inicial de la mezcla	$T_i$	57,95	$^\circ\text{C}$
Temperatura del fluido calefactor	$T_\infty$	70,79	$^\circ\text{C}$
Masa fluido calefactor	$m_C$	8.043,98	$\text{kg/h}$
Calor específico fluido calefactor	$C_{pC}$	4,18	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
Tiempo para el calentamiento	$t_c$	0,05	$\text{h}$
Calor intercambiado	$Q^\circ$	18.990,56	$\text{kJ}$
Flujo de calor	$Q$	393.764,75	$\text{kJ/h}$
Temperatura de salida del fluido caliente	$T_S$	59,07	$^\circ\text{C}$

Tabla 3.18. Cálculo de las necesidades energéticas para el segundo extractor.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Calor específico del hexano	$C_{pH}$	2,29	kJ/kg°C
Calor específico de la pulpa	$C_{pP}$	4,04	kJ/kg°C
Fracción másica de hexano	$X_H$	0,83	
Fracción másica de pulpa	$X_P$	0,17	
Calor específico de la mezcla	$C_{pM}$	2,59	kJ/kg°C
Área de intercambio	A	6,57	m <sup>2</sup>
Diámetro del extractor	d	1,48	m
Conductividad térmica de la mezcla	k	0,19	kJ/mh°C
Diámetro del agitador	$d_A$	0,67	m
Velocidad del agitador	v	2,24	rev/s
Densidad de la mezcla	$\rho$	701,13	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad de la mezcla	$\mu$	0,0051	Pa·s
Coefficiente global de transmisión de calor	U	1.357.359,09	kJ/m <sup>2</sup> ·h°C
Carga inicial de la mezcla	m	3638,02	kg
Temperatura final de la mezcla	T	60	°C
Temperatura inicial de la mezcla	$T_O$	51,43	°C
Temperatura del fluido calefactor	$T_\infty$	70,79	°C
Masa fluido calefactor	$m_c$	8.043,98	kg/h
Calor específico fluido calefactor	$C_{pC}$	4,18	kJ/kg°C
Tiempo para el calentamiento	$t_c$	0,16	h
Calor intercambiado	$Q^\circ$	80.694,02	kJ
Flujo de calor	Q	490.952,04	kJ/h
Temperatura de salida del fluido caliente	$T_s$	56,18	°C

Hasta ahora se ha calculado las necesidades energéticas para el calentamiento, pero una vez que la mezcla llegue a esta temperatura, empezará a enfriarse, por lo que a continuación se procede al cálculo, tanto de esas pérdidas de calor como del fluido calefactor necesario para contrarrestar dichas pérdidas, en el tiempo restante que queda de extracción. Utilizando las ecuaciones 3.23 y 3.38 se llega a los siguientes resultados mostrados en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Cálculo de las necesidades energéticas después del periodo de calentamiento para los dos extractores.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<u>Extractor 1</u>			
Conductividad térmica	$k_p$	10,7	W/m°C
Altura del líquido	L	3,18	m
Temperatura en el interior de la pared	$T_1$	60	°C
Temperatura en el exterior de la pared	$T_2$	59,07	°C
Radio externo	$R_2$	0,65	m
Radio interno	$R_1$	0,646	m
Calor perdido	Q	27.894,84	kJ/h
Temperatura del fluido calefactor	$T_i$	70,79	°C
Masa fluido calefactor	$m_c$	8.043,98	kg/h
Temperatura final del fluido calefactor	$T_f$	67,80	°C
<u>Extractor 2</u>			
Conductividad térmica	$k_p$	10,7	W/m°C
Longitud del extractor	L	3,65	m
Temperatura en el interior de la pared	$T_1$	60	°C
Temperatura en el exterior de la pared	$T_2$	63,49	°C
Radio externo	$R_2$	0,745	m
Radio interno	$R_1$	0,740	m
Calor perdido	Q	128.974,69	kJ/h
Temperatura del fluido calefactor	$T_i$	70,79	°C
Masa fluido calefactor	$m_c$	8.043,98	kg/h
Temperatura final del fluido calefactor	$T_f$	56,98	°C

### 3.3. TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN

Es necesario tener presente el tiempo total que se tarda en procesar cada lote considerando el tiempo de extracción más el tiempo de separación de las dos corrientes. Este cálculo es de utilidad para estimar la cantidad de masa que se trata por hora, ya que las unidades de procesos posteriores operan en modo continuo y para los cálculos es necesario tener un caudal y no una masa por lote.

El tiempo total será:

$$t_{\text{PROCESO}} = 2t_{\text{ETAPA}} = 2(t_{\text{EXTRACCIÓN}} + t_{\text{DECANTACIÓN}}) = 2(90 + 10) = 200 \text{ minutos} = 3 \text{ horas y } 20 \text{ minutos} \quad (3.43)$$

Por lo que se obtiene los caudales globales siguientes a la salida del proceso:

- Caudal de Extracto= 5.824,08 kg/h
- Caudal de Refinado= 1308,25 kg/h

#### 4. CONCENTRACIÓN DE LA OLEORRESINA Y RECUPERACIÓN DEL DISOLVENTE

##### 4.1. EVAPORACIÓN

El procedimiento de cálculo a seguir para la resolución del sistema de evaporación de N efectos, es un proceso iterativo en el que, en un principio, se tienen que asumir las siguientes hipótesis:

- Se supone que los caudales de calor transferidos en cada etapa son los mismos.
- En general, los equipos comerciales se construyen con áreas iguales en todos los efectos.

##### 1. Suposiciones de partida:

- Temperatura de entrada del vapor.
- Temperatura de la cámara de ebullición del último efecto.
- Número de efectos.
- Volúmenes evaporados.

En procesos de extracción de aceite de soja [38], se ha comprobado que es posible evaporar en el primer efecto hasta un 80% de disolvente, y en el segundo efecto se evapora entorno a un 5%.

- Mediante un balance de materia al componente se obtiene la corriente de concentrado que sale del último efecto:

$$w_A X_A = w_N X_N \quad (3.44)$$

Este balance se puede generalizar para realizar un balance a un efecto, o a más de uno, siempre que éstos sean consecutivos, mediante la siguiente expresión:

$$w_i X_i = w_{i+j} X_{i+j} \quad (3.45)$$

Siempre y cuando  $j \geq 1$ .

- Mediante un balance global se obtiene el volumen total de disolvente evaporado:

$$w_A = w_N + \sum_{i=1}^N V_i = w_N + V_T \quad (3.46)$$

- Se calculan las restantes corrientes de concentrado:

$$w_i = w_{i+1} + V_{i+1} \quad (3.47)$$

- Se calculan las composiciones de las corrientes calculadas en el paso anterior:

$$w_i = w_{i+1} X_{i+1} \quad (3.48)$$

- Se calcula el aumento ebulloscópico ( $\Delta T_e$ ) de cada efecto:

$$\Delta T_e = \frac{1000 K_e X}{P_M} \quad (3.49)$$

Donde,

$K_e$ , constante ebulloscópica del disolvente

$X$ , relación entre los kg soluto/kg disolvente

$P_M$ , peso molecular del soluto

7. El hecho de considerar que las áreas de intercambio de calor iguales, conlleva suponer también que las caídas de temperatura ( $\Delta T$ ) en cada efecto son de manera aproximada, inversamente proporcionales a los valores de los coeficientes globales ( $U$ ), es por ello que la caída total de temperaturas se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\Sigma \Delta T = T_V - \Sigma_{i=1}^{N-1} \Delta T e_i - T_N \quad (3.50)$$

Donde la caída de temperaturas en cada efecto es:

$$\Delta T_i = \Sigma \Delta T \frac{1/U_i}{\Sigma_{i=1}^N 1/U_i} \quad (3.51)$$

8. Se calculan las temperaturas desde el último efecto hasta el primero utilizando la ecuación anterior (3.51) y la que se muestra a continuación:

$$T_i = T e_i + \Delta T_i \quad (3.52)$$

9. Una vez conocidas las temperaturas de las cámaras de evaporación, se pueden ajustar las presiones de dicha cámara. Es decir, en el caso de que una temperatura sea inferior al punto de ebullición del disolvente, habrá que aplicar vacío para bajar su temperatura de ebullición, en caso contrario, no será necesario aplicar vacío. Entonces, para calcular esas presiones de vapor, se utiliza la siguiente correlación [25]:

$$\ln \left( \frac{P_V}{P_C} \right) = (1 - x)^{-1} (-7,46765x + 1,44211x^{1,5} - 3,28222x^3 - 2,50941x^6) \quad (3.53)$$

Donde,

$$x = \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)$$

$T_c$ , temperatura crítica (K)

$P_c$ , presión crítica (bar)

10. Mediante las tablas de vapor del agua y del disolvente se calculan los calores latentes de vaporización ( $\lambda$ ) expresados en kJ/kg de cada corriente de vapor [24].

11. Se calculan las capacidades caloríficas ( $C_p$ ), expresadas en kJ/kg·°C, de cada corriente de concentrado ( $w$ ).

12. Se calculan de nuevo las corrientes de disolvente evaporado ( $V_i$ ), la corriente de vapor del primer efecto ( $W_v$ ) y las corrientes de concentrado ( $w_i$ ) que salen desde el primer efecto hasta el penúltimo, ya que el último está definido por las condiciones de partida.

Entonces se tiene N corrientes de vapor y N corrientes de concentrado (2N grados de libertad) por lo que se necesita N balances de materia (descritos en los pasos 3 y 4) y N balances de energía. Para el balance energético, puesto que el calor total que entra = calor total que sale, es decir:

Calor en la alimentación + calor en el vapor calefactor = calor en la corriente de concentrado + calor en el vapor + calor en el vapor condensado, se tiene la siguiente expresión:

$$w_{i-1}\hat{C}_{P_{i-1}}(T_{i-1} - T_i) + V_{i-1}H_{V_{i-1}} = w_i\hat{C}_{P_i}\Delta T e_i + V_{i-1}h_{V_{i-1}} + V_i[\lambda_{V_i} + \hat{C}_{P_V}\Delta T e_i] \quad (3.54)$$

O expresada de otra forma:

$$V_{i-1}\lambda_{V_{i-1}} = V_i[\lambda_{V_i} + \hat{C}_{P_V}\Delta T e_i] + w_i\hat{C}_{P_i}\Delta T e_i - w_{i-1}\hat{C}_{P_{i-1}}(T_{i-1} - T_i) \quad (3.54)$$

Este sistema de  $2N$  ecuaciones independientes se resuelven simultáneamente mediante Mathcad.

13. Si los caudales de vapor difieren de manera apreciable de los valores supuestos en el paso 2, entonces se repite el proceso desde el paso 2, con las cantidades de evaporación que se acaban de calcular.

14. Se calcula el calor transferido en cada efecto mediante la ecuación de velocidad:

$$Q_i = V_{i-1} \lambda_{Vi-1} \quad (3.55)$$

15. Se calcula el área de cada efecto:

$$Q_i = U_i A_i (T_{e_{i-1}} - T_i) \quad (3.56)$$

Donde,

U, coeficiente global de transmisión de calor,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot C}\right)$

A, área del efecto,  $(m^2)$

16. Por último se calcula el valor promedio de dichas áreas, y si éstas están razonablemente cerca una de otra, los cálculos están completos y no se necesita un segundo intento. En caso contrario, se debe realizar una iteración más, que generalmente debe ser suficiente, con los valores obtenidos en el paso 11. Todos los pasos son iguales a excepción del cálculo de las temperaturas que se calculan con la siguiente expresión:

$$(\Delta T_i)_j = (\Delta T_i)_{j-1} \left(\frac{A_i}{A_m}\right) \quad (3.57)$$

En esta etapa se obtienen dos pares de valores para cada una de las temperaturas desconocidas, por lo que el valor que se toma será la media aritmética.

Se define la capacidad del evaporador,  $V$ , como la cantidad de disolvente evaporado del alimento por unidad de tiempo. El consumo,  $V_w$ , es la cantidad de vapor de calefacción consumida por unidad de tiempo. La economía,  $E$ , es la cantidad de disolvente evaporado por unidad de vapor de calefacción:

$$E = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Consumo}} = \frac{V_T}{V_W} \quad (3.58)$$

En la Tabla 3.20 se muestran los datos y resultados obtenidos.

Tabla 3.20. Datos y resultados del proceso de cálculo del evaporador de triple efecto.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>DATOS</b>			
Caudal de alimentación	$w_A$	5.824,08	kg/h
Fracción másica eq.Ly en alimentación	$X_A$	0,0015	
Temperatura alimentación a la entrada	$t_A$	50	°C
Temperatura entrada del vapor de agua saturado	$T$	70	°C
Presión vapor de servicio	$P_C$	0,30	atm
Entalpía de vapor	$\hat{H}_W$	2.625,30	kJ/kg
Entalpía vapor condensado	$\hat{h}_W$	289,20	kJ/kg
Calor latente de condensación del vapor	$\lambda_W$	2.336,10	kJ/kg
Coefficiente global de transmisión de calor 1° efecto	$U_1$	1	kW/m <sup>2</sup> ·°C
Coefficiente global de transmisión de calor 2° efecto	$U_2$	2	kW/m <sup>2</sup> ·°C
Coefficiente global de transmisión de calor 3° efecto	$U_3$	3	kW/m <sup>2</sup> ·°C
Temperatura condensación 3° efecto	$Te_3$	22,00	
Calor específico de la alimentación	$C_{pA}$	2,41	kJ/kg·°C
Calor específico hexano vapor	$C_{pV}$	1,80	kJ/kg·°C
Cte. ebulloscópica disolvente puro	$Ke$	2,90	°C/mol/kg
Temperatura de ebullición	$Te_b$	68,90	°C
Peso molecular hexano	$Pm_H$	86,18	kg/kmol
Peso molecular de la oleoresina	$Pm$	277,80	g/mol

(continuación)

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>RESULTADOS</b>			
Fracción másica eq.Ly a la salida	$X_C$	0,80	
Caudal de oleorresina empapada en disolvente	$w_C$	11,25	kg/h
Disolvente total evaporado	$V_T$	5.812,83	kg/h
Número de efectos	$N$	3,00	
Caudal de vapor supuesto en el efecto 1	$V_1$	2.272,76	$m^3$
Caudal de vapor supuesto en el efecto 2	$V_2$	2.300,85	$m^3$
Caudal de vapor supuesto en el efecto 3	$V_3$	1.239,21	$m^3$
Corriente efecto1	$w_1$	3.551,32	kg/h
Corriente efecto2	$w_2$	1.250,47	kg/h
Fracción másica corriente w1	$X_1$	0,003	
Fracción másica corriente w2	$X_2$	0,01	
Incrementos ebulloscópicos efecto 3	$\Delta T_{e_3}$	41,76	$^{\circ}C$
Incrementos ebulloscópicos efecto 2	$\Delta T_{e_2}$	0,08	$^{\circ}C$
Incrementos ebulloscópicos efecto 1	$\Delta T_{e_1}$	0,03	$^{\circ}C$
Caída de temperatura total	$\Sigma \Delta T$	6,14	$^{\circ}C$
Caída de temperatura en el primer efecto	$\Delta T_1$	3,96	$^{\circ}C$
Caída de temperatura en el segundo efecto	$\Delta T_2$	1,60	$^{\circ}C$
Caída de temperatura en el tercer efecto	$\Delta T_3$	1,08	$^{\circ}C$
Temperatura ebullición de la cámara de evaporación	$T_1$	66,04	$^{\circ}C$
Temperatura de real ebullición del disolvente a P1	$T_{e_1}$	66,01	$^{\circ}C$
Temperatura ebullición de la cámara de evaporación	$T_2$	64,44	$^{\circ}C$
Temperatura de real ebullición del disolvente a P2	$T_{e_2}$	64,36	$^{\circ}C$
Temperatura ebullición de la cámara de evaporación	$T_3$	63,29	$^{\circ}C$
Vacío en el 1° efecto	$P_1$	0,94	atm
Vacío en el 2° efecto	$P_2$	0,89	atm
Vacío en el 3° efecto	$P_3$	0,86	atm
Calor latente de condensación del vapor	$\lambda_{v1}$	331,73	kJ/kg

(continuación)

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Calor latente de condensación del vapor	$\lambda_{v2}$	332,90	kJ/kg
Calor latente de condensación del vapor	$\lambda_{v3}$	333,73	kJ/kg
Calor específico alimentación	$C_{pA}$	2,42	kJ/kg· °C
Calor específico corriente w1	$C_{p1}$	2,46	kJ/kg· °C
Calor específico corriente w2	$C_{p2}$	2,41	kJ/kg· °C
Calor específico corriente wc	$C_{pC}$	2,05	kJ/kg· °C
Caudal de vapor de servicio	$V_w$	420,12	kg/h
Caudal sale efecto1	$w_1$	3.550,03	kg/h
Caudal sale efecto2	$w_2$	1.250,01	kg/h
Volumen evaporado efecto1	$V_1$	2.274,05	kg/h
Volumen evaporado efecto2	$V_2$	2.300,02	kg/h
Volumen evaporado efecto3	$V_3$	1.238,76	kg/h
Calor transmitido en el efecto 1	$Q_1$	272,62	kW
Calor transmitido en el efecto 2	$Q_2$	209,55	kW
Calor transmitido en el efecto 3	$Q_3$	212,69	kW
Área del 1ºefecto	$A_1$	68,84	m <sup>2</sup>
Área del 2ºefecto	$A_2$	65,48	m <sup>2</sup>
Área del 3ºefecto	$A_3$	65,89	m <sup>2</sup>
Economía de vapor		13,84	

Como se puede apreciar en los volúmenes de hexano obtenidos, se consigue unas evaporaciones del 39,08%, 39.56% y 21,31% en el primer, segundo y tercer efecto respectivamente. Debido a la baja concentración de soluto que entra en la alimentación, se pone de manifiesto que para llegar a un 80% de evaporación del hexano se necesitan dos etapas y no una como en el caso de otros tipos de aceites, en los que la alimentación entra mucho más rica en soluto, entorno al 20%.

#### 4.2. STRIPPING (ARRASTRE CON GAS)

La unidad de stripping consta de una columna de relleno que se diseña mediante el programa de simulación de procesos SuperPro Designer. Los pasos a seguir son los siguientes.

1. Se definen las corrientes de entrada (Tabla 3.21):

**Tabla 3.21.** Corrientes de entrada al stripper.

COMPONENT BALANCE AND STREAM REPORT		
STREAM NAME	WC	mGE
SOURCE	INPUT	INPUT
DESTINATION	A411	A411
STREAM PROPERTIES		
ACTIVITY	U/ml	0.0
TEMP	°C	63.3
PRES	bar	0.9
DENSITY	g/L	825.998
		1.185
COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)		
Hexane	2.2500	0.0000
Nitrogen	0.0000	20.0000
Soybean oil	9.0000	0.0000
TOTAL (kg/h)	11.2500	20.0000
TOTAL (L/h)	13.6199	16880.3351

2. Se establece un porcentaje de absorción del hexano en la corriente de nitrógeno (99,995%).
3. Se introducen las siguientes propiedades físicas (Figura 3.10).

Liquid Surface Tension	14,380	dyn/cm
Liquid Phase Viscosity	10,510	cp
Gaseous Phase Viscosity	0,018	cp
Pressure Drop	11950,858	Pa
Pressure Drop/Length	400,000	Pa/m

**Figura 3.10.** Propiedades físicas

4. Se selecciona el tipo y tamaño del relleno

El tipo de relleno elegido (Figura 3.11) para el stripper es del tipo “Ceramic Intalox Saddle”. Esta elección se debe a los siguientes motivos:

- Es uno de los rellenos más eficaces del mercado
- Tiene poca tendencia a bloquear las áreas del relleno
- Proporciona una amplia uniformidad del relleno

- Punto de inundación elevado
- Baja caída de presión

Cf (packing constant)	170,000	
Total Specific Area	194,000	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Nominal Diameter	0,040	m
Critical Surface Tension	40,000	dyn/cm

**Figura 3.11.** Características del relleno.

5. Finalmente se obtiene el dimensionamiento de la columna (Figura 3.12).

HTU	3,188	m
NTU	9,371	

**Figura 3.12.** HTU (Altura de la unidad de transferencia), NTU (Número de unidades de transferencia)

6. Las corrientes de salida se especifican en la Tabla 3.22, donde la oleorresina obtenida tiene una concentración de 12,22 ppm de hexano (más bajo de 50 ppm, valor exigido por las normativas europeas).

### 4.3. DESOLVENTIZACIÓN

La recuperación del disolvente de la pasta empapada procedente de la extracción se lleva a cabo en un desolventizador. En este equipo se consigue la eliminación total del hexano contenido en la pasta y parte de la humedad, de esta manera sale una mezcla gaseosa de hexano y vapor de agua por el tope de la columna y la pasta húmeda por la cola.

En primer lugar se debe conocer la corriente de vapor necesaria para vaporizar el hexano. Según Mustakas, G. C. [43], demuestra empíricamente que existe una relación lineal entre el hexano inicial y la humedad aportada a la pasta al final de la primera etapa (sparging). El hexano presente en la pasta a la entrada de la desolventización es del 20%, por lo que según la fuente bibliográfica más arriba mencionada, cabría esperar una

humedad adicional del 14,2% en base seca, al término de la primera etapa. Teniendo en cuenta que la cantidad de sólidos que hay en la pasta a la entrada es del 11% (240,24 kg/lote), se necesita inyectar al equipo 39,76 kg de vapor de agua. El tiempo estimado de la operación es de 40 minutos, aunque habrá un tiempo muerto ya que esta unidad recibe cada lote cada 1,67 horas procedente de la extracción.

Tabla 3.22. Corrientes a la salida del stripper.

COMPONENT BALANCE AND STREAM REPORT			
=====			
STREAM NAME		mGS	wCS
SOURCE		A411	A411
DESTINATION		OUTPUT	OUTPUT
=====			
STREAM PROPERTIES			
ACTIVITY	u/ml	0.0	0.0
TEMP	°C	30.3	30.3
PRES	bar	1.0	0.9
DENSITY	g/L	1.251	899.996
COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)			
Hexane		2.2499	0.0001
Nitrogen		20.0000	0.0000
Soybean oil		0.0000	9.0000
=====			
TOTAL	(kg/h)	22.2499	9.0001
TOTAL	(L/h)	17780.0920	10.0002
=====			

Las corrientes de salida del desolventizador se obtienen aplicando un balance de materia a la unidad (Tabla 3.23).

Tabla 3.23. Balance de materia al desolventizador.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<u>Entrada</u>			
Pasta empapada	$m_E$	2.180,42	kg/lote
Fracción másica de hexano	$X_H$	0,23	
Fracción másica de sólidos	$X_S$	0,11	
<u>Salida</u>			
Vapores	$m_H$	1.913,49	kg/lote
Fracción másica de hexano	$X_H$	0,26	
Fracción másica de vapor de agua	$X_W$	0,74	
Pasta húmeda	$m_P$	266,93	kg/lote
Humedad	$X_W$	10,00	%

#### 4.4. RECUPERACIÓN DE HEXANO

En esta sección se lleva a cabo la recuperación del hexano para su posterior recirculación, utilizando el programa de simulación Hysys (Figura 3.13 y Tabla 3.24). Para ello se utiliza un intercambiador de placas (A409/IC2), un destilador flash (A413/H1) y un separador de corrientes (A410/R1).

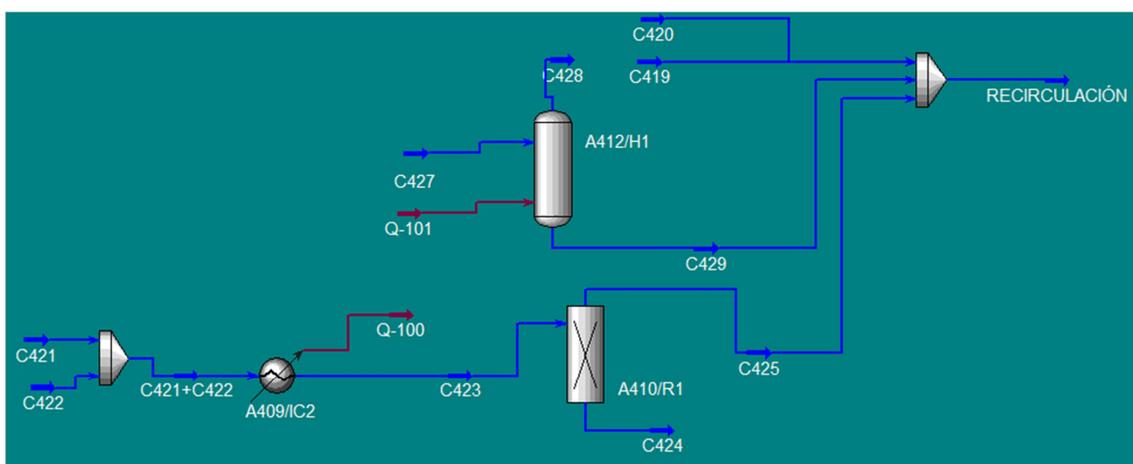


Figura 3.13. Diagrama de proceso de recuperación del hexano.

Tabla 3.24. Tabla de propiedades de las corrientes.

Name	C421	C419	C420	RECIRCULACI	C427	C429
Vapour Fraction	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Temperature [C]	63.29	66.04	64.44	54.70	30.30	-61.69
Pressure [kPa]	84.30	92.30	90.18	90.18	101.3	101.3
Molar Flow [kgmole/h]	14.37	26.39	26.69	70.99	0.6466	7.077e-002
Mass Flow [kg/h]	1239	2274	2300	6117	22.25	2.438
Liquid Volume Flow [m3/h]	1.869	3.432	3.471	9.232	2.924e-002	9.194e-003
Heat Flow [kJ/h]	-2.326e+006	-5.029e+006	-5.095e+006	-1.369e+007	-1.177e+004	-1.506e+004
Name	C422	C421+C422	C428	C424	C425	C423
Vapour Fraction	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	112.0	86.81	-61.69	22.05	22.05	22.05
Pressure [kPa]	101.3	84.30	101.3	101.3	101.3	84.30
Molar Flow [kgmole/h]	32.13	38.55	0.5758	47.17	17.84	38.55
Mass Flow [kg/h]	1148	2387	19.81	849.8	1537	2387
Liquid Volume Flow [m3/h]	1.515	3.477	2.005e-002	0.8515	2.320	3.477
Heat Flow [kJ/h]	-6.943e+006	-7.201e+006	-1532	-1.347e+007	-3.554e+006	-8.867e+006

#### Unidad de condensación

Los requerimientos energéticos para condensar las corrientes que proceden de la desolventización y de la evaporación son de 2,05e6 kJ/h. A continuación se procede al dimensionamiento del equipo procediendo del mismo modo que en el Apartado 2.2, obteniendo los resultados que se reflejan en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25. Datos correspondientes al dimensionamiento del condensador de placas.

	Nomenclatura	Valor		Unidades
Caudal másico mezcla vapor	$\dot{m}_M$	2.386,85		kg/h
Densidad mezcla vapor	$\rho_M$	1,464		kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica mezcla vapor	$K_M$	0,02		W/m°C
Conductividad térmica agua	$k_W$	0,59		W/m°C
Grosor placa	e	0,0031		m
Altura de placa	h	0,90		m
Longitud de flujo	L	1,45		m
Espacio entre placas	b	0,002		m
Ancho de placa	a	1,13		m
Área de placa	A	1,45		m <sup>2</sup>
Conductividad térmica del material	$k_E$	16,00		W/m°C
Calor específico mezcla vapor	$C_{pM}$	1,97		kJ/(°C·kg)
Calor específico agua fría	$C_{pW}$	4,15		kJ/(°C·kg)
Temperatura entrada agua fría	$T_{Wa}$	10,00		°C
Temperatura entrada mezcla vapor	$T_{Ma}$	82,29		°C
Temperatura salida mezcla líquida	$T_{Mb}$	22,00		°C
Velocidad de transmisión de calor	q	2.049.000,00		kJ/h
Temperatura salida agua	$T_{Wb}$	60,00		°C
Caudal másico agua	$\dot{m}_W$	9.879,46		kg/h
Dif. Tª media logarítmica	$\Delta T_{ml}$	16,62		
Número unidades transferencia	NUT	1,34		
Diámetro efectivo	$D_e$	0,004		m
Factor de corrección. Pasos 1/1	F	0,97		
		Mezcla (M)	Agua (W)	
Viscosidad	$\eta$	0,0000088	0,0009	Pa·s
Flujo másico	G	292.851,12	1.212.144,19	kg/sm <sup>3</sup>

(continuación)

	Nomenclatura	Valor		Unidades
Número de canales hexano/agua	nf/nc	3,00	3,00	
Número de Reynolds	Re	44.589.260,71	1.795.769,17	
Número de Prandtl	Pr	0,87	6,36	
Número de Nusselt	Nusselt	45.970,76	10.429,95	
Coefficientes individuales de T.C.	h	227.325,42	1.530.334,16	W/m <sup>2</sup> ·°C
Coefficiente global de T.C.	U	5.030,12		W/m <sup>2</sup> ·°C
Área total de transmisión	A <sub>t</sub>	7,02		m <sup>2</sup>
Número de placas	N	5,00		
Relación capacidades	β	0,51		
Eficacia	ε	0,65		

### Unidad de destilación flash

Los requerimientos energéticos de refrigeración en esta unidad son de 4.914 kJ/h y para ello se utiliza un chiller que proporciona un caudal de 47,02 kg/h, a una temperatura de 15°C. El caudal se ha obtenido mediante la ecuación genérica 3.42.

Para la simulación de esta unidad, sólo hace falta introducir la cantidad de hexano que debe salir por la corriente gaseosa. Según la normativa actual, esta cantidad no debe ser superior a 0,0135 kg/h para las dimensiones de esta planta, lo que se traduce en una fracción molar de hexano de 0,0007. El dimensionamiento del equipo se realiza mediante el mismo programa de simulación obteniendo los datos que se observan en la Figura 3.14.

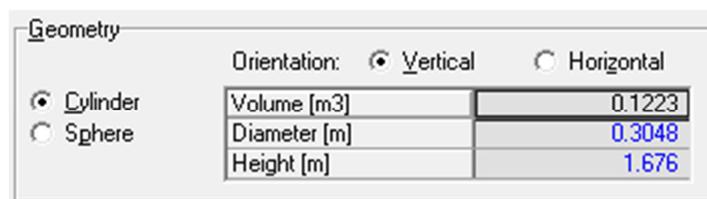


Figura 3.14. Dimensiones de la unidad de destilación flash.

Unidad de separación

La corriente líquida compuesta por un 0,64% de hexano y un 0,36% de agua se separa en una centrífuga tubular obteniendo unos caudales de hexano y agua de 1.537,00 kg/h y 849,80 kg/h respectivamente.

**5. SECADO**

El proceso de secado consiste en un proceso de dos etapas, la primera se lleva a cabo a velocidad constante y la segunda a velocidad decreciente de secado. El objetivo, es por tanto, calcular los tiempos que duran cada periodo, siendo la suma de los dos, el tiempo necesario para llegar hasta una humedad del 10%.

Los tiempos para cada periodo se calculan mediante las siguientes expresiones Ibarz A. et al [13]:

- Tiempo periodo velocidad constante

$$t_C = \frac{X_{S0}m(Y_i - Y_C)}{R} \tag{3.59}$$

- Tiempo periodo velocidad decreciente

$$t_D = \frac{X_{S0}m(Y_C - Y_f)}{R} \ln \left( \frac{Y_C - Y_E}{Y_f - Y_E} \right) \tag{3.60}$$

Donde,

$X_{S0}$ , fracción másica de sólidos inicial

$m$ , masa a secar, (kg). Esta cantidad corresponde a la masa total de sólidos que caben en una bandeja

$Y_i$ , humedad inicial de los sólidos,  $\left( \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ sólido seco}} \right)$

$Y_f$ , humedad final de los sólidos,  $\left( \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ sólidos}} \right)$

$Y_C$ , humedad crítica,  $\left(\frac{kg\ agua}{kg\ sólido\ seco}\right)$

$Y_E$ , humedad de equilibrio,  $\left(\frac{kg\ agua}{kg\ sólido\ seco}\right)$ . Se encuentra graficada para distintos alimentos [15].

$R$ , velocidad de secado constante,  $\left(\frac{kg\ agua}{h}\right)$

Dos parámetros que son necesarios calcular antes son la velocidad de secado y la humedad crítica:

- La velocidad de secado ( $R$ ) se obtiene mediante la siguiente expresión [13]:

$$R = \frac{h(T_{AE} - T_W)}{\lambda_W} A \quad (3.61)$$

Donde,

$T_W$ , temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}C$ ), tabulada en el diagrama psicrométrico.

$T_{AE}$ , temperatura de entrada del aire, ( $^{\circ}C$ )

$A$ , área de secado, ( $m^2$ ). Esta área corresponde a la superficie de la bandeja.

$\lambda_W$ , calor latente,  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$h$ , coeficiente de transmisión de calor,  $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$ .

Este coeficiente se obtiene mediante la siguiente expresión, que tiene en cuenta que el aire fluye paralelamente a la superficie de secado [13].

$$h = 0,0204G^{0,8} \quad (3.62)$$

Donde  $G$  es la densidad de flujo másica del aire expresada en  $\left(\frac{kg}{m^2h}\right)$  que depende de las condiciones de ese aire, las cuales son el volumen húmedo ( $V_W$ ) y su densidad ( $\rho$ ), [13].

$$V_H = \frac{0,082T}{P} \left( \frac{1}{PM_A} + \frac{Y_A}{PM_W} \right) \quad (3.63)$$

$$\rho = \frac{1+Y_A}{V_W} \quad (3.64)$$

$$G = \rho V_H \quad (3.65)$$

Donde,

$PM_A$ , peso molecular del aire,  $\left( \frac{mol}{mol-kg} \right)$

$PM_W$ , peso molecular del agua,  $\left( \frac{mol}{mol-kg} \right)$

$Y_A$ , humedad del aire,  $\left( \frac{kg\ agua}{kg\ sólido\ seco} \right)$

- La humedad crítica es el la humedad a partir de la cual la velocidad de secado empieza a decrecer y ésta se puede obtener graficando los tiempos de secado constante y decreciente frente a valores de humedad crítica (Figura 3.15). El punto donde se unan ambas rectas será la humedad crítica del sistema.

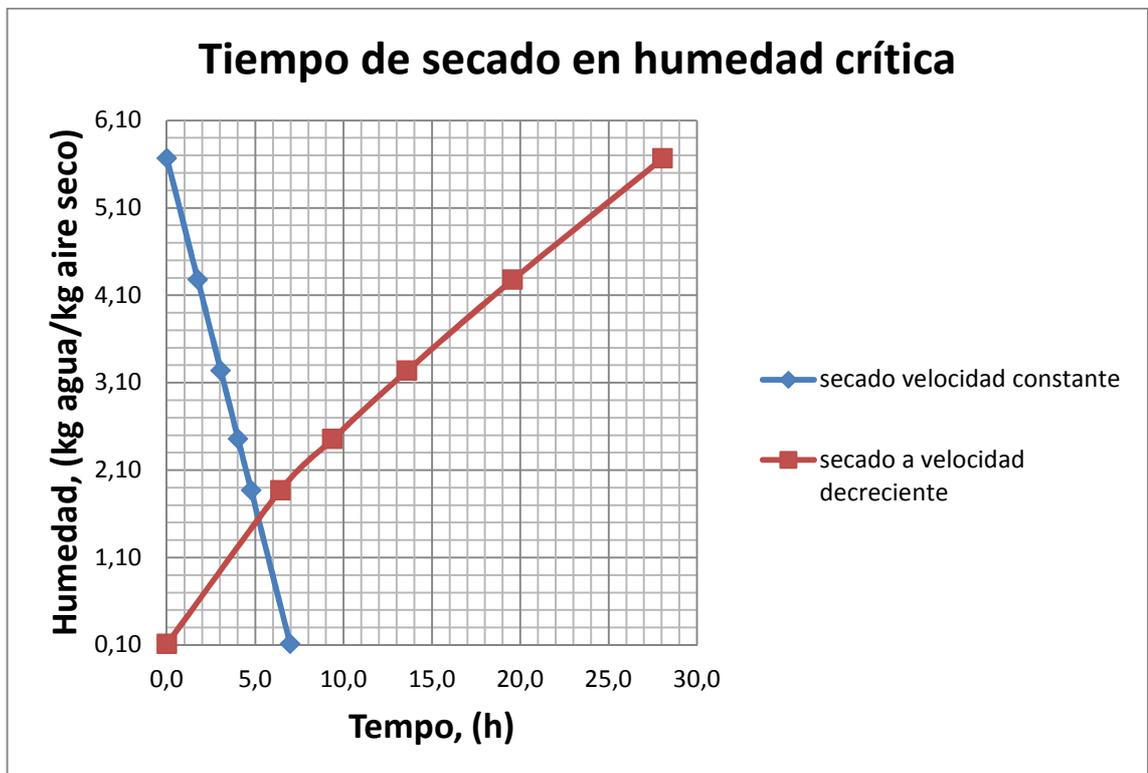


Figura 3.15. Gráfica para obtener la humedad crítica.

Por último, el aire sale a una temperatura de ( $T_{AS}$ ) del secador y se obtiene del siguiente modo:

$$\frac{hL}{GC_Sb} = \ln \left( \frac{T_{AE}-T_W}{T_{AS}-T_W} \right) \quad (3.66)$$

Donde,

$$C_s, \text{ calor específico de la mezcla aire-vapor, } \left( \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right)$$

Con todos estos datos se está en disposición de calcular los tiempos necesarios para el secado de los sólidos tal y como se muestra en la Tabla 3.26.

**Tabla 3.26.** Datos y resultados del cálculo del tiempo de secado.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Fración másica de sólidos	$X_{A0}$	0,15	kg
Longitud de bandeja	$l_b$	0,81	m
Base de bandeja	$x_b$	0,41	m
Profundidad de bandeja	$H_b$	0,03	m
Espacio entre bandejas	$b$	0,05	m
Número de bandejas	$N$	192,00	
Área de bandeja	$A_b$	0,33	$m^2$
Área total evaporación	$A_T$	63,42	$m^2$
Densidad de los sólidos	$\rho_s$	1.080,46	$Kg/m^3$
Cantidad de sólidos por bandeja	$M$	11,33	kg
Capacidad total del secador	$M_T$	2.175,66	kg
Humedad inicial de los sólidos	$Y_i$	5,67	kg agua/kg sólido seco
Humedad final	$Y_f$	0,11	kg agua/kg sólido seco
Velocidad del aire	$V$	9,00	m/s
Temperatura del aire de entrada	$T_{AE}$	65,00	C
Humedad del aire	$Y_A$	0,02	kg vapor/kg aire seco
Peso molecular del vapor	$PM_v$	18,00	kg/mol·kg
Peso molecular del aire	$PM_A$	28,90	kg/mol·kg
Humedad (crítica)	$Y_C$	1,52	kg agua/kg sólido seco

(continuación)

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Humedad en equilibrio	$Y_e$	0,01	kg agua/kg sólido seco
Temperatura bulbo húmedo	$T_w$	32,50	C
Humedad saturada	$Y_w$	0,034	kg v/kg a.s
Volumen húmedo	$V_w$	0,989	m <sup>3</sup> /kg a.s
Densidad aire húmedo	$\rho_w$	1,032	kg/m <sup>3</sup>
Densidad de flujo másica	G	33.429,09	kg/m <sup>2</sup> ·h
Coeficiente de transmisión de calor	h	84,90	W/m <sup>2</sup> ·K
Calor latente	$\lambda_w$	2423,4	kJ/kg
Temperatura salida aire húmedo	$T_{AS}$	64,04	C
Velocidad de secado	RA	4,10	kg/m <sup>2</sup> ·h
Velocidad total de secado de una bandeja en periodo cte.	R	1,35	kg agua/h
Tiempo de secado a velocidad cte.	$t_c$	5,21	h
Tiempo de secado a velocidad cte.	$t_D$	4,78	h
Tiempo total	$t_T$	9,99	h
Producción por lote	P	238,03	kg/lote
Producción	P	23,83	kg/h

## 6. SERVICIOS

### 6.1. SISTEMA DE VAPOR Y AGUA CALIENTE

Un dato indispensable para calcular la cantidad de energía necesaria que debe suministrar la caldera, es estimar cual es la temperatura media del agua en cada caldera. Para la primera caldera que suministra agua caliente al intercambiador y a los extractores, la temperatura promedio a la cual se recircula el agua es de 62,39 °C. En cuanto a la otra caldera, dicha temperatura ronda los 70 °C.

Para calcular la potencia necesaria de la caldera se utiliza la ecuación 3.2 para el caso de agua caliente, y en los casos que se necesite vapor de agua, a dicha ecuación se le suma la potencia necesaria para el cambio de fase.

$$Q = \dot{m}_{\text{fluido de servicio}} C_{p\text{fluido de servicio}} (\Delta T)_{\text{fluido de servicio}} + \dot{m}_{\text{fluido de servicio}} \lambda_{\text{fluido de servicio}} \quad (3.67)$$

En la Tabla 3.27 se muestran los balances energéticos de las corrientes del circuito cerrado de calefacción, que ya se mostró en la memoria descriptiva en la Figura 2.14.

Tabla 3.27. Resumen de necesidades energéticas para los distintos equipos.

	Tratamiento térmico	Extracción	Desolventizador	Desolventizador	Evaporación	Secado
Equipo	A303/IC1	A401/E1-A404/E4	A406/Z1	A406/Z1	A408/V1	A504/D1
m (kg/h)	32.175,92	8.043,98	23,86	57,50	420,12	57,50
Cp (kJ/kg°C)	4,20	4,19	4,23	4,31	4,19	4,31
Temperatura servicio (°C)	90,00	70,79	140,00	140,00	70,79	140,00
ΔT (°C)	27,61	8,40	70,00	70,00	0,79	70,00
P (kW)	1.036,44	78,60	5,83	14,15	34,14	14,15
Tipo de servicio	Agua caliente	Agua caliente	Vapor pulverizado	Vapor calefacción	Vapor saturado	Vapor
Energía reutilizada	No	Si	No	Si	No	No

La energía total que debe suministrar la primera caldera que proporciona agua caliente es de 1.036,44 kW, por otro lado, la segunda caldera encargada de suministrar al proceso vapor de agua debe proporcionar una potencia de 54,12 kW. La cantidad total asciende a 1.090,56 kW, por lo que se debe calcular la cantidad de pellets que es necesario alimentar a la caldera para generar dicha potencia:

$$1.090,56 \text{ kW} \times \frac{\text{kg}}{4,12 \text{ kWh}} = 264,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (3.68)$$

## 6.2. SUMINISTRO DE NITRÓGENO

El abastecimiento por parte de la empresa “Air Liquide” se hará de forma mensual (cada 28 días), es por ello, que se hace necesario calcular las cantidades necesarias en ese periodo de tiempo.

Por un lado se necesitará nitrógeno para inertizar la atmósfera de los 4 extractores, así como del tanque de almacenamiento de hexano y un tanque de almacenamiento intermedio que contendrá en parte hexano. Por otro lado, el stripper necesitará nitrógeno para utilizarlo como gas de arrastre. El nitrógeno necesario para inertizar la atmósfera se obtiene calculando los volúmenes vacíos de los recipientes:

- Extractor 1:  $2 \times 0,67 \text{ m}^3$
- Extractor 2:  $2 \times 0,99 \text{ m}^3$
- Tanque de almacenamiento de hexano:  $3,23 \text{ m}^3$
- Tanque de almacenamiento A407/S6:  $5,0 \text{ m}^3$

Se contabiliza un total de  $12,89 \text{ m}^3$  de volumen vacío en cada lote ya que todos estos recipientes dependen del tiempo de operación de la extracción. Teniendo en cuenta que el tiempo de un lote es de 1,67 horas, el volumen vacío a rellenar por hora es de  $7,72 \text{ m}^3$  o lo que es lo mismo,  $185,25 \text{ m}^3/\text{día}$ . Por lo tanto, al mes se tendrá rellenar con nitrógeno una cantidad de  $5.557,5 \text{ m}^3$  de volumen vacío.

Mediante la ecuación de los gases ideales, se calcula la masa de nitrógeno que cabe en ese espacio en las condiciones en las que se suministra (1 atm y  $15^\circ\text{C}$ ).

$$PV = nRT \rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 5.557.500 \text{ l}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} (15+273)\text{K}} = 235.327,74 \text{ moles } N_2 \quad (3.69)$$

$$235.327,74 \text{ moles } N_2 \cdot \frac{28 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2} = 6.589.176,83 \text{ g} = 6.589,18 \text{ kg } N_2 \quad (3.70)$$

Por otro lado, el stripper necesita nitrógeno como gas de arrastre con un caudal másico de  $20 \text{ kg/h}$  ( $14.400 \text{ kg/mes}$ ), haciendo un total de  $20.989,18 \text{ kg}$  de  $N_2$  mensuales

(16.791,34 m<sup>3</sup>). A partir de la densidad del nitrógeno en estado líquido,  $\rho=808 \text{ kg/m}^3$ , se obtiene el siguiente volumen necesario para el tanque, cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 3.22.

$$20.989,18 \text{ kgN}_2 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{808,5 \text{ kg}} = 25,96 \text{ m}^3 \text{N}_2 \quad (3.71)$$

Tabla 3.22. Especificaciones del tanque de almacenamiento de nitrógeno.

	Tratamiento térmico	Unidades
Presión	1	bar
Volumen geométrico	30.800	l
Diámetro	2,5	m
Altura	11,53	m
Área equipo	12,25	m
Peso vacío	16.000	kg

# IV. ANEJO II. DISEÑO DE RECIPIENTES

## IV. ANEJO II. DISEÑO DE RECIPIENTES

ÍNDICE	Pág.
1. EXTRACTOR .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. DATOS DE DISEÑO.....	2
1.2.1. ELECCIÓN DEL MATERIAL .....	2
1.2.2. CORROSIÓN.....	2
1.2.3. VOLUMEN DE DISEÑO .....	3
1.2.4. PRESIÓN DE DISEÑO .....	4
1.2.5. TENSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE .....	5
1.2.6. TEMPERATURA DE DISEÑO .....	7
1.3. DISEÑO MECÁNICO .....	7
1.3.1. CARCASA DEL TANQUE .....	7
1.3.2. CABEZALES .....	9
1.3.2.1. CABEZAL SUPERIOR.....	10
1.3.2.2. CABEZAL DE FONDO .....	11
1.3.3. CARCASA DEL ENCAMISADO .....	12
1.3.4. CABEZAL DE FONDO DEL ENCAMISADO .....	13
1.3.5. FALDILLA .....	14
1.3.6. UNIÓN ENCAMISADO-EXTRACTOR .....	16
1.4. AISLAMIENTO .....	17
1.5. PRUEBAS A RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN .....	18
1.5.1. PRUEBA HIDROSTÁTICA .....	19
1.5.2. PRUEBA NEUMÁTICA .....	19
1.5.3. PRUEBA DE ELASTICIDAD .....	20
1.6. SOPORTES DEL TANQUE .....	21
1.7. AGITADORES INTERNOS .....	24
2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	27
2.1. INTRODUCCIÓN .....	27
2.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL .....	28

2.3. NORMATIVA .....	28
2.4. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HEXANO .....	29
2.5. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO INTERMEDIO .....	30
3. CONSIDERACIONES GENERALES .....	31
3.1. DISPOSITIVOS DE ANTIREBOSE .....	31
3.2. CONEXIONES .....	32
3.3. VENTEOS NORMALES Y DE EMERGENCIA .....	32
3.4. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN .....	33
3.5. INSTALACIÓN DE TANQUES DENTRO DE LOS EDIFICIOS .....	33
3.6. DISTANCIA ENTRE RECIPIENTES .....	33

ANEXO VI. TABLA PROPIEDADES FÍSICAS ACEROS AL CARBONO

ANEXO V. TIPO DE JUNTAS

ANEXO IV. COEFICIENTE DE PANDEO

ANEXO III. PERFIL IPN PARA LOS SOPORTES DEL TANQUE

ANEXO II. GRÁFICA DEL NÚMERO DE POTENCIA

ANEXO I. TABLA PROPIEDADES FÍSICAS ACEROS AUSTENÍTICOS

## 1. EXTRACTOR

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Los criterios de diseño son los reflejados en el Código ASME Sección VIII División I: Reglamento para el diseño y construcción de equipos sometidos a presión, [20, 21].

El esquema del extractor es el siguiente:

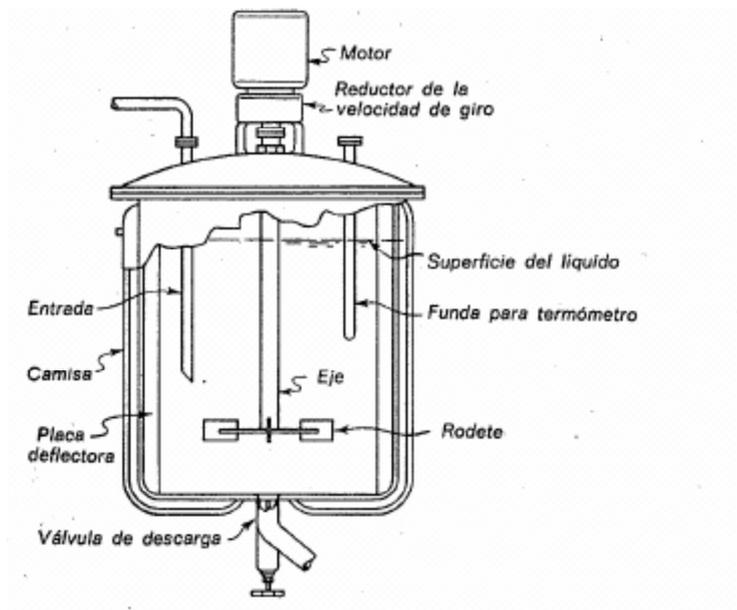


Figura 4.1. Reactor tanque agitado con encamisado

En el cual, se pueden distinguir las siguientes partes a diseñar:

- Carcasa del tanque
- Cabezal superior
- Cabezal de fondo
- Carcasa del encamisado
- Cabezal de fondo del encamisado
- Faldilla

A la hora de elegir el sistema de diseño, se pueden diferenciar dos tipos, uno basado en la presión interna y otro en la presión externa que se ejerce sobre dichas secciones de un tanque.

El diseño basado en la presión externa se aplica a los recipientes que trabajan sujetos a presiones externas de 1,02 atm o menos, caso que no atañe a este proyecto. Además, todo recipiente que se haya diseñado y construido de acuerdo al código ASME para presión interna y que se requiera para usarse bajo una presión externa de 1 atm o menor, no necesita diseñarse de acuerdo a las normas para la condición de presión externa. Es por ello que el diseño de todas las partes del extractor se hará en base a la presión interna ejercidas sobre las mismas.

### 1.2. DATOS DE DISEÑO

#### 1.2.1. ELECCIÓN DEL MATERIAL

Existe gran variedad en la utilización de materiales destinados a tanques sometidos a presión, pero entre los que mejor prestación dan, son la gama de aceros inoxidable, como los austeníticos, superausteníticos o los aceros dúplex, aunque la elección del material idóneo depende de muchos factores.

En este caso se va optado por un acero inoxidable austenítico por su elevada resistencia a la corrosión y porque es ampliamente utilizado en tanques sometidos a presión. Esta resistencia es debido a la estructura uniforme de la austenita y existen varios grados de aceros austeníticos, de entre los cuales, el escogido es del tipo SS-304, también denominado, 18/8 acero inoxidable.

#### 1.2.2. CORROSIÓN

Los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión o erosión deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño.

Un desgaste por corrosión de 0,13mm/año generalmente es satisfactorio para recipientes. Teniendo en cuenta que la vida deseada de un recipiente es una cuestión económica, por lo general, se suele diseñar con una vida de servicio de entre 15 a 20 años. Por consiguiente, para esta vida útil, se tomará un sobreespesor debido a la corrosión de 2,5 mm.

### 1.2.3. VOLUMEN DE DISEÑO ( $V_D$ )

Los cálculos se harán por duplicado ya que el primer extractor de cada línea de producción no se carga con la misma cantidad que el segundo extractor. Para calcular las dimensiones, se toma como base la capacidad máxima de diseño, la cual se estima incrementando un 10% la capacidad necesaria para albergar la carga del material.

Considerando que la relación hexano/pulpa=3 en ambos reactores, la densidad de la pulpa es de 1.080,46 kg/m<sup>3</sup> (85% de humedad) y la densidad del hexano es 623,43 kg/m<sup>3</sup> a temperatura media de operación (60°C), los volúmenes de la carga se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$V_i = \frac{m}{\rho_M} \quad (4.1)$$

Teniendo en cuenta que la mezcla no se muy viscosa, se fija una relación óptima entre la altura (L) y el diámetro (d) de 3, aportando esbeltez al tanque. Así la expresión del volumen de un cilindro, despreciando el volumen de los cabezales es la siguiente:

$$V_D = \pi r^2 l = \frac{\pi d^2 3d}{4} \quad (4.2)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4V_D}{3\pi}} \quad (4.3)$$

En las Tablas 4.1 y 4.2 se muestran los volúmenes de diseño para cada uno de los dos extractores al igual que sus dimensiones.

Tabla 4.1. Cálculo del volumen de diseño de los extractores.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Extractor 1</b>			
Carga inicial	$m_1$	3.403,12	kg
Densidad mezcla	$\rho_{M1}$	737,69	kg/m <sup>3</sup>
Volumen inicial	$V_{i1}$	4,61	m <sup>3</sup>
Volumen diseño	$V_{D1}$	5,07	m <sup>3</sup>
<b>Extractor 2</b>			
Carga inicial	$m_2$	4.863,01	kg
Densidad mezcla	$\rho_{M2}$	701,13	kg/m <sup>3</sup>
Volumen inicial	$V_{i2}$	6,94	m <sup>2</sup>
Volumen diseño	$V_{D2}$	7,63	m <sup>3</sup>

Tabla 4.2. Cálculo de las dimensiones de los extractores.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Extractor 1</b>			
Diámetro interno	$d_1$	1,29	m
Radio	$r_1$	0,65	m
Altura	$H_1$	3,87	m
<b>Extractor 2</b>			
Diámetro interno	$d_2$	1,48	m
Radio	$r_2$	0,74	m
Altura	$H_2$	4,44	m

#### 1.2.4. PRESIÓN DE DISEÑO ( $P_D$ )

Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, dicho valor viene determinado por las siguientes condiciones:

$$\text{Si } P_O > 20,42 \text{ atm, entonces: } P_D = 1,1(P_H + P_O) \quad (4.4)$$

$$\text{Si } P_O \leq 20,42 \text{ atm, entonces: } P_D = (P_H + P_O) + 2,04 \quad (4.5)$$

Donde,

$P_0$ , presión de operación, (atm)

$P_H$ , presión hidrostática, (atm)

Al haber dos presiones de trabajo distintas, una dentro del reactor y otra en la camisa de calefacción, se obtiene dos presiones de diseño, y para su cálculo se procede a partir de la segunda condición más arriba descrita.

Al determinar la presión (Tabla 4.3), se debe tener en cuenta dos factores; uno es la sobrepresión producida por el líquido que se pueda evaporar y el otro factor es la presión hidrostática debida a la columna del fluido que se está manejando.

La sobrepresión ejercida por el hexano que se pueda evaporar es de 0,85 atm, por lo que la presión total de operación a tener en cuenta será de 1,85 atm, en cuanto a la presión en la camisa se toma un valor de 1 atmósfera.

En cuanto a la presión hidrostática, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_H = \rho_M g h \quad (4.6)$$

Donde,

$h$ , altura del líquido, (m). Esta es la misma tanto en el extractor como en el encamisado.

#### 1.2.5. TENSION MÁXIMA ADMISIBLE ( $\sigma_{MAX}$ )

Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que éste está:

- En condiciones después de haber sido corroído.
- Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- En la posición normal de operación.

- Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., cuyos efectos deben agregarse a los ocasionados por la presión interna.

Tabla 4.3. Cálculo de las presiones de diseño.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b><u>Extractor 1</u></b>			
Presión hidrostática extractor	$P_{HE1}$	0,25	atm
Presión hidrostática camisa	$P_{HC1}$	0,33	atm
Presión de diseño extractor	$P_{DE1}$	4,14	atm
Presión de diseño camisa	$P_{DC1}$	3,37	atm
<b><u>Extractor 2</u></b>			
Presión hidrostática extractor	$P_{HE2}$	0,27	atm
Presión hidrostática camisa	$P_{HC2}$	0,38	atm
Presión de diseño extractor	$P_{DE2}$	4,16	atm
Presión de diseño camisa	$P_{DC2}$	3,42	atm

Según el Código ASME BPV Sección II Parte D, Apéndice obligatorio I, la máxima tensión admisible es el menor valor de:

- La resistencia a la tracción dividida por 3,5
- El límite elástico dividido por 1,5

Estos valores se encuentran tabulados para distintas aleaciones, y para el material SS-304 el valor es el siguiente (Véase Anexo I):

- Resistencia a la tracción=  $565 \text{ MPa}/3,5= 161,43 \text{ MPa}$
- Límite elástico=  $241 \text{ MPa}/1,5= 160,67$

Por lo que la tensión máxima es

$$\sigma_{MAX} = 160,67 \text{ MPa} = 1585,66 \text{ atm}$$

### 1.2.6. TEMPERATURA DE DISEÑO

La temperatura de diseño debe ser superior a la máxima temperatura que se produzca durante la operación, y es habitual adoptar un valor que supere en 20°C a dicha temperatura. Como la temperatura más alta es la del agua de calefacción con un valor de 70,79°C, la temperatura de diseño es la siguiente:

$$T_D = T_O + 20 = 90,89 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.7)$$

## 1.3. DISEÑO MECÁNICO

### 1.3.1. CARCASA DEL TANQUE

La carcasa tiene forma cilíndrica y disposición vertical. Su espesor se calcula teniendo en cuenta tanto los esfuerzos longitudinales ( $\delta_x$ ) como los esfuerzos circunferenciales ( $\delta_\phi$ ), tomándose el mayor valor de los dos. Aunque generalmente se considera sólo el esfuerzo longitudinal ya que éste es aproximadamente el doble que el esfuerzo circunferencial, se calculan ambos esfuerzos para corroborar dicha hipótesis. Una vez obtenido el espesor mínimo (Tabla 4.3) se le añade un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm.

- Esfuerzo circunferencial ( $\delta_\phi$ ):

El espesor necesario debido al esfuerzo circunferencial viene dado por la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{CT} = \frac{P_D d}{4\sigma E + 0,8P_D} \quad (4.8)$$

Donde,

d, diámetro interno de la carcasa, (*m*)

$\sigma$ , tensión máxima admisible (*atm*)

E, eficiencia que toma el valor 1.

- Esfuerzo longitudinal ( $\delta_x$ ):

El espesor necesario debido al esfuerzo longitudinal viene dado por la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{CT} = \frac{P_D d}{2\sigma E - 0,6P_D} \quad (4.09)$$

Tabla 4.4. Cálculo de los espesores mínimos.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Extractor 1</b>			
Presión de diseño	$P_{D1}$	4,14	atm
Diámetro interno	$d_1$	1,291	m
Tensión máxima	$\sigma_1 = \sigma_{MAX}$	1.585,66	atm
E		0,8	
Espesor	$\varepsilon_{\phi_1}$	1,05	mm
Espesor	$\varepsilon_{X1}$	2,11	mm
<b>Extractor 2</b>			
Presión de diseño	$P_{D2}$	4,16	atm
Diámetro interno	$d_2$	1,479	m
Tensión máxima	$\sigma_2 = \sigma_{MAX}$	1.585,66	atm
E		0,8	
Espesor	$\varepsilon_{\phi_2}$	1,21	mm
Espesor	$\varepsilon_{X2}$	2,43	mm

Y como se puede comprobar el espesor debido a los esfuerzos longitudinales es mayor que el correspondiente a los circunferenciales. Luego, como espesor mínimo se toma el mayor valor de los dos, sumándole el sobreespesor de corrosión, obteniendo los siguientes valores:

$$\varepsilon_{CT1} = 4,61 \text{ mm}^{\dagger}$$

$$\varepsilon_{CT2} = 4,93 \text{ mm}$$

El diámetro externo de la carcasa viene dado por el diámetro calculado anteriormente  $d$  más el espesor del material calculado en este apartado, mediante la siguiente expresión:

$$D = d + 2\varepsilon \quad (4.12)$$

Siendo los valores de los dos extractores los mostrados a continuación:

$$D_1 = d + 2\varepsilon_{T1} = 1,300 \text{ m}$$

$$D_2 = d + 2\varepsilon_{T2} = 1,489 \text{ m}$$

### 1.3.2. CABEZALES

Los cabezales son las partes que se sueldan al tanque por la parte superior y la inferior, y estas son de forma semi-elíptica o elipsoidal relación 2:1, es decir, la relación entre el eje mayor y el eje menor. De forma esquemática se representan las dimensiones de estas piezas en la siguiente figura:

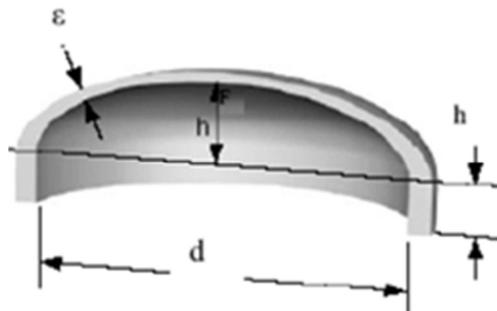


Figura 4.2. Cabezal.

Donde,

$\varepsilon$ , espesor de la pared de los cabezal, ( $mm$ )

$d$ , diámetro interior de la carcasa, ( $m$ )

$h_f$ , altura del fondo y cabezal, ( $cm$ )

$h$ , altura de pestaña o faldilla, ( $mm$ )

El volumen total del extractor es el volumen del recipiente cilíndrico más el volumen del cabezal inferior y el cabezal superior, por lo que hay que conocer tanto  $h_F$  como  $h$ . La altura de la faldilla se calcula más adelante, y la altura del cabezal se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$h_{F1} = \frac{1}{4}d \quad (4.13)$$

La altura de los cabezales de ambos reactores se obtiene aplicando la ecuación anterior:

$$h_{F1} = \frac{1}{4}d = 32,29 \text{ cm}$$

$$h_{F2} = \frac{1}{4}d = 36,99 \text{ cm}$$

#### 1.3.2.1. CABEZAL SUPERIOR

El espesor mínimo para el cabezal superior se calcula teniendo en cuenta que se encuentra bajo presión interna sin contar con la presión hidrostática. Entonces, el espesor para este tipo de cabezal viene dado por la expresión siguiente:

$$\epsilon_S = \frac{(P_D - P_H)d}{2\sigma E - 0,2(P_D - P_H)} \quad (4.14)$$

Donde,

$\epsilon_S$ , espesor del cabezal, (*mm*)

$\sigma$ , tensión admisible, (*atm*)

E, eficiencia de soldadura

Además, observando que la eficiencia de la soldadura, E, toma el valor de uno para las soldaduras radiografiadas por completo [20], se está en disposición de calcular el espesor de la pared del cabezal superior.

$$\epsilon_1 = 1,60 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_2 = 1,83 \text{ mm}$$

Sumándole a este valor el sobreespesor por corrosión ( $C=2,5\text{mm}$ ), se obtiene que el espesor mínimo es:

$$\varepsilon_{S1} = 4,10 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{S2} = 4,33 \text{ mm}$$

### 1.3.2.2. CABEZAL DE FONDO

El espesor mínimo para el cabezal de fondo se calcula de forma análoga al anterior pero con la diferencia que en este caso hay que tener en cuenta la presión hidrostática:

$$\varepsilon_F = \frac{P_D d}{2\sigma E - 0,2P_D} \quad (4.15)$$

Donde,

$\varepsilon_F$ , espesor del cabezal ( $mm$ )

$\sigma$ , tensión admisible ( $atm$ )

E, eficiencia de soldadura

Además, observando que la eficiencia de la soldadura, E, toma el valor de uno para las soldaduras radiografiadas por completo (Anexo IV), se está en disposición de calcular el espesor de la pared del cabezal de fondo.

$$\varepsilon_1 = 1,70 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_2 = 1,96 \text{ mm}$$

Sumándole a este valor el sobreespesor por corrosión ( $C=2,5 \text{ mm}$ ), se obtiene que el espesor mínimo es:

$$\varepsilon_{F1} = 4,2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{F2} = 4,46 \text{ mm}$$

### 1.3.3. CARCASA DEL ENCAMISADO

La camisa por la que circula el fluido calefactor, rodea al extractor a lo largo de la carcasa de éste, y del cabezal elíptico del extremo inferior. El espacio anular ( $j$ ), comprendido entre la pared exterior del extractor y la pared interior de la camisa es de 60 mm. Dentro de la clasificación que hace el Código ASME Sección VIII División I en su Apéndice 9 de los distintos tipos de camisas, éstas se corresponden con las camisas denominadas de Tipo 2:

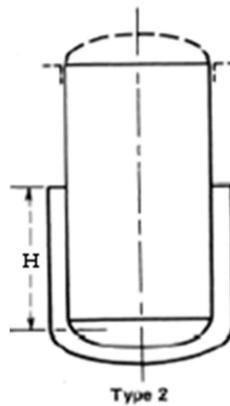


Figura 4.3. Encamisado

La única diferencia es que en este caso, la camisa se extiende cubriendo la totalidad de la carcasa. Es decir, la altura de la camisa ( $H$ ) será igual a la suma de la pestaña o faldilla más la longitud de la parte cilíndrica.

Este procedimiento es idéntico al mostrado en el apartado 3.1, pero utilizando la presión de diseño que corresponde al encamisado por lo que sólo se muestra una tabla con los datos y los resultados obtenidos (Tabla 4.5).

Donde:

$$d_i = D + j' \quad (4.16)$$

Se toma el espesor debido a los esfuerzos longitudinales ya que es el mayor valor, sumándole el sobreespesor de corrosión, obteniendo el siguiente valor:

$$\varepsilon_{CE1} = 3,95 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{CE2} = 4,17 \text{ mm}$$

El diámetro externo de la carcasa para ambos extractores se calcula aplicando la ecuación 4.12, obteniéndose los siguientes valores:

$$D_{E1} = d_i + 2\varepsilon_{CE1} = 1,369 \text{ m}$$

$$D_{E2} = d_i + 2\varepsilon_{CE2} = 1,558 \text{ m}$$

#### 1.3.4. CABEZAL DE FONDO DEL ENCAMISADO

Este procedimiento es idéntico al mostrado en el apartado 3.2.2, pero utilizando la presión de diseño que corresponde al encamisado, así que aplicando la ecuación 4.15 se obtiene el siguiente espesor de pared:

$$\varepsilon_1 = 1,46 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_2 = 1,68 \text{ mm}$$

Sumándole a este valor el sobreespesor por corrosión ( $C=2,5 \text{ mm}$ ), se obtiene que el espesor mínimo es:

$$\varepsilon_{EF1} = 3,96 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{EF2} = 4,18 \text{ mm}$$

La altura del cabezal de fondo del encamisado, se calcula mediante la ecuación 4.13, obteniéndose los siguientes valores para cada extractor:

$$h_{F1} = \frac{1}{4} d_{i1} = 34,02 \text{ cm}$$

$$h_{F2} = \frac{1}{4} d_{i2} = 38,73 \text{ cm}$$

Tabla 4.5. Cálculo de los espesores mínimos de la carcasa del encamisado.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b>Extractor 1</b>			
Presión de diseño	$P_{D1}$	3,37	atm
Diámetro interno	$d_{i1}$	1,361	m
Tensión máxima	$\sigma = \sigma_{MAX}$	1.585,66	atm
E		1	
Espesor	$\epsilon_{\phi 1}$	0,72	mm
Espesor	$\epsilon_{X1}$	1,45	mm
<b>Extractor 2</b>			
Presión de diseño	$P_{D2}$	3,42	atm
Diámetro interno	$d_{i2}$	1,549	m
Tensión máxima	$\sigma = \sigma_{MAX}$	1.585,66	atm
E		1	
Espesor	$\epsilon_{\phi 2}$	0,84	mm
Espesor	$\epsilon_{X2}$	1,67	mm

### 1.3.5. FALDILLA

En todos los cabezales se realiza la transición de una figura bombeada a otra cilíndrica, que es la carcasa. Esta línea de transición denominada justamente línea de tangencia se encuentra sometida a grandes tensiones axiales que se traducen en fuertes tensiones locales y éste resulta ser el punto más débil de todo el recipiente. Por esta razón no es aconsejable realizar la soldadura de unión cabezal-carcasa a lo largo de esta línea, y para evitar esta coincidencia, los cabezales bombeados se construyen con una parte cilíndrica, denominada pestaña o faldilla. La altura mínima (h) de esta sección, varía según la Norma o Código de cálculo utilizado, teniendo que cumplir las siguientes condiciones:

$$h \geq 0,3(D_E \epsilon)^{0,5} \tag{4.17}$$

$$h \geq 3\epsilon \tag{4.18}$$

$$h \geq 25 \text{ mm} \tag{4.19}$$

Donde,

$\varepsilon$ , espesor del cabezal, (m)

$D_E$ , diámetro externo del recipiente, (m)

En el diseño del reactor existen tres faldillas que son las siguientes:

- Carcasa tanque - cabezal superior (1)
- Carcasa tanque - cabezal inferior (2)
- Carcasa encamisado - cabezal inferior (3)

Tabla 4.6. Cálculo de la altura de la faldilla.

	Espesor		
	1	2	3
<b>Extractor 1</b>			
h1	21,90	22,17	22,08
h2	12,29	12,60	11,87
h3	>25	>25	>25
<b>Extractor 2</b>			
h1	24,08	24,44	24,21
h2	12,98	13,37	12,55
h3	>25	>25	>25

Entonces, de los valores obtenidos en la tabla, se cogerá el valor más alto de cada parte, para que cumpla las tres condiciones.

Ahora se está en disposición de calcular los volúmenes totales de cada extractor aplicando la siguiente expresión:

$$V = \text{volumencilindro} + \text{volumen 2 semiesferas} = \frac{\pi}{4} d^2 (L + 2h) + 2 \frac{2\pi}{3} h_F^3 \tag{4.20}$$

$$V_1 = \frac{\pi}{4} 1,29^2 (3,87 + 2 \cdot 0,025) + \frac{4\pi}{3} 0,3225^3 = 5,26 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} 1,48^2 (4,44 + 2 \cdot 0,025) + \frac{4\pi}{3} 0,37^3 = 7,94 \text{ m}^3$$

### 1.3.6. UNIÓN CAMISA-EXTRACTOR

En la parte superior de la carcasa del reactor, la pared de la camisa se une mediante una soldadura a la pared de este. Para el tipo de camisa que se diseña, catalogada del tipo 2 por el Código ASME Sección VII División I en su Apéndice 9, la geometría de la soldadura es la que se muestra en la siguiente figura:

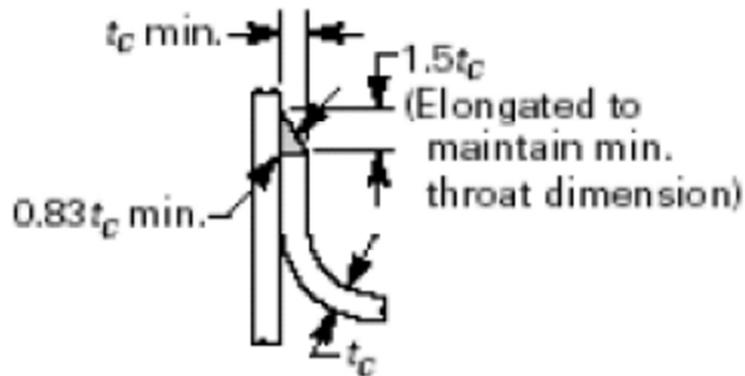


Figura 4.4. Unión soldada extractor-encamisado

Donde,

$t_{C \min}$ , espesor mínimo de pared de camisa calculado anteriormente

$$t_{C \min 1} = 3,95 \text{ mm}$$

$$t_{C \min 2} = 4,17 \text{ mm}$$

Las dimensiones mínimas de la soldadura entre las dos paredes como se muestra en la figura se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$0,83 t_{C \min} \tag{4.21}$$

$$1,5 t_{C \min} \tag{4.22}$$

Para el primer extractor:

$$0,83t_{cmin} = 0,83 \cdot 3,95 = 3,28 \text{ mm}$$

$$1,5t_{cmin} = 1,5 \cdot 3,95 = 5,93 \text{ mm}$$

Para el segundo extractor:

$$0,83t_{cmin} = 0,83 \cdot 4,17 = 3,46 \text{ mm}$$

$$1,5t_{cmin} = 1,5 \cdot 4,17 = 6,23 \text{ mm}$$

Por lo tanto, las dimensiones de la soldadura que recomienda el código para este tipo de camisa, no deben ser menores que los valores indicados.

#### 1.4. AISLAMIENTO

Con el objetivo de minimizar las pérdidas de calor que se producen a través de las paredes del reactor encamisado hacia el medio exterior, lo cual se traduce en una pérdida energética y por consiguiente económica, se procede a aislar térmicamente el equipo. Como material aislante térmico se selecciona la lana de vidrio por las siguientes razones:

- Buena resistencia a la transmisión de calor
- Buena resistencia mecánica
- Actúa como barrera contra el fuego, ya que no es ni combustible ni inflamable
- Su sistema de montaje es rápido, seguro y económico
- Totalmente estable a la dilatación y la contracción
- No corrosivo

Para el aislamiento de depósitos, tanques y tuberías de gran diámetro, la lana de vidrio se presenta en lo que se conoce como lamelas, que son una especie de mantas constituidas por lamas de lana mineral, de gran resistencia mecánica a la compresión. Estas lamas o tiras fabricadas con lana mineral de primera clase, se sitúan con las fibras

alineadas en vertical, una junto a la otra, y se pegan sobre un soporte de lámina de aluminio que actúa como barrera de vapor muy eficiente.

Este tipo de mantas de aislamiento están estudiadas para ser usadas hasta una temperatura de 400 °C por una de sus caras, manteniendo la cara opuesta a temperatura ambiente. Se suministra en forma de rollos, embalada con polietileno estirable. Para este recubrimiento, se ha escogido de la empresa Isover Saint-Germain, un panel semirrígido PI 156, con una conductividad térmica de 0,041 W/mK a 75°C. presentándose en los formatos que se muestran en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7.** Formato del aislamiento industrial.

Espesor (mm)	Largo (m)	Ancho (m)
30	1,35	0,60
40	1,35	0,60
50	1,35	0,60

### 1.5. PRUEBAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

Durante la fabricación de cualquier recipiente a presión, se efectúan diferentes pruebas para llevar a cabo un control de calidad aceptable, estas pruebas son, entre otras, Radiografiado, Pruebas de partículas magnéticas, Ultrasonido, Pruebas con líquidos penetrantes, etc. Este tipo de pruebas, como se mencionó anteriormente, son efectuadas durante la fabricación y el departamento de Control de Calidad de cada compañía es responsable de que estas pruebas se lleven a cabo. En este capítulo se describe de una manera muy breve, las pruebas que se les deberá aplicar a los recipientes sometidos a presión una vez que se han terminado de fabricar, esta prueba se denomina prueba hidrostática, ya que generalmente es el tipo de prueba que se aplica, aunque también existe la prueba neumática.

### 1.5.1. PRUEBA HIDROSTÁTICA

Consiste en someter el recipiente a presión una vez terminado a una presión 1,3 veces la presión de diseño y conservar esta presión durante un tiempo suficiente para verificar que no haya fugas en ningún cordón de soldadura, como su nombre lo indica, esta prueba se lleva a cabo con líquido, el cual generalmente es agua. Cuando se lleva a cabo una prueba hidrostática en un recipiente a presión, es recomendable tomar las siguientes precauciones:

- Por ningún motivo debe excederse la presión de prueba señalada en la placa de nombre.
- En recipientes a presión usados, con corrosión en cualquiera de sus componentes, deberá reducirse la presión de prueba proporcionalmente.
- Siempre que sea posible, evítese hacer pruebas neumáticas, ya que además de ser peligrosas, tienden a dañar los equipos.

### 1.5.2. PRUEBA NEUMÁTICA

Las diferencias básicas entre este tipo de pruebas y la prueba hidrostática, consisten en el valor de la presión de prueba y el fluido a usar en la misma, la presión neumática de prueba es alcanzada mediante la inyección de gases. Como ya se dijo anteriormente, no es recomendable efectuar pruebas neumáticas, sin embargo, cuando se haga indispensable la práctica de este tipo de prueba, se deberán tomar las siguientes precauciones:

- Las pruebas neumáticas deben sobrepasar con muy poco la presión de operación, el Código A.S.M.E., recomienda que la presión de prueba neumática sea como máximo 1.25 veces la máxima presión de trabajo permisible y definitivamente deben evitarse en recipientes a presión usados.

- En las pruebas neumáticas con gases diferentes al aire, deben usarse gases no corrosivos, no tóxicos, incombustibles y fáciles de identificar cuando escapan. El Freón es un gas recomendable para efectuar las pruebas neumáticas.
- La mayoría de los gases para pruebas neumáticas, se encuentran en recipientes a muy alta presión, por lo tanto, es indispensable que se extremen las precauciones al transvasarlos al recipiente a probar, pues puede ocurrir un incremento excesivo en la presión de prueba sumamente peligroso.

### 1.5.3. PRUEBA DE ELASTICIDAD

Esta prueba cuando se efectúa, se lleva a cabo de manera simultánea con la prueba hidrostática, su objetivo se verificar al comportamiento elástico del material de fabricación del recipiente y el procedimiento para llevarla a cabo se describe a continuación.

- Primeramente, se llena el recipiente a probar con agua hasta que por el punto más alto del recipiente escape el agua una vez que se haya abierto el venteo.
- Se cierra la válvula de venteo y se comienza a inyectar agua a fin de elevar la presión; el agua que se introduce para este fin, se toma de una bureta graduada para cuantificar de manera exacta el agua que se inyecta para levantar la presión hasta alcanzar el valor de la presión de prueba.
- Se mantendrá la presión de prueba durante el tiempo suficiente para verificar que no haya fugas y posteriormente, se baja la presión hasta tener nuevamente la presión atmosférica en el recipiente. Es sumamente importante recoger el agua sacada para bajar la presión, ya que se comparará este volumen con el inyectado para aumentar la presión y esta comparación indicará si las deformaciones sufridas por el recipiente mientras se sometió a la prueba hidrostática, rebasaron el límite elástico.

### 1.6. SOPORTES DE APOYO AL TANQUE

Las patas de apoyo para recipientes verticales pueden descansar en la estructura de hacer del recipiente, o el recipiente puede estar apoyado en las patas (Figura 4.5). El material escogido es perfiles IPN (perfil doble T normal) de acero al carbono tipo A42 con una tensión de compresión admisible  $\sigma_{adm} = 1500 \text{ kg/cm}^2$ . El sistema de apoyo consta de cuatro patas soldadas directamente a la carcasa y con el nervio perpendicular a la superficie del recipiente.

La disposición de las patas se encuentra tabulada para diferentes diámetros de

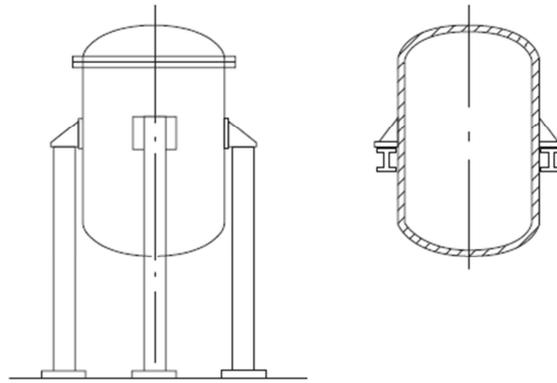


Figura 4.5. Tipo de soportes

El cálculo mecánico consiste en comprobar que las tensiones de compresión debidas al peso total sobre cada pata de apoyo más el pandeo debido al momento producido por la carga de viento, sea en cualquier caso inferior a la  $\sigma$  máxima admisible del material, quedando que:

$$\sigma_c = W \left( \frac{P}{A} \right) + \left( \frac{M}{W} \right) < \sigma_{adm} \quad (4.23)$$

Donde,

$\sigma_c$ , tensión de compresión total,  $\left( \frac{kg}{cm^2} \right)$

P, peso soportado por cada pata de apoyo,  $(kg)$

A, área transversal del perfil,  $(m^2)$

W, coeficiente de seguridad por pandeo

$M$ , momento en la base de la pata debido a la carga del viento, ( $kgm$ )

$W_z$ , momento resistente, ( $m^3$ )

Para determinar el coeficiente de seguridad del pandeo, se necesita el coeficiente de esbeltez del perfil con el que entrar en la tabla correspondiente (ver Anexo III), obteniéndose:

$$\lambda = \frac{L_p}{i_x} \quad (4.24)$$

Donde,

$L_p$ , longitud de pandeo, ( $cm$ )

$i_x$ , radio de giro, ( $cm$ )

Considerando en cada caso el perfil como una columna empotrada en la base y libre en el extremo, se obtiene que la longitud del pandeo es dos veces la longitud de la pieza. Partiendo de un perfil IPN-100 de 1 m de longitud se tiene que según las tablas correspondientes:

$$L_p = 2 \text{ m}$$

$$i_x = 4 \text{ cm}$$

$$A = 10,6 \text{ cm}^2$$

$$W_x = 34,2 \text{ cm}^3$$

De esta forma se tiene que el coeficiente de esbeltez es  $\lambda=50$  y para un acero tipo A42 se obtiene del anexo IV que  $W=1,13$ . Por otro lado, se desprecia el momento creado por la carga de viento, ya que el equipo se encuentra bajo techo, y no está sometido a ninguna fuerza exterior.

Por tanto, se considera la fórmula como:

$$\sigma_{adm} = W \left( \frac{P}{A} \right) \quad (4.25)$$

Para calcular el peso total (Tabla 4.8) sobre cada apoyo, en los extractores 1 y 2, es necesario obtener previamente el volumen total de material que se ha utilizado para el diseño, teniendo en cuenta que la densidad del material es de  $7.999,49 \text{ kg/m}^3$ .

**Tabla 4.8.** Cálculo del peso total del recipiente a partir de los volúmenes de las partes constituyentes.

	Extractor 1	Extractor2	Unidades
Cilindro carcasa extractor	0,0737	0,1032	$\text{m}^3$
Cabezal superior	0,0027	0,0038	$\text{m}^3$
Cabezal inferior	0,0028	0,0039	$\text{m}^3$
Cilindro carcasa camisa	0,0660	0,0909	$\text{m}^3$
Cabezal inferior camisa	0,0029	0,0040	$\text{m}^3$
TOTAL	0,1481	0,2057	$\text{m}^3$
Masa del material	1.184,55	1.645,74	kg

$$P_{TOTAL1} = P_{RECIPIENTE} + P_{MEZCLA} = 11184,55 + 3.403,12 = 4.587,67 \text{ kg} \quad (4.26)$$

$$P_{TOTAL2} = P_{RECIPIENTE} + P_{MEZCLA} = 1.645,74 + 4863,01 = 6.508,74 \text{ kg} \quad (4.27)$$

Por tanto, el peso por apoyo es:

$$P_1 = \frac{4.587,67 \text{ kg}}{4} = 1.146,92 \text{ kg} \quad (4.28)$$

$$P_2 = \frac{6.508,74 \text{ kg}}{4} = 1.627,19 \text{ kg} \quad (4.29)$$

Se tiene que la tensión de compresión total para el IPN-100 es:

$$\sigma_1 = 1,13 \left( \frac{4.587,67}{10,6} \right) = 489,06 < 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4.30)$$

$$\sigma_2 = 1,13 \left( \frac{6.508,74}{10,6} \right) = 693,86 < 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4.31)$$

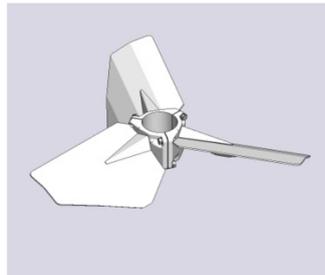
Como la tensión de compresión obtenida es menor que la admisible, el perfil es resistente.

### 1.7. AGITADORES INTERNOS

Como se comentó en el apartado de extracción, una buena agitación mejora considerablemente dicho proceso, es por ello por lo que se procede a implementar un sistema de agitado en el extractor.

Para el caso de suspensión de partículas sólidas en un tanque agitado, se dispone de algunas correlaciones aproximadas para el cálculo de la potencia necesaria. En una suspensión agitada de sólidos que sedimentan libremente y para velocidades moderadas del agitador, algunas partículas no alcanzan nunca la superficie del líquido. Con frecuencia, los sólidos son elevados solamente a una altura máxima, sobre el fondo del extractor. Por encima de esa altura el líquido está libre de sólidos. A medida que aumenta la velocidad de agitación, esta altura aumenta, hasta alcanzar un valor  $H$ , igual a la altura del líquido.

La agitación se llevará a cabo con un agitador de turbina de tres aspas inclinadas. Este tipo de agitadores proporcionan un elevado flujo turbulento, tanto axial como radial, idóneo para mantener una suspensión de partículas sólidas en el seno de un medio fluido. Se utilizan también cuatro deflectores para eliminar la presencia de remolinos.



**Figura 4.6.** Agitador de palas

Para la disposición del agitador dentro del extractor (Tabla 4.9) se debe asumir una serie de relaciones geométricas estándar, que se pueden encontrar en la bibliografía y las cuales vienen definidas en función del diámetro del extractor y de la altura del líquido (contando desde el cabezal de fondo).

- Diámetro del extractor 1,  $d_1=1,29$  m
- Diámetro del extractor 2,  $d_2=1,48$  m
- Altura del líquido en extractor 1,  $H_1= 3,18$ m
- Altura del líquido en extractor 2,  $H_2=3,65$  m

Estas relaciones se muestran en la Figura 4.7.

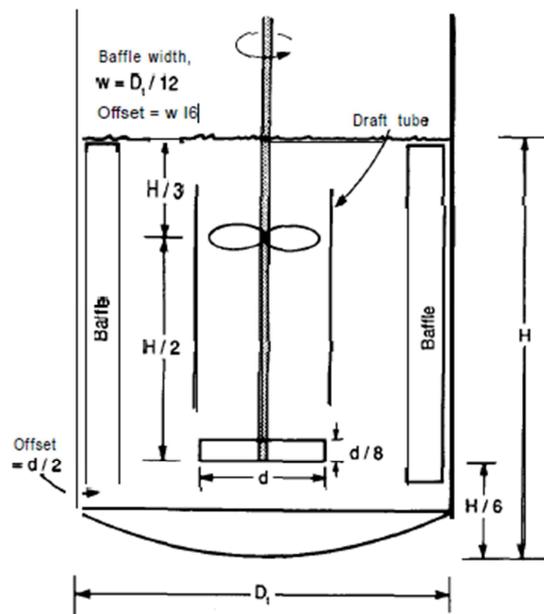


Figura 4.7. Esquema del reactor, agitador y defletores

Donde,

$$\text{Distancia del agitador al fondo, } \frac{H}{6} \quad (4.32)$$

$$\text{Diámetro del agitador, } d_A = 0,45d \quad (4.33)$$

$$\text{Ancho de las palas, } \frac{d_A}{8} \quad (4.34)$$

$$\text{Hueco entre deflector y base extractor, } \frac{d_A}{2} \quad (4.35)$$

$$\text{Grosor del deflector, } \frac{d}{12} \quad (4.36)$$

Como se observa en la figura, es posible implementar uno o más agitadores a lo largo del eje, siendo útil para casos en los que la viscosidad es elevada, hecho que no ocurre en este caso ya que la viscosidad de la mezcla de pulpa y hexano a una temperatura media de 60°C es baja.

$$\mu_M = \mu_H X_H + \mu_P X_P = 0,63 \cdot 0,25 + 2,17e - 4 \cdot 0,75 = 0,16 \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad (4.37)$$

Tabla 4.9. Disposición de elementos dentro del extractor.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<u>Extractor 1</u>			
Distancia del agitador al fondo	H/6	53,03	cm
Diámetro del agitador	d <sub>A</sub>	58,11	cm
Ancho de las palas	d <sub>A</sub> /4	14,53	cm
Hueco entre deflector y base extractor	d <sub>A</sub> /2	29,06	cm
Grosor del deflector	d/12	10,76	cm
<u>Extractor 2</u>			
Distancia del agitador al fondo	H/6	60,76	cm
Diámetro del agitador	d <sub>A</sub>	66,57	cm
Ancho de las palas	d <sub>A</sub> /4	16,64	cm
Hueco entre deflector y base extractor	d <sub>A</sub> /2	33,29	cm
Grosor del deflector	d/12	6,16	cm

El procedimiento para calcular los requerimientos de potencia consumida (Tabla 4.10) es el siguiente:

1. El agitador debe proporcionar un flujo turbulento, por lo que para comprobarlo, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho N d^2}{\mu} \quad (4.38)$$

Donde,

N, número de revoluciones por segundo, valor cogido de [1] en el que las condiciones óptimas de agitación son:  $N^3 d^2 = 4-5.8$

d, diámetro del agitador, (mm)

$\mu$ , viscosidad de la mezcla

2. Dependiendo del tipo de agitador, el número de Reynolds y la geometría de las placas deflectoras, es posible obtener el número de potencia ( $N_p$ ) y consecutivamente la potencia consumida (Véase Anexo II). Para la curva 4 e obtiene un  $N_p=2,5$ .

$$P = N_p \rho N^3 d^5 \quad (4.38)$$

Para comprobar que la ecuación aplicada es la correcta y asegurar que en el interior del extractor el flujo es altamente turbulento, se debe de cumplir que  $Re > 10.000$ , y como se ve en la tabla se corrobora que el flujo dentro del reactor cumple dicha especificación.

## 2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### 2.1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del proceso se necesita disponer de tanques de almacenamiento, bien porque suministren materia prima a una unidad o bien porque almacenen material entre unidades de proceso. En este apartado sólo se va a diseñar, los recipientes sometidos a características especiales, esto es, tanques de almacenamiento de hexano puro o cualquier material que contenga hexano. Dicho esto, los tanques que se van a diseñar son los siguientes:

- Tanques de almacenamiento de hexano
- Tanque de almacenamiento entre las unidades de extracción y evaporación

Dicho almacenamiento se llevará a cabo en tanques que estarán sometidos a presión interna debido al material que contienen, por tanto deberán ser diseñados para resistir esta presión interna, y evitar cualquier tipo de riesgo o accidente. Ningún tanque será llenado en su totalidad, sólo hasta un 80% de su capacidad, y en caso necesario contarán con servicios como entrada de nitrógeno para inertizar, servicios de venteo, sensores de volátiles, de nivel, etc.

Tabla 4.10. Potencia necesaria para la agitación.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
<b><u>Extractor 1</u></b>			
Viscosidad mezcla	$\mu$	0,0074	Pa·s
Densidad mezcla	$\rho$	737,69	kg/m <sup>3</sup>
Velocidad de giro	N	2,46	rev/s
Reynolds	Re	82.524,44	
Número de potencia	$N_p$	2,50	
Potencia consumida	P	30,32	kW
<b><u>Extractor 2</u></b>			
Viscosidad mezcla	$\mu$	0,0051	Pa·s
Densidad mezcla	$\rho$	701,13	kg/m <sup>3</sup>
Velocidad de giro	N	2,24	rev/s
Reynolds	Re	103.919,79	
Número de potencia	$N_p$	2,50	
Potencia consumida	P	28,82	kW

## 2.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL

El material seleccionado para su construcción será acero al carbono SA-515 grado 60, debido a sus excelentes propiedades como resistencia a la corrosión. Este material presenta una tensión máxima admisible de 1.020,7 atmósferas. En el caso de los depósitos de almacenen la oleorresina, irán provistos de una resina epoxi en su interior que ayuda a mantener sus propiedades.

## 2.3. NORMATIVA

Para el diseño se aplicarán las mismas normativas que las especificadas en el apartado 1, las cuales dictaminan las normas para el diseño de recipientes bajo presión interna. Para todos los recipientes, se supondrá que existe una presión interna de 1 atmósfera.

2.4. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HEXANO

En cada lote se necesita una cantidad total de hexano de 10.209,36 kg para los cuatro extractores con una densidad de 642,47 (45°C), es decir, un volumen total de 15,89 m<sup>3</sup> por lote. Considerando que el depósito solo se llena en un 80%, habría que diseñar un depósito de 19 m<sup>3</sup>. Este depósito también dispondrá de entrada de nitrógeno para reducir riesgos de incendio y explosión. Se dispondrá de un tanque pulmón de la misma capacidad por motivos de seguridad y para asegurar el abastecimiento del proceso. Por medidas de seguridad y por cuestiones de proceso se habilitará un tanque pulmón de las mismas dimensiones que el tanque de almacenamiento principal.

Mediante la Figura 4.8, y suponiendo una eficiencia de soldadura de 0,8 se puede obtener un diámetro óptimo del depósito, resultando un diámetro de 0,91 m. En la Tabla 4.11 se muestra una tabla con los valores de los espesores para cada una de las partes que constituyen el depósito. No se ahondará en el procedimiento ya que es el mismo utilizado en el apartado 1.

Tabla 4.11. Datos y resultados del diseño del tanque de almacenamiento de hexano.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Altura del tanque	L	26,81	m
Altura del líquido	H	21,44	m
Presión hidrostática	P <sub>H</sub>	1,31	atm
Presión interior	P	1,00	atm
Tensión máxima admisible	$\sigma_1 = \sigma_{MAX}$	1.020,48	atm
Presión de diseño	P <sub>D</sub>	4,35	atm
Eficiencia global	E	0,8	
Sobreespesor	C	2,50	mm
Espesor carcasa	$\epsilon_C$	5,03	mm
Diámetro externo	D	0,96	m
Espesor del cabezal	$\epsilon_S$	3,93	mm
Espesor del fondo	$\epsilon_F$	4,55	mm
Altura del cabezal	h <sub>F</sub>	0,24	m
Altura faldilla	h	25,00	mm

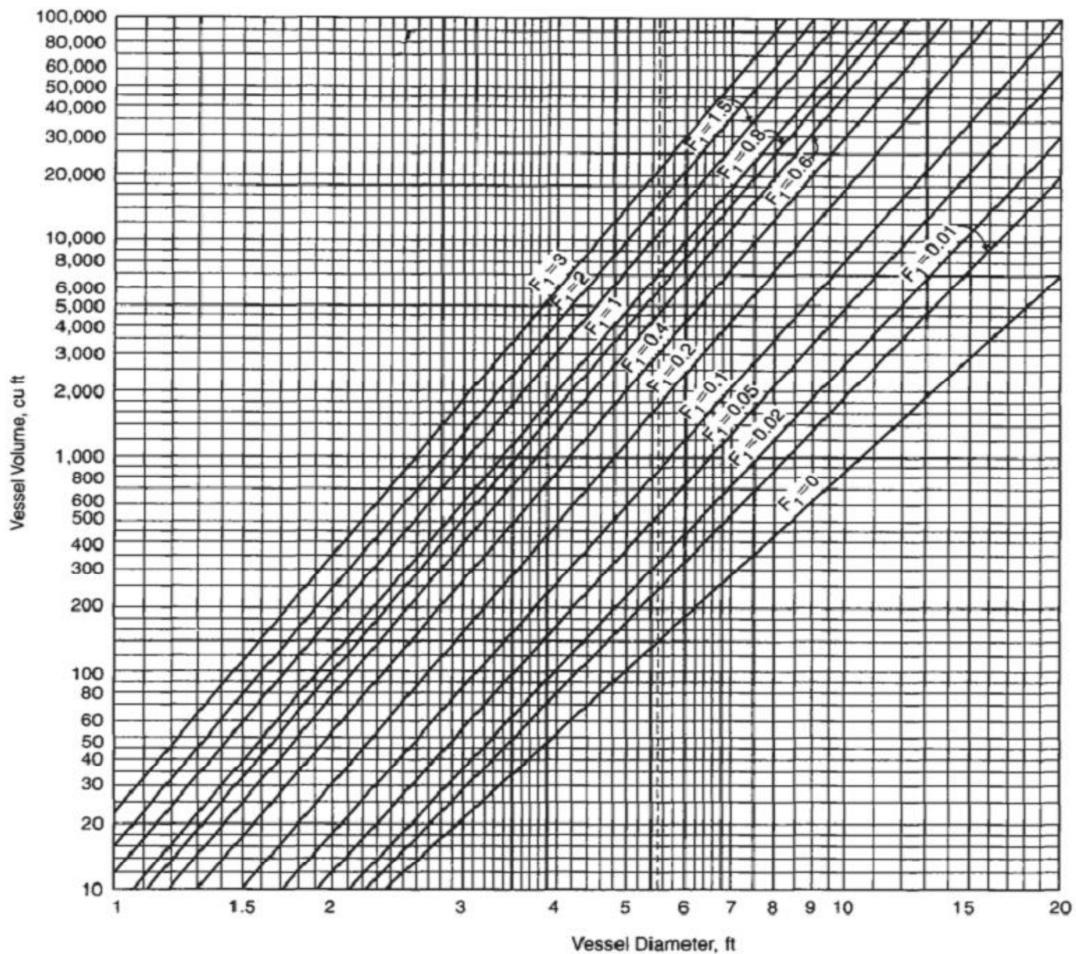


Figura 4.8. Relación óptima entre volumen y diámetro.

El volumen total del tanque se obtiene mediante la ecuación 4.20:

$$V_2 = \frac{\pi}{4} 0,95^2 (26,81 + 2 \cdot 0,025) + \frac{4\pi}{3} 0,24^3 = 19,09 m^3$$

## 2.5. DISEÑO TANQUE DE ALMACENAMIENTO INTERMEDIO A407/S6

En cada lote se obtiene un total de 9.706,8 kg procedentes de los cuatro extractores con una densidad de 623,43 (60°C), es decir, un volumen total de 15,57 m<sup>3</sup> por lote. Considerando que el depósito solo se llena en un 80%, habría que diseñar un depósito de 18,68 m<sup>3</sup>. Este depósito también dispondrá de entrada de nitrógeno para reducir riesgos de incendio y explosión.

En este caso se impone una relación entre la altura y el diámetro de 1.

**Tabla 4.12.** Datos y resultados del diseño del tanque de almacenamiento intermedio.

	Nomenclatura	Valor	Unidades
Altura del tanque	L	2,88	m
Altura del líquido	H	2,30	m
Presión hidrostática	$P_H$	0,14	atm
Presión interior	P	1,00	atm
Tensión máxima admisible	$\sigma_1 = \sigma_{MAX}$	1.020,48	atm
Presión de diseño	$P_D$	3,18	atm
Eficiencia global	E	1,00	
Sobreespesor	C	2,50	mm
Espesor carcasa	$\epsilon_C$	8,11	mm
Diámetro externo	D	2,89	m
Espesor del cabezal	$\epsilon_S$	6,81	mm
Espesor del fondo	$\epsilon_F$	7,01	mm
Altura del cabezal	$h_F$	0,72	m
Altura faldilla	h	25,00	mm

El volumen total del tanque se obtiene mediante la ecuación 4.2:

$$V_2 = \frac{\pi}{4} 2,88^2 (2,88 + 2 \cdot 0,025) + \frac{4\pi}{3} 0,72^3 = 20,56m^3$$

### 3. CONSIDERACIONES GENERALES

#### 3.1. DISPOSITIVOS DE ANTIREBOSE

Todos los tanques que contengan nitrógeno y hexano llevarán dispositivos para evitar un rebose por llenado excesivo. En caso de fallo de estos dispositivos el rebose debe ser conducido hacia un lugar seguro. Por ello se deberá disponer de tanques de seguridad para evitar este tipo de riesgos.

### 3.2. CONEXIONES

Las conexiones a un recipiente por las que un fluido pueda circular llevarán una válvula manual externa situada lo más próxima a la pared del recipiente. Se podrá además adicionar válvulas automáticas, internas o externas. Las conexiones por debajo del nivel del líquido, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco. Una sola válvula que conecte con el exterior no se considera cierre estanco. Las conexiones estarán diseñadas para minimizar la posibilidad de generar electricidad estática, por ello también dispondrán de una conexión a tierra.

### 3.3. VENTEOS NORMALES Y DE EMERGENCIA

Los tanques contarán con dos tipos de venteos:

#### Venteos normales

Todos los recipientes antes mencionados deberán disponer de sistemas de venteo para prevenir la deformación de los mismos como consecuencia de llenados y vaciados, o cambios de la temperatura ambiente. Los venteos tendrán un tamaño mínimo igual al mayor de las tuberías de llenado y vaciado y en ningún caso tendrán un diámetro inferior a 35mm. Las válvulas de venteo podrán actuar como cortallamas cuando su construcción garantice una velocidad de salida superior a la velocidad de propagación de la llama durante todo el tiempo de la apertura.

#### Venteos de emergencia

Se trata de dispositivos que permiten aliviar el exceso de presión interna causado por un fuego exterior. Cada dispositivo de venteo llevará estampado sobre él, la presión de apertura, la presión a la cual la válvula alcanza la posición totalmente abierta y su capacidad de venteo en esta última posición.

### 3.4. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

El hexano, producto utilizado como disolvente no es corrosivo, por lo cual ni los tanques de almacenamiento ni las tuberías por las que circulan necesitarán protección contra la corrosión. Aunque como medida preventiva en el diseño más arriba descrito se ha añadido un sobreespesor de 2,5 mm.

### 3.5. INSTALACIÓN DE TANQUES DENTRO DE LOS EDIFICIOS

El área de almacenamiento de productos inflamables o combustibles y las paredes colindantes con otras dependencias del edificio o edificios contiguos, tendrán una resistencia al fuego RF-90. Las paredes que limiten con áreas de proceso, zonas de riesgo o propiedades ajenas, deberán tener una resistencia al fuego de RF-120 como mínimo.

Todas las áreas deberán tener obligatoriamente dos accesos independientes, cuando el recorrido máximo real supere los 30 metros. En ningún caso la disposición de los tanques entorpecerá las salidas normales ni las de emergencia, ni serán un obstáculo para el acceso a equipos o áreas destinadas a la seguridad. Los pasos a otras dependencias tendrán puertas cortafuegos automáticas y se dispondrá de ventilación natural y forzada.

En caso de derrames, se alejará cualquier posible fuente de ignición, asimismo se cubrirá con tierra u otro material no combustible y se colocará en un recipiente para su posterior tratamiento.

### 3.6. DISTANCIA ENTRE RECIPIENTES

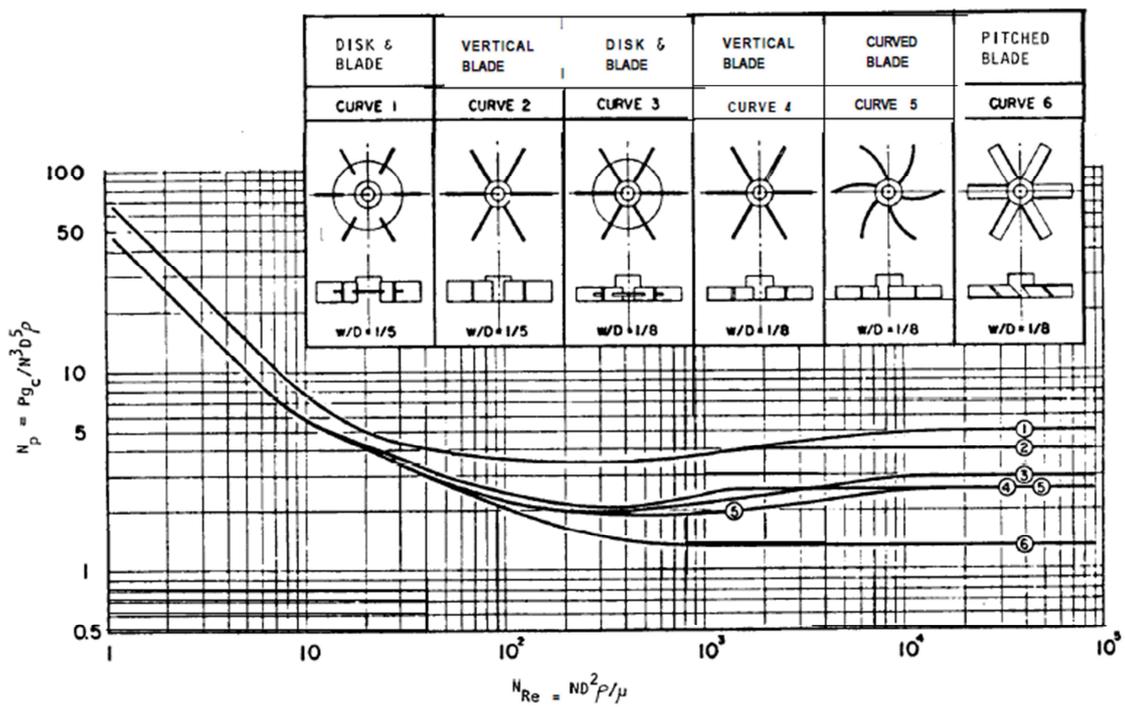
Teniendo en cuenta que el disolvente utilizado se encuentra dentro de la clase B y que los tanques tendrán un volumen inferior a  $50\text{m}^3$ , según la normativa vigente la distancia mínima de seguridad entre los recipientes será de un metro.

ANEXO I. TABLA PROPIEDADES FÍSICAS ACEROS AUSTENÍTICOS

AISI type	UNS	Composition, %†							Mechanical properties‡			
		Cr	Ni	Mo	C	Si	Mn	Other	Yield strength, kip/in <sup>2</sup> (MPa)	Tensile strength <sup>1</sup> , kip/in <sup>2</sup> (MPa)	Elongation, %	Hardness, HB
201	S20100	16-18	3.5-5.5		0.15	1.0	5.5-7.5	0.25 N	55 (379)	115 (793)	55	185
202	S20200	17-19	4-6		0.15	1.0	7.5-10.	0.25 N	55 (379)	105 (724)	55	185
301	S30100	16-18	6-8		0.15	1.0	2.0		40 (276)	105 (724)	55	165
302	S30200	17-19	8-10		0.15	1.0	2.0		35 (241)	90 (621)	60	150
302B	S30215	17-19	8-10		0.15	2.0-3.0	2.0		40 (276)	90 (621)	50	165
303	S30300	17-19	8-10	0.6	0.15	1.0	2.0	0.15 S, § 0.2 P	35 (241)	90 (621)	50	160
303Se	S30323	17-19	8-10		0.15	1.0	2.0	0.15 Se, § 0.2 P	35 (241)	90 (621)	50	160
304	S30400	18-20	8-10.5		0.08	1.0	2.0		35 (241)	82 (565)	60	149
304L	S30403	18-20	8-12		0.03	1.0	2.0		33 (228)	79 (545)	60	143
304N	S30451	18-20	8-10.5		0.08	1.0	2.0	0.10-0.16 N	48 (331)	90 (621)	50	180
308	S30800	19-21	10-12		0.08	1.0	2.0		30 (207)	85 (586)	55	150
309	S30900	22-24	12-15		0.20	1.0	2.0		40 (276)	95 (655)	45	170
309S	S30908	22-24	12-15		0.08	1.0	2.0		40 (276)	95 (655)	45	170
310	S31000	24-26	19-22		0.25	1.5	2.0		45 (310)	95 (655)	50	170
310S	S31008	24-26	19-22		0.08	1.5	2.0		45 (310)	95 (655)	50	170
314	S31400	23-26	19-22		0.25	1.5-3.0	2.0		50 (345)	100 (609)	45	180
316	S31600	16-18	10-14	2.0-3.0	0.08	1.0	2.0		36 (248)	82 (565)	55	149
316L	S31603	16-18	10-14	2.0-3.0	0.03	1.0	2.0		34 (234)	81 (558)	55	146
316N	S31651	16-18	10-14	2.0-3.0	0.08	1.0	2.0	0.10-0.16 N	42 (290)	90 (621)	55	180
317	S31700	18-20	11-15	3.0-4.0	0.08	1.0	2.0		40 (276)	85 (586)	50	160
317L	S31703	18-20	11-15	3.0-4.0	0.03	1.0	2.0		35 (241)	85 (586)	55	150
321	S32100	17-19	9-12		0.08	1.0	2.0	(5 × C) Ti §	30 (207)	85 (586)	55	160
329	S32900	25-30	3-6	1.0-2.0	0.10	1.0	2.0		80 (552)	105 (724)	25	230
347	S34700	17-19	9-13		0.08	1.0	2.0	(10 × C)(Cb + Ta) §	35 (241)	90 (621)	50	160
348	S34800	17-19	9-13		0.08	1.0	2.0	(10 × C)(Cb + Ta) ¶ 0.20 Co	35 (241)	90 (621)	50	160

\*Courtesy of National Association of Corrosion Engineers. To convert MPa to lb/in<sup>2</sup>, multiply by 145.04.  
 †Single values are maximum values unless otherwise noted.  
 ‡Typical room-temperature properties of solution-annealed plates.  
 §Minimum.  
 ¶Minimum except Ta = 0.1 maximum.

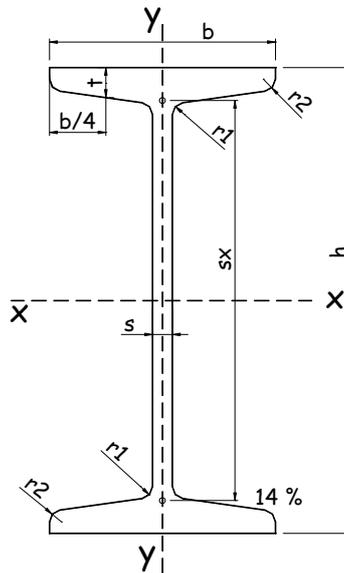
ANEXO II. GRÁFICA DEL NÚMERO DE POTENCIA



**ANEXO III. PERFIL IPN PARA LOS SOPORTES DEL TANQUE**

**Perfil Normal doble "T" - IPN**

- F= Sección
- G= Peso
- J= Momento de inercia
- Superficie
- U= exterior por metro de perfil
- W= Momento resistente
- i= Radio de giro
- Sx= Momento estático de media sección del perfil
- J<sub>y</sub>/S<sub>x</sub> - Separación entre los centros de tracción y compresión



Designación	Dimensiones [mm]					F	G	U	Eje flexión x-x			Eje flexión y-y			S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>
									J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub> =i <sub>1</sub> min		
	h	b	s=r <sub>1</sub>	t	r <sub>2</sub>	cm <sup>2</sup>	Kg/m	m <sup>2</sup> /m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm
80	80	42	3,9	5,9	2,3	7,6	5,94	0,3	77,8	19,5	3,2	6,29	3	0,91	11,4	6,8
100	100	50	4,5	6,8	2,7	10,6	8,34	0,37	171	34,2	4	12,2	4,9	1,07	19,9	8,6
120	120	58	5,1	7,7	3,1	14,2	11,1	0,44	328	54,7	4,8	22	7,4	1,23	31,8	10
140	140	66	5,7	8,6	3,4	18,2	14,3	0,5	573	81,9	5,6	35	11	1,4	47,4	12
160	160	74	6,3	9,5	3,8	22,8	17,9	0,58	935	117	6,4	55	15	1,55	68	14
180	180	82	6,9	10,4	4,1	27,9	21,9	0,64	1450	161	7,2	81	20	1,71	93,4	16
200	200	90	7,5	11,3	4,5	33,4	26,2	0,71	2140	214	8	117	26	1,87	125	17
220	220	98	8,1	12,2	4,9	39,5	31,1	0,78	3060	278	8,8	162	33	2,02	162	19
240	240	106	8,7	13,1	5,2	46,1	36,2	0,84	4250	354	9,6	221	42	2,2	206	21
260	260	113	9,4	14,1	5,6	53,3	41,9	0,91	5740	442	10	288	51	2,32	257	22
300	300	125	10,8	16,2	6,5	69,0	54,2	1,03	9800	653	12	451	72	2,56	381	26
320	320	131	11,5	17,3	6,9	77,7	61	1,09	12510	782	13	555	85	2,67	457	27
340	340	137	12,2	18,3	7,3	86,7	68	1,15	15700	923	14	674	98	2,8	540	29
360	360	143	13,0	19,5	7,8	97,0	76,1	1,21	19610	1090	14	818	114	2,9	638	31
380	380	149	13,7	20,5	8,2	107,0	84	1,27	24010	1260	15	975	131	3,02	741	32
400	400	155	14,4	21,6	8,6	118,0	92,4	1,33	29210	1460	16	1160	149	3,13	857	34
425	425	163	15,3	23,0	9,2	132,0	104	1,41	36970	1740	17	1440	176	3,3	1020	36
450	450	170	16,2	24,3	9,7	147,0	115	1,48	45850	2040	18	1730	203	3,43	1200	38
500	500	185	18,0	27,0	11	179,0	141	1,63	68740	2750	20	2480	268	3,72	1620	42
550	550	200	19,0	30,0	12	212,0	166	1,8	99180	3610	22	3490	349	4,02	2120	47
600	600	215	21,6	32,4	13	254,0	199	1,92	139000	4630	23	4670	434	4,3	2730	51

ANEXO IV. COEFICIENTE DE PANDEO

COEFICIENTE $\phi$ DE PANDEO PARA EL ACERO A 42										
$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04
30	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
40	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12
50	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21
60	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,33
70	1,34	1,36	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44	1,46	1,47	1,49
80	1,51	1,53	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,66	1,69	1,71
90	1,74	1,76	1,79	1,81	1,84	1,86	1,89	1,92	1,95	1,98
100	2,01	2,03	2,06	2,09	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	2,29
110	2,32	2,35	2,39	2,42	2,46	2,49	2,53	2,56	2,60	2,64
120	2,67	2,71	2,75	2,79	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02
130	3,06	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,32	3,36	3,40	3,45
140	3,49	3,54	3,58	3,63	3,67	3,72	3,77	3,81	3,86	3,91
150	3,96	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,30	4,35	4,40
160	4,45	4,51	4,56	4,61	4,66	4,72	4,77	4,82	4,88	4,93
170	4,99	5,04	5,10	5,15	5,21	5,26	5,32	5,38	5,44	5,49
180	5,55	5,61	5,67	5,73	5,79	5,85	5,91	5,97	6,03	6,09
190	6,15	6,21	6,27	6,34	6,40	6,46	6,53	6,59	6,65	6,72
200	6,78	6,85	6,91	6,98	7,05	7,11	7,18	7,25	7,31	7,38
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,72	7,79	7,86	7,93	8,01	8,08
220	8,15	8,22	8,29	8,36	8,44	8,51	8,58	8,66	8,73	8,80
230	8,88	8,95	9,03	9,11	9,18	9,26	9,33	9,41	9,49	9,57
240	9,64	9,72	9,80	9,88	9,96	10,04	10,12	10,20	10,28	10,36
250	10,44									

ANEXO V. TIPO DE JUNTAS

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12	EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:	a. b. c.		
		Radiografiada totalmente	Examinada por zonas	No Examinada
<p>1</p> 	<p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
<p>2</p>  <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	<p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p>	0.90	0.80	0.65
<p>3</p> 	<p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
<p>4</p> 	<p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
<p>5</p> 	<p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
<p>6</p> 	<p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

ANEXO VI. TABLA PROPIEDADES FÍSICAS ACEROS AL CARBONO

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES: ACERO AL CARBONO Y DE BAJO CONTENIDO DE ELEMENTOS DE ALEACIÓN Valores máximos de esfuerzo permitido a tensión 1000 lb/pulg <sup>2</sup> *												
Especificación		Para temperatura del metal no mayor de, grados F										
Número	Grado	-20 a 650	700	750	800	850	900	950	1050	1100	1150	1200
SA-283	C	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-285	C	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	-	-	-	-	-
SA-515	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-515	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-515	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-515	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-105		17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-181	I	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-350	LF1	15.0	14.4	13.0	10.8	7.8	5.0	3.0	1.5	-	-	-
	LF2	17.5	16.6	14.8	12.0	7.8	5.0	3.0	1.5	-	-	-
SA-53	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	-	-	-	-	-
SA-106	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	-	-	-	-	-
SA-193	B7 $\leq 2\frac{1}{2}$ "	25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5	-	-	-
SA-194	2H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-307	B		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Los valores de esfuerzo de esta tabla pueden interpolarse para determinar los valores para temperaturas intermedias

# V. ANEJO III. DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS

## V. ANEJO III: DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS

### INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. TUBERÍAS .....	1
2.1. DIÁMETRO .....	2
2.2. JUNTAS Y ACCESORIOS .....	3
3. BOMBAS .....	4
3.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS .....	4
3.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LAS BOMBAS .....	5

### ANEXO I. DIÁMETROS DE TUBERÍAS Y SUS CORRESPONDIENTES ESPESORES

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de este apartado, es el cálculo de la longitud y el diseño de las tuberías de la instalación, así como también, las bombas necesarias en la instalación. Los sistemas de tuberías se componen de varios elementos como tubos, válvulas, bridas, accesorios, purgadores de condensado, etc.

A través de los sistemas anteriores, el fluido solo fluye cuando su energía total va disminuyendo en la dirección del flujo. Si no es así, como en la mayoría de los casos, se le ha de comunicar la energía necesaria para ello, mediante dispositivos exteriores, tales como: bombas, soplantes, compresores o ventiladores. Estos dispositivos externos le pueden suministrar energía de distintas formas: aumentando tanto la velocidad del fluido como su altura o presión.

Por lo tanto, para que tenga lugar el desplazamiento de un fluido, se le ha de suministrar energía. Esta energía depende del caudal, de la presión con la que se necesita llegar a su destino, de la altura a la que debe elevarse, de las longitudes y de diámetros de los tramos, de los accidentes tales como estrechamientos, ensanchamientos, de las propiedades físicas del fluido, etc.

### 2. TUBERÍAS

Las tuberías son conductos cilíndricos de material, diámetro y longitud variable. Se dividen en tuberías, que tienen dimensiones normalizadas y tubos los cuales no son fabricados en tamaños estándares.

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsado a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no solo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma. A menos que se indique específicamente, la palabra “tubería” en este apartado hace referencia siempre a un conducto cerrado de sección circular y diámetro interior constante.

Al instalar un sistema de tuberías, se debe intentar disponer las conducciones de forma paralela y han de evitarse, siempre que sea posible, los codos en ángulo recto. Deben tomarse precauciones para que las conducciones se puedan recambiar o limpiar con facilidad, esto lleva consigo la necesidad de instalar gran número de uniones o bridas. Para facilitar la limpieza, se sitúan en lugares claves, cruces y tés, para que de esa manera resulte fácil desmontar y limpiar la conducción con una varilla o un cepillo limpia tubos.

El material elegido para las tuberías es el Acero Inoxidable 316-L con una rugosidad de  $4,5e-5$  m.

## 2.1. DIÁMETRO

Es necesario el conocimiento de la velocidad del fluido que circula por cada tramo de tubería. Inicialmente usamos un valor para cada tipo de fluido que está basado en la experiencia. Estos valores no pueden sobrepasarse, ya que pueden generar problemas mecánicos tales como golpes de ariete, cavitación, etc.

El diámetro mínimo (D) se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (5.1)$$

Donde,

Q, caudal volumétrico de fluido que circula por el interior de la tubería,

$$\left(\frac{m^3}{s}\right)$$

v, velocidad de diseño,  $\left(\frac{m}{s}\right)$

Esta velocidad depende del fluido que se bombee, su cantidad y del material de la tubería. Existen datos tabulados sobre velocidades máximas de operación dependiendo de esos factores, siendo lo recomendable escoger los valores más bajos posibles. Para los

siguientes cálculos y dependiendo del material que se bombee, se eligen velocidades óptimas que se encuentran tabuladas en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1.** Velocidades de diseño óptimas para distintos tipos de material a bombear.

Fuente: [45]

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Una vez calculado el diámetro, se ha de elegir el que más se acerque a las tuberías comerciales, para ello se escogen los diámetros proporcionados por la empresa “Thyssen Krupp Fortinox S.A”. Como se aprecia en el Anexo I, la misma casa dispone de una tabla con los espesores disponibles para cada diámetro de tubería.

Por último se ha de calcular la velocidad real de paso, usando la anterior ecuación, pero esta vez usando el diámetro comercial. Además la velocidad no puede superar el límite antes establecido.

## 2.2. JUNTAS Y ACCESORIOS

Los métodos que se utilizan para unir tubos y tuberías, dependen en parte de las propiedades del material de construcción, pero sobre todo del espesor de la pared. Los productos tubulares de pared gruesa, se conectan entre sí por medio de accesorios roscados, bridas o soldaduras. Las piezas de pared delgada se unen por soldadura, compresión o accesorios cónicos, las tuberías fabricadas con materiales frágiles como vidrio, carbón o fundición, se unen mediante bridas o juntas de enchufe y cordón.

### 3. BOMBAS

La elección de las bombas se basa en las características reológicas del material a bombear, siendo la viscosidad el parámetro más importante a partir del cual se elegirá el tipo de bomba. El “Hydraulic Institute”, establece una regla mediante la cual se puede elegir el tipo de bomba más adecuado para una viscosidad determinada. Para viscosidades cinemáticas elevadas (valores por encima de 18 cst) se va a utilizar bombas rotatorias tipo tornillo y para fluidos menos viscosos se utilizarán bombas centrífugas capaces también de bombear gases. La ficha técnica de cada una se detalla en la memoria descriptiva (Apartado 5, pág. 81).

#### 3.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA

La pérdida de carga es un fenómeno que se produce como consecuencia de la fricción existente entre la tubería y el fluido que pasa a su través.

El cálculo de la pérdida de carga que se produce en una conducción es necesario para poder realizar el diseño de las bombas, pero también para comprobar que el diámetro que se ha elegido es el correcto ya que si dicha pérdida de carga es muy elevada hay que aumentar el diámetro de la conducción.

Dicha pérdida de carga puede calcularse analíticamente en el caso del flujo interno laminar, mediante la ecuación de Poiseuille. En el caso de flujo interno turbulento, mediante un balance de fuerzas en una conducción de longitud infinita se puede deducir la ecuación de Fanning, que expresa la pérdida de presión del fluido debida al rozamiento:

$$\Sigma F = \frac{2f_F(L+L_e)v^2}{D} \left( \frac{J}{kg} \right) \quad (5.2)$$

Donde,

f, coeficiente de fricción adimensional

L, longitud de la tubería, (m)

$L_e$ , longitud equivalente de los accesorios, (m)

v, velocidad del fluido,  $\left(\frac{m}{s}\right)$

D, diámetro de la tubería, (m)

En la ecuación de Fanning hay que tener en cuenta que la longitud que se utiliza no es simplemente la del tramo de la tubería. Esto se debe a que cada conducción lleva una serie de accesorios (válvulas, codos, T, ensanchamientos, etc.) que también producen pérdida de carga al igual que los desniveles. Todos ellos suponen aproximadamente un 20% de pérdida de carga del total.

El coeficiente de fricción (f) es un parámetro que depende de las propiedades físicas del fluido (reflejadas a través del N° de Reynolds) y su valor es:

- Si el régimen de circulación es laminar,  $Re < 2000$ :

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5.3)$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (5.4)$$

- Si el régimen de circulación es turbulento,  $Re > 10.000$ , se ha usado la ecuación propuesta por Chen (1979):

$$\frac{1}{\sqrt{f_F}} = -4 \log \left[ \frac{1}{3,7065} \left( \frac{\epsilon}{D} \right) - \frac{5,0452}{Re} \log \left[ \frac{1}{2,8257} \left( \frac{\epsilon}{D} \right) + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right] \right] \quad (5.5)$$

Donde,

$\epsilon$ , rugosidad del material

### 3.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LA BOMBA

Se usa la ecuación de Bernouilli para calcular el trabajo que realiza la bomba:

$$g(z_2 - z_1) + \frac{v_2^2}{2\alpha_2} + \frac{v_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F = W \quad (5.6)$$

Donde,

$(z_2 - z_1)$ , carga estática o potencial

$\frac{P_2 - P_1}{\rho g}$ , carga de presión

$\frac{v_2^2}{2g\alpha_2} + \frac{v_1^2}{2g\alpha_1}$ , carga cinética o de velocidad

$\frac{\Sigma F}{g}$ , pérdida de carga por rozamiento

$\frac{W}{g}$ , trabajo realizado por la bomba (energía suministrada)

$z$ , altura, (m)

$g$ , aceleración de la gravedad,  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$v$ , velocidad del fluido,  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$P$ , presión,  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$\rho$ , densidad dl fluido,  $\frac{kg}{m^3}$

$\alpha$ , coeficiente que tiene que en cuenta la distribución uniforme de la velocidad en la sección transversal (flujo turbulento=1, flujo laminar= 0,5)

Se considera que la velocidad del fluido antes y después de la bomba es idéntica, ya que las secciones de paso son las mismas. Así, los términos de velocidad se anulan, y se obtiene la Ecuación de Bernouilli simplificada:

$$gh + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F = W \quad (5.7)$$

Donde,

$h$ , altura a la que hay que elevar el fluido, (m)

Luego la potencia de una bomba viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{mW}{\eta} \quad (5.8)$$

Donde,

P, potencia de la bomba, (kW) o también denominada por N y expresada en HP.

m, caudal másico,  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$\eta$ , eficiencia real de la bomba= 0,7

W, trabajo realizado por la bomba,  $\left(\frac{J}{kg}\right)$

Ya definido el procedimiento matemático para el diseño de las tuberías y las bombas, se procede a continuación a la caracterización de las necesidades de bombeo y los tramos de tuberías que se necesitan, tal y como se muestra en las Tablas 5.2, 5.3 y 5.4.

Tabla 5.2. Datos correspondientes al cálculo de la potencia necesaria para las bombas.

TRAMO				CAUDAL	VMÁX	D <sub>MIN</sub>	DN	VREAL	Densidad	visc. Cinem	Viscosidad
DESDE	HASTA	Nº LÍNEA	Denominación	m <sup>3</sup> /h	m/h	m	m	m/h	kg/m <sup>3</sup>	cst	Pa·s
A301/T1	A303/IC1	C301	MTC301	5,19	1.200,00	0,07	0,076	1.138,36	1.033,00	114,39	0,1182
A302/T2	A303/IC1	C302	MT302	5,19	1.200,00	0,07	0,076	1.138,36	1.033,00	114,39	0,1182
A303/IC1	A304/C1	C303	MC303	10,38	2.000,00	0,08	0,083	1.942,28	1.033,00	14,13	0,0146
A304/C1	A305/C2	C304	MC304	9,94	3.400,00	0,06	0,064	3.138,79	976,47	0,38	0,0004
A304/C1	A306/S5	C305	MC305	0,94	2.000,00	0,02	0,025	1.861,09	1.080,46	15,73	0,0170
A305/C2	X	C306	MC306	9,75	4.000,00	0,06	0,057	3.809,12	980,45	0,44	0,0004
A305/C2	A504/D1	C307	MT307	0,13	800,00	0,01	0,016	675,05	1.080,46	20,08	0,0217
A306/S5	A401/E2	C308	MC308	0,47	1.800,00	0,02	0,019	1.657,60	1.080,46	15,73	0,0170
A306/S5	A402/E1	C309	MC309	0,47	1.800,00	0,02	0,019	1.657,60	1.080,46	15,73	0,0170
A801/S7	A401/E1	C401	MC401	2,38	3.800,00	0,03	0,029	3.710,41	642,46	0,39	0,0003
A801/S7	A402/E2	C402	MC402	2,38	3.800,00	0,03	0,029	3.710,41	642,46	0,39	0,0003
A801/S7	A403/E3	C403	MC403	2,38	3.800,00	0,03	0,029	3.710,41	642,46	0,39	0,0003
A801/S7	A404/E4	C404	MC404	2,38	3.800,00	0,03	0,029	3.710,41	642,46	0,39	0,0003
A1501/S8	A401/E1	C405	MC405	0,47	1.300,00	0,02	0,022	1.226,60	1,185	15,07	0,000018
A1501/S8	A402/E2	C406	MC406	0,47	1.300,00	0,02	0,022	1.226,60	1,185	15,07	0,000018

ANEIO III. DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS

(continuación)

TRAMO		Nº LÍNEA	Denominación	Re	f	Longitud m	$\Sigma F$ J/kg	$\Delta P$ bar	$\Delta P/\rho$ m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	W J/kg	P W	N HP
DESDE	HASTA											
A301/T1	A303/IC1	C301	MTC301	210,64	0,30	3,16	2,52	0,022	2,56	2,54	19.472,21	26,11
A302/T2	A303/IC1	C302	MT302	210,64	0,30	3,16	2,52	0,022	2,56	2,54	19.472,21	26,11
A303/IC1	A304/C1	C303	MC303	3.150,22	0,02	1,58	0,23	0,013	1,51	0,24	3.669,76	4,92
A304/C1	A305/C2	C304	MC304	146.509,53	0,01	5,00	0,61	0,006	0,74	0,61	8.502,65	11,40
A304/C1	A306/S5	C305	MC305	834,56	0,08	1,58	2,55	0,023	2,55	2,57	3.744,90	5,02
A305/C2	X	C306	MC306	136.487,88	0,01	17,80	3,62	0,036	4,41	3,66	49.936,58	66,97
A305/C2	A504/D1	C307	MT307	147,52	0,43	1,56	3,01	0,008	0,89	3,02	617,03	0,83
A306/S5	A401/E2	C308	MC308	557,48	0,11	10,00	25,55	0,019	2,11	25,57	18.647,95	25,01
A306/S5	A402/E1	C309	MC309	557,48	0,11	10,00	25,55	0,019	2,11	25,57	18.647,95	25,01
A801/S7	A401/E1	C401	MC401	75.751,52	0,01	4,20	1,90	0,007	1,31	1,91	4.181,04	5,61
A801/S7	A402/E2	C402	MC402	75.751,52	0,01	7,20	3,26	0,012	2,24	3,28	7.167,50	9,61
A801/S7	A403/E3	C403	MC403	75.751,52	0,01	4,20	1,90	0,007	1,31	1,91	4.181,04	5,61
A801/S7	A404/E4	C404	MC404	75.751,52	0,01	7,20	3,26	0,012	2,24	3,28	7.167,50	9,61
A1501/S8	A401/E1	C405	MC405	501,87	0,13	4,20	5,60	0,000	0,00	5,60	4,50	0,0060
A1501/S8	A402/E2	C406	MC406	501,87	0,13	7,20	9,60	0,000	0,00	9,60	7,72	0,0104

Tabla 5.3. Datos correspondientes al cálculo de la potencia necesaria para las bombas.

TRAMO				CAUDAL m3/h	VMÁX m/h	DMIN m	DN m	VREAL m/h	Densidad kg/m3	visc. Cinem cst	Viscosidad Pa·s
DESDE	HASTA	Nº LÍNEA	Denominación								
A1501/S8	A403/E3	C407	MC407	0,70	2.000,00	0,02	0,022	1.821,21	1,185	15,07	0,000018
A1501/S8	A404/E4	C408	MC408	0,70	2.000,00	0,02	0,022	1.821,21	1,185	15,07	0,000018
A401/E1	A403/E3	C409	MT409	0,67	1.400,00	0,02	0,025	1.326,61	969,07	90,63	0,0878
A402/E2	A404/E4	C410	MT410	0,67	1.400,00	0,02	0,025	1.326,61	969,07	90,63	0,0878
A403/E3	A406/Z1	C411	MT411	0,68	1.400,00	0,02	0,025	1.332,14	969,07	90,63	0,0878
A404/E4	A406/Z1	C412	MT412	0,68	1.400,00	0,02	0,025	1.332,14	969,07	90,63	0,0878
A401/E1	A407/S6	C413	MC413	2,22	3.600,00	0,03	0,029	3.461,62	623,43	0,35	0,0002
A402/E2	A407/S6	C414	MC414	2,22	3.600,00	0,03	0,029	3.461,62	623,43	0,35	0,0002
A403/E3	A407/S6	C415	MC415	2,45	4.000,00	0,03	0,029	3.809,29	623,43	0,35	0,0002
A404/E4	A407/S6	C416	MC416	2,45	4.000,00	0,03	0,029	3.809,29	623,43	0,35	0,0002
A404/S6	A408/V1	C417	MC417	9,34	4.000,00	0,05	0,057	3.648,20	623,43	0,35	0,0002
A405/V1	A411/I1	C418	MT418	0,01	200,00	0,0089	0,0095	174,99	901,10	18,87	0,0170
A405/V1	A801/S7	C419	MC419	3,65	4.000,00	0,03	0,035	3.792,07	623,30	0,35	0,0002
A405/V1	A801/S7	C420	MC420	3,66	4.000,00	0,03	0,035	3.801,84	628,80	0,36	0,0002
A405/V1	A409/IC2	C421	MC421	459,65	60.000,00	0,10	0,102	56.695,87	2,70	2,47	0,000007
A406/Z1	A409/IC2	C422	MC422	1.006,22	60.000,00	0,15	0,152	55.160,92	1,14	8,81	0,000010
A409/IC2	A410/R1	C423	MC423	3,49	6.000,00	0,03	0,029	5.429,01	684,40	0,58	0,0004

ANEIO III. DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS

(continuación)

TRAMO		Nº LÍNEA	Denominación	Re	f	Longitud m	$\Sigma F$ J/kg	$\Delta P$ bar	$\Delta P/\rho$ m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	W J/kg	P W	N HP
DESDE	HASTA											
A1501/S8	A403/E3	C407	MC407	745,16	0,09	4,20	8,32	0,000	0,00	8,32	9,93	0,0133
A1501/S8	A404/E4	C408	MC408	745,16	0,09	7,20	14,26	0,000	0,00	14,26	17,02	0,0228
A401/E1	A403/E3	C409	MT409	103,27	0,62	1,58	10,47	0,025	3,10	10,49	9.766,11	13,10
A402/E2	A404/E4	C410	MT410	103,27	0,62	1,58	10,47	0,025	3,10	10,49	9.766,11	13,10
A403/E3	A406/Z1	C411	MT411	103,70	0,62	4,50	29,94	0,073	9,04	30,02	28.048,61	37,61
A404/E4	A406/Z1	C412	MT412	103,70	0,62	1,58	10,51	0,026	3,22	10,54	9.848,52	13,21
A401/E1	A407/S6	C413	MC413	78.900,05	0,01	4,80	1,89	0,012	2,31	1,90	3.762,36	5,05
A402/E2	A407/S6	C414	MC414	78.900,05	0,01	7,60	2,99	0,018	3,46	3,01	5.955,09	7,99
A403/E3	A407/S6	C415	MC415	86.824,28	0,01	1,58	0,75	0,005	0,96	0,75	1.638,22	2,20
A404/E4	A407/S6	C416	MC416	86.824,28	0,01	4,38	2,07	0,013	2,50	2,08	4.539,51	6,09
A404/S6	A408/V1	C417	MC417	166.014,57	0,01	1,58	0,29	0,002	0,38	0,29	2.428,62	3,26
A405/V1	A411/I1	C418	MT418	24,55	2,61	1,58	2,04	0,052	6,92	2,09	33,65	0,05
A405/V1	A801/S7	C419	MC419	105.265,31	0,01	15,50	5,64	0,034	6,55	5,67	18.422,91	24,71
A405/V1	A801/S7	C420	MC420	102.117,25	0,01	18,50	6,78	0,044	8,40	6,82	22.418,14	30,06
A405/V1	A409/IC2	C421	MC421	648.454,92	0,004	10,00	208,19	0,000	0,00	208,19	368.417,38	494,06
A406/Z1	A409/IC2	C422	MC422	265.114,55	0,004	1,58	20,83	0,000	0,00	20,83	34.167,62	45,82
A409/IC2	A410/R1	C423	MC423	74.654,73	0,01	1,58	1,54	0,315	55,23	1,85	6.310,18	8,46

Tabla 5.4. Datos correspondientes al cálculo de la potencia necesaria para las bombas.

TRAMO				CAUDAL	VMÁX	DMIN	DN	VREAL	Densidad	visc. Cinem	Viscosidad
DESDE	HASTA	Nº LÍNEA	Denominación	m3/h	m/h	m	m	m/h	kg/m3	cst	Pa·s
A410/R1	X	C424	MC424	0,84	3.000,00	0,02	0,019	2.951,99	1.010,00	1,29	0,0013
A410/R1	A801/S7	C425	MC425	2,33	3.000,00	0,031	0,032	2.951,57	659,80	0,47	0,0003
A411/I1	A601/P1, A603/Q2	C426	MT426	0,01	200,00	0,008	0,008	198,07	917,70	40,93	0,0376
A411/I1	A412/H1	C427	MC427	16,14	45.000,00	0,021	0,022	41.709,96	1,38	12,59	0,00002
A412/H1	ATMÓSFERA	C428	MC428	12,49	45.000,00	0,019	0,019	43.837,41	1,41	11,37	0,00002
A412/H1	A801/S7	C429	MC429	0,007	300,00	0,005	0,006	211,35	697,70	0,70	0,0005
A406/Z1	A505/L1	C430	MT430	0,10	300,00	0,02	0,022	264,03	1.567,11	34,46	0,0540

ANEIO III. DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS

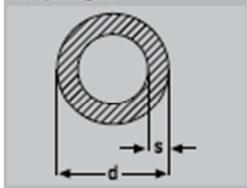
(continuación)

TRAMO				Viscosidad	Re	f	Longitud	$\Sigma F$	$\Delta P$	$\Delta P/\rho$	W	P	N
DESDE	HASTA	Nº LÍNEA	Denominación	Pa·s			m	J/kg	bar	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	J/kg	W	HP
A410/R1	X	C424	MC424	0,0013	12.145,63	0,01	16,80	9,75	0,070	8,32	9,82	11.924,49	15,99
A410/R1	A801/S7	C425	MC425	0,0003	55.876,00	0,01	12,50	3,28	0,018	3,27	3,30	7.236,40	9,70
A411/I1	A601/P1, A603/Q2	C426	MT426	0,0376	10,67	6,00	6,00	27,43	0,029	3,79	27,46	353,07	0,47
A411/I1	A412/H1	C427	MC427	0,00002	20.428,67	0,01	1,58	141,49	0,000	0,00	141,49	4.497,03	6,03
A412/H1	ATMÓSFERA	C428	MC428	0,00002	20.399,12	0,01	13,00	1.528,07	0,000	0,00	1.528,07	38.376,31	51,46
A412/H1	A801/S7	C429	MC429	0,0005	534,65	0,12	14,00	1,82	7,070	1.216,00	8,89	59,30	0,08
A406/Z1	A505/L1	C430	MT430	0,0540	47,25	1,35	15,00	9,85	0,040	3,06	9,89	2.261,78	3,03

ANEXO I. DIÁMETROS DE TUBERÍAS Y SUS CORRESPONDIENTES ESPESORES.

	Diámetro ext. (d)				Espesor de Pared (s)							
	Pulgadas	mm.	0.5	0.7	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4
<b>Terminación</b> 2B pulido exterior grtt: 180 pulido exterior grtt: 240 pulido exterior grtt: 400  <b>Aplicación</b> Muebles, carpintería metálica, ornamentación, estructura, autopartes y múltiples aplicaciones. Largo estándar: 6000 mm. Consultar por otros diámetros, espesores y largos especiales	1/4"	6.35	0.070	0.100	0.110							
		7.2	0.080	0.110	0.130							
	5.16"	7.94	0.090	0.130	0.140							
	3/8"	9.53	0.110	0.155	0.176	0.214	0.251	0.303				
	7/16"	11.1		0.183	0.207	0.231	0.297	0.360				
	1/2"	12.7		0.221	0.239	0.294	0.347	0.422				
	5/8"	15.8		0.266	0.302	0.372	0.477	0.539				
	11/16"	17.2			0.330	0.407	0.483	0.592				
	3/4"	19.05			0.367	0.454	0.538	0.662	0.857			
	7/8"	22.2				0.533	0.633	0.780	1.015			
	1"	25.4				0.693	0.730	0.901	1.196	1.439	1.689	
		28.6				0.694	0.826	1.022	1.337	1.640	1.930	
	1 1/4"	31.7				0.773	0.921	1.140	1.495	1.838	2.485	
	1 3/8"	35.0				0.849	1.019	1.256	1.649	2.030	2.398	
	1 1/2"	38.1				0.932	1.113	1.380	1.815	2.237	2.646	
	1 3/4"	44.4				1.092	1.304	1.619	2.133	2.635	3.904	
	1 7/8"	47.6					1.391	1.728	2.279	2.818	3.434	
	2"	50.8				1.252	1.496	1.859	2.453	3.018	3.604	4.705
	2 1/4"	57.1					1.672	2.084	2.754	3.411	4.055	5.307
	2 1/2"	63.5				1.570	1.679	2.337	3.091	3.811	4.562	5.947
3"	76.2				1.887	2.259	2.812	3.725	4.604	5.512	7.216	
3 1/4"	82.5						3.036	4.023	4.998	5.960	7.846	
3 1/2"	88.9						3.276	4.343	5.398	6.440	8.486	
4"	101.6						3.774	5.086	6.190	7.434	9.755	
5"	127							6.283	7.777	9.349	12.294	
6"	152.4							7.560	9.364	11.265	14.833	
8"	203.2							10.113	12.538	15.095	19.910	
10"	254							12.667	15.711	16.925	24.987	
12"	304.6							15.210	18.872	22.740	30.045	

Peso aprox. kg/m.



**VI. ANEJO IV.  
INSTRUMENTACIÓN Y  
CONTROL**

## VI. ANEJO IV. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

ÍNDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. NOMENCLATURA .....	2
3. LAZOS DE CONTROL .....	4
4. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CONTROL .....	13
4.1. SENSORES/TRANSMISORES .....	13
4.2. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL .....	16
4.3. CONTROLADORES .....	18
4.4. ALARMAS .....	19

### 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas automáticos de control son necesarios para conseguir un buen funcionamiento del proceso. Se utilizan para que las variables de estudio permanezcan en los valores fijados, llamados puntos de consigna, de manera automática ya sea para lograr la producción deseada o para mantener la seguridad en la planta. Un lazo de control estará formado normalmente por cuatro elementos, que son:

- Instrumento de medida o también llamado indicador: es un dispositivo utilizado para medir las variables a controlar u otras necesarias en el sistema de control, tales como medidores de temperatura, presión, nivel, caudal, concentración y pH.
- Controlador: es el instrumento encargado de interpretar la información recogida de los elementos de medida y enviar las órdenes de actuación necesarias al dispositivo de control.
- Elemento transmisor: se trata del elemento físico que transmite las señales de medida a los controladores y las señales de control a los actuadores. En este caso se utilizará cables eléctricos.
- Elemento final de control o actuador: es el dispositivo que ejerce la acción de control sobre la llamada variable manipulada. Normalmente el actuador es una válvula de control o de regulación automática y la variable manipulada, lógicamente el caudal.

Los lazos de control utilizados en este proceso son los siguientes:

#### 1. Lazo de control por realimentación (feedback)

Este tipo de lazo es uno de los más utilizados en la industria de procesos por su sencillez y su bajo coste. En este caso la variable que se pretende controlar es la que se

mide. Se caracteriza por su independencia del origen de las perturbaciones que puedan afectar al proceso y sólo puede actuar una vez ocurridas dichas perturbaciones. Un ejemplo es el lazo de control de sobrepresión de los extractores; cuando el sensor detecta que la presión interna sobrepasa un límite, acciona la válvula de seguridad liberando parte de los gases y vapores contenidos hasta recuperar la presión de trabajo.

### 2. Lazo de control en adelante (feedforward)

Este tipo de lazo se caracteriza porque actúa antes de que se perturbe el proceso, por lo que es necesario conocer cuáles son las perturbaciones que puedan afectar al proceso. A priori parece que este tipo de control pueda ser perfecto, ya que se anticipa al error que puedan causar las perturbaciones, pero en la realidad no es así, ya que no siempre es posible medir todas y cada una de esas perturbaciones. Un ejemplo es el control de la temperatura final de la mezcla que se introduce en el extractor; el lazo mide la temperatura de las dos corrientes anticipadamente para estimar la temperatura que tendrá la mezcla y poder actuar en consecuencia.

### 3. Lazo de control ratio

El “ratio control” es un tipo especial de control “feedforward” que mantiene constante la relación entre dos variables controlando una de ellas y actuando sobre la otra. Un ejemplo es el control de la proporción entre las corrientes de entrada al intercambiador de calor IC1, donde se controla el caudal de tomate triturado actuando sobre el caudal de agua caliente procedente de la caldera.

## 2. NOMENCLATURA

Para definir todos los elementos utilizados tanto en el control como en la instrumentación se utiliza un código como el siguiente:

TT-E1-07b

- La primera letra designa a la variable controlada en el lazo, utilizando los códigos que se muestran en la Tabla 6.1.
- La segunda letra indica el tipo de instrumento tal y como se aprecia en la Tabla 6.2.
- La letra seguida de un número hace referencia al equipo al cual va asociado el control o medición.
- La última pareja de números identifica el número de lazo del proceso.
- La letra minúscula diferencia los instrumentos del mismo tipo que se utilicen en un mismo lazo.

Así, el código antes citado corresponde a un sensor que mide y transmite la temperatura de la corriente de alimentación al extractor E1, y que pertenece al lazo número 07. Además la letra “b” indica que es el segundo instrumento del mismo tipo en el lazo de control.

**Tabla 6.1.** Códigos para la variable controlada.

<u>Código</u>	<u>Tipo</u>
P	Presión
F	Caudal másico o volumétrico
L	Nivel
H(segunda letra)	Alto
L (segunda letra)	Bajo
R	Ratio
T	Temperatura

**Tabla 6.2.** Códigos para el instrumento utilizado.

<u>Código</u>	<u>Tipo</u>
C	Controlador
T	Sensor/transmisor
V	Válvula
A	Alarma

### 3. LAZOS DE CONTROL

En la Tabla 6.3 se muestra un resumen de los lazos de control más importantes instalados en el proceso y los elementos que lo constituyen. En algunas unidades de proceso se ha obviado la instrumentación debido a distintos equipos se adquieren ya automatizados.

**Tabla 6.3.** Resumen de los lazos de control del proceso.

Lazo	Código	Instrumento	Función del lazo
1	FT-IC1-01	Sensor/transmisor de caudal tipo turbina	Controlar que se cumple la relación 3:1 entre el caudal de agua caliente y tomate triturado a la entrada del intercambiador de calor
	RC-IC1-01	Controlador de proporcionalidad	
	FV-IC1-01	Válvula de globo	
2	LT-S5-02	Sensor/transmisor de nivel	Controlar que el nivel del tanque de almacenamiento no supere el nivel crítico y además controlar el suministro de pulpa a los extractores
	LHC-S5-02	Controlador de nivel alto	
	FV-S5-02	Válvula de bola	
	LHA-S5-02	Alarma de nivel alto	
3 al 6	PT-E1-03, PT-E2-04, PT-E3-05, PT-E4-06	Sensor/transmisor de temperatura	Controlar la sobrepresión interna en los cuatro extractores
	PC-E1-03, PC-E2-04, PC-E3-05, PC-E4-06	Controlador de temperatura	
	PV-E1-03, PV-E2-04, PV-E3-05, PV-E4-06	Válvula de seguridad tipo disparo	
7 al 10	TT-E1-07a, TT-E2-08a, TT-E3-09a, TT-E4-10a	Sensor/transmisor de temperatura	Controlar que la temperatura final de la mezcla que se alimenta a cada extractor alcance los 60°C
	TT-E1-07b, TT-E2-08b, TT-E3-09b, TT-E4-10b	Sensor/transmisor de temperatura	
	TCE1-07, TC-E2-08, TC-E3-09, TC-E4-10	Controlador de temperatura	
	FV-E1-07, FV-E2-08, FV-E3-09, FV-E4-10	Válvula de bola	

(Continuación)

Lazo	Código	Instrumento	Función del lazo
11 al 14	TT-E1-11, TT-E2-12, TT-E3-13, TT-E4-14	Sensor/transmisor de temperatura	Controlar que la temperatura dentro de los extractores se mantiene en 60°C durante el proceso de extracción
	TC-E1-11, TC-E2-12, TC-E3-13, TC-E4-14	Controlador de temperatura	
	FV-E1-11, FV-E2-12, FV-E3-13, FV-E4-14	Válvula de globo	
15 al 18	FT-E1-15, FT-E2-16, FT-E3-17, FT-E4-18	Sensor/transmisor de temperatura	Controlar que se guarda una proporcionalidad entre las corrientes de hexano y pulpa
	RC-E1-15, RC-E2-16, RC-E3-17, RC-E4-18	Controlador de proporcionalidad	
	FV-E1-15, FV-E2-16, FV-E3-17, FV-E4-18	Válvula de bola	
19 al 22	LT-E1-19, LT-E2-20, LT-E3-21, LT-E4-22	Sensor/transmisor de nivel	Controlar que la atmósfera interna de los 4 extractores esté inertizada cada vez que comience un lote
	LC-E1-19, LC-E2-20, LC-E3-21, LC-E4-22	Controlador de nivel	
	FV-E1-19, FV-E2-20, FV-E3-21, FV-E4-22	Válvula de bola	
23	LT-S6-23	Sensor/transmisor de nivel	Controlar que la atmósfera interna del tanque de almacenamiento esté inertizada constantemente
	LC-S6-23	Controlador de nivel	
	FV-S6-23	Válvula de bola	
24	LT-S8-24	Sensor/transmisor de nivel	Controlar el nivel del tanque activando una alarma cuando se alcance el nivel mínimo
	LC-S8-24	Controlador de nivel	
	LLA-S8-24	Alarma de nivel bajo	
25	LT-S7-25	Sensor/transmisor de nivel	Controlar el nivel del tanque activando una alarma cuando se alcance el nivel mínimo
	LC-S7-25	Controlador de nivel	
	LLA-S7-25	Alarma de nivel bajo	

**LAZO 01. Control de proporción de corrientes de entrada al intercambiador de calor IC1.**

Este lazo de control está instalado en el intercambiador de calor A303/IC1 y su objetivo es controlar la proporción entre el caudal de tomate triturado (C301+C302) y el

agua caliente (C901) que entran al equipo, manipulando la corriente de agua procedente de la caldera.

Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Caudal de tomate triturado.
- Variable manipulada: Caudal de agua caliente.
- Setpoint: 3:1.
- Modo de control: Ratio control.

Instrumentación del lazo:

- FT-IC1-01: Sensor/transmisor de caudal de la corriente C301+C302.
- RC-IC1-01: Controlador de proporcionalidad entre C301+C302 y C901.
- FV-IC1-01: Válvula de globo.

**LAZO 02. Control de nivel del tanque de almacenamiento S5.**

Este lazo de control está instalado en el tanque de almacenamiento de la pulpa A306/S5 y su objetivo es controlar que no se sobrepase en nivel máximo de pulpa en el tanque. Para ello se dispondrá de una alarma de nivel que se dispare cuando el tanque esté al 95% y por otro lado, se dispondrá de una válvula que se accionará cuando el nivel sea del 80% y alimentarán a los dos extractores E1 y E2. Este porcentaje representa los kilogramos de pulpa que se han almacenado durante el tiempo de espera que dura cada lote de extracción.

Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Nivel del tanque.
- Variable manipulada: Caudal de salida de la pulpa.
- Variable automatizada: Alarma de nivel.
- Setpoint 1: 80%.

- Setpoint 2: 95%.
- Modo de control: Feedback control.

### Instrumentación del lazo:

- LT-S5-02: Sensor/transmisor de nivel del tanque A306/S5.
- LHC-S5-02: Controlador de nivel alto.
- FV-S5-02: Válvula de bola.
- LHA-S5-02: Alarma de nivel alto.

### **LAZO 03-06. Control de presión interna de los extractores.**

La extracción se lleva a cabo en tanques cerrados herméticamente, por lo que es posible que exista un aumento de la presión interna debida a la vaporización parcial del hexano. Es por ello que se hace necesaria la instalación de un lazo de control en cada uno de los extractores (E1-E4) para asegurar unas condiciones de seguridad. El objetivo de este lazo es controlar que no haya un exceso de presión dentro de los tanques manipulando una válvula de escape situada en el cabezal superior.

### Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Presión interna.
- Variable manipulada: Línea de venteo de gases y vapores.
- Setpoint 1:  $\geq 10\%$  de la presión de trabajo.
- Modo de control: Feedback control.

### Instrumentación del lazo:

- PT-E1-03, PT-E2-04, PT-E3-05, PT-E4-06: Transmisores de presión interna.
- PC-E1-03, PC-E2-04, PC-E3-05, PC-E4-06: Controladores de presión interna.
- PV-E1-03, PV-E2-04, PV-E3-05, PV-E4-06: Válvulas de seguridad tipo disparo.

**LAZO 07-10. Control de temperatura de la carga que se alimenta a cada extractor.**

Estos lazos de control están instalados en los cuatro extractores (E1-E4) para controlar que la temperatura de la mezcla que se alimenta a los extractores alcance los 60°C, manipulando para ello el caudal de calefacción procedente de la caldera. Este lazo actuará solamente durante el periodo de calentamiento de cada lote, ya que una vez alcanzado los 60°C, será el siguiente lazo (11-14) el encargado de mantener esa temperatura.

Especificaciones del lazo:

- Variable medida (perturbación): Temperaturas del par de corrientes de entrada a cada extractor.
  - Extractor 1: C309 y C401
  - Extractor 2: C308y C402
  - Extractor 3: C409 y C407
  - Extractor 4: C410 y C404
- Variable controlada: Temperatura final de la mezcla en el interior de los extractores.
- Variable manipulada: Caudal de calefacción procedente de la caldera.
- Setpoint: 60°C.
- Ganancia:  $\pm 2^\circ\text{C}$ .
- Modo de control: Feedforward control.

Instrumentación del lazo:

- TT-E1-07a, TT-E2-08a, TT-E3-09a, TT-E4-10a: Transmisores de temperatura para las corrientes (C309, C308, C409, C410).
- TT-E1-07b, TT-E2-08b, TT-E3-09b, TT-E4-10b: Transmisores de temperatura para las corrientes (C401, C402, C403, C404).
- TC-E1-07, TC-E2-08, TC-E3-09, TC-E4-10: Controladores de presión interna.
- FV-E1-07, FV-E2-08, FV-E3-09, FV-E4-10: Válvulas de bola.

### **LAZO 11-14. Control de la temperatura de la operación de extracción.**

Estos lazos de control están instalados en los cuatro extractores (E1-E4) para controlar la temperatura en el interior de dichos extractores manipulando el caudal de calefacción procedente de la caldera. Después del periodo de calentamiento, este lazo tendrá como objetivo mantener la temperatura en el interior de los extractores a 60°C.

#### Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Temperatura interior de los extractores.
- Variable manipulada: Caudal de calefacción procedente de la caldera.
- Setpoint 1: 60°C.
- Ganancia:  $\pm 2^\circ\text{C}$ .
- Modo de control: Feedback control.

#### Instrumentación del lazo:

- TT-E1-11, TT-E2-12, TT-E3-13, TT-E4-14: Transmisores de temperatura.
- TC-E1-11, TC-E2-12, TC-E3-13, TC-E4-14: Controladores de presión interna.
- FV-E1-11, FV-E2-12, FV-E3-13, FV-E4-14: Válvulas de globo.

### **LAZO 15-18. Control de la cantidad de hexano a alimentar en los extractores.**

Este lazo de control está instalado en los cuatro extractores (E1-E4) de cada línea de producción y su objetivo es controlar que exista una proporcionalidad entre la pulpa de tomate (C308 y C309) y el hexano, manipulando para ello el caudal de entrada de hexano (C401-C404).

#### Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Caudal de entrada de pulpa de tomate.
- Variable manipulada: Caudal de hexano.

- Setpoint: 3:1.
- Modo de control: Ratio control.

Instrumentación del lazo:

- FT-E1-15, FT-E2-16, FT-E3-17, FT-E4-18: Sensor/transmisor de caudal de las corrientes de pulpa de tomate.
- RC-E1-15, RC-E2-16, RC-E3-17, RC-E4-18: Controlador de proporcionalidad entre la pulpa de tomate y el hexano.
- FV-E1-15, FV-E2-16, FV-E3-17, FV-E4-18: Válvulas de bola.

**LAZO 19-22. Control de la atmósfera inerte en los extractores.**

Este lazo de control tipo todo/nada está instalado en los cuatro extractores (E1-E4) y su objetivo es controlar que se mantenga una atmósfera inerte durante el proceso de extracción, manipulando para ello las líneas de entrada de nitrógeno. Por lo tanto, cuando el nivel del tanque permanezca constante en su nivel máximo, se suministrará una cantidad de nitrógeno gaseoso igual al volumen vacío del extractor.

Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Nivel del extractor.
- Variable manipulada: Caudal de entrada de nitrógeno.
- Setpoint: Nivel máximo (corresponde a la carga de pulpa más hexano).
- Modo de control: Feedback control.

Instrumentación del lazo:

- LT-E1-19, LT-E2-20, LT-E3-21, LT-E4-22: Sensor/transmisor de nivel de los extractores.
- LC-E1-19, LC-E2-20, LC-E3-21, LC-E4-22: Controlador de nivel.
- FV-E1-19, FV-E2-20, FV-E3-217, FV-E4-22: Válvulas de bola.

### 3.1. LAZO 23. Control de la atmósfera inerte en el tanque de almacenamiento.

Este lazo de control está instalado en el tanque de almacenamiento (A407/S6) del extracto procedente de la extracción. Su objetivo es controlar que se mantenga una atmósfera para evitar degradación de la oleorresina, y para ello manipula la línea de entrada de nitrógeno. Por lo tanto, cuando el nivel del tanque fluctúe se suministrará una cantidad de nitrógeno gaseoso igual al volumen vacío del extractor.

#### Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Nivel del extractor.
- Variable manipulada: Caudal de entrada de nitrógeno.
- Setpoint: Nivel no constante.
- Modo de control: Feedback control.

#### Instrumentación del lazo:

- LT-S6-23: Sensor/transmisor de nivel del tanque.
- LC-S6-23: Controlador de nivel.
- FV-S6-23: Válvula de bola.

### 3.2. LAZO 24. Control de nivel del tanque de almacenamiento de nitrógeno.

Este lazo de control tipo está instalado en el tanque de almacenamiento de nitrógeno (A909/S8). Su objetivo es controlar el nivel del tanque activando una alarma cuando el nivel alcanza un valor mínimo establecido.

#### Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Nivel del tanque.
- Variable automatizada: Alarma de nivel bajo.

- Setpoint: 10% del volumen del tanque.
- Modo de control: Feedback control.

Instrumentación del lazo:

- LT-S8-24: Sensor/transmisor de nivel del tanque.
- LC-S8-24: Controlador de nivel.
- LLA-S8-24: Alarma de nivel bajo.

**3.3. LAZO 25. Control de nivel del tanque de almacenamiento de hexano.**

Este lazo de control tipo está instalado en el tanque de almacenamiento de hexano (A801/S7). Su objetivo es controlar el nivel del tanque activando una alarma cuando dicho nivel alcanza un valor mínimo establecido.

Especificaciones del lazo:

- Variable controlada: Nivel del tanque.
- Variable manipulada: Alarma de nivel bajo.
- Setpoint: 10% del volumen del tanque.
- Modo de control: Feedback control.

Instrumentación del lazo:

- LT-S7-25: Sensor/transmisor de nivel del tanque.
- LC-S7-25: Controlador de nivel.
- LLA-S7-25: Alarma de nivel bajo.

#### 4. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CONTROL

##### 4.1. SENSORES/TRANSMISORES

###### Sensores de presión

El sensor de presión más común es el tubo de Bourdon, el cual se ilustra en la Figura 6.1 y consiste básicamente en un tramo de tubo en forma de herradura, con un extremo sellado y el otro conectado a la fuente de presión. Debido a que la sección transversal del tubo es elíptica o plana, al aplicar una presión el tubo tiende a enderezarse, y al quitarla, el tubo retorna a su forma original, siempre y cuando no se rebase el límite de elasticidad del material del tubo. La cantidad de enderezamiento que sufre el tubo es proporcional a la presión que se aplica, y como el extremo abierto del tubo esta fijo, entonces el extremo cerrado se puede conectar a un indicador, para señalar la presión; o a un transmisor, para generar una señal neumática o eléctrica.

###### Sensores de flujo

La elección del tipo de sensor de flujo depende en gran medida del tipo de material que circule por las conducciones, es por ello que se eligen dos tipos de sensores, uno para el caso de los fluidos y otro para los gases o vapores.

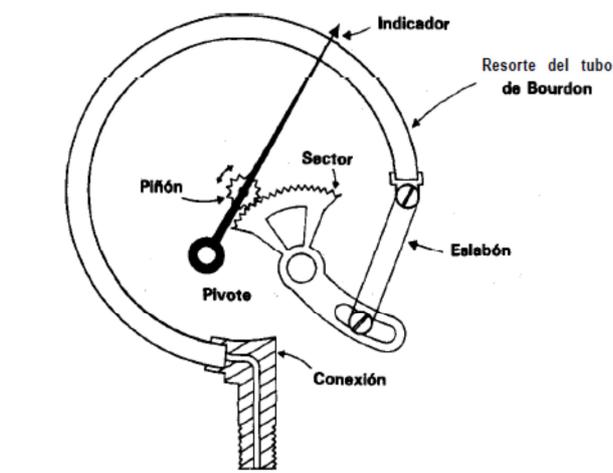


Figura 6.1. Sensor de presión.

Para la circulación de fluidos es necesario disponer de un sensor que sea capaz de medir y transmitir tanto en régimen laminar como turbulento, y para ello se ha elegido un sensor de turbina tal y como se muestra en la Figura 6.2. Es uno de los más precisos de que se dispone comercialmente. Su principio de funcionamiento se basa en un rotor que se hace girar con el flujo del líquido; la rotación de las aspjas se detecta mediante una bobina de colección magnética, la cual emite pulsos a una frecuencia que es proporcional a la razón de flujo volumétrico; este pulso se convierte en una señal equivalente de 4-20 mA, de manera que se pueda utilizar con instrumentación electrónica estándar, el convertidor o transductor es generalmente parte integral del medidor.

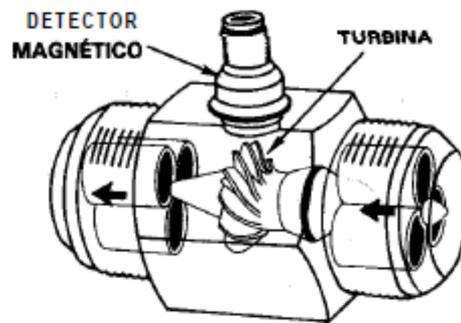


Figura 6.2. Sensor de flujo de turbina.

El sensor elegido para el caso de los gases es el medidor de orificio, que es un disco plano con un agujero, como se muestra en la Figura 6.3. El disco se inserta en la línea de proceso, perpendicular al movimiento del gas, con objeto de producir una caída de presión,  $\Delta P$ , la cual es proporcional a la razón de flujo volumétrico a través del orificio.

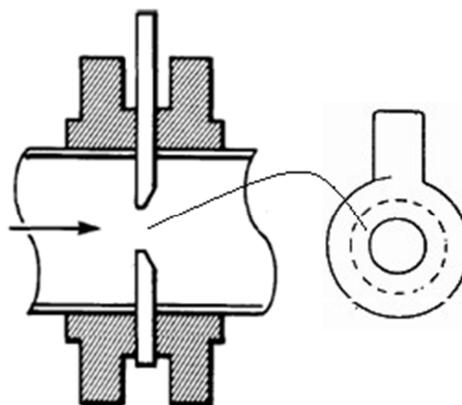
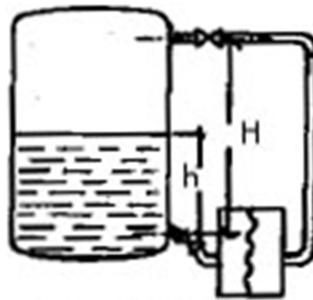


Figura 6.3. Sensor de orificio concéntrico.

### Sensores de nivel

Los tres medidores de nivel más importantes son el de diferencial de presión, el de flotador y el de burbujeo. El método elegido es el de diferencial de presión que consiste en detectar la diferencia de presión entre la presión en el fondo del líquido y en la parte superior del líquido, la cual es ocasionada por el peso que origina el nivel del líquido. Este sensor se ilustra en la Figura 6.4. El extremo con que se detecta la presión en el fondo del líquido se conoce como extremo de alta presión, y el que se utiliza para detectar la presión en la parte superior del líquido, como extremo de baja presión. Una vez que se conoce el diferencial de presión y la densidad del líquido, se puede obtener el nivel.



**Figura 6.4.** Sensor diferencia del nivel.

### Sensor de temperatura

Los termómetros de dispositivos resistivos (TDR) son elementos que se basan en el principio de que la resistencia eléctrica de los metales puros se incrementa con la temperatura y, ya que la resistencia eléctrica se puede medir con bastante precisión, esto proporciona un medio para medir la temperatura con mucha exactitud. Los metales que se utilizan más comúnmente son platino, níquel, tungsteno y cobre. En la Figura 6.5 se muestra el esquema de un TDR típico. Para la lectura de la resistencia y, en consecuencia, también para la de temperatura generalmente se utiliza un puente de Wheatstone. En la Figura 6.6 se ilustra el sistema de los puentes de dos hilos que se utilizan.

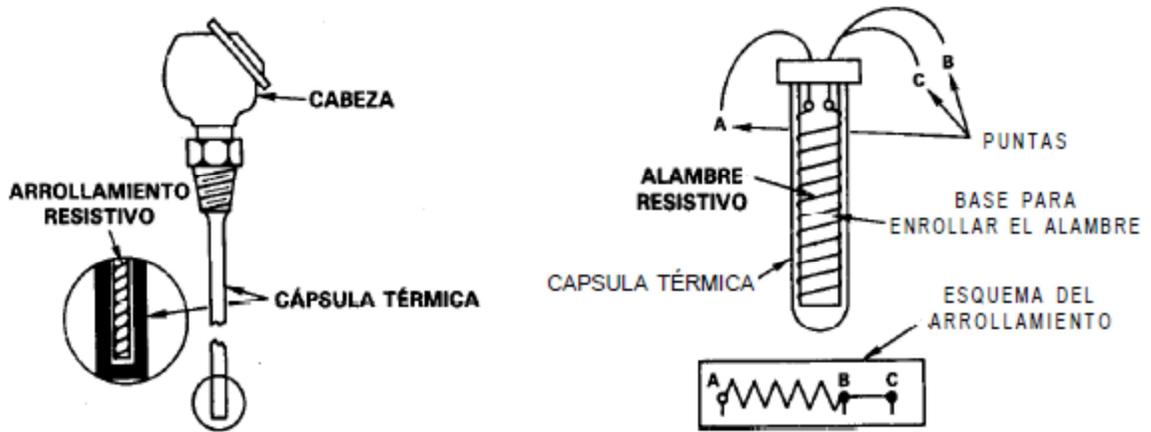


Figura 6.5. Termómetro de resistencia.

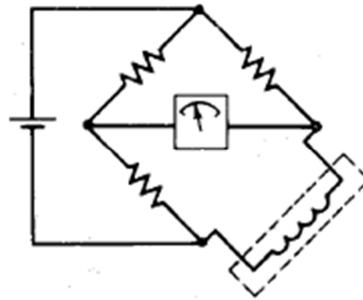


Figura 6.6. Esquema del circuito de corriente del TDR.

#### 4.2. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

En éste proceso se emplean un gran número de válvulas, de tamaños y formas diferentes, todas tienen una función que es el de disminuir o detener el flujo de un fluido. Algunas válvulas son del tipo “todo o nada” cuya función es cerrar o abrir totalmente el paso, existen otras que permiten el paso solamente en una dirección, u otras que permiten regular el caudal. En función de su propósito de aplicación se puede encontrar una primera clasificación de la siguiente forma:

- Aislamiento: Su misión es interrumpir el flujo de la línea en de forma total y cuando sea preciso (globo, compuerta, diafragma, mariposa, etc.).
- Retención: Su misión es impedir que el flujo no retroceda hacia la zona presurizada cuando esta decrece o desaparece (disco partido, disco con muelle, bola, “tilt chek”, etc.).

- Regulación: Su misión es modificar el flujo en cuanto a cantidad, desviarlo, mezclarlo o accionarlo de forma automática. Un ejemplo son las válvulas de asiento.
- Válvulas todo/nada que actúan abriendo o cerrando el paso a una corriente.
- Válvulas de alivio de presión: Utilizadas para proteger equipos y personal contra la sobrepresión (Válvulas de seguridad y válvulas de desahogo).

### Válvulas todo/nada

Las válvulas de este tipo que se van a usar en esta instalación es la válvula de bola neumática. El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de bola o esfera. La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 80% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Una válvula de bola típica es la válvula de macho, como se muestra en la Figura 6.7, que consiste en un macho de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90 grados.

### Válvulas de regulación

El tipo de válvulas de regulación que se utilizará serán las de vástago recíproco, que en particular se conoce como válvulas de globo con asiento sencillo y vástago deslizable. Las válvulas de globo son una familia de válvulas que se caracteriza por una parte de cierre que viaja en línea perpendicular al asiento de la válvula, y se utilizan principalmente para propósitos de estrangulamiento y control de flujo en general. En la Figura 6.8 se muestran en detalle los diferentes componentes de la válvula; se observa que la válvula se

divide en dos áreas generales: el actuador y el accionador. El actuador es la parte de la válvula con que se convierte en movimiento mecánico la energía que entra a la válvula para aumentar o disminuir la restricción de flujo.

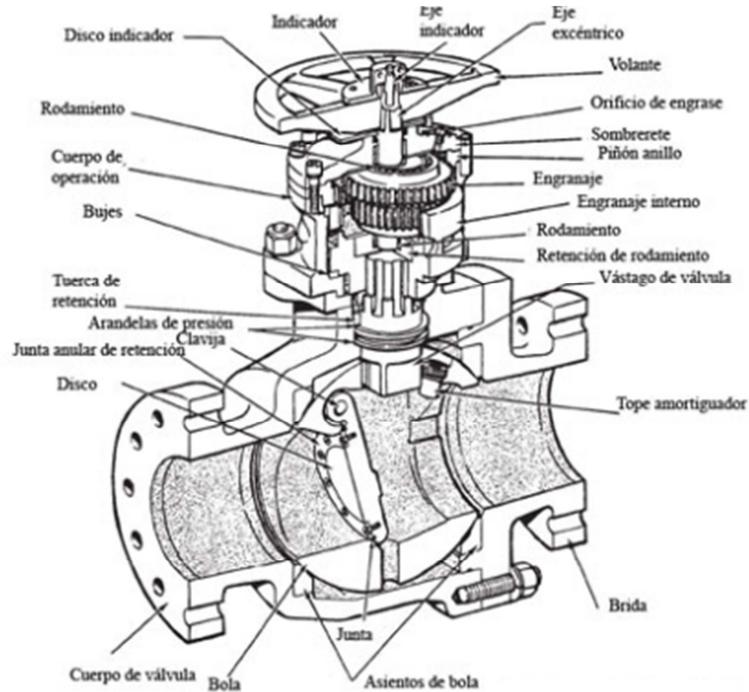


Figura 6.7. Esquema de una válvula de bola.

### Válvulas de alivio de presión

Se distinguen principalmente dos tipos de válvulas utilizadas para el alivio de presión; uno es las de seguridad y otro las de desahogo. El objetivo de las válvulas es aliviar la posible sobrepresión de los extractores debida a la vaporización del hexano, por ello se utilizarán las válvulas de seguridad ya que el otro tipo de válvulas se usan principalmente para líquidos. Estos dispositivos automáticos para desahogo de presión se accionan por la presión estática corriente arriba de la válvula y se caracteriza por su acción de disparo (ver Figura 6.9) para plena apertura.

### 4.3. CONTROLADORES

Los controladores que se utilizan industrialmente son los proporcionales (P), los de acción integral (PI), los de acción derivativa (PD) y los de acción combinada integral y

derivativa (PID). Un criterio a priori y a grosso modo, para la elección del tipo de control que se debe instalar en un lazo, sería la velocidad de cambio de la variable controlada.

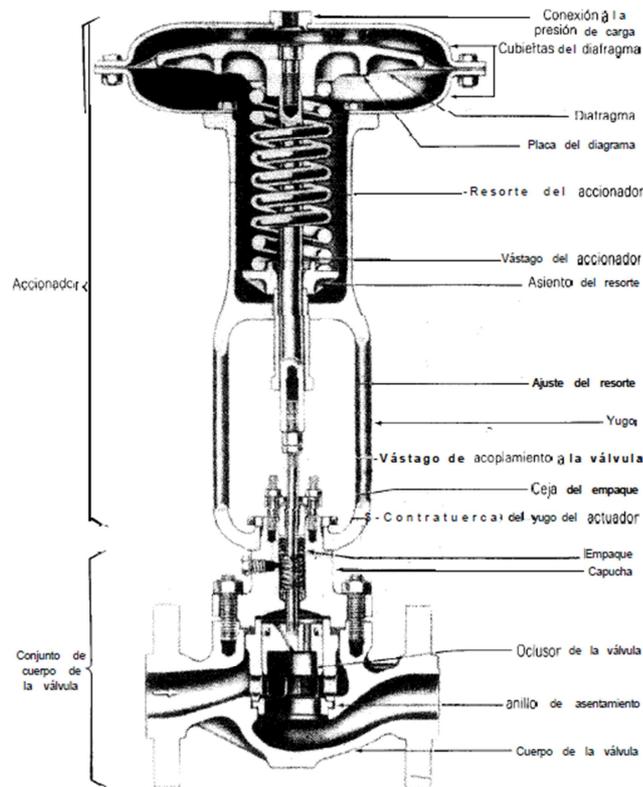


Figura 6.8. Esquema de una válvula de globo de asiento sencillo.

Atendiendo a este criterio, para los lazos que controlen caudal, presión y/o nivel se utilizará un PI que aportará dinámicas rápidas, sin retardos pero con perturbaciones de alta frecuencia. Para el caso de los lazos de temperatura se utilizará un PID que se define por tener dinámicas lentas, perturbaciones de baja frecuencia y la ausencia de retardo.

#### 4.4. ALARMAS

Las alarmas son un tipo de automatismo cuyo modo de funcionamiento es todo/nada (on/off) y son activadas o desactivadas por el controlador del lazo en cada caso. En este proceso se utilizan dos alarmas de nivel, una de nivel alto y otra de nivel bajo.

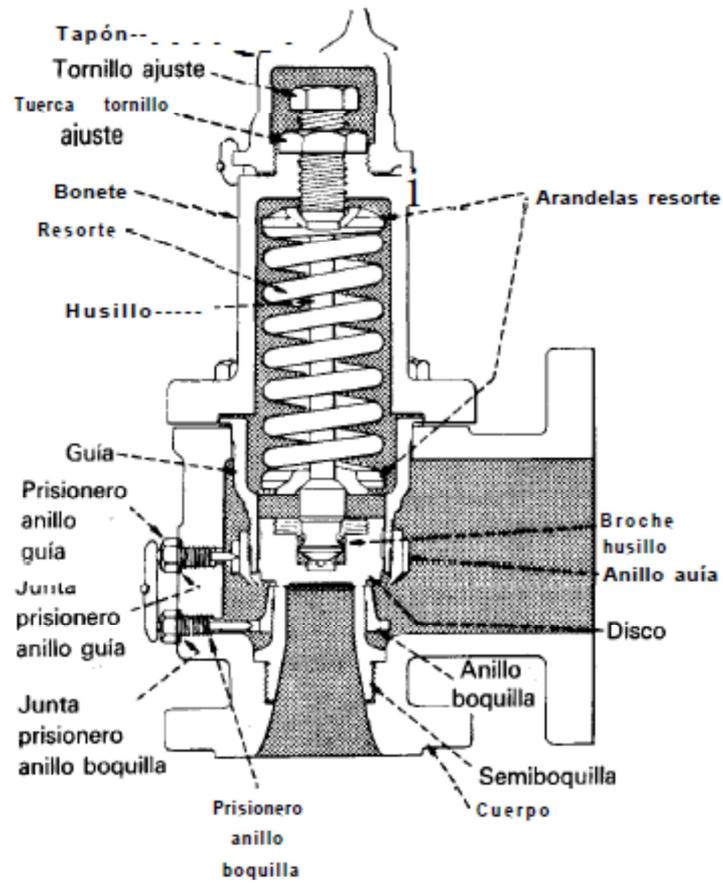


Figura 6.9. Esquema de una válvula de disparo.

## VII. ANEJO V. PLANOS

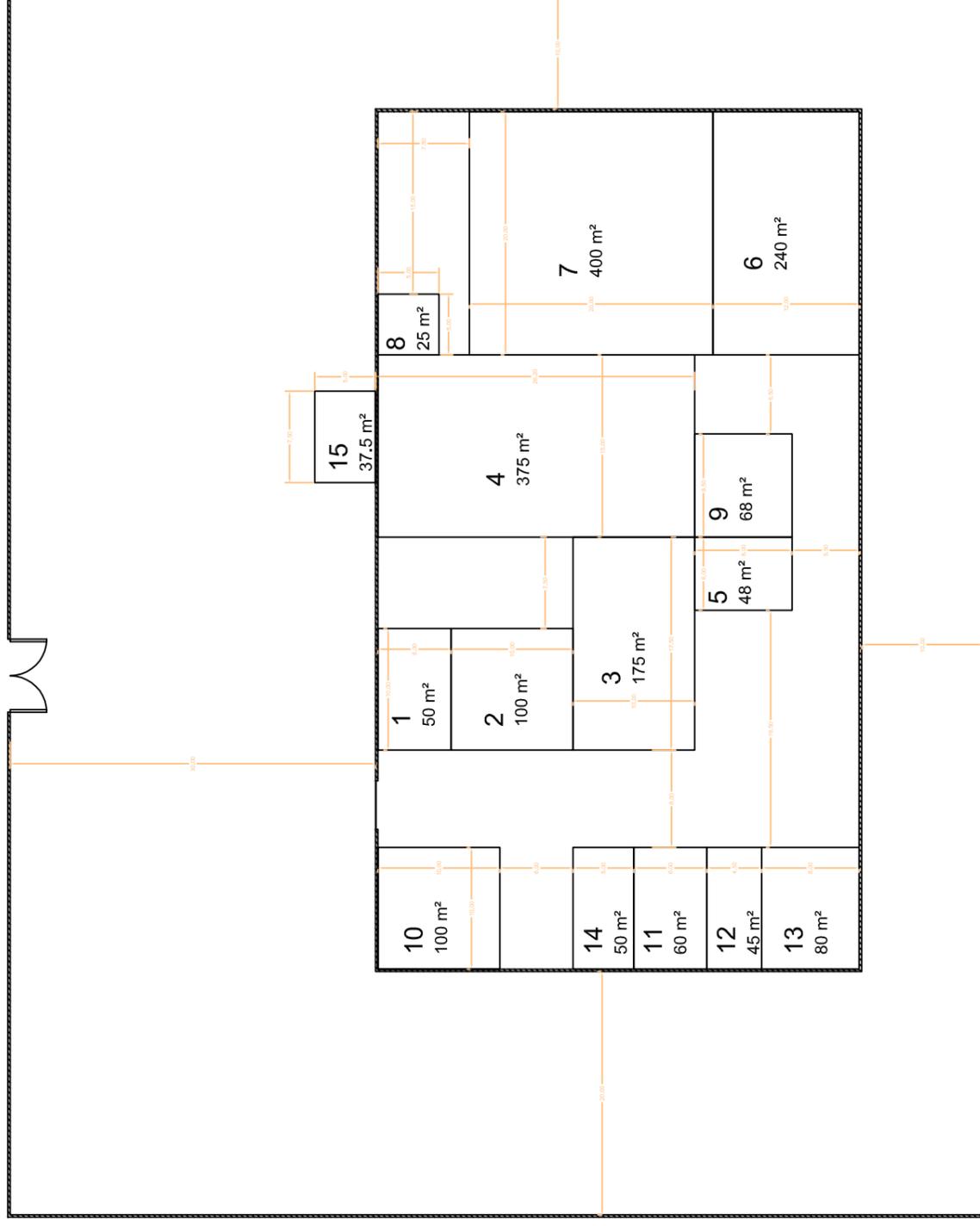
## VII. ANEJO V. PLANOS

### ÍNDICE

PLANO 1. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

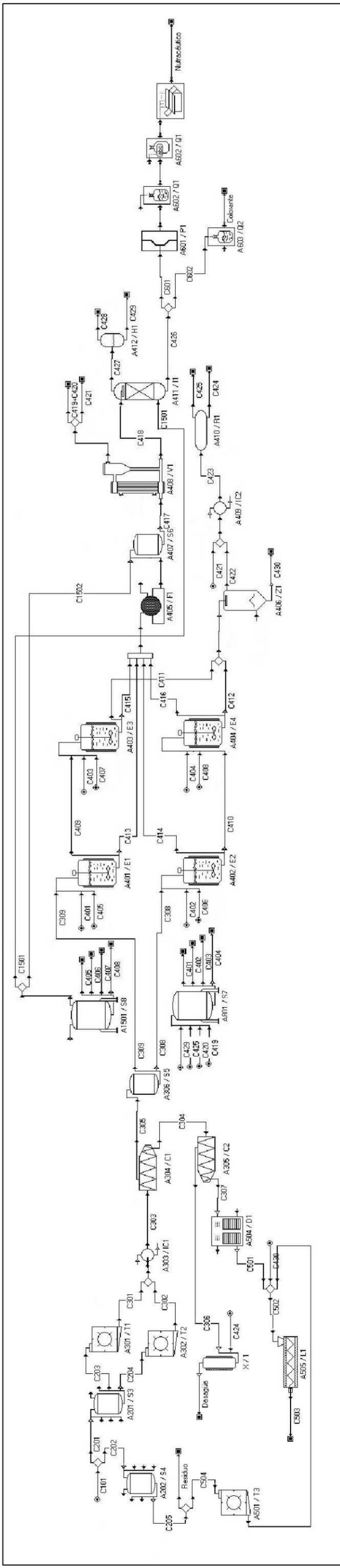
PLANO 2. DIAGRAMA DE FLUJO

PLANO 3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS CALDERAS Y  
REFRIGERADORES

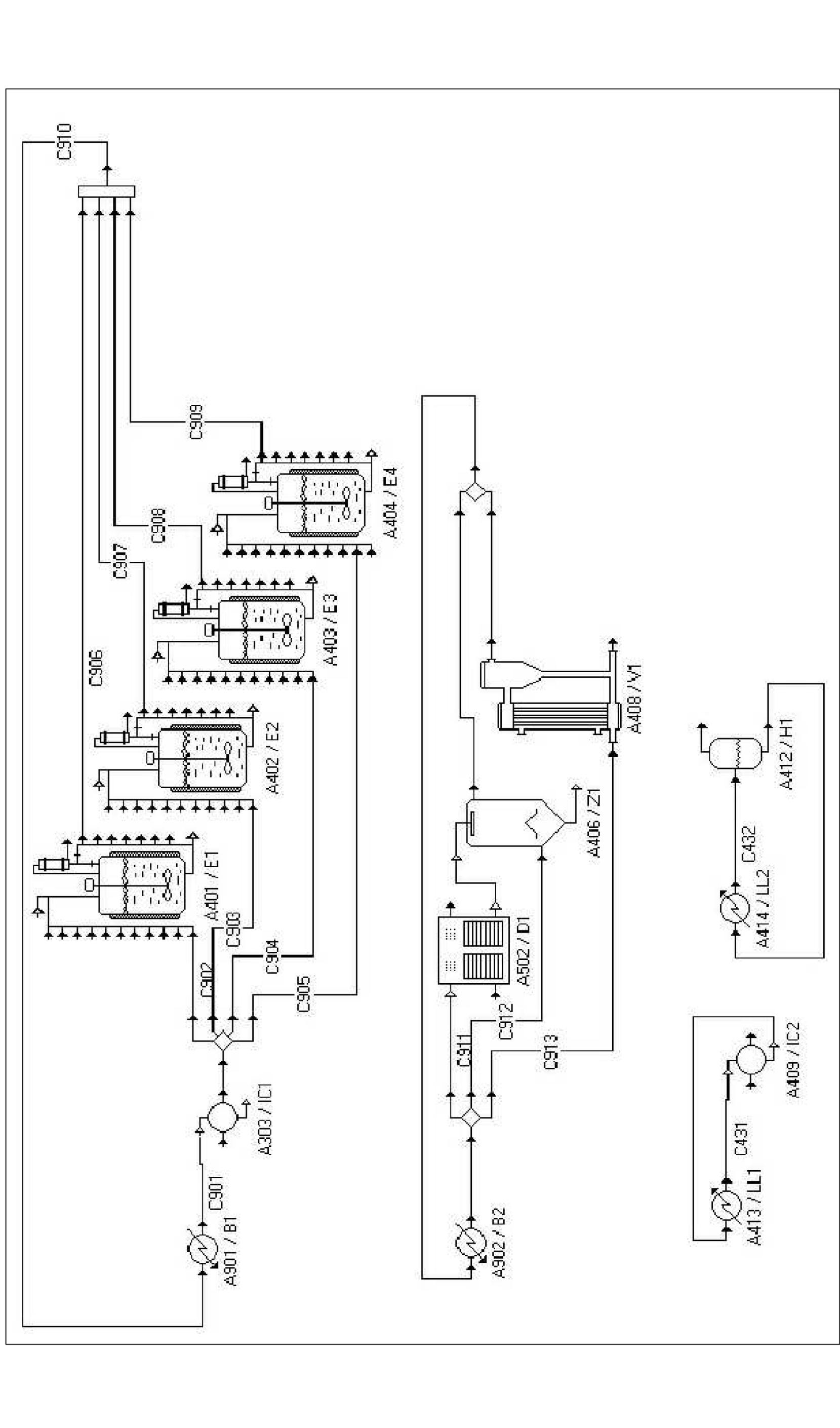


LEYENDA		
1- Zona de recepción de RVI	2- Zona de clasificación	3- Zona de pretratamiento
4- Zona de procesado	5- Zona de tratamiento de residuos sólidos	6- Zona de producto final
7- Zona de almacenamiento del producto acabado	8- Zona almacenamiento de hexano	9- Zona de calderas
10- Zona de gerencia	11- Laboratorio	12- Zona de aseos y vestuarios
13- Almacén de repuestos y herramientas	14- Zona de control	15- Zona almacenamiento de nitrógeno

DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCION DE OLEORRESINA DE LICOPENO		
SITUACION: A-389. 04715. TÉRMINO MUNICIPAL DE EL EJIDO (ALMERIA)		
PETICIONARIO: FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES DE ALMERIA		
PLANO: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA		
Nº DE PLANO: 1	ESCALA: 1:500	FECHA: 02/09/2013
RUBÉN EXPÓSITO MARTÍN		



DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCION DE OLEORRESINA DE LICOPENO			
SITUACION: A-389. 04715. TÉRMINO MUNICIPAL DE EL EJIDO (ALMERIA)			
PETICIONARIO: FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES DE ALMERIA			
ALUMNO:			
PLANO:	DIAGRAMA DE FLUJO		
Nº DE PLANO:	2	ESCALA:	S/E
			FECHA: 02/09/2013
RUBÉN EXPÓSITO MARTÍN			



DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE EXTRACCION DE OLEORRESINA DE LICOPENO	
SITUACION:	A-389. 04715. TÉRMINO MUNICIPAL DE EL EJIDO (ALMERIA)
PETICIONARIO:	ALUMNO:
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES DE ALMERIA	
PLANO:	DIAGRAMA DE FLUJO
DE LAS CALDERAS Y REFRIGERADORES	
Nº DE PLANO:	ESCALA:
3	S/E
	FECHA:
	02/09/2013
	RUBÉN EXPÓSITO MARTÍN

**VIII. ANEJO VI. ESTUDIO  
BÁSICO DE SEGURIDAD Y  
SALUD**

# VII. ANEJO VI: ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

ÍNDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. SERVICIOS DE PREVENCIÓN .....	1
2.1. PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES .....	1
2.2. SERVICIOS DE PREVENCIÓN .....	2
3. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES .....	2
3.1. CONSULTA DE LOS TRABAJADORES .....	2
3.2. DERECHOS DE PARTICIPACIÓN Y REPRESENTACIÓN .....	3
3.3. DELEGADOS DE PREVENCIÓN .....	3
4. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LOS LUGARES DE TRABAJO .....	3
4.1. INTRODUCCIÓN .....	3
4.2. OBLIGACIONES DEL EMPRESARIO .....	4
4.3. CONDICIONES CONSTRUCTIVAS .....	4
4.4. ORDEN, LIMPIEZA, MANTENIMIENTO Y SEÑALIZACIÓN .....	8
4.5. CONDICIONES AMBIENTALES .....	8
4.6. ILUMINACIÓN .....	9
4.7. SERVICIOS HIGIÉNICOS Y LOCALES DE DESCANSO .....	9
4.8. MATERIAL DE PRIMEROS AUXILIOS .....	10
5. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA .....	10
5.1. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS .....	10
5.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN .....	11
5.2.1. INTRODUCCIÓN .....	11
5.2.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL .....	11
5.2.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA .....	19
5.2.4. OTRAS PROTECCIONES .....	21
5.2.5. EN CASO DE ACCIDENTE .....	21

### 1. INTRODUCCIÓN

La Ley 54/2003 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la Prevención de riesgos laborales, tiene por objeto la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades precisas para establecer un adecuado nivel de protección para la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo.

Como ley, establece un marco legal a partir del cual las normas reglamentarias irán fijando y concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.

Estas normas complementarias quedan resumidas a continuación:

- Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

### 2. SERVICIOS DE PREVENCIÓN

#### 2.1. PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

En cumplimiento del deber de prevención de riesgos profesionales, el empresario designará uno o varios trabajadores para dedicarse a dicha actividad, constituirá un servicio de prevención o concertará dicho servicio con una entidad especializada ajena a la empresa.

Los trabajadores designados deberán tener la capacidad necesaria, disponer de tiempo, y de los medios precisos y ser suficientes en número, teniendo en cuenta el tamaño de la empresa, así como los riesgos a los que están expuestos los trabajadores.

En las empresas de menos de seis trabajadores, el empresario podrá asumir las funciones señaladas anteriormente, siempre que desarrolle de forma habitual su actividad en el centro de trabajo y tenga capacidad necesaria.

El empresario que no hubiere concertado el Servicio de Protección con una entidad especializada ajena a la empresa deberá someter su sistema de prevención al control de una auditoría o evaluación externa.

### **2.2. SERVICIOS DE PREVENCIÓN**

Si la designación de uno o varios trabajadores fuera suficiente para la realización de las actividades de prevención, en función del tamaño de la empresa, de los riesgos a los que están expuestos los trabajadores o de la peligrosidad de las actividades desarrolladas, el empresario deberá recurrir a uno o varios servicios de prevención propios o ajenos a la empresa, que colaborarán cuando sea necesario.

Se entenderá como servicio de prevención el conjunto de medios humanos y materiales necesarios para realizar las actividades preventivas a fin de garantizar la adecuada protección de la seguridad y salud de los trabajadores, asesorando y asistiendo para ello al empresario, a los trabajadores y a sus representantes y a los órganos de representación especializados.

## **3. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES**

### **3.1. CONSULTA DE LOS TRABAJADORES**

El empresario deberá consultar a los trabajadores, con la debida antelación, la adopción de decisiones relativas a:

- La planificación y organización del trabajo en la empresa y la introducción de nuevas tecnologías, en todo lo relacionado con las consecuencias que estas pudieran tener para la seguridad y salud de los trabajadores.
- La organización y el desarrollo de las actividades de protección de la salud y prevención de riesgos profesionales en la empresa, incluida la designación de los trabajadores encargados de dichas actividades o el recurso a un servicio de prevención externo.
- La designación de los trabajadores encargados de las medidas de emergencia.
- El proyecto y la organización de la formación en materia preventiva.

### 3.2. DERECHOS DE PARTICIPACIÓN Y PRESENTACIÓN

Los trabajadores tienen derecho a participar en la empresa en las cuestiones relacionadas con la prevención de riesgos en el trabajo. En las empresas o centros de trabajo que cuentan con seis o más trabajadores, la participación de estos se canalizará a través de sus representantes y de la representación especializada.

### 3.3. DELEGADOS DE PREVENCIÓN

Los delegados de prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo. Serían designados por y entre los representantes del personal, en nuestra instalación es suficiente con un delegado de prevención.

## 4. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LOS LUGARES DE TRABAJO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

La 54/2003 de 12 de Diciembre de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para

establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán las normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, a través de normas mínimas que garanticen la adecuada protección de los trabajadores. Entre estas se encuentran necesariamente las destinadas a garantizar la seguridad y salud en los lugares de trabajo. De manera que de su utilización no se deriven riesgos para los trabajadores.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto 486/1997 del 14 de Abril de 1997 establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los lugares de trabajo, entendiendo como tales las áreas del centro de trabajo, edificadas o no, en las que los trabajadores deban permanecer o las que puedan acceder en razón de su trabajo, sin incluir las obras de construcción temporales o móviles.

### **4.2. OBLIGACIONES DEL EMPRESARIO**

El empresario deberá adoptar las medidas necesarias para que la utilización de los lugares de trabajo no origine riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores.

En cualquier caso, los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el presente Real Decreto en cuanto a sus condiciones constructivas, orden, limpieza y mantenimiento, señalización, instalaciones de servicio o protección, condiciones ambientales, iluminación, servicios higiénicos y locales de descanso, y material y locales de primeros auxilios.

### **4.3. CONDICIONES CONSTRUCTIVAS**

El diseño y las características constructivas de los lugares de trabajo deberán ofrecer seguridad frente a riesgos de resbalones o caídas, choques o golpes contra objetos y derrumbamientos y caídas de materiales sobre los trabajadores, para ello el pavimento constituirá un conjunto homogéneo, llano y liso sin solución de continuidad, de material

## ANEJO VI. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

---

consistente, no resbaladizo o susceptible de serlo con el uso y de fácil limpieza, las paredes serán lisas, guarnecidas o pintadas en tonos claros y susceptibles de ser lavadas y blanqueadas y los techos deberán resguardar a los trabajadores de las inclemencias del tiempo y ser lo suficientemente consistentes.

El diseño y las características contractivas de los lugares de trabajo deberán también facilitar el control de las situaciones de emergencia, en especial en caso de incendio, y posibilitar, cuando sea necesario, la rápida y segura evacuación de los trabajadores.

Todos los elementos estructurales o de servicio (cimentación, pilares, forjados, muros y escaleras) deberán tener la solidez y resistencia necesarias para soportar las cargas o esfuerzos a que sean sometidos.

Las dimensiones de los locales de trabajo deberán permitir que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables adoptando una superficie libre superior a  $2\text{m}^2$  por trabajador, un volumen mayor a  $10\text{m}^3$  por trabajador y una altura mínima desde el piso al techo de 2,5m. Las zonas de los lugares de trabajo en las que exista riesgo de caída, de caída de objetos o de contacto o exposición a elementos agresivos, deberán estar claramente señalizadas.

El suelo deberá ser fijo, estable y no resbaladizo, sin irregularidades ni pendientes peligrosas. Las aberturas, desniveles y escaleras se protegerán mediante barandillas de 90cm de altura.

Los trabajadores deberán poder realizar de forma segura las operaciones de abertura, cierre, ajuste o fijación de ventanas y en cualquier caso no supondrán un riesgo para estos.

Las vías de circulación deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad. La anchura mínima de las puertas exteriores y de los pasillos será de 100 cm.

En caso de utilizar escaleras de mano, éstas tendrán la resistencia y elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización no suponga un riesgo de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas. En cualquier caso, no se emplearán escaleras de más de 5m de altura, se colocarán formando un ángulo aproximado a 75 grados con la horizontal, sus largueros deberán prolongarse al menos un metro sobre la zona a acceder, el ascenso, descenso y los trabajos sobre las escaleras se efectuarán enfrente de las mismas, los trabajos a más de 3,5 metros de altura, desde el punto de operación al suelo, que requieran movimientos o esfuerzos peligrosos para la estabilidad del trabajador, solo se efectuarán si se utiliza cinturón de seguridad y no serán utilizadas por dos o más personas simultáneamente.

Las vías y salidas de evacuación deberán permanecer expeditas y desembocarán en el exterior. El número, la distribución y las dimensiones de las vías deberán estar dimensionados para poder evacuar todos los lugares de trabajo rápidamente, dotando de alumbrado de emergencia aquellas que lo requieran.

La instalación eléctrica no deberá entrañar riesgos de incendio o explosión, para ello se dimensionarán todos los circuitos considerando las sobreintensidades previsibles y se dotará a los conductores y resto de paramenta eléctrica de un nivel de aislamiento adecuado.

Para evitar el contacto eléctrico directo se utilizará un sistema de separación por distancia o alejamiento de las partes activas hasta una zona no accesible por el trabajador, interposición de obstáculos y/o barreras (armarios para cuadros eléctricos, tapas para interruptores, etc.) y recubrimiento o aislamiento de las partes activas.

Para evitar el contacto eléctrico se utilizará el sistema de puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto.

En cuanto al emplazamiento de los equipos en la planta, éste se hace de forma que se cumplan las distancias mínimas de seguridad entre los diferentes equipos, siguiendo las recomendaciones dadas por la Guía de referencia en cuanto a la distribución en planta y

## ANEJO VI. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

distancias para plantas químicas y petroleras. La siguiente tabla facilita las distancias mínimas horizontales (pies) entre los bordes de contorno de los aparatos (Figura 8.1).

Todos los equipos disponen de toma de tierra, como protección frente a los peligros derivados de la electricidad estática. Se debe garantizar la utilización segura de los equipos de proceso. Para ello se adopta las medidas necesarias para llevar a cabo un mantenimiento seguro y para comprobar, inicial y periódicamente, los equipos de trabajo cuya seguridad depende de sus condiciones de instalación. Además, en la utilización de los equipos de trabajo se siguen las condiciones generales que están establecidas en el anexo II del R.D. 1215/97 de 18 de Julio, el cual establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

	Compresores													
30		Bombas con riesgo medio												
30	5		Bombas con riesgo alto											
50	5	5		Reactores con riesgo alto										
50	10	15	25		Reactores con riesgo medio									
50	10	15	25	15		Reactores con riesgo moderado								
50	10	15	25	15	15		Columnas, acumuladores, depósitos							
50	10	15	50	25	25	15		Tanques intermedios de proceso						
100	100	100	100	100	100	100	100		Hornos, incineradores, oxidadores					
50	50	50	50	50	50	50	100	25		Aerorrefrigerantes				
30	15	15	25	15	15	15	100	50	/		Cambiadores de calor			
30	10	15	25	15	10	10	100	50	15	5		Bandejas de tubería		
30	10	15	25	15	10	10	100	50	/	10	/	Cambiadores de calor para emergencia		
50	50	50	100	50	50	50	100	50	50	50	50	/	Válvulas para aislamiento de unidades	
50	50	50	100	50	50	50	100	50	50	50	50	/	Salas para analizadores	
50	50	50	50	50	50	50	100	50	50	50	50	/	/	

1 ft = 0,305 m  
/ = sin requisitos de separación

Figura 8.1. Distancia mínima en planta entre distintos equipos.

#### 4.4. ORDEN, LIMPIEZA, MANTENIMIENTO Y SEÑALIZACIÓN

Las zonas de paso, salidas y vías de circulación de los lugares de trabajo y, en especial, las salidas y vías de circulación previstas para la evacuación en casos de emergencia, deberán permanecer libre de obstáculos.

Las características de los suelos, techos y paredes serán tales que permitan dicha limpieza y mantenimiento. Se eliminarán con rapidez los desperdicios, las manchas de grasa, los residuos de sustancias peligrosas y demás productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.

Los lugares de trabajo y, en particular, sus instalaciones, deberán ser objeto de un mantenimiento periódico.

#### 4.5. CONDICIONES AMBIENTALES

La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.

En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse las condiciones siguientes:

- La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27°C. En los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25°C.
- La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por ciento, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por ciento.
- Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:
  - Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s
  - Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s
  - Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s

- La renovación mínima del aire de los locales de trabajo será de 30m<sup>3</sup> de aire limpio por hora y trabajador en caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y 50m<sup>3</sup> en los casos restantes.
- Se evitarán olores desagradables.

### 4.6. ILUMINACIÓN

La iluminación será natural con puertas y ventanas acristaladas, complementándose con iluminación artificial en las horas de visibilidad deficiente. Los puestos de trabajo llevarán a parte puntos de luz individuales, con fin de obtener una visibilidad notable. Los niveles de iluminación mínimos establecidos (lux) son los siguientes:

- Áreas o locales de uso ocasional: 50 lux
- Áreas o locales de uso habitual: 100lux
- Vías de circulación de uso ocasional: 25lux
- Vías de circulación de uso habitual: 50lux
- Zonas de trabajo con bajas exigencias visuales: 100 lux
- Zonas de trabajo con exigencias visuales moderadas: 200lux
- Zonas de trabajo con exigencias visuales altas: 500lux
- Zonas de trabajo con exigencias visuales muy altas: 1000lux

La iluminación anteriormente especificada deberá poseer uniformidad adecuada, mediante la distribución uniforme de luminarias, evitándose los deslumbramientos directos por equipos de alta luminancia. Se instalará además el correspondiente alumbrado de emergencia y señalización, con el fin de poder iluminar las vías de evacuación en caso de fallo de alumbrado general.

### 4.7. SERVICIOS HIGIÉNICOS Y LOCALES DE DESCANSO

En el local se dispondrá de agua potable en cantidad suficiente y fácilmente accesible por los trabajadores.

Se dispondrán de vestuarios cuando los trabajadores deban llevar ropa especial de trabajo, provistos de los asientos y armarios o taquillas individuales con llave, con una capacidad suficiente para guardar la ropa y el calzado.

Existirán aseos con espejos, retretes con descarga automática de agua y papel higiénico y lavabos con agua corriente, caliente si es necesario, jabón y toallas individuales u otro sistema de secado con garantías higiénicas. Dispondrán además de duchas de agua corriente, caliente y fría, cuando se realicen habitualmente trabajos sucios, contaminantes o que originen elevada sudoración. Llevarán alicatados los paramentos hasta una altura de dos metros del suelo, con baldosín cerámico esmaltado de color blanco. El solado será continuo e impermeable, formado por losas de gres rugoso antideslizantes.

### **4.8. MATERIAL DE PRIMEROS AUXILIOS**

El lugar de trabajo dispondrá de material para primeros auxilios en caso de accidente, que deberá ser adecuado, en cuanto a su cantidad y características, al número de trabajadores y riesgos a los que estén expuestos.

Como mínimo se dispondrá, en lugar reservado y a la vez de fácil acceso, de un botiquín portátil, que contendrá en todo momento, agua oxigenada, alcohol, tintura de yodo, gasas estériles, algodón hidrófilo, bolsa de agua, torniquete, guantes esterilizados y desechables, jeringuillas, hervidor, agujas, termómetro clínico, esparadrapo, apósitos adhesivos, tijeras, pinzas, antiespasmódicos, analgésicos y vendas.

## **5. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA**

### **5.1. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS**

Generalmente los peligros pueden tener su origen como consecuencia de la actividad realizada de alguna de las siguientes formas:

- Origen mecánico.

- Origen eléctrico.
- Origen térmico.
- Origen químico.
- Origen físico.

Los factores sobre los que se prestaremos atención son:

- Tiempo de exposición y forma de presentación del riesgo.
- Vías de entrada a partes del cuerpo a proteger.
- Estado de salud.
- Condiciones a cumplir de los equipos.

## 5.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN

### 5.2.1. INTRODUCCIÓN

Para combatir los riesgos de accidente y de perjuicios para la salud, resulta prioritaria la aplicación de medidas técnicas y organizativas destinadas a eliminar los riesgos en su origen o a proteger a los trabajadores mediante disposiciones de protección colectiva. Cuando estas medidas se revelan insuficientes, se impone la utilización de equipos de protección individual a fin de prevenir los riesgos residuales ineludibles.

### 5.2.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

#### Equipos de protección de la cabeza

El principal equipo para la protección de la cabeza es el casco de seguridad. Un casco de protección para la industria es una prenda para cubrir la cabeza del usuario, que está destinada esencialmente a proteger la parte superior de la cabeza contra heridas producidas por objetos que caigan sobre el mismo.

Para conseguir esta capacidad de protección y reducir las consecuencias destructivas de los golpes en la cabeza, el casco debe estar dotado de una serie de elementos que posteriormente se describirán, cuyo funcionamiento conjunto sea capaz de cumplir las siguientes condiciones:

1. Limitar la presión aplicada al cráneo, distribuyendo la fuerza de impacto sobre la mayor superficie posible.
2. Desviar los objetos que caigan, por medio de una forma adecuadamente lisa y redondeada.
3. Disipar y dispersar la energía del impacto, de modo que no se transmita en su totalidad a la cabeza y el cuello.

Los cascos utilizados para trabajos especiales deben cumplir otros requisitos adicionales, como la protección frente a salpicaduras de metal fundido (industrias del hierro y del acero), protección frente a contactos eléctricos, etc.

### Equipos de protección de cara y ojos

Los equipos individuales de protección para cabeza y ojos son:

- Gafas de montura universal.
- Gafas de montura integral (uni o binocular).
- Gafas de montura <<cazoletas>>.
- Gafas de montura adaptables al rostro.

Las pantallas faciales más usadas son:

- Pantallas faciales.
- Pantallas para soldadura.

Los principales riesgos de seguridad que se pretenden cubrir con este tipo de protecciones son:

- Riesgos generales inespecíficos, tales como penetración de cuerpos extraños con poca energía.
- Acciones mecánicas provocadas por partículas a alta velocidad.
- Acciones térmicas y mecánicas originadas por partículas incandescentes a gran velocidad.

Para deparar una protección eficaz contra los riesgos, los protectores oculares y faciales deben mantenerse útiles, duraderos y resistentes frente a numerosas acciones e influencias de modo que su función protectora quede garantizada durante toda su vida útil. Entre estas influencias que pueden amenazar la eficacia protectora de los protectores oculares y faciales, cabe citar:

- Almacenamiento, limpieza y elección equivocados.
- Frio, humedad, radiaciones y agentes químicos.

### Equipos para la protección de oído

Los protectores auditivos son equipos de protección individual que, debido a sus propiedades para la atenuación del sonido, reducen los efectos del ruido en la audición para evitar así un daño en el oído. Los protectores auditivos más usados son:

- Protectores auditivos tipo tapones.
- Protectores auditivos desechables o reutilizables.
- Protectores auditivos tipo orejeras.
- Cascos anti-ruido.
- Protectores auditivos acoplables a los cascos de protección.
- Protectores auditivos dependientes del nivel.
- Protectores auditivos con aparatos de intercomunicación.

Los protectores auditivos deben poder resistir numerosas acciones e influencias, de modo que se garantice durante toda su vida útil la función protectora requerida.

### **Equipos para la protección de brazos y manos**

Los equipos de interés es este apartado son:

- Guantes contra agresiones mecánicas.
- Guantes contra agresiones químicas (de neopreno).
- Guantes contra agresiones de origen eléctrico.
- Guantes contra agresiones de origen térmico.
- Manoplas.
- Manguitos y mangas.

En el lugar de trabajo, las manos del trabajador pueden hallarse expuesto a riesgos de naturaleza diversa, los cuales pueden clasificarse en tres grupo, según su forma de actuación:

1. Lesiones en las manos debidas a acciones externas.
2. Riesgos para las personas por acciones sobre las manos.
3. Riesgos para la salud o molestias vinculados al uso de guantes de protección.

### **Equipos para la protección de pies y piernas**

La finalidad de estos equipos es proteger estos miembros frente a riesgos para los que han sido específicamente diseñados. El equipo utilizado consta de:

- Calzado de protección y seguridad.
- Calzado y cubrecalzado de protección contra el calor.
- Calzado y cubrecalzado de protección contra el frío.
- Calzado frente a la electricidad.
- Protecciones amovibles del empeine.
- Polainas.
- Suelas amovible.

- Rodilleras.

En el lugar de trabajo los pies del trabajador, y por los pies su cuerpo entero, pueden hallarse expuestos a riesgos de naturaleza diversa, los cuales pueden agruparse en tres grupos, según su forma de actuación:

1. Lesiones en los pies producidos por acciones externas.
2. Riesgos para las personas por una acción sobre el pie.
3. Riesgos para la salud o molestias vinculados al uso del calzado.

### **Equipos para la protección de tronco y abdomen**

Los equipos utilizados son:

- Chalecos, chaquetas y mandiles de protección contra agresiones mecánicas.
- Chalecos, chaquetas y mandiles de protección contra agresiones químicas.
- Chalecos termógenos.
- Chalecos salvavidas.
- Cinturones de sujeción del tronco.
- Fajas y cinturones antivibraciones.

### **Ropa de protección**

Este tipo de protección permite evitar riesgos debidos a acciones mecánicas, térmicas y químicas, y de la electricidad así como mejorar la visibilidad del trabajador por otras personas. Las ropas de protección necesarias serán:

- Ropa de protección anti inflamable.
- Ropa de protección para el mal tiempo.
- Ropa y prendas de seguridad para señalización.
- Ropa de protección contra agresiones químicas.
- Ropa antigás.

- Ropa antipolvo.

### Equipos para la protección frente a caídas de altura

Un sistema de protección individual contra caídas de altura (sistema anticaídas) garantiza la parada segura de una caída, de forma que:

- La distancia de caída del cuerpo sea mínima.
- La fuerza de frenado no provoque lesiones corporales.
- La postura del usuario, una vez producido el frenado de la caída, sea tal que permita al usuario, dado el caso, esperar auxilio.

Un sistema anticaídas está formado por:

- Un arnés anticaídas.
- Una conexión para unir el arnés anticaídas a un punto de anclaje seguro. Esta conexión puede efectuarse utilizando un dispositivo anticaídas o un absorbedor de energía.

Hay que recalcar que un cinturón no protege contra las caídas de altura y sus efectos.

### Arnés anticaídas:

Dispositivo de presión del cuerpo destinado a parar las caídas. El arnés anticaídas puede estar constituido por bandas, elementos de ajuste y de enganche y otros elementos, dispuestos y ajustados de forma adecuada sobre el cuerpo de una persona para sujetarla durante una caída y después de la parada de ésta.

### Dispositivo anticaídas retráctil:

Equipo provisto de una función de bloqueo automático y un mecanismo automático de tensión y de retroceso para el elemento de amarre retráctil. Dicho elemento de amarre

retráctil puede ser un cable metálico, una banda o una cuerda de fibras sintéticas. El dispositivo anticaídas retráctil puede llevar incorporado un elemento de disipación de energía, bien en el propio dispositivo anticaídas o en el elemento de amarre retráctil.

### Dispositivo anticaídas deslizante:

Equipo provisto de una función de bloqueo automático y un elemento de guía. El dispositivo anticaídas deslizante se desplaza a lo largo de la línea de anclaje, acompañada al usuario sin requerir intervención manual durante los cambios de posición hacia arriba o hacia abajo y se bloquea automáticamente sobre la línea de anclaje cuando se produce una caída.

### Dispositivo anticaídas deslizante sobre línea de anclaje rígida:

Equipo formado por una línea de anclaje rígida y un dispositivo anticaídas y deslizante con bloqueo automático que está unido a la línea de anclaje rígida. Dicha línea de anclaje rígida puede ser un raíl o un cable metálico y se fija en una estructura de forma que queden limitados los movimientos laterales de la línea. Un elemento de disipación de energía puede estar incorporado en el dispositivo anticaídas deslizante o en su línea de anclaje.

### Dispositivo anticaídas deslizante sobre línea de anclaje flexible:

Equipo formado por una línea de anclaje flexible y un dispositivo anticaídas y deslizante con bloqueo automático que está unido a la línea de anclaje flexible. Dicha línea de anclaje flexible puede ser una cuerda de fibras sintéticas o un cable metálico y se fija a un punto de anclaje superior. Un elemento de disipación de energía puede estar incorporado en el dispositivo anticaídas deslizante o en su línea de anclaje.

Absorbedor de energía:

Equipo que, mediante su deformación o destrucción, absorbe una parte importante de la energía desarrollada en la caída.

Conector:

Equipo que permite unir entre sí los diferentes componentes que forman el sistema anticaídas, y a este sistema con el punto de anclaje estructural. Dispone de cierre automático y de bloqueo manual o automático.

**Equipos para la protección de las vías respiratorias**

Los equipos de protección respiratorias son equipos de protección individual de las vías respiratorias en los que la protección contra los contaminantes aerotransportados se obtiene reduciendo la concentración de éstos en la zona de inhalación por debajo de los niveles de exposición recomendados. Los equipos más importantes son:

- Equipos filtrantes de partículas.
- Equipos filtrantes frente a gases y vapores.
- Equipos flotantes mixtos.
- Equipos aislantes de aire libre.
- Equipos aislantes con suministro de aire.
- Equipos respiratorios con casco o pantalla para soldadura.
- Equipos respiratorios con máscara amovible para soldadura.
- Equipos de submarinismo.

En el lugar de trabajo las vías respiratorias del trabajador y, por éstas, su cuerpo entero pueden hallarse expuestos a riesgos de naturaleza diversa. Paralelamente se presentarán una serie de riesgos derivados del equipo y de la utilización del mismo. En resumen, se pueden categorizar los riesgos en tres grupos:

1. Amenaza de las vías respiratorias por acciones externas.
2. Amenaza de la persona por acción a través de las vías respiratorias.
3. Riesgos para la salud o molestias, vinculados al uso de equipos de protección respiratoria.

### 5.2.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA

Equipos de protección colectiva frente a caídas de altura

La protección colectiva frente al riesgo de caídas de altura se basa principalmente en evitar que un trabajador se caiga, o en limitar la altura de la caída y amortiguar la energía cinética que el trabajador adquiere y que origina daños en la salud del trabajador, los medios más usados son:

Barandillas: tienen como finalidad la interposición de un obstáculo que impida al trabajador acceder a un lugar desde el que pueda caer, asimismo suelen incluir un tope en su parte inferior, cuya finalidad es evitar la caída de objetos.

Redes de seguridad: se trata de redes destinadas a evitar o limitar la caída de personas al vacío. En función de que se destinen a limitar o evitar la caída se clasifican en:

1. Redes tipo tenis: se utilizan para evitar el riesgo de caídas de altura desde los bordes de los forjados, tableros de puente... La red debe colocarse por la cara interior de los pilares de la fachada, sujeta por dos cuerdas, inferior y superior.
2. Redes verticales de fachada con soportes tipo mástil: cubren la zona comprendida entre dos plantas. Se sujetan con soportes metálicos verticales y amarrándose a la solera de la planta inferior. Impiden la caída al estar paramentadas con los bordes exteriores de la edificación.
3. Redes horizontales en huecos: se disponen sobre huecos para evitar la caída en estos.

4. Redes que limitan la caída: recogen al trabajador durante la caída y amortiguan la energía cinética dentro de unos límites que no causen daños al trabajador.
5. Redes horizontales de recogida.
6. Redes verticales de fachada con soporte tipo horca.

### **Equipos de protección colectiva frente a la contaminación del aire**

El objetivo es evitar la contaminación del aire, con nuestro disolvente, ya que este es volátil y su presencia en el aire representa riesgos para la salud de los trabajadores y riesgos de explosión debido a su inflamabilidad, para ello se instalarán dispositivos que nos permitan controlar la presencia de este contaminante del aire. Los dispositivos serán:

- Sistemas de extracción. Las principales ventajas son:
  - Con un diseño adecuado, la captura y control de un contaminante puede ser completa.
  - El caudal requerido es bajo lo cual supone un ahorro energético y económico.
  - El contaminante se captura en un menor volumen de aire.
  - Permite disminuir la limpieza de la nave ya que elimina también partículas sólidas.
  - Protege a los elementos de la instalación frente a la corrosión y abrasión que provoca el contaminante.
  - El sistema no se ve afectado por el viento exterior, a diferencia de otros sistemas de ventilación.
- Sensores para medir la concentración de hexano en el aire.
- Sensores de humedad.
- Uso de pinturas y productos específicos.

### 5.2.4. OTRAS PROTECCIONES

Se dispondrá de duchas de lavado para el cuerpo así como de lavadero para los ojos, y botiquines bien equipados con todo el material necesario en caso de emergencia.

### 5.2.5. EN CASO DE ACCIDENTE

En caso de accidente:

- En caso de inhalación: trasladar a la víctima a un lugar fresco y seguro, si no respira proporcionar respiración artificial y si se dificulta suministrar oxígeno.
- En caso de contacto con la piel: lavar la piel con abundante agua y jabón, remover la ropa contaminada y usar cremas humectantes y aceites.
- En caso de inhalación: no inducir al vómito.
- En caso de contacto con los ojos: lavar con abundante agua durante quince minutos.
- En todos los casos, acudir rápidamente al médico y avisar a los servicios de emergencias.

**IX. ANEJO VII. PREVENCIÓN  
CONTRA INCENDIOS**

## IX. ANEJO VII: PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS

ÍNDICE	Pág.
1. CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA BÁSICA DE EDIFICACIÓN .....	1
2. CONDICIONES DE COMPARTIMENTACIÓN .....	1
3. PLANES DE EMERGENCIA PARA LA EVACUACIÓN . .....	1
3.1. ORGANIZACIÓN CONTRA INCENDIOS .....	1
3.2. ASPECTO TEMPORAL .....	2
3.3. ELEMENTOS DE EVACUACIÓN .....	2
3.4. NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE SALIDAS .....	2
4. CARACTERÍSTICAS DE PUERTAS Y PASILLOS .....	3
5. COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS .....	3
6. INSTALACIONES ESPECIALES Y LOCALES DE RIESGO ESPECIAL .....	3
7. INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	4
8. INSTALACIONES DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y DE ACCIDENTES DERIVADOS DE ELLOS .....	6
9. IGNIFUGADO .....	7
10. EQUIPOS AUXILIARES .....	8
11. PLAN DE EMERGENCIA .....	8
12. POSIBLES ACCIONES EN CASO DE INCENDIOS .....	8
13. RIESGO DE INCENDIO .....	9
14. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y REVISIONES PERIÓDICAS .....	10
15. FICHA DE SEGURIDAD DEL HEXANO .....	12
16. FICHA DE SEGURIDAD DEL NITRÓGENO .....	14

### 1. CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN

Este proyecto se encuentra afectado por la vigente norma de la edificación N.B.E. CPI-96, tal como se establece en dicha norma, se debe aplicar una instalación de los equipos necesarios contra incendios a los proyectos de los edificios de la nueva planta.

### 2. CONDICIONES DE COMPARTIMENTACIÓN

Se tendrá solo en cuenta la superficie destinada a la nave industrial.

### 3. PLANES DE EMERGENCIA PARA LA EVACUACIÓN

Se parte del hecho de que la multitud de variables que confluyen en un plan de emergencia contra incendios, imposibilita el diseño de un plan tipo que sirva para todas las situaciones y actividades. En base a ello se pretenden establecer las pautas y principios básicos que deben seguirse en el diseño de cualquier plan, para que tenga posibilidades de éxito y transcribir como, referencia, un extracto de La Normativa Legal Vigente con mayor importancia sobre el tema.

#### 3.1. ORGANIZACIÓN CONTRA INCENDIOS

Los planes de emergencia son una parte de la gestión empresarial del riesgo de incendio. La organización contra incendios tiene dos objetivos:

- Minimizar el número de emergencias contra incendios.
- Controlar con rapidez las emergencias para que sus consecuencias sean mínimas.

Ante una determinada situación de riesgo, el plan o planes de emergencia contra incendios, pueden ser enunciados como la planificación y organización humana, para la utilización óptima de los medios técnicos previstos, con la finalidad de reducir al máximo las posibles consecuencias económicas y humanas de la emergencia.

### 3.2. ASPECTO TEMPORAL

En caso de emergencia se realizan toda una serie de acciones para limitar sus consecuencias: evacuar, intentar la extinción con medios propios, avisar a los bomberos, etc. Una de las claves en el éxito de dichas acciones es tener presente que cualquier acción que vaya a tomar, implica un tiempo de retardo, durante el cual la emergencia se ha desarrollado y su control se hace cada vez más difícil, tal como se indica en la figura siguiente:



Figura 9.1. Tiempo de intervención en emergencias.

Antes de alcanzar el punto de intervención transcurrirá un tiempo invertido en detectar el incendio ( $t_d$ ), alarmar a las personas que vayan a intervenir ( $t_a$ ) y en que dichas personas se preparen y preparen los medios apropiados ( $t_p$ ).

### 3.3. ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

Para el análisis de la evacuación de un edificio se considera como origen de evacuación todo punto ocupable. Se consideran como orígenes de evacuación los puntos más alejados de las salidas de naves industriales y oficinas.

### 3.4. NÚMERO Y DISPOSICIONES DE SALIDAS

Los locales industriales pueden disponer de una única salida, si su ocupación es menor que 100 personas, puesto que la ocupación de la planta es menor que 100 personas, no más de 50 personas necesitan salvar en sentido ascendente una altura de evacuación mayor de dos metros, y la longitud de ningún recorrido hasta la salida más próxima será mayor de 25 metros o de 50 metros en caso de que la ocupación sea menor

que 50 personas y la salida comunique directamente con un espacio exterior seguro. Todos los locales de la presente planta cumplirán dichas exigencias.

#### **4. CARACTERÍSTICAS DE PUERTAS Y PASILLOS**

Todas las puertas proyectadas en los recorridos de evacuación y salida deberán ser abatibles con el eje de giro vertical y fácilmente operables, quedando así cumplido lo que se establece en este apartado. Disponiendo así mismo, en su parte superior a la altura de los ojos de una zona transparente de modo que facilite la operación del público.

Los pasillos que sean recorridos en caso de evacuación, no presentarán ningún obstáculo, aunque en ellos podrá existir elementos salientes, localizados en las paredes tales como soportes, cercos, bajantes o elementos de equipamiento, siempre que, salvo en el caso de los extintores, se respete la anchura establecida en la norma y no se reduzca más de diez centímetros la anchura calculada.

#### **5. COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS**

Las zonas donde se trabaje con líquidos inflamables y/o combustibles estarán construidas de manera que las paredes de las dependencias con otras dependencias del edificio tengan una resistencia al fuego RF-120, las paredes del resto de los edificios tendrán una resistencia al fuego RF-90. Los pasos a otras dependencias tendrán puertas cortafuegos automáticos, adecuados a cada clase de riesgo.

#### **6. INSTALACIONES ESPECIALES Y LOCALES DE RIESGO ESPECIAL**

Las instalaciones de riesgo especial son aquellas en las que los riesgos de incendio y explosión son mayores, por lo cual las medidas de seguridad y los recursos disponibles en estas zonas deberán ser mayores al resto de los casos, las zonas de riesgo especial, serán aquellas en las que se trabaje o se encuentren líquido inflamable y/o combustibles que serán la zona correspondiente al parque de disolventes y la zona de proceso.

## 7. INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Las instalaciones con la que cada local estará dotado por la lucha contra incendios y variará según el tipo de local, las instalaciones para la lucha contra incendios en aquellos locales en los que intervengan materiales inflamables y /o combustibles serán mayores y de mayor importancia.

### **Bocas de incendio.**

Las bocas de incendio se situarán sobre un soporte rígido, de forma que el centro quede como máximo a 1,5 metros del suelo. Se situarán preferiblemente cerca de puertas y salidas y a no más de 5 metros de estas, no habiendo ningún obstáculo que impida la utilización de estas.

El número de bocas de incendio necesarias y su distribución se hará de manera que estas sean capaces de proteger la totalidad de la superficie. La separación máxima entre cada boca de incendio y su más cercana será de 50 metros y la distancia desde cualquier punto de un lugar protegido hasta la boca de incendio más próxima no superior a 25 metros. La instalación de bocas de incendio estará compuesta por los siguientes elementos:

- Bocas de incendio equipadas.
- Red de tuberías de agua.
- Fuente de abastecimiento de agua.

### **Extintores portátiles.**

Los extintores usados para la extinción de incendios serán distintos según la zona; se usarán extintores especiales en las zonas de almacenamiento de disolventes y en la zona de proceso, ya que en estos los extintores requieren características especiales. En todos los casos el recorrido real desde cualquier punto del local hasta un extintor no será superior a

15 metros y estarán distribuidos de manera adecuada. Todos los extintores se dispondrá de tal forma que se puedan utilizar de manera rápida y fácil, situados sobre los parámetros verticales de forma tal que la parte superior de extintor se encuentre a una altura sobre el suelo menor que 1,7 metros. Los extintores serán revisados periódicamente.

### **Instalación de alumbrado de emergencia.**

Se dotará al edificio de una instalación de alumbrado y emergencia según lo estipulado en el artículo 21 de la norma N.B.E. CPI-96. Independientemente del alumbrado eléctrico ordinario, se dotará al local de un alumbrado de señalización y de emergencia.

El alumbrado de señalización estará constantemente encendido desde la apertura al público de la actividad de los edificios, hasta el cierre de los mismos. Este alumbrado de señalización deberá funcionar tanto con el suministro ordinario como por el que se genera por la propia fuente de alumbrado de emergencia.

La salida del local deberá estar señalizada, fácilmente visible e identificable desde todo punto del edificio. Así mismo, se dispondrán de señales identificativas de dirección de los recorridos desde todo origen de evacuación hasta el punto desde que sea visible la salida o señal que la indique.

### **Hidratantes contra incendios.**

La instalación de hidrantes de incendios cumplirán las siguientes condiciones:

- Los hidrantes estarán preparados para resistir heladas y acciones mecánicas cuando sea necesario.
- Se conectarán a la red usando una construcción independiente para cada hidrante.
- Estarán situados en lugares accesibles por los equipos de extinción de incendios y debidamente señalizados.

- El caudal mínimo de aplicación de los hidratantes será de 30 m<sup>3</sup>/hora para hidratantes tipo 80mm y de 60 m<sup>3</sup>/hora para hidratantes de 100mm.

### **Sistemas fijos de extinción.**

Los sistemas fijos de extinción de incendios tienen como finalidad el control y la extinción de un incendio mediante la descarga en el área protegida de un producto extintor. Estos sistemas pueden actuar manualmente o de forma automática existiendo los siguientes sistemas:

- Instalaciones de extinción por agua.
- Instalaciones de extinción por polvo.
- Instalaciones de extinción por agentes extintores gaseosos.
- Instalaciones de extinción por espuma física.

## **8. INSTALACIONES DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y DE ACCIDENTES DERIVADOS DE ELLOS.**

Para la prevención de los incendios se tomarán una serie de medidas que permitan minimizar los riesgos de éstos, o en caso de que finalmente se produzcan, estas medidas deberán permitir actuar con rapidez para que los efectos de este sean menores. Las medidas de prevención de incendios y accidentes derivados de ellos consisten en la instalación de sensores de humos y sustancias volátiles y alarmas adecuadas.

### **Instalación de sensores para reducir los riesgos de incendio y explosión.**

Se instalarán distintos tipos de sensores que permitan reducir los riesgos de incendio y explosión, o en caso de que algunos de estos ocurran, que nos permita una rápida actuación. En las zonas de riesgo especial que serán aquellas en las que se utiliza disolvente, se instalarán sensores de volátiles y de humedad de tal manera que permitan medir estos valores. Y en función de estos tomar las pertinentes medidas.

En las zonas que no presenten elevado riesgo se instalarán sensores de humo, los cuales permitan detectar los incendios en su inicio y poder llevar a cabo una rápida actuación.

### **Instalación de alarmas.**

Se dispondrá de accionamientos de alarmas manuales los cuales estarán a manos de 25 metros de los accesos a bombas, estaciones de carga y descarga, etc. Así mismo también existirán alarmas automáticas conectadas a los sensores y otros dispositivos de seguridad que podrán alertar en caso de incendio.

Se establecerá una alarma acústica, preferiblemente audible en toda la zona y distinta a otro tipo de alarmas. También existirá una alarma visual que permita identificar el riesgo de incendios por los usuarios. En todos los recintos existirán teléfonos para comunicaciones con los servicios exteriores.

### **Instalación de los sistemas de ventilación.**

Se instalarán sistemas de ventilación para renovar el aire en el interior de las naves en la que se utilicen sustancias cuya inhalación pueda representar riesgo para la salud. Se establecerán sistemas de ventilación natural y sistemas de ventilación forzada, estos últimos, entran en funcionamiento cuando se supone una concentración determinada en el ambiente, que será medida por los sensores destinados a ello.

## **9. IGNIFUGADO**

En lugares donde sea razonable suponer un incendio probable, los soportes y estructuras metálicas o apoyos críticos deberán tener una resistencia al fuego RF-180 como mínimo. Esta resistencia se puede conseguir por medio de revestimiento, hormigón u otro material resistente al fuego. Como soporte o apoyo crítico se entiende aquel que, en caso de fallo, puede ocasionar un daño o riesgo grave.

## 10. EQUIPOS AUXILIARES

Algunos equipos auxiliares que pueden usar útiles en la lucha y prevención de incendios son:

- Mantas ignífugas.
- Equipos de respiración autónoma.
- Sistemas de agua pulverizada, aplicada como refrigeración sobre las paredes de los recipientes, conectadas permanentemente a la red de incendios, con accionamiento situado en lugar protegido y accesible durante el incendio.
- Sistemas de inertización para los tanques y equipos en los que actúen líquidos inflamables o combustibles.

## 11. PLAN DE EMERGENCIA

En los anexos de la presente NBE se establecen los edificios que, en función de su uso, deberán contar con un Plan de Emergencia Contra Incendios. Dicho Plan será presentado por la propiedad del inmueble para su aprobación por parte del servicio encargado de la extinción de incendios en la localidad y contará con la conformidad del arrendatario del edificio, cuando sea distinto de la propiedad. El Plan de Emergencia contra Incendios deberá estar disponible permanentemente en lugar accesible, conocido y seguro.

## 12. POSIBLES ACCIONES EN CASO DE INCENDIOS

Las acciones más importantes que se deben de tener en cuenta en caso de incendio son:

1. Valorar la gravedad de la emergencia.
2. Luchar contra el fuego con extintores.
3. Luchar contra el fuego con equipos de manguera.
4. Avisar a ayudas externas.
5. Recibir ayudas externas e informarles.

6. Evacuar.
7. Asistir a heridos.
8. Bajar ascensores a planta baja.
9. Avisar a cierto personal de la empresa (por la noche).
10. Reaprovisionamiento de material contra incendios.
11. Contactos con la prensa, etc.

### 13. RIESGO DE INCENDIO

Un incendio es una reacción química de oxidación - reducción fuertemente exotérmica, siendo los reactivos el oxidante y el reductor. En terminología de incendios, el reductor se denomina combustible y el oxidante, comburente; las reacciones entre ambos se denominan combustiones.

Para que un incendio se inicie es necesario que el combustible y el comburente se encuentren en espacio y tiempo en un estado energético suficiente para que se produzca la reacción entre ambos. La energía necesaria para que tenga lugar dicha reacción se denomina energía de activación; esta energía de activación es la aportada por los focos de ignición.

#### **Evaluación de riesgo de incendio.**

El riesgo de incendio, al igual que cualquier otro riesgo de accidente viene determinado por dos conceptos clave: los daños que puede ocasionar y la probabilidad de materializarse. Por lo tanto, el nivel de riesgo de incendio (NRI) se debe evaluar considerando la probabilidad de inicio del incendio y las consecuencias que se derivan del mismo.

#### **Probabilidad del inicio del incendio.**

Viene determinada por las medidas de prevención no adoptadas; es decir, de la coexistencia en espacio, tiempo e intensidad suficiente del combustible y el foco de

ignición. Por ello, son importantes todas las medidas posibles para evitar dichos incendios.

### **Consecuencias.**

Una vez que se inicia el incendio, si no se actúa a tiempo y con los medios adecuados, se producirá su propagación y ocurrirán unas consecuencias con daños materiales y a los ocupantes. Para determinar la magnitud de las consecuencias, los factores a analizar son las medidas de protección contra incendios.

### **Lista de comprobación/cuestionario de chequeos.**

Constituyen una herramienta útil y muy eficaz para verificar el cumplimiento de las medidas de seguridad o desviaciones de los estándares establecidos. Se pueden utilizar como una cualificada y muy válida herramienta para la identificación de los factores de riesgo que posibilitan la materialización del incendio e inciden en las posibles consecuencias, es decir, para evaluar cualitativamente el riesgo.

## **14. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y REVISIONES PERIÓDICAS**

### **Operación y mantenimiento.**

A la hora de la operación y el mantenimiento, cuando se trabaja con líquidos inflamables es importante seguir una serie de normas o reglas:

1. En los recipientes de almacenamiento de líquidos inflamables y/o combustibles se usarán sistemas que eviten la formación de chispas por descarga estática.
2. Antes de comenzar reparaciones en algún equipo que haya contenido líquidos inflamables, este se vaciará y se aislará debidamente del resto de la instalación. Así como antes de la entrada de personas en este equipo, se tomarán medidas que nos permitan asegurar que la atmósfera es respirable y no inflamable.

3. No se realizarán trabajos en caliente en ningún equipo.

### **Revisiones periódicas.**

Se procederá anualmente a la revisión periódica de las instalaciones, conforme se indica a continuación:

1. Se comprobará la protección catódica, si existe, y la continuidad eléctrica de las tuberías y del resto de elementos metálicos de la instalación.
2. En caso de instalaciones inspeccionadas visualmente, se comprobarán; el estado correcto de los cubetos, cimentaciones de recipientes, vallado, cerramientos, drenajes, bombas, equipos.
3. En los recipientes y tuberías inspeccionadas visualmente se comprobará el estado de las paredes y medición de espesores si se observara algún deterioro.
4. Se verificarán los venteos.
5. Se comprobarán también, si procede; las reservas de agua y de espumógeno, los sistemas de refrigeración, las alarmas, los extintores, el ignifugado y los equipos de bombeo.
6. En los almacenamientos de productos que puedan polimerizarse se revidarán las válvulas, filtros y puntos muertos para verificar que no están obstruidos.

15. FICHA DEL HEXANO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HEXANO

ICSC: 0279




**HEXANO**  
 n-Hexano  
 $C_6H_{14}$   
 Masa molecular: 86.2

Nº CAS 110-54-3  
 Nº RTECS MN9275000  
 Nº ICSC 0279  
 Nº NU 1208  
 Nº CE 601-037-00-0



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
<b>EXPOSICION</b>			
• <b>INHALACION</b>	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, embotamiento, náuseas, debilidad, pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• <b>PIEL</b>	Piel seca, enrojecimiento, dolor.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón y proporcionar asistencia médica.
• <b>OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• <b>INGESTION</b>	Dolor abdominal, (para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, reposo y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Consultar a un experto. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado, NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal: filtro respiratorio para gases y vapores orgánicos	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener bien cerrado.	símbolo F símbolo Xn símbolo N R: 11-38-48/20-51/53-62-65-67 S: (2-)-9-16-29-33-36/37-61-62 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE: 	

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

<b>ICSC: 0279</b>	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 2006
-------------------	---

### Fichas Internacionales de Seguridad Química

#### HEXANO

ICSC: 0279

<b>D A T O S  I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Líquido incoloro volátil, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b> El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> Reacciona con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca algunos plásticos, caucho y revestimientos</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): 50 ppm; 176 mg/m<sup>3</sup> (piel) BEI (ACGIH 2004). LEP UE: 72 mg/m<sup>3</sup>, 20 ppm como TWA (UE 2006) MAK: Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004)</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita la piel. La ingestión del líquido puede originar aspiración dentro de los pulmones con riesgo de neumonitis química. La exposición a altas concentraciones podría causar disminución del estado de alerta.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso periférico, dando lugar a polineuropatías. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.</p>
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<p>Punto de ebullición: 69°C Punto de fusión: -95°C Densidad relativa (agua = 1): 0.7 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20 °C: 0.0013 Presión de vapor, kPa a 20°C: 17 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.0</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.3 Punto de inflamación: -22°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 225°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.1-7.5 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 3.9</p>
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	Esta sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.	
<b>NOTAS</b>		
Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición.		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1208 Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 3-131 HEXANO		Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: <a href="http://www.insht.es/">http://www.insht.es/</a>
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.	

16. FICHA DEL NITRÓGENO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

NITROGENO (gas comprimido)

ICSC: 1198

			
NITROGENO (gas comprimido) Azoé (botella) $N_2$ Masa molecular: 28.01			
N° CAS 7727-37-9 N° RTECS QW9700000 N° ICSC 1198 N° NU 1066			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPLOSION</b>			En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua.
<b>EXPOSICION</b>			
• <b>INHALACION</b>	Debilidad, pérdida del conocimiento, asfixia (véanse Notas).	Ventilación.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• <b>PIEL</b>			
• <b>OJOS</b>			
• <b>INGESTION</b>			
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco y bien ventilado.	Clasificación de Peligros NU: 2.2	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 1198		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 2005	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

**NITROGENO (gas comprimido)**

ICSC: 1198

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Gas comprimido incoloro, inodoro e insípido.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.
	<b>PELIGROS FISICOS</b> El gas se mezcla fácilmente con el aire.	<b>RIESGO DE INHALACION</b> Al producirse pérdidas en zonas confinadas este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno del aire (véanse Notas).
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV: asfixiante simple (ACGIH 2004). MAK: no establecido.	
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de ebullición: -196°C Punto de fusión: -210°C	Solubilidad en agua: escasa Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.97
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
<p>Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G1A</p>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 4-158 NITROGENO (gas comprimido)		Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: <a href="http://www.insht.es">www.insht.es</a>
ICSC: 1198		NITROGENO (gas comprimido)
© CCE, IPCS, 2005		
<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.	

**X. ANEJO VIII. PRESUPUESTO  
Y EVALUACIÓN  
ECONÓMICA**

# X. ANEJO VIII. PRESUPUESTO Y EVALUACIÓN

## ECONÓMICA

INDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PRESUPUESTO .....	2
2.1. LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS Y COSTES .....	2
2.2. CAPITAL DE INVERSIÓN FIJO .....	5
2.3. COSTES DIRECTOS DE OPERACIÓN ..	5
2.3.1. MATERIA PRIMA .....	5
2.3.2. SERVICIOS .....	6
2.3.3. ENVASES Y RECIPIENTES .....	6
2.3.4. PERSONAL .....	7
2.4. INGRESOS .....	7
2.4.1. RECOGIDA DE RESIDUOS .....	7
2.4.2. SUBVENCIONES .....	8
2.4.3. VENTA DEL PRODUCTO .....	9
3. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	9
3.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	9
3.2. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR) .....	10
3.3. TASA DE VALOR ACTUAL (TVA) .....	10
3.4. PLAZO DE RECUPERACIÓN O PAY-BACK (PB) .....	11

### 1. INTRODUCCIÓN

En este anejo, se lleva a cabo el estudio económico necesario para evaluar la viabilidad de la inversión proyectada, así como la rentabilidad económica de la inversión y por lo tanto, la oportunidad o no de llevar a cabo las actuaciones contempladas a lo largo del proyecto.

Los dos tipos de coste a tener en cuenta en el estudio económico son el capital de inversión fijo y el coste directo de operación. El primero de ellos se desglosa en los siguientes apartados:

- Coste de equipos. Este coste incluye el total de los equipos y componentes de la instalación.
- Coste de instalación de los equipos. Es el coste derivado de la mano de obra necesaria para instalar cada equipo en su lugar correspondiente. En este coste está incluido los costes de repuesto que consiste en los principales elementos que componen los equipos de proceso.
- Coste de instrumentación y control. El coste incluye toda la instrumentación de la planta, tanto para los accesorios como para el funcionamiento de la planta.
- Coste de instalación eléctrica.
- Coste de acondicionamiento del terreno.
- Coste de la ingeniería del sistema. Este coste incluye el diseño completo del sistema y la integración de las diferentes instalaciones existentes, la definición de las especificaciones necesarias para la adquisición de los diferentes componentes, la planificación, la dirección del proyecto,

el montaje y, finalmente, la formación de los operadores y el soporte técnico posterior.

- Coste de construcción.
- Honorarios del contratista.
- Costes imprevistos del Proyecto. Generalmente, para que un estudio económico esté completo, aparte de tener en cuenta el coste de la instalación, es necesario considerar cualquier posible coste adicional. Es decir, costes derivados de imprevistos o contingencias.

El otro tipo de costes son los denominados costes de operación que se derivan de la actividad productiva que se lleva a cabo en la planta. Estos costes son los siguientes:

- Materias primas.
- Servicios.
- Costes energéticos.
- Costes de personal.

## 2. PRESUPUESTO

### 2.1. LISTA DE EQUIPOS NECESARIOS Y COSTES

La estimación de costes de los equipos se llevará a cabo de distintas maneras. En la mayoría de los casos, los datos de precios se obtendrán a partir la página web [matche.com](http://matche.com). Como los precios que ofrece esta página vienen dados en dólares y referenciados al año 2007, para actualizar dichos precios, se procederá del siguiente modo:

1. Se toma un valor medio de la conversión del dólar-euro del año 2007, (1 euro=1,38 dólares).

2. Con el IPC se pasa de euros de 2007 a euros de 2013. La variación de esta tasa para el periodo citado, es aproximadamente del 11%, según el Instituto Nacional de Estadística.

Aplicando estos cambios, queda la conversión final de dólares del 2007 a euros de 2013 como sigue:

$$\$(\text{precio producto}) \cdot \frac{1 \text{ euro}}{1,38\$} \cdot \frac{1,11 \text{ euros (2013)}}{1 \text{ euro (2007)}} \quad (10.1)$$

Para obtener los costes de equipos de la fuente bibliográfica más arriba citada, es necesario proporcionar una o más variables de entrada. Estas variables son algunas propiedades del equipo tales como el caudal de alimentación, área, altura, diámetro, longitud, material de construcción, etc.

**Tabla 10.1.** Relación costes de equipos.

Equipo	Código	Unidades	Coste unidad (€)	Coste total
Tolvas de recepción de RVI	A101/S1 - A102/S2	2	11.100,00	22.200,00
Banda transportadora de sólidos	A203/BT1 - A206/BT4	4	13.593,48	54.373,91
Almacenamiento de tomate	A205/S3	1	10.617,39	10.617,39
Almacenamiento de residuos restantes	A206/S4	1	9.169,57	9.169,57
Trituradores de martillos cortantes	A301/T1 - A302/T2	2	20.028,26	40.056,52
Intercambiador de calor de placas	A303/IC1	1	11.293,11	11.293,11
Centrífuga decantadora	A304/C1	1	155.000,00	155.000,00
Centrífuga decantadora	A305/C2	1	155.000,00	155.000,00
Tanque almacenamiento intermedio	A306/S5	1	20.350,00	20.350,00
Extractores	A401/E1 - A402/E2	2	185.965,22	371.930,44

ANEJO VIII. PRESUPUESTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

(Continuación)

Equipo	Código	Unidades	Coste unidad (€)	Coste total
Extractores	A403/E3 - A404/E4	2	231.089,13	462.178,26
Filtro rotatorio continuo	A405/F1	1	225.458,70	225.458,70
Desolventizador	A406/Z1	1	400.000,00	400.000,00
Tanque almacenamiento intermedio	A407/S6	1	32.013,04	32.013,04
Evaporador de triple efecto	A408/V1	1	290.932,61	290.932,61
Condensador tipo intercambiador de placas	A409/IC2	1	9.450,00	9.450,00
Centrífuga tubular	A410/R1	1	124.500,00	124.500,00
Stripper	A411/I1	1	38.536,43	38.536,43
Separador flash	A412/H1	1	21.600,00	21.600,00
Chiller	A413/LL1	1	741,02	741,02
Chiller	A414/LL2	1	250.554,35	250.554,35
Bomba de vacío	A415/MV1 - A418/MV4	4	78.504,35	314.017,39
Triturador de martillos	A501/T3	1	20.028,26	20.028,26
Secador de bandejas	A504/D1	1	21.154,35	21.154,35
Peletizadora	A505/L1	1	206.000,00	206.000,00
Encapsuladora	A601/P1	1	841.845,92	841.845,92
Línea de envasado y etiquetado	A602/Q1	1	420.922,96	420.922,96
Línea de envasado a granel	A603/Q2	1	275.000,00	275.000,00
Tanque de almacenamiento de hexano	A801/S7 - A802/S11	2	37.160,87	74.321,74
Caldera de biomasa	A901/B1	1	95.238,14	95.238,14
Caldera de biomasa	A902/B2	1	5.072,44	5.072,44
Tanque con sinfín	A902/S9 - A904/S10	2	3.050,00	6.100,00
Depuradora de oxidación total	X1	1	95.700,00	95.700,00
Bomba centrífuga	MC	31	-	139.393,48
Bomba de tornillo	MT	10	-	115.182,61
Refrigerador sala de producto final	-	1	37.100,00	37.100,00
<b>TOTAL</b>				<b>5.373.032,64</b>

## 2.2. CAPITAL DE INVERSIÓN FIJO (CIF)

El resto de la inversión necesaria se calculará a partir del valor de los equipos necesarios a través de unos factores dados por el método Chilton, tal y como se muestra en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2. Capital de inversión fijo.

Concepto	% respecto coste equipos	Coste (€)
Costes de instalación	11	591.033,59
Instrumentación y control	10	537.303,26
Tuberías	20	1.074.606,53
Electricidad	10	537.303,26
Edificios	10	537.303,26
Acondicionamiento del terreno	5	268.651,63
Ingeniería y supervisión	25	1.343.258,16
Construcción	10	537.303,26
Honorarios del contratista	25	1.343.258,16
Contingencias	5	268.651,63
Registro de marca empresa y producto	-	184,56
<b>TOTAL</b>		<b>7.038.857,32</b>

## 2.3. COSTES DIRECTOS DE OPERACIÓN

### 2.3.1. MATERIA PRIMA

La materia prima necesaria consta de los RVI, el hexano para la extracción y la gelatina para la encapsulación, cuyos costes se muestran en la Tabla 10.3, a excepción de los RVI que no acarrea coste alguno, sino todo lo contrario, ya que la retirada de los RVI conlleva unas tasas que son abonadas por parte de los agricultores.

La cantidad de hexano que es necesaria adquirir es la correspondiente al volumen del tanque principal y del tanque pulmón. En cuanto a gelatina, por cada cápsula se necesitan 350 mg de dicho preparado gelatinoso.

**Tabla 10.3.** Costes de materias primas.

Concepto	Cantidad (kg)	Coste unidad (€)	Coste total (€)
Hexano inicial	20.418,72	0,88	17.927,64
Reposición hexano	2.659,36	0,88	2.340,24
Gelatina	356.400,00	30,00	10.692.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>10.712.267,87</b>

### 2.3.2. SERVICIOS

Los costes energéticos se calculan en base a la potencia consumida de los equipos. Para ello, se elige de la casa “Endesa” una tarifa aplicable a empresas:

- Nombre de la tarifa: Tarifa de último recurso con discriminación horaria (TUR DH).
- Precio en horas Punta (10 horas), de 12 a 22h: 0,167 €/kW·h.
- Precio en horas Valle (14 horas), de 22 a 12 h: 0,057 €/kW·h.

**Tabla 10.4.** Costes de servicios.

Concepto	Cantidad anual	Coste unidad (€)	Coste total (€)
Nitrógeno (líquido), m <sup>3</sup>	311,52	48,26	15.034,23
Alquiler instalaciones de nitrógeno	1	2.000,00	2.000,00
Autoconsumo eléctrico, kW·h	22.114.774	0,167/0,057	2.274.135,93
<b>TOTAL</b>			<b>2.291.170,15</b>

### 2.3.3. ENVASES Y RECIPIENTES

**Tabla 10.5.** Costes de envases y recipientes de los productos finales.

Concepto	Cantidad anual (unidades)	Coste unidad (€)	Coste total (€)
Botes nutracéutico	19.800.000	0,32	6.336.000,00
Cajas de embalaje	396.000	0,59	233.640,00
Bidones asépticos	2.138	43,81	93.672,19
<b>TOTAL</b>			<b>6.663.312,19</b>

### 2.3.4. PERSONAL

La planta opera 7920 horas al año, que operando 24 horas al día resulta un total de 330 días efectivos. En la Tabla 10.6 se muestra la plantilla de trabajadores y sus salarios. El enfermero, los oficinistas y el responsable de la limpieza tendrán un turno de 8 horas diarias librando los fines de semana. Existirán cuatro grupos de trabajo formados por un ingeniero y dos operarios cada uno que trabajarán en periodos de seis días con dos días de descanso entre cada periodo. Los turnos serán de 8 horas cada día, por lo que siempre habrá un grupo en periodo de descanso.

Aparte de la plantilla de trabajadores de la propia empresa, hay que tener en cuenta el personal ajeno, como vigilantes de seguridad, limpiadores y servicio técnico. Esta mano de obra se puede estimar mediante un porcentaje que oscila entre el 20 y 40% del salario total anual de los trabajadores internos. Cogiendo un valor medio del 30%, se tendrá unos gastos por mano de obra indirecta de 121.320,00 €.

Tabla 10.6. Plantilla de trabajadores y salarios.

Personal de planta	Nº turnos	Efectivos	Salario mensual (€)	Coste al año (€)
Jefe/a de planta	1	1	2.500,00	30.000,00
Ingenieros/as	3	4	2.000,00	96.000,00
Técnicos/as	3	8	1.500,00	144.000,00
Operarios/as	2	8	1.100,00	105.600,00
Oficinista	1	2	1.200,00	28.800,00
TOTAL				404.400,00

### 2.4. INGRESOS

#### 2.4.1. RECOGIDA DE RESIDUOS

Para estimar los ingresos derivados de la recogida de los RVI se usan las tarifas de la empresa “Albaida Residuos”. El transporte y mantenimiento de los contenedores donde

se depositan los residuos está a cargo de la empresa “Lirola S.L.” cuyas tarifas son abonadas directamente por los agricultores. Se utilizarán las mismas tarifas que se tendrán que abonar a dichas empresas por los RVI que no se usen en el proceso.



**TARIFAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ALBAIDA-PLANTA NIJAR AÑO 2012 SIN IVA**

CODIGOS L.E.R.	TIPO DE RESIDUO	TARIFA €/Tm
020103	Residuos de tejidos vegetales	13,66
020103	Fruto de retirada y/o destrio	13,66
020199	Residuo Vegetal Mezclado	23,26
020103	Entrada de Poda	23,26
020104	Residuos de plásticos	150,00
020104	Bandejas y fundas	150,00
150101	Residuos de papel y cartón	150,00
020199	Sustratos, manta térmica, tela mosquitera	150,00
150102	Residuos de envases de plástico NO RTP's	150,00
150103	Residuos de envases de madera: palets	150,00

Figura 10.1. Tarifas para el tratamiento de distintos tipos de residuos. Cortesía de Cespa.

**TARIFA DE PRECIOS CAMPANA 2.012**



TIPO DE RESIDUO	CLASIFICACIÓN	PRECIO UNITARIO (IVA NO INCLUIDO)
1, ORGÁNICOS	a. R.V. Plantas (SIN RAFIA)	1€/m3
	ac. Coles	2,25 €/m3
	al. Ledos	40 €/ton
	b. R.V. Frutos	1,50 €/100 KG
	c. R.V. Con hilo plástico aprovechable (sin mezclar)	3,50 €/m3
	d. R.V. Con plásticos, sustratos, no aprovechables (mezclados)	70 €/ton
	e. Maderas de postes y otras maderas	13,25 €/ton
	f. Poda y jardinería seleccionada con diámetro inferior a 15 cm	40 €/ton
	g. Poda y jardinería mezclado con diámetro inferior a 15 cm	50 €/ton

Figura 10.2. Tarifas para el mantenimiento de contenedores y recogida de distintos tipos de residuos. Cortesía de Lirola, S.L.

#### 2.4.2. SUBVENCIONES

Existen subvenciones a las inversiones efectuadas en instalaciones de energías renovables, estableciendo un valor del 25% para las instalaciones industriales que utilicen biomasa como combustible alternativo. Además, la utilización de energías renovables les permite a las empresas desgravaciones fiscales.

### 2.4.3. VENTA DEL PRODUCTO

Uno de los objetivos planteados en la memoria justificativa fue la implantación del producto principal en el mercado. Teniendo en cuenta que la planta produce anualmente una cantidad de 71.280 kg de oleorresina, es necesario distribuir dicho producto entre los dos sectores potenciales en los cuales tendría cabida. Estos sectores son el farmacéutico y el alimenticio, siendo este último el de mayor volumen, por esta razón se destinará el 75% de la producción total de la planta a la venta del producto como pigmento natural, quedando el 25% restante para la venta como nutracéutico.

Los precios de los productos, que se detallan en la Tabla 10.7 han sido facilitados por la empresa Pharmafoods (representante de LycoRed en España).

**Tabla 10.7.** Precio de venta de fábrica del nutracéutico y del colorante alimenticio.

Tipo de producto	kg/año	Precio (€/kg)	Ventas (€/año)
Nutracéutico	17.820,00	375,00	1.670.625,00
Pigmento alimenticio	53.460,00	350,00	18.711.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>20.381.625,00</b>

## 3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se lleva a cabo un estudio sobre la rentabilidad de una planta de producción de cápsulas de gel blando enriquecidas con licopeno y para ello se utilizan cuatro índices de valoración:

### 3.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Se define como la cantidad, expresada en unidades monetarias, resultante de restar, a la suma de flujos netos anuales actualizados que se producen como consecuencia de la explotación del proyecto, el valor de la inversión. Cuando:

- $VAN > 0$ , la inversión será aceptada, ya que aumenta la riqueza de la empresa.

- $VAN < 0$ , la inversión será rechazada, por disminuir la riqueza de la empresa.
- $VAN = 0$ , será indiferente la realización o no de la inversión.

El VAN se calcula mediante:

$$VAN = \sum_{k=1}^n \frac{FNC}{(1+i)^k} - A \quad (10.3)$$

FNC, es el flujo neto de caja en el año k, (beneficios netos en el año k).

i, es la tasa de actualización (interés).

A, es la inversión inicial.

n, es el periodo de análisis del proyecto.

### 3.2. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR)

Se define como el tipo de interés o tasa de actualización que haría que el VAN resultara nulo ( $VAN=0$ ), calculado para dicha tasa. La inversión será rentable cuando el valor del TIR sea superior al interés ya que se incrementa la riqueza de la empresa.

$$A = \sum_{k=1}^n \frac{FNC}{(1+r)^k} \quad (10.4)$$

r, es la tasa de rendimiento.

Un proyecto es viable si  $r > i$ .

### 3.3. TASA DE VALOR ACTUAL (TVA)

Es un cociente que indica la ganancia neta generada por el proyecto por cada unidad monetaria invertida. Una inversión será recomendable cuando su TVA sea mayor de cero.

$$TVA = \frac{VAN}{A} \quad (10.5)$$

### 3.4. PLAZO DE RECUPERACIÓN O PAY-BACK (PB)

Se entiende por plazo de recuperación de una inversión el número de años que transcurre desde el inicio del proyecto hasta que la suma de los cobros actualizados se hace exactamente igual que la suma de los pagos actualizados. Según este criterio, interesan más las inversiones que tengan menor plazo de recuperación.

$$PB = \frac{A}{FNC} \quad (10.6)$$

Para este estudio se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones

- Se supone que toda la oleorresina encapsulada es vendida.
- El tiempo de vida de la planta será de 12 años.
- El interés es de un 5%.
- La inversión se realiza de una sola vez.

En las tablas 10.8 y 10.9 se detallan los flujos de caja anuales y los índices antes citados.

**Tabla 10.8.** Índices de evaluación económica.

VAN	2.309.793,63	€
TIR	8	%
TVA	0,18	
PB	6	años

En vista de los valores que se obtiene, la producción de oleorresina a partir de restos vegetales de tomate es un proyecto económicamente viable ya que da beneficios a corto plazo, recuperando el capital invertido al sexto año.

ANEJO VIII. PRESUPUESTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla 10.9. Flujos de caja anuales.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Equipos	5,37E+06												
Resto CIF	7,04E+06											1,85E+02	
Alquiler del terreno	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05	1,10E+05
Materia prima		1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07
Servicios		2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06	2,29E+06
Envases		6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06	6,66E+06
Personal		5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05	5,26E+05
Residuos		8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06	8,80E+06
Recogida de RVI		1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07	1,04E+07
Ventas		2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07	2,04E+07
Subvención	3,13E+06												
FNC		1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06
FCA		-7,72E+06	-6,04E+06	-4,37E+06	-2,70E+06	-1,02E+06	6,49E+05	2,32E+06	4,00E+06	5,67E+06	7,34E+06	9,02E+06	1,07E+07

En la Figura 10.3 se muestra la evolución de los flujos de caja acumulados a lo largo de los 12 años del estudio económico de la planta.

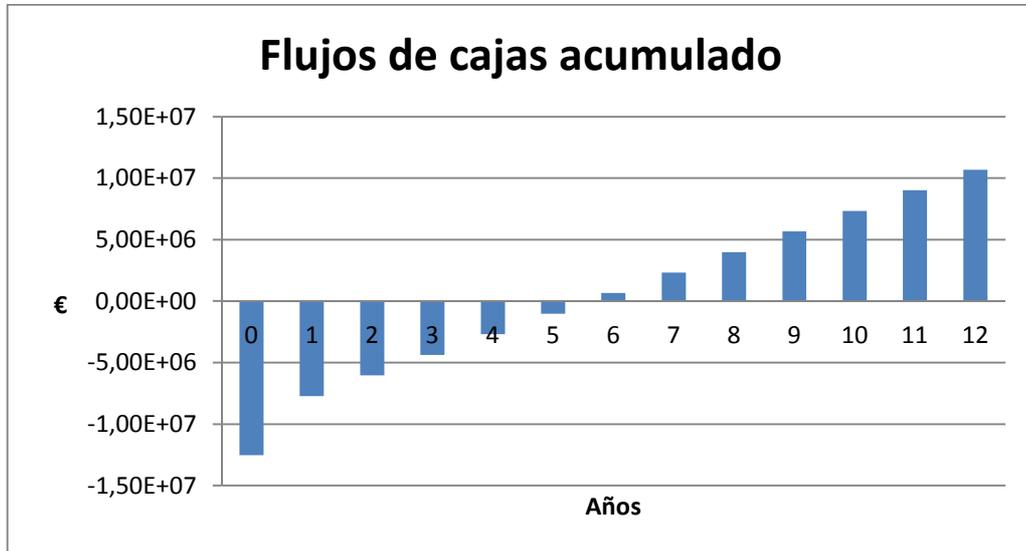


Figura 10.3. Evolución de los flujos de caja acumulados

## XI. BIBLIOGRAFÍA

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Patente US 5837311. Morris, Z. O. et al. (1998) Industrial processing of tomatoes and product thereof.
2. Patente US 6797303 B2. Morris, Z. O et al. (2004) Carotenoid extraction process.
3. Sharma, S. K. y Le Maguer, M. (1996) Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. Food Research International, Vol. 29.
4. Strati, I. F. y Oreopoulou, V. (2011) Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. International Journal of Food Science and Technology, N° 46.
5. Strati, I. F. y Oreopoulou, V. (2011) Process optimization for recovery of carotenoids from tomato waste. Food Chemistry, N° 129.
6. Lee, M. T. y Chen, B. H. (2002) Stability of lycopene during heating and illumination in a model system. Food Chemistry, N° 78.
7. Cardona, E. M., Ríos, L.A. y Restrepo, G. M. (2006) Extracción del carotenoide licopeno del tomate Chonto (*Lycopersicum esculentum*). VITAE, Revista de la facultad de Química Farmacéutica. ISSN 0121-4004, Volumen 13, N° 2.
8. Coulson, J. M. et al. (2002) Chemical Engineering. Particle Technology and Separation Processes. Volumen 2, Fifth Edition, Ed. Butterworth Henemann.
9. Treybal, R.E. Operaciones de transferencia de masa. Segunda Edición. Ed. McGraw-Hill.
10. Geankoplis C.J. (1998) Procesos de transporte y operaciones unitarias. Tercera Edición, Ed. Cecsca.
11. Perry, R. H., Green, D. W. y Maloney, J. O. (1997) Perry's Chemical Engineers' Handbook. Seventh Edition. McGraw-Hill.
12. Fellows, P. (2000) Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y práctica. Segunda edición. Editorial Acribia, S.A.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

---

13. Ibarz, A. y Barbosa-Cánovas, G. V. (2005) Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Ed. Mundi-Prensa.
14. Martínez de la Cuesta, P. J. y Martínez, E. R. (2004) Operaciones de Separación en Ingeniería Química. Métodos de cálculo. Ed. Pearson, Prentice Hall.
15. Earle, R.L. Ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia, S.A.
16. McCabe, W. L., Smith, J. C. y Harriot P. (1998) Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Editorial: Mc Graw Hill, cuarta edición.
17. Wypych, G. (2001) Handbook of Solvents. ChemTec Publishing.
18. Reid, R. C. et al. The Properties of Gases & Liquids. Fourth Edition. Ed. McGraw-Hill.
19. Bejan, A. y Kraus, A. D. Heat Transfer Handbook. Ed.: Wiley.
20. Megyesy, E. F. Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo. Ed.: Limusa (Grupo Noriega).
21. Código ASME Sección VIII División 1. Rules for Construction of Pressure Vessels.
22. Diario Oficial de la Unión Europea, L 106/55. Autorización de comercialización de licopeno como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al CE nº 258/97.
23. Callejón Ferre, A.J. et al. (2011) Greenhouse crop residues: Energy potential and models for the prediction of their higher heating value. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Nº15, pp. 948-955.
24. Reynolds, W. C. Thermodynamic properties in SI. Published by the Department of Mechanical Engineering Stanford University.
25. Reid, R. C. et al. The Properties of Gases and Liquids. Fourth edition. Ed.: McGraw-Hill.
26. Towler, G. y Sinnott, R. Chemical Engineering Design. Ed.: Elsevier.
27. Shi, J. et al. (2004) Stability and synergistic effect of antioxidative properties of lycopene and other active components. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. Nº44, pp. 559-573.

28. Colle, I. et al. (2010) Effect of thermal processing on the degradation, isomerization, and bioaccessibility of lycopene in tomato pulp. *Journal of Food Science*, Vol. 75, N° 9.
29. Caris-Veyrat, C. et al. (2003) Cleavage products of lycopene produced by in vitro oxidations: Characterization and mechanism of formation. *Journal of Agric. Food Chem.*, N° 51, pág.7318-7325.
30. Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Potencial Energético de la Biomasa Residual Agrícola y Ganadera en Andalucía. Edita: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 2008.
31. Ruiz, C. A. et al. (2012) Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts Processing*. N° 90, pp. 700-706.
32. Ranveer, R.C. et al. (2013) Effect of different parameters on enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Food and Bioproducts Processing*.
33. Tzouganaki, Z.D. et al. (2002) Development and validation of liquid chromatographic method for determination of lycopene in plasma. *Analytica Chimica Acta*. Volumen 467, pág. 115-123.
34. Brennan, J. G. *Food Processing Handbook*. Ed.: Wiley-VCH.
35. Kuppam, T. (2000) *Heat Exchanger Design Handbook*. Editado por L.L. Faulkner. Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Columbus, Ohio.
36. Diario Oficial de la Unión Europea. Autorización de la comercialización de oleoresina de licopeno de tomates como nuevo ingrediente alimentario con arreglo a CE 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo, 2009.
37. Rath, S. *Lycopene Extract from Tomato*.
38. Bockisch, M. (1998) *Fats and Oils Handbook*. Ed.: Aocs Press.
39. Choudhari, S. M. y Ananthanarayan, L. (2007) Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chemistry*, Vol. 102, pp. 77-81.
40. Zuorro, A. y Lavecchia, R. (2010) Mild enzymatic method for extraction of lycopene from tomato paste. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, Vol. 24, pp. 1854-1857.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

---

41. Huber, G.M. y Rupasinghe, H.P.V. (2009) Phenolic and antioxidant properties of apple skin extracts. *Journal of Food Science*, Vol. 74, pp.693-700.
42. Ra, A.V. et al. (2006) *Advances in Food and Nutrition Research*. Volumen 51, pp. 99-164.
43. Mustakas, G.C. et al. (1981) Critical Processing Factors in Desolventizing-Toasting Soybean Meal for Feed. *Journal of the American Oil Chemists Society*, Vol. 58, N°3.
44. Henry, L. K. et al. (1998) Oxidative degradation kinetics of lycopene, lutein and 9-cis and all-trans  $\beta$ -carotene. *JAOCs*, vol. 75, N° 75.
45. Towler, G. y Sinnott, R. *Chemical Engineering Design. Principles, practice and economics of plant and process design*. Editorial: El Sevier.
46. Green, R. W. *Válvulas: Selección, uso y mantenimiento*. Ed.: McGraw-Hill.
47. Smith, C. A. y Corripio, A.B. *Control automático de procesos. Teoría y práctica*. Ed.: Noriega Limusa.
48. Bicanic, D. (2005) Quantification of lycopene in tomato products: comparing the performances of a newly proposed direct photothermal method and high-performance liquid chromatography. *Journal of Sci. of Food and Agr.* , N° 85, pp. 1149-1153.
49. [www.coexphal.es](http://www.coexphal.es) (2013).
50. [www.albaidaresiduos.es](http://www.albaidaresiduos.es) (2013).
51. [www.ejidomediambiente.com](http://www.ejidomediambiente.com) (2013).
52. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=List&table=11030&CODTIPOESTUDIO=1> (2013).
53. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estadisticas/agrarias/superficies-y-producciones.html> (2013).
54. <http://www.bccresearch.com/market-research/food-and-beverage/carotenoids-global-market-fod025d.html> (2013).
55. <http://www.luckyvitamin.com/sb-lycopene> (2013).
56. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3207?fg=&man=&facet=&format=&count=&max=25&offset=&sort=&qlookup=tomato> (2013).

57. [www.lycored.com](http://www.lycored.com) (2013).
58. [www.apecsacv.com](http://www.apecsacv.com) (2013).
59. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/sig/agricultura/sigpac/visor-sigpac-andalucia-2009/index.html> (2013).
60. <http://laboratorioediam.cica.es/VisorGenerico/> (2013).
61. [http://www.fundacionmediterranea.ual.es/archivos/varios/Foro\\_Innovacion/Mesa\\_Energia\\_Sostenibilidad/13.09.2012/Mesa.Energia.Sostenibilidad.13.09.2012.Francisco.Camacho.Ferre.pdf](http://www.fundacionmediterranea.ual.es/archivos/varios/Foro_Innovacion/Mesa_Energia_Sostenibilidad/13.09.2012/Mesa.Energia.Sostenibilidad.13.09.2012.Francisco.Camacho.Ferre.pdf)
62. [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/tomate.html](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/tomate.html) (2013)
63. [http://www.gem.es/descargas/residuos\\_agricolas/residuos\\_agricolas.html](http://www.gem.es/descargas/residuos_agricolas/residuos_agricolas.html) (2013)
64. [www.hortelanostricantinos.es](http://www.hortelanostricantinos.es) (2013)
65. <http://www.innovadex.eu/Food/Detail/4003/113114/LYC-O-MATO-7> (2013)

## XII. NOMENCLATURA

## NOMENCLATURA

Índices

a, ancho de placa

A, área

b, espacio entre placas

C, concentración o sobreespesor

C<sub>p</sub>, calor específico

C<sub>s</sub>, concentración en la superficie del sólido

d o D, diámetro

D<sub>e</sub>, diámetro efectivo

D<sub>L</sub>, difusividad del soluto a través del disolvente

E, energía, economía o masa de extracto

e, espesor de pared de placa

F, factor de corrección o masa de alimentación

G, flujo másico

g, velocidad de la gravedad

H, altura

h, coeficiente individual de transferencia de calor o altura

$\hat{H}$ , entalpía de vapor

$\hat{h}$ , entalpía líquida

k, conductividad térmica

K<sub>e</sub>, constante ebulloscópica

K<sub>L</sub>, coeficiente global de transferencia de materia

l, longitud

L, longitud de flujo

$\dot{m}$ , caudal másico

M, masa, punto mezcla o momento de fuerzas

n, número de canales o moles

N, número de placas térmicas o número de potencia

## XII. NOMECLATURA

---

$N_s$ , densidad de flujo

$Nu$ , número de Nusselt

$NUT$ , número de unidades de transferencia

$P$ , potencia, presión o peso

$p$ , retención

$P_M$ , peso molecular

$Pr$ , número de Prandtl

$Q$ , calor

$q$ , caudal volumétrico

$Q$ , flujo de calor

$R$ , masa de refinado, constante universal de gases o velocidad de secado constante

$r$ , radio

$Re$ , número de Reynolds

$S$ , masa de disolvente

$T$ , temperatura

$t$ , tiempo o espesor

$U$ , coeficiente global de transmisión de calor

$v$ , velocidad

$V$ , volumen o vapor

$w$ , caudal de concentrado

$W$ , índice de trabajo de Bond, trabajo o coeficiente de seguridad por pandeo

$x$ , distancia

$X$ , fracción másica o relación másica

$Y$ , fracción másica o humedad

$z$ , distancia en el interior del poro

$\beta$ , relación de capacidades térmicas

$\delta$ , esfuerzo

$\Delta T_e$ , aumento ebulloscópico

$\Delta T_{ml}$ , diferencia de temperaturas media logarítmica

$\epsilon$ , eficacia o espesor

$\lambda$ , calor latente de vaporización

$\mu$ , viscosidad del fluido  
 $\mu_w$ , viscosidad del fluido en la pared  
 $\rho$ , densidad  
 $\sigma$ , tensión  
 $\omega$ , revoluciones

### Subíndices

l, superficie del líquido  
A, soluto, aire o alimentación  
b, bandeja  
C, centrífuga, crítica, constante o fluido calefactor  
CE, carcasa encamisado  
CT, carcasa del tanque  
D, residual, decreciente o diseño  
E, exterior o equilibrio  
e, real de ebullición  
EF, fondo del encamisado  
f, final  
F, finos o fondo o cabezal  
G, corriente gas  
g, sedimentación  
H, hexano, húmedo o hidrostática  
I, inerte o interior  
i, inicial  
M, material o mezcla  
máx, máximo  
min, mínimo  
N, nitrógeno  
O, oleoresina u operación  
P, placa o pulpa

## XII. NOMECLATURA

---

PA, partícula

R, residuos o residencia

S, sólidos, soluto, disolvente o superior

SU, suero

T, total

V, mezcla vapores o vapor

W, agua

x, longitudinal

$\phi$ , circunferencial

### Subíndices adicionales

C, camisa

E, entrada o extractor

f, final

i, inicial

S, salida

T, total

X, exterior