

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Ingeniería Básica de una Planta de Extracción de
Aceite Esencial de “*Mentha arvensis* L.” por
Destilación de Arrastre con Vapor

Autor: Jesús Ruiz Galán

Tutora: Custodia Fernández Baco

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

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Ingeniería Básica de una Planta de Extracción de Aceite Esencial de “*Mentha arvensis L.*” por Destilación de Arrastre con Vapor

Autor:

Jesús Ruiz Galán

Tutora:

Custodia Fernández Baco

Profesora Colaboradora

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

A mi familia

A mis amigos

A mi

Agradecimientos

En primer lugar, quiero y debo agradecer a mis padres y a mi hermana por ayudarme a superar con fuerza y determinación cada uno de mis retos, por conocerme y comprenderme, y por ayudarme a relativizar las circunstancias que no tienen importancia. Gracias, porque tengo la certeza de que todo lo que he tenido, tengo y tendré, será por vosotros.

En segundo lugar, debo agradecer al resto de mi familia, especialmente a mi primo A.J., a mi tía M.G. y a mi tío J.R., por las innumerables lecciones que han moldeado mis principios y convicciones durante años, y que espero que sigan haciéndolo.

En tercer lugar, agradecer a todos mis amigos en especial a S.R., J.R., A.G., L.R., L.C., I.L. y E.G. por valorarme y confiar en mí mucho más de lo que yo lo hago. También, debo agradecer a mis amigos, que me han acompañado durante los años de universidad, en especial a D.R., I.R., A.M.N., A.M., M.A.B y M.B., por enseñarme que los amigos son la familia que se elige.

Por último, pero no menos importante, a mi tutora Custodia, a la que respeto y admiro por enseñarme que ser un buen profesional no significa retener la mayor cantidad de información posible, sino en dar respuesta a las preguntas idóneas. Rescatando una de sus frases:

“Jesús, yo no se más que nadie, simplemente me hago las preguntas adecuadas”

Resumen

El objetivo de este proyecto es desarrollar una ingeniería básica de una planta de extracción de aceite esencial de “*Mentha arvensis* L.” con una capacidad de 1,06 toneladas diarias.

En los primeros capítulos se describen las principales características de los aceites esenciales, así como, las tecnologías de extracción. También se realiza un estudio de mercado de los principales aceites esenciales en base a su proyección futura en el mercado. En base a esta información, se escoge el aceite esencial de menta japonesa.

En lo concerniente a la planta de extracción, se han diseñado los equipos que la componen. Además, se ha calculado su coste y se ha comprobado la viabilidad de la inversión, y finalmente se han propuesto mejoras del proceso para incrementar su rendimiento global de producción.

Abstract

The aim of this project is to develop the basic engineering of a mentha essential oil extraction plant with a capacity of 1,06 tons per day.

The first chapters of this project analysed the general concepts about essential oils. Moreover, this study analyses the different extraction technologies. Besides, this project develops a market study of essential oils that have the best prospects in the market. This information helped to decide which is the most attractive essential oil for investors.

As far as the extraction plant is concerned, this project contains the designs of the equipments. In addition, the cost of this plant has been calculated. And finally, some improvements in this process have been suggested in order to increase the global yield of the process.

| | |
|---|-------------|
| Agradecimientos | vii |
| Resumen | ix |
| Abstract | x |
| Índice | xi |
| Índice de Tablas | xiii |
| Índice de Figuras | xv |
| 1 Alcance y objetivos del proyecto | 1 |
| 2 Introducción | 3 |
| 2.1. <i>Introducción a los aceites esenciales</i> | 3 |
| 2.1.1. Definición de aceites esenciales | 3 |
| 2.1.2. Composición química | 3 |
| 2.1.3. Clasificación | 6 |
| 2.1.4. Propiedades físico-químicas | 7 |
| 2.1.5. Aplicaciones en estudio de los aceites esenciales | 8 |
| 2.1.6. Aplicaciones actuales de los aceites esenciales | 9 |
| 2.2. <i>Métodos de extracción de aceites esenciales</i> | 10 |
| 2.2.1. Arrastre con vapor | 10 |
| 2.2.2. Hidrodestilación | 11 |
| 2.2.3. Prensado en frío | 11 |
| 2.2.4. Extracción con fluidos supercríticos | 12 |
| 2.2.5. Extracción con solventes | 14 |
| 2.2.6. Otros métodos | 14 |
| 2.3. <i>Análisis del mercado de los aceites esenciales</i> | 16 |
| 2.3.1. Análisis del mercado internacional | 16 |
| 2.3.2. Análisis del mercado nacional | 17 |
| 2.3.3. Previsiones sobre la evolución del mercado | 19 |
| 2.3.4. Previsiones sobre los productos más demandados | 19 |
| 2.4. <i>Selección del aceite esencial</i> | 21 |
| 2.5. <i>Aceite esencial de “Mentha arvensis L.”</i> | 21 |
| 2.5.1. Descripción del aceite esencial y uso | 21 |
| 2.5.2. Parámetros de control de calidad | 21 |
| 2.5.3. Composición química | 22 |
| 2.5.4. Mercado actual del aceite esencial de “Mentha arvensis L.” | 22 |
| 3 Memoria descriptiva y justificativa | 24 |
| 3.1. <i>Diagrama de bloques</i> | 24 |
| 3.2. <i>Diagrama de flujo</i> | 25 |
| 3.2.1. Zona de Pretratamientos | 25 |
| 3.2.2. Zona de extracción y condensación | 29 |
| 3.3. <i>Justificación de las etapas de pretratamiento</i> | 34 |
| 4 Balance de materia y energía | 35 |

| | |
|---|------------|
| 4.1. Especificaciones para el balance de materia y energía | 35 |
| 4.2. Balance de materia y energía por etapas | 36 |
| 4.3. Secuencia de las etapas del proceso. | 44 |
| 5 Memoria de cálculo | 46 |
| 5.1. Parámetros y dimensionamiento del secadero de bandejas | 46 |
| 5.2. Parámetros de la caldera | 53 |
| 5.3. Parámetros y dimensionamiento del extractor | 56 |
| 5.4. Parámetros y dimensionamiento del condensador | 63 |
| 5.5. Parámetros y dimensionamiento del decantador | 68 |
| 5.6 Dimensionamiento de tanques | 69 |
| 5.7. Parámetros de bombas | 70 |
| 6 Presupuesto y Análisis de la inversión | 72 |
| 6.1. Coste de equipos | 72 |
| 6.2. Coste total de la planta | 76 |
| 6.3. Análisis de la inversión | 77 |
| 6.3.1. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) | 77 |
| 6.3.2. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR). | 79 |
| 6.3.3. Cálculo del Payback | 79 |
| 7 Planteamiento de mejoras de la planta | 80 |
| 7.1. Flexibilidad ante otros materiales y aceites | 80 |
| 7.2. Mejoras en la etapa de secado | 81 |
| 8 Conclusiones | 85 |
| 9 Hojas de especificaciones | 86 |
| Bibliografía | 101 |
| Anexos | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. La clasificación de los Terpenos según diferentes criterios. [3] | 4 |
| Tabla 2. Compuestos alifáticos que suelen estar presentes en los aceites esenciales [5]. | 5 |
| Tabla 3. Ventajas e inconvenientes del arrastre con vapor. | 10 |
| Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de la hidrodestilación. | 11 |
| Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la extracción en frío. | 12 |
| Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de la extracción con fluidos supercríticos. | 14 |
| Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de la extracción por solventes. | 14 |
| Tabla 8. Ventajas e inconvenientes del enflourage. | 15 |
| Tabla 9. Ventajas e inconvenientes de la extracción por microondas. | 15 |
| Tabla 10. Ventajas e inconvenientes de la extracción por ultrasonidos. | 16 |
| Tabla 11. Ventajas e inconvenientes de la extracción por degradación térmica. | 16 |
| Tabla 12. Composición química del aceite esencial de <i>Mentha arvensis</i> L [17]. | 22 |
| Tabla 13. Balance de materia y energía de la etapa de lavado. | 36 |
| Tabla 14. Balance de materia y energía de la etapa de secado. | 37 |
| Tabla 15. Balance de materia y energía de la etapa de trituración. | 38 |
| Tabla 16. Balance de materia y energía de la etapa de extracción. | 39 |
| Tabla 17. Balance de materia y energía de la etapa de condensación. | 40 |
| Tabla 18. Balance de materia y energía de la etapa de separación. | 41 |
| Tabla 19. Balance de materia y energía de la etapa de generación de vapor. | 42 |
| Tabla 20. Balance de materia y energía de la etapa de tanque de alimentación de agua. | 43 |
| Tabla 21. Datos de partida para el diseño del secadero. | 46 |
| Tabla 22. Especificaciones para el diseño del secadero. | 47 |
| Tabla 23. Resultados de balance de materia y tiempo de la operación de secado. | 50 |
| Tabla 24. Datos de partida para el dimensionamiento del secadero. | 50 |
| Tabla 25. Resultados del dimensionamiento del secadero. | 51 |
| Tabla 26. Parámetros del ventilador de tiro forzado del secadero. | 52 |
| Tabla 27. Parámetros de tiro inducido del secadero. | 53 |
| Tabla 28. Composición del Gas Natural comercial [27]. | 53 |
| Tabla 29. Composición elemental del Gas Natural. | 53 |
| Tabla 30. Resultados del balance de materia en el horno. | 54 |
| Tabla 31. Resultados del balance de materia y energía en el horno. | 56 |
| Tabla 32. Datos de partida para el diseño del extractor. | 56 |
| Tabla 33. Resultados del diseño de la zona de calentamiento del destilador. | 59 |
| Tabla 34. Datos de partida para el diseño de la etapa de extracción del destilador. | 59 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 35. Resultados de diseño de la etapa de extracción del destilador. | 61 |
| Tabla 36. Datos de partida para el diseño del distribuidor de vapor. | 61 |
| Tabla 37. Recomendaciones para velocidades de fluidos por tuberías [30]. | 62 |
| Tabla 38. Resultados del diseño del distribuido de vapor. | 63 |
| Tabla 39. Datos de partida para el diseño del condensador. | 63 |
| Tabla 40. Especificaciones para el diseño del condensador. | 64 |
| Tabla 41. Resultados del diseño de la etapa de condensación en el intercambiador. | 66 |
| Tabla 42. Resultados de diseño de la etapa de enfriamiento en el intercambiador. | 67 |
| Tabla 43. Resultados finales del diseño del intercambiador. | 67 |
| Tabla 44. Datos de partida para el diseño del decantador. | 68 |
| Tabla 45. Resultados del diseño del decantador. | 68 |
| Tabla 46. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-101. | 70 |
| Tabla 47. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-102. | 70 |
| Tabla 48. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-103. | 70 |
| Tabla 49. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-104. | 70 |
| Tabla 50. Parámetros y elección de bomba. | 71 |
| Tabla 51. Capacidades de los diferentes equipos de la planta. | 73 |
| Tabla 52. Parámetros K_i de los equipos de la planta. | 73 |
| Tabla 53. Correlaciones del precio final de los equipos [35]. | 74 |
| Tabla 54. Parámetros B_i de los equipos de la planta. | 74 |
| Tabla 55. Coste total de los equipos. | 75 |
| Tabla 56. Coste total de la planta aplicando el Método de Chilton. | 76 |
| Tabla 57. Cálculo del BDI anual. | 78 |
| Tabla 58. Cálculo del Flujo de Caja anual. | 79 |
| Tabla 59. Hoja de especificaciones de la bomba P-101. | 86 |
| Tabla 60. Hoja de especificaciones de la bomba P-102. | 87 |
| Tabla 61. Hoja de especificaciones del intercambiador E-101. | 88 |
| Tabla 62. Hoja de especificaciones del lavador L-101. | 89 |
| Tabla 63. Hoja de especificaciones del molino M-101. | 90 |
| Tabla 64. Hoja de especificaciones del tanque TK-101. | 91 |
| Tabla 65. Hoja de especificaciones del tanque TK-102. | 92 |
| Tabla 66. Hoja de especificaciones del tanque TK-103. | 93 |
| Tabla 67. Hoja de especificaciones del tanque TK-104. | 94 |
| Tabla 68. Hoja de especificaciones del horno H-101. | 95 |
| Tabla 69. Hoja de especificaciones del ventilador C-101. | 96 |
| Tabla 70. Hoja de especificaciones del ventilador C-102. | 97 |
| Tabla 71. Hoja de especificaciones del ventilador C-103. | 98 |
| Tabla 72. Hoja de especificaciones del secadero D-101. | 99 |
| Tabla 73. Hoja de especificaciones del extractor T-101. | 100 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Molécula de Isopreno. | 4 |
| Figura 2. Proceso del método de extracción de arrastre con vapor. | 10 |
| Figura 3. Etapas de la hidrodestilación. | 11 |
| Figura 4. Proceso de extracción del aceite esencial de limón por prensado en frío. | 12 |
| Figura 5. Diagrama P-T del CO ₂ . | 13 |
| Figura 6. Etapas de la extracción por fluidos supercríticos. | 13 |
| Figura 7. Exportaciones e importaciones internacionales de aceites esenciales por continente. (2017) Datos: OEC [14]. | 17 |
| Figura 8. Exportaciones españolas de aceites esenciales (2017). Datos: OEC [14]. | 17 |
| Figura 9. Evolución de las exportaciones españolas de aceites esenciales. (1995-2017). [14] | 18 |
| Figura 10. Importaciones españolas de aceites esenciales. Datos: OEC. [14] | 18 |
| Figura 11. Evolución de las importaciones españolas de aceites esenciales. (1995-2017) [14]. | 19 |
| Figura 12. Evolución de la producción de los aceites esenciales hasta 2025 en base a los datos de <i>Grand View Research</i> . | 19 |
| Figura 13. Evolución de la demanda de distintos aceites esenciales en EE. UU. [15] | 20 |
| Figura 14. Volumen de ventas mundiales por aplicación de los aceites esenciales. [15] | 20 |
| Figura 15. Mercado de Aceite Esencial de <i>Mentha arvensis</i> L en 2019 según “The Economic Times”. [18] | 23 |
| Figura 16. Diagrama de bloques de la planta. | 24 |
| Figura 17. Zona de pretratamientos en el diagrama de flujo. | 25 |
| Figura 18. Lavador de materiales herbáceos. Modelo QX-3-600. | 25 |
| Figura 19. Esquema de distintos tipos de secaderos de platos perforados. | 27 |
| Figura 20. Resistencia eléctrica para el calentamiento de aire de entrada del secadero. | 27 |
| Figura 21. Molino de corte SM 400. | 28 |
| Figura 22. Etapa de extracción y condensación en el diagrama de flujo. | 29 |
| Figura 23. Estrategia del control del nivel de condensado en tanque extractor. | 30 |
| Figura 24. Esquema del distribuidor de vapor. | 30 |
| Figura 25. Esquema del destilador y sus partes [21]. | 31 |
| Figura 26. Esquema de un parche de aceite esencial. | 32 |
| Figura 27. Esquema de las corrientes en intercambiador de carcasa y tubo. | 32 |
| Figura 28. Etapas de transferencia de calor en el condensador. [23] | 33 |
| Figura 29. Lavado | 36 |
| Figura 30. Secado. | 37 |

| | |
|---|----|
| Figura 31. Trituración. | 38 |
| Figura 32. Extracción. | 39 |
| Figura 33. Condensación. | 40 |
| Figura 34. Separación. | 41 |
| Figura 35. Generación de vapor. | 42 |
| Figura 36. Almacenamiento principal de agua a la planta. | 43 |
| Figura 37. Diagrama de Gantt que muestra la secuencia de actividades en una jornada en la planta. | 45 |
| Figura 38. Diagrama psicrométrico aire-agua a presión atmosférica para el cálculo de las humedades absolutas. | 47 |
| Figura 39. Dimensiones en mm de una bandeja estándar (mm) [25]. | 51 |
| Figura 40. Diseño escogido para el secadero. | 51 |
| Figura 41. Ventilador CJTHT/PLUS. | 52 |
| Figura 42. Esquema de las condiciones de cada corriente de la caldera. | 54 |
| Figura 43. Esquema del distribuidor de vapor. | 63 |
| Figura 44. Esquema de los perfiles de temperatura de la condensación en el intercambiador. | 64 |
| Figura 45. Esquema de los perfiles de temperatura del enfriamiento en el intercambiador. | 66 |
| Figura 46. Correlaciones de diseño impuestas por el código API-650. | 69 |
| Figura 47. Tipología de secadero natural elegido para el proceso. | 81 |
| Figura 48. Cantidad de agua en material en tanto por uno según el tiempo de secado. [38] | 82 |
| Figura 49. Horas de secado necesarias respecto de la humedad del material a la entrada. | 83 |
| Figura 50. Diagrama de Gantt que muestra la secuencia de actividades en una jornada con un secadero natural complementario. | 83 |

1 ALCANCE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto abordará el diseño de una planta extractora de aceites esenciales. La selección del aceite esencial se ha tomado en base a criterios como la evolución de éste en los mercados internacionales y nacionales, y la viabilidad de su método de extracción.

La idea de invertir en este tipo de planta puede ser atractiva teniendo en cuenta la preocupación social de la sociedad española actual por el cuidado de la imagen personal, la higiene y los aromas. De hecho, la Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética (stanpa) publicaba el 9 de abril de 2019 que España es el quinto mercado europeo que más productos de perfumería y cosmética consume, siendo el consumo per cápita del español de 150 €/año, lo cual sitúa a los españoles por encima de la media europea.

Tanto es así, que, según esta fuente, los productos de las categorías de higiene personal y cuidado de la piel son los más consumidos por los españoles con un 52% del consumo total. En este contexto, stanpa aclaraba que el perfume representa un 20% del total de la industria de la belleza e higiene, y que, además, ha crecido un 4,6% en el último año.

En este último ámbito, los aceites esenciales tienen una presencia clave, ya que, estos representan la base de los aromas de todos los productos comentados anteriormente. Además, los aceites esenciales naturales desplazan a los sintéticos debido a las brillantes propiedades que poseen.

Lo explicado anteriormente es lo que ha motivado este estudio. El proyecto realizado intenta cumplir con unos objetivos básicos:

1. Dar las nociones generales sobre los aceites esenciales, su composición química y principales usos.
2. Analizar las distintas tecnologías de extracción de aceites esenciales y su implantación a nivel industrial.
3. Analizar el mercado general de los aceites esenciales en su evolución pasada, en el contexto actual y en mercados futuros. De este análisis, se extraerá información sobre cuáles son los aceites esenciales con más demanda en el mercado.
4. Escoger el aceite esencial en base al análisis de las tecnologías de extracción y el análisis de mercado.
5. Realizar el balance de materia y energía de una planta de extracción del tipo de aceite escogido.
6. Acometer el diseño y el dimensionamiento de los equipos de la planta de extracción.
7. Obtener el coste de inversión total necesario de la planta y la rentabilidad económica de esta.
8. Proponer posibilidades de mejora para la planta, que ayuden a elevar el rendimiento global de producción con relación al tiempo que conllevan sus etapas.

2 INTRODUCCIÓN

En este apartado se desarrollarán conceptos teóricos inherentes a los aceites esenciales en general, además de sus propiedades más importantes a tener en cuenta para su extracción en planta. También, se justificará el aceite esencial escogido en función a su evolución pasada y previsiones futuras en los mercados financieros, y la viabilidad de los diferentes métodos de extracción.

2.1. Introducción a los aceites esenciales

2.1.1. Definición de aceites esenciales

Los aceites esenciales son un tipo concreto de metabolitos secundarios de las plantas, es decir, moléculas que no son consideradas metabolitos primarios por no participar en los procesos de respiración, aceptación de nutrientes o transporte de moléculas en ella. [1]

Estos suelen estar compuestos por alcoholes, ésteres, ácidos, fenoles y terpenos, de hecho, la esencia es una mezcla compleja de numerosos compuestos volátiles con composición química diversa, que destaca por su olor. También, son característicos por tener bajo y medio peso molecular, olor típico y alta volatilidad.

Pese a que las diferentes funciones de los metabolitos primarios en la planta, como aminoácidos, lípidos, etcétera, se tienen claras, las funciones de los metabolitos secundarios son hoy una incógnita. Se cree que tienen influencia en la defensa de la planta, tanto contra insectos, como contra depredadores mayores. [2]

Estos pueden extraerse de diferentes partes de la planta, por ejemplo:

- De la semilla: como la zanahoria, el anís o el cilantro.
- De la madera: como el sándalo.
- De las hojas y tallos: como la menta, la lavanda o el orégano.
- De las raíces: como la valeriana o el vetiver.
- De las flores: como la rosa, el lirio o el azahar.
- De los frutos y sus cáscaras: como el limón o la naranja.

2.1.2. Composición química

El aceite esencial se ha definido como un conjunto complejo de moléculas, de hasta 100 componentes. Estos pueden ser terpenos u otros compuestos alifáticos de bajo peso molecular. Se distinguen terpenoides y compuestos alifáticos.

- Terpenoide

Es aquel compuesto constituido por varias unidades de isopreno, de manera que, dependiendo de las unidades de isoprenos unidas (mostrada en la Figura 1), la molécula tendrá diferentes propiedades que se explicarán a continuación [3].

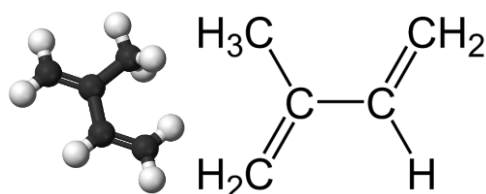


Figura 1. Molécula de Isopreno.

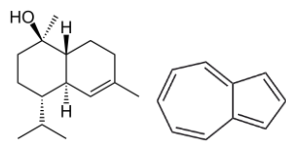
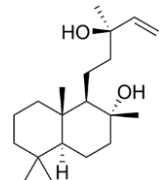
Hay diferentes criterios de clasificación de los terpenos:

- Dependiendo de su naturaleza del enlace se distinguen:
 - Terpenos regulares: provenientes de unidades de isopreno unidas de forma regular “cabeza-cola”.
 - Terpenos irregulares: estos engloban a un grupo de monoterpenos en los que no se diferencian las unidades de isopreno debido a que el tipo de unión entre isoprenos es “cabeza-mitad”. Son muy poco comunes.
 - Triterpenos y tetraterpenos. En este caso solo se da la unión tipo “cola-cola”.
- También se hacen distinciones en función de si la molécula presenta o no estructura cíclica. Unos ejemplos de terpenos cíclicos podrían ser los monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y triterpenos. Mientras que otros, como los tetraterpenos, difieren de los grupos anteriores debido a que no presentan ciclación en su carbono principal.

Los terpenos más frecuentes en los aceites esenciales son los monoterpenos, los sesquiterpenos y los diterpenos.

Tabla 1. La clasificación de los Terpenos según diferentes criterios. [4]

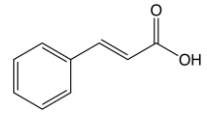
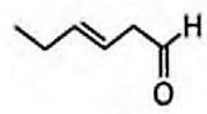
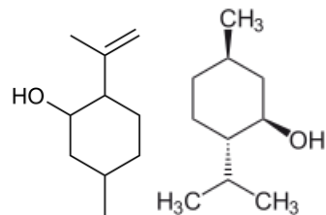
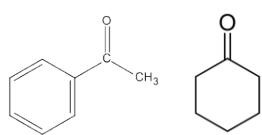
| TERPENO | | CARACTERÍSTICAS | EJEMPLOS |
|----------------|-------------|--|----------------------------|
| MONOTERPENOS | REGULARES | <ul style="list-style-type: none"> • Dos unidades isoprénicas • 10 átomos de carbono • Unión “cabeza-cola” | Linalool Alcanfor |
| | IRREGULARES | <ul style="list-style-type: none"> • Dos unidades isoprénicas • 10 átomos de carbono • Unión “cabeza-mitad” | Canfeno Fenchona |
| SESQUITERPENOS | ACÍCLICOS | <ul style="list-style-type: none"> • Tres unidades isoprénicas • 15 átomos de carbono • Unión “cabeza-cola” • No presentan ciclación | Nerolidol |

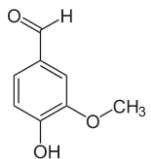
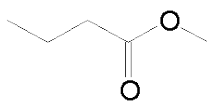
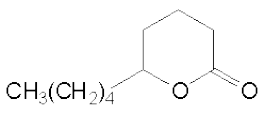
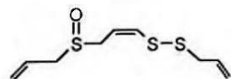
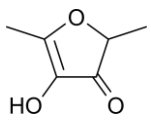
| | | | |
|-------------------|-----------------|---|---|
| | CÍCLICOS | <ul style="list-style-type: none"> Tres unidades isoprénicas 15 átomos de carbono Unión “cabeza-cola” Presentan una o más ciclaciones |  <p>Cadinol Azuleno</p> |
| DITERPENOS | | <ul style="list-style-type: none"> Cuatro unidades isoprénicas 20 átomos de carbono |  <p>Escclareol</p> |

- Compuestos alifáticos

Son compuestos formados por carbono e hidrógeno de carácter no aromático. [4]

Tabla 2. Compuestos alifáticos que suelen estar presentes en los aceites esenciales [5].

| COMPUESTO ALIFÁTICO | CARACTERÍSTICAS | EJEMPLOS Y AROMAS |
|---------------------|--|--|
| ÁCIDOS | <ul style="list-style-type: none"> Aroma depende del número de carbonos Algunos presentan aroma agradables, picantes o desagradables |  <p>Ácido cinámico (Aroma a canela y fruta)</p> |
| ALDEHÍDOS | <ul style="list-style-type: none"> Responsables del olor a verde Se encuentran en frutos como el pepino y el tomate |  <p>Trans-3-hexenal (Aroma a verde pasto)</p> |
| ALCOHOLES | <ul style="list-style-type: none"> Tienen aromas fuertes Se producen en procesos de fermentación En este grupo se encuentran los isómeros del mentol, pertenecientes a las plantas del género <i>Mentha</i> |  <p>Isopulegol Mentol</p> |
| CETONAS | <ul style="list-style-type: none"> Asociadas con aroma a metal También presentes en frutas |  |

| | | | |
|-----------------------------|-----------------|--|--|
| | | y verduras. | Acetofenona Ciclohexanona (Aromas dulce y frutales) |
| FENOLES | | <ul style="list-style-type: none"> Se vinculan con el ahumado Formados por degradación de la lignina |  <p>Vanilina (Aroma a vainilla)</p> |
| ÉSTERES Y LACTONAS | ÉSTERES | <ul style="list-style-type: none"> Muy vinculados a la fruta |  <p>Butanoato de metilo (Aroma a banana)</p> |
| | LACTONAS | <ul style="list-style-type: none"> Son ésteres provenientes de los hidroácidos |  <p>α-decalactona (Aroma a dulce)</p> |
| COMPUESTOS AZUFRADOS | | <ul style="list-style-type: none"> Responsable de olores desagradables. Los más conocidos son los presentes en el ajo y la cebolla |  <p>[Z]-ajoeno (Aroma a ajo)</p> |
| COMPUESTOS FURÁNICOS | | <ul style="list-style-type: none"> Originados por el proceso de ciclación de azúcares |  <p>Furaneol (Aroma frutal)</p> |

2.1.3. Clasificación

Los aceites esenciales se pueden clasificar atendiendo a tres criterios básicos [6]:

1. Según su consistencia. Se tienen:

- Esencias fluidas: son aquellos que a temperatura ambiente se encuentran como líquidos volátiles.
- Esencias balsámicas: presentan menor volatilidad y consistencia más espesa, por lo general, con alto contenido en ácidos benzoico y cinámico, y ésteres. Un ejemplo de este tipo de esencias es el bálsamo de tolú.
- Oleorresinas: Dentro de este grupo se pueden encontrar tres subgrupos. Son:

- Compuestos amorfos sólidos o semisólidos. Un ejemplo de ello es la colofonia. Caracterizados por tener una estructura química compleja.
- Mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. Suelen ser líquidos con viscosidad media o alta. Un ejemplo es la trementina.
- Gomorresinas: son mezclas de resina y gomas, que no son más que extractos naturales obtenidos de la planta.

2. Según su origen: Se distinguen:

- Naturales: Son los obtenidos directamente de la planta, sin ningún tipo de transformación. De manera que a nivel económico son los de mayor precio en el mercado, debido a sus bajos valores de rendimiento, es decir, se necesitaría gran cantidad de materia prima para obtener una pequeña cantidad de producto. Es el ejemplo del jasmín o la rosa.
- Artificiales: Este grupo se distinguen de los naturales porque son sometidos a algún tipo de transformación, bien sea física o química. Por ejemplo, a aceites esenciales de origen natural se les suele añadir algún aditivo como el linanool, limoneno o geraniol, que son moléculas que pueden encontrarse de forma natural en las plantas, pero que, a nivel industrial, se les añaden a los aceites naturales para potenciar su olor o sabor.
- Sintéticos: Con respecto a este grupo, hay especialistas que no contemplan que sean aceites esenciales como tal, debido a son mezclas de compuestos obtenidos por procesos de síntesis química. Esto supone toda una industria que amplía el concepto de aroma. Esto surge debido a que hay plantas o frutos de los cuales no se puede extraer un aceite esencial de forma natural, por ejemplo, el melón. Así que a partir del S. XIX se empezó a sintetizar nuevas moléculas que simularían el aroma de estos frutos. Hoy en día, pueden sintetizarse esencias aromáticas con cualquier tipo de olor. También pueden obtenerse estos compuestos que simulen los aromas de los aceites naturales como el de la lavanda, la rosa, la naranja, etcétera. Obviamente, estos tendrían un aroma prácticamente igual que los naturales, pero no poseerían las mismas propiedades. Por ejemplo, en el caso de la lavanda, el aceite sintético no conservaría el poder relajante, antiinflamatorio y antiséptico. Evidentemente, esta opción es mucho más rentable a nivel económico, que extraer cualquier tipo de aceite esencial de forma natural.

3. Según su naturaleza química: Este criterio se basa en la composición química, es decir, según su componente mayoritario. Pueden distinguirse en aquellos que están constituidos por monoterpenoides, sesquiterpenoides, o aquellos formados mayoritariamente por alcoholes, cetonas, aldehídos entre otros, tal y como se especificó en el apartado anterior.

2.1.4. Propiedades físico-químicas

Los aceites esenciales tienen características comunes, como [6]:

- Estado físico. Suelen ser líquidos a temperatura ambiente.
- Volatilidad. Suelen ser volátiles a temperatura ambiente.
- Color. Suelen ser o incoloros o ligeramente amarillentos.
- Solubilidad. Suelen ser solubles en alcoholes muy concentrados y en aceites fijos y grasas, pero tiene poca solubilidad en agua. Aunque pueden transferir su aroma a esta.
- Densidad. Los aceites esenciales son característicos por tener densidades algo inferiores a la del agua. Esta característica es muy importante tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial.

- Índice de refracción. Este está relacionado con la viscosidad. Esto último se aprovecha en las medidas de viscosidad. Para medir esta propiedad se deben coger muestras de aceite, mientras que el índice de refracción puede llegar a medirse con métodos ópticos sin tocar el aceite. A 20 °C el índice de refracción de los aceites esenciales suelen oscilar entre 1,3 y 1,7.

2.1.5. Aplicaciones en estudio de los aceites esenciales

Los aceites esenciales presentarán propiedades diferentes en función de las moléculas que los configuren. Sus propiedades son:

2.1.5.1. Propiedades anticancerígenas

Se ha comprobado científicamente que existen moléculas presentes en los aceites esenciales que son capaces de destruir selectivamente células cancerosas sin dañar las sanas.

Este tipo de sustancias son capaces de evitar mutaciones perjudiciales de células. También, pueden llegar a propiciar el fenómeno de apoptosis, es decir, el suicidio de la propia célula dañina, siendo capaces de inhibir la angiogénesis, proceso responsable del desarrollo de un tumor, y de la metástasis [7]. A continuación, se presentan varios ejemplos de aceites esenciales con esta propiedad: [8]

- Aceite esencial de tomillo. Para el cáncer de mama, próstata o pulmón debido a su componente principal, el timol.
- Aceite esencial de romero: Para el cáncer de colon, hígado, estómago, piel o sangre.
- Aceite esencial de orégano. Para el cáncer de colon o próstata debido a que contiene el carnosol.

5.1.5.2. Propiedades antimicrobianas

En estudios recientes se ha demostrado que los compuestos fenólicos tienen una gran actividad antimicrobiana. Estos pueden encontrarse en aceites esenciales como el de la mostaza, el orégano y el tomillo.

Esta propiedad se consigue por la influencia de ciertas moléculas sobre la pared celular y la mitocondria, liberando ciertos compuestos que llevan a la muerte de la célula.

5.1.5.3 Propiedades de inmunidad [9]

Algunos aceites esenciales tienen la capacidad de actuar como estimuladores de inmunidad debido a la influencia que tienen en las células responsables de la respuesta inmunológica. Algunos ejemplos son:

- Aceite esencial de mejorana quimiotipo tujanol. Esta acrecienta la formación de inmunoglobulinas de tipo A. Estas pueden encontrarse en fluidos respiratorios y saliva. Su función es la de protección de las mucosas.
- Aceite esencial de orégano. Es capaz de aumentar la concentración en sangre de las inmunoglobulinas de tipo G. Estas son las encargadas de combatir los microorganismos que acceden a la sangre u otros fluidos.
- Aceite esencial de ravintsara. Contiene una alta concentración de 1,8-cineol. Esta molécula es capaz de actuar como antiviral y expectorante.

5.1.5.4. Propiedades estimulantes de la digestión [10]

Algunos aceites esenciales pueden regular el metabolismo gastrointestinal. Estos también pueden mejorar la absorción de nutrientes, entre otros problemas. Se presentan a continuación varios ejemplos.

- Aceite esencial de albahaca exótica. Ayuda a reducir dolores y gases provocados por problemas digestivos.

- Aceite esencial de manzanilla romana. Este ayuda a reducir la acidez estomacal.
- Aceite esencial de perejil. Es un buen aliado de la digestión y tienen efectos depurativos.

Otros ejemplos pueden ser el comino, la alcaravea y la pimienta negra.

2.1.6. Aplicaciones actuales de los aceites esenciales

Son muchas las aplicaciones de los aceites esenciales tanto a nivel cotidiano como a nivel industrial. Algunas de ellas son:

- Aromaterapia. Este es uno de los usos que tradicionalmente más se les ha dado a los aceites esenciales. Su aplicación abarca desde masajes a inhalaciones. Los más habituales son los extraídos de forma mecánica, que suelen ser los cítricos como la naranja o el limón.
- Industria farmacéutica. Son usados para la producción de anetol y eugenol, los cuales son principios activos. También, son usados por sus propiedades terapéuticas, vistas anteriormente.
- Industria alimentaria. Su uso principal está relacionado con la adición a los alimentos de aromatizantes y saborizantes. La incorporación de estos a los alimentos suele ser mínima, pero depende de varios factores, como el tipo de alimento al que se quiera añadir estas sustancias, siendo por tanto dependiente de la trazabilidad del alimento o de criterios legales impuesto por cada país.
- Industria de cosméticos. El mercado de cosméticos es uno de los más demandantes de aceites esenciales. Estos son útiles para colonias, perfumes o maquillajes. Los más demandados suelen ser la lavanda, rosas o jazmín entre otros.
- Biocidas o insecticidas. Tienen una utilidad como aplicación para combatir plagas y como defensa natural de la planta ante diversos tipos de insectos.
- Desodorantes industriales. Se usan para ocultar malos olores en la producción de ciertos productos a nivel industrial como en el caso de plásticos o pinturas.
- Otras aplicaciones. Un ejemplo más es el caso de la industria del tabaco que recientemente ha globalizado la venta de cigarrillos con diferentes sabores como la menta o la lima. También en campos como la elaboración de licores, o incluso como la industria del motor, para limpiadores o pulimentos.

2.2. Métodos de extracción de aceites esenciales

A continuación, se desarrollan los principales métodos de extracción de aceites esenciales de diferentes materiales vegetales. En ellos se verá el proceso que siguen y sus ventajas e inconvenientes para ser aplicados a escala industrial.

2.2.1. Arrastre con vapor

Es el método más usado para la extracción de aceites esenciales. Este método consiste en hacer pasar una corriente de vapor por un lecho de material vegetal, previamente picado. El vapor suele inyectarse por unos tubos inferiores al material vegetal provenientes de una caldera externa. El vapor provoca que los aceites esenciales migren desde la membrana de la célula hasta el exterior. A continuación, el vapor de agua con los aceites saldría en forma de vapores para enfriarse y regresar a la fase líquida, para después separarse. En la Tabla 3 se pueden ver las ventajas e inconvenientes de este método.

A escala industrial se correspondería con el siguiente esquema:

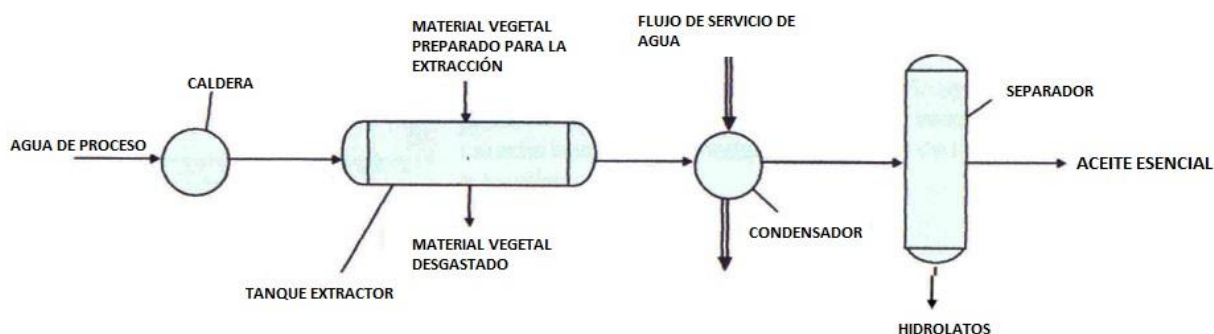


Figura 2. Proceso del método de extracción de arrastre con vapor.

1. Primera etapa. Esta etapa es la extracción por arrastre con vapor. Una vez se ha generado el vapor y entra al extractor, se obtiene la mezcla de vapor y aceite. Además, se obtiene un residuo vegetal con mayor porcentaje de humedad que al inicio de la fase.
2. Segunda etapa. Es la etapa de condensación. En esta, el vapor con el aceite esencial proveniente de la cámara de extracción se somete a un cambio de fase con un fluido refrigerante que suele ser agua.
3. Tercera etapa. Es la etapa en que se aprovecha la inmiscibilidad del aceite esencial en el agua además de la alta volatilidad de estos. De manera que se permite su separación. De esta separación se obtiene el aceite esencial como producto y un hidrolato como subproducto (agua floral).

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes del arrastre con vapor.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología muy establecida tanto a escala de laboratorio como a escala industrial. • Proceso muy limpio con un producto de gran calidad. • Bajo coste. • Relativamente altos rendimientos de extracción. • El aceite extraído es puro, es decir, libre de solventes. | <ul style="list-style-type: none"> • Es un método inapropiado para cierto tipo de materiales vegetales sensibles al calor debido a la alta temperatura con la que se trabaja. • Hay que controlar cuidadosamente las condiciones de operación para no afectar al rendimiento y para que el aceite no presente cierto olor a quemado. |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • No tiene tecnologías demasiado complejas. | |
|---|--|

2.2.2. Hidrodestilación

La hidrodestilación está menos implantada a nivel industrial que el arrastre con vapor. Suele ser usada sobre todo a escala de laboratorio. La variación con el arrastre con vapor es mínima. En este proceso, se coloca en la parte inferior del tanque de destilación la suspensión acuosa del material vegetal aromático. De esta forma, los vapores generados pasan por un serpentín enfriado por agua. Esto hace que el vapor de agua y el aceite esencial condensen. A su vez estos serán recolectados en un separador de fases, donde se separa el aceite esencial del agua. El tanque extractor (a escala industrial) o el matraz extractor (a escala piloto) es calentado a fuego directo.

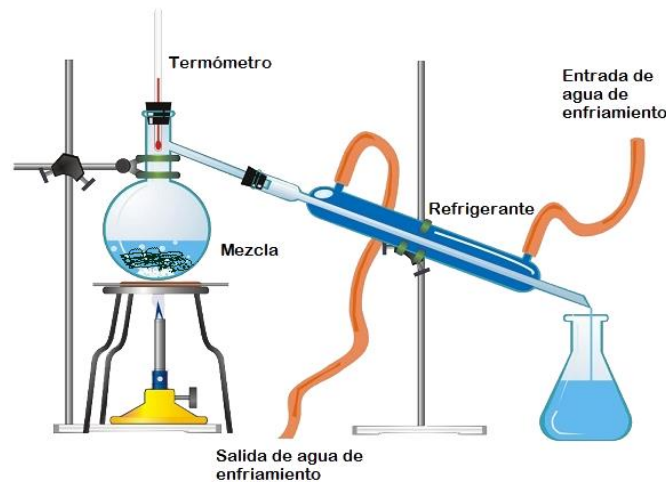


Figura 3. Etapas de la hidrodestilación.

Sus etapas son iguales al arrastre con vapor, con la diferencia de que el material vegetal se encuentra sumergido en el agua de destilación. Las ventajas e inconvenientes de este método son mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de la hidrodestilación.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • No se requiere calderín generador de vapor. • Fáciles de instalar. • Bajo coste. • Muy usados en el campo. • Operación sencilla. | <ul style="list-style-type: none"> • Los aceites obtenidos serán más coloreados que por otros métodos. • Los aceites tienden a presentar cierto olor a quemado, por lo que suelen requerir una etapa de refino. |

2.2.3. Prensado en frío

Son ampliamente utilizados a nivel industrial en procesos que involucran semillas y frutos cítricos. El prensado en frío es la mejor opción para cítricos debido a que no involucra calor en su operación y que contiene compuestos no volátiles con el vapor. El proceso consiste en un raspado o prensado que rompe los sacos de aceite cercanos a la superficie de la fruta [11]. Véase en la Tabla 5 las ventajas e inconvenientes de este método.

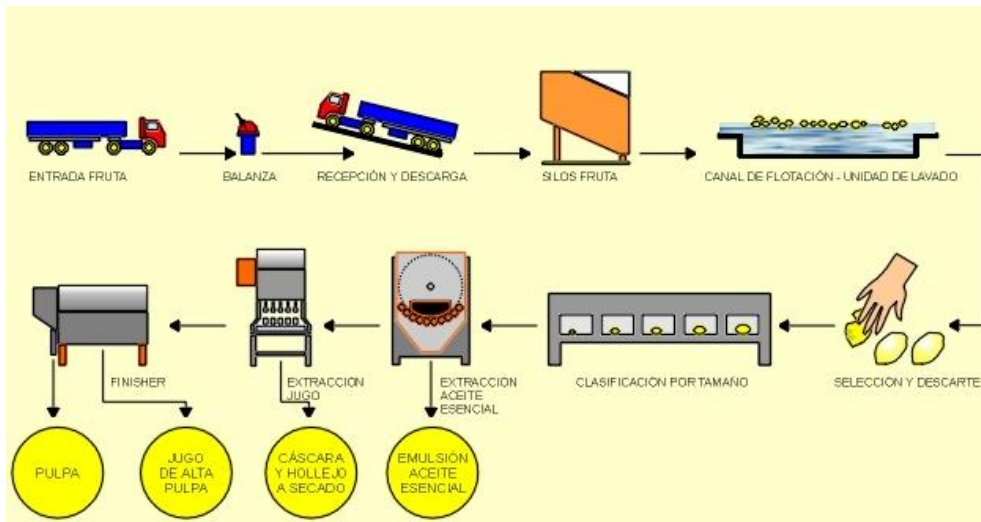


Figura 4. Proceso de extracción del aceite esencial de limón por prensado en frío.

Sus etapas son [11]:

1. Primera etapa. A medida que se extrae el aceite, se añade agua para lavarlo de la piel formando un líquido viscoso.
2. Segunda etapa. La piel es lavada con agua, y ese líquido es llevado a un prensado final que separará el aceite de los restos de piel.
3. Tercera etapa. La solución de aceite se centrifuga a 8.000-10.000 rpm para separar la parte viscosa en una emulsión rica en aceite, una solución acuosa y material sólido.
4. Cuarta etapa. A menudo la parte acuosa puede tratarse con un proceso de filtración y retornar al lavado con la cáscara. Por otra parte, la parte sólida suele rechazarse. Y el aceite suele ser tratado con enzimas para aumentar el volumen de aceite, debido a la ruptura de ciertos enlaces.

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la extracción en frío.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología muy establecida en la industria. | <ul style="list-style-type: none"> • El aceite sale con impurezas sólidas. • Requiere de tratamiento posterior. • Operación y equipo costosos. |

2.2.4. Extracción con fluidos supercríticos

Aunque está implantado en la industria, este proceso conlleva muchos gastos en equipos, es decir, su inversión inicial es elevada. Para entender este método, sería conveniente definir el concepto de punto crítico. El punto crítico, para un gas o un vapor, se corresponde con unas condiciones de presión y temperatura por encima de las cuales, la sustancia no puede ser licuada por incremento de presión. Los fluidos en este estado presentan propiedades físicas como la viscosidad, la difusividad y la densidad muy peculiares. El fluido más usado en este tipo de situaciones es el dióxido de carbono (CO_2).

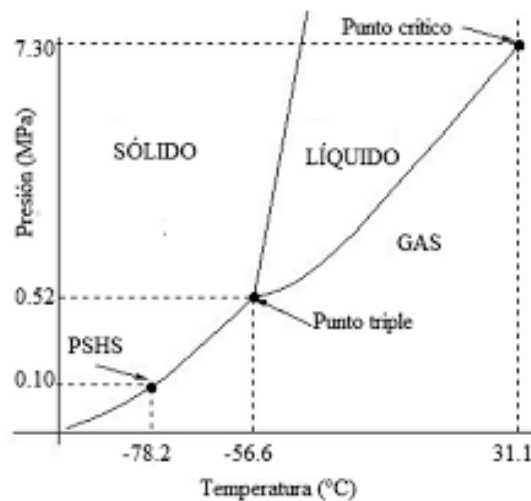


Figura 5. Diagrama P-T del CO₂.

EL dióxido de carbono en condiciones supercríticas es usado debido a su baja viscosidad y tensión superficial, y alto coeficiente de difusión. Además, el CO₂ se caracteriza por no ser ni tóxico, ni explosivo. Sus condiciones de presión y temperatura críticas con de 73 bar y 31 °C respectivamente. Este método tiene los inconvenientes mostrados en la Tabla 6.

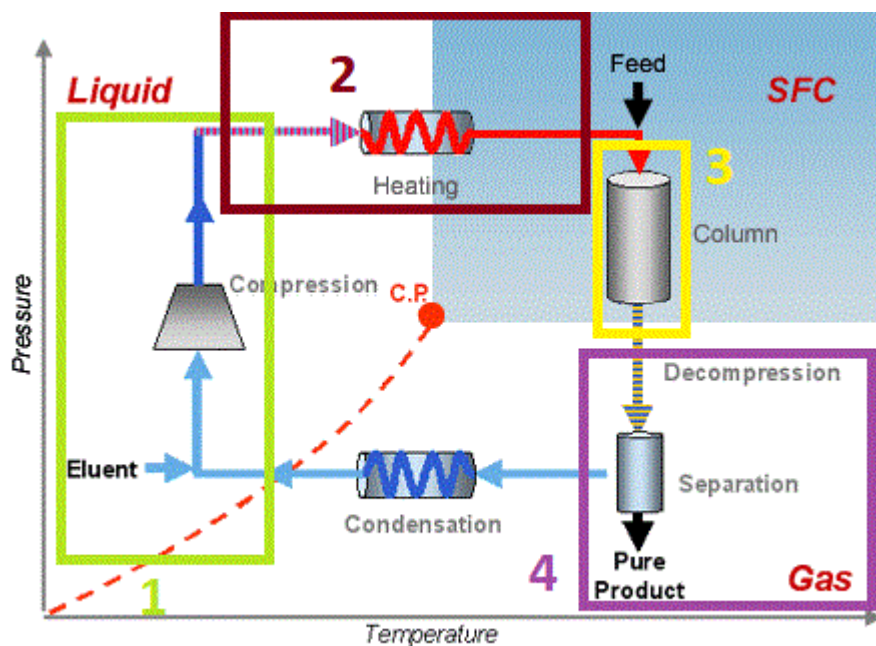


Figura 6. Etapas de la extracción por fluidos supercríticos.

El proceso consta de cuatro etapas:

1. Primera etapa. Es la etapa de presurización. Se lleva al fluido por encima de las condiciones críticas.
2. Segunda etapa. Es la etapa de ajuste de temperatura. Se eleva la temperatura con un intercambiador de calor.
3. Tercera etapa. Es la etapa de extracción. Se hace pasar el fluido por el extractor con la materia prima.
4. Cuarta etapa. Es la etapa de separación. El gas se descomprime a una presión inferior a la crítica liberando el aceite esencial.

Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de la extracción con fluidos supercríticos.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Rendimientos altos. • No contaminante. • El aceite no es alterado químicamente. • Se puede cambiar la composición del aceite, alterando las condiciones de operación. | <ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos, ceras, entre otros, también son extraídos con el aceite esencial. • Inversión inicial elevada. |

2.2.5. Extracción con solventes

Suele usarse a escala de laboratorio puesto que, a escala industrial resulta caro debido al valor comercial de los solventes. La operación de recuperación de los solventes suele ser la destilación atmosférica o a vacío, ya que, el solvente también extrae otros compuestos como ceras, grasas o proteínas [12].

La materia prima debe ser triturada para conseguir una mayor superficie de contacto entre sólido y solvente. En este proceso la mezcla debe estar en continua agitación para una mejor eficiencia. Los solventes más usuales son el etanol, metanol, isopropano, ciclohexano, hexano, cloroformo, acetona, éter etílico, tolueno, xileno, entre otros. Para el proceso puede realizarse por batch, es decir, por lotes, o en forma continua, por percolación, lixiviación, etcétera. En la Tabla 7 se muestran las ventajas y desventajas de este método.

Las etapas serían:

1. Primera etapa. Es la preparación de la materia prima
2. Segunda etapa. Extracción del aceite esencial.
3. Tercera etapa. Destilación atmosférica o a vacío para la recuperación del solvente.

Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de la extracción por solventes.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Se trabaja a condiciones ambientales. • Pueden separarse los componentes individualmente. | <ul style="list-style-type: none"> • Muy contaminante. • Co-extracción de ácidos grasos, ceras, etc. • Riesgo de incendio. • Operación costosa. |

2.2.6. Otros métodos

2.2.6.1. Enfleurage

Este método no es usado actualmente a escala industrial, aunque ha sido muy importante en los orígenes de la perfumería. El único uso que se le conoce es la extracción de aceites esenciales como el de jazmín o la violeta, los cuales no aceptan métodos de destilación ni estrujamiento.

Las etapas son:

1. Primera etapa: Extender grasas naturales en bandejas de unos 5 mm de profundidad, en las cuales se colocan las flores o el material vegetal, para días más tarde extraer los principios odoríferos. Esta operación suele durar unos de 3 a 5 días. Las mantecas deben tener un punto de ablandamiento de unos 40 °C.

2. Segunda etapa. La grasa impregnada del principio activo, conocido como “le pomade”, se lava con alcohol en relación 1/1 dos veces.
3. Tercera etapa. El alcohol se filtra y se destila a vacío, en unas condiciones de 21 inHg de presión y 30 °C de temperatura. Se recupera el 80% del volumen de alcohol, de manera que en el fondo quede un residuo denominado “absolute”.

Tabla 8. Ventajas e inconvenientes del enfleurage.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Aceite esencial de gran calidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Método antiguo en desuso a nivel industrial. • Requiere mucha mano de obra. • Ampliamente superado por los demás métodos de extracción. |

2.2.6.2. Extracción por microondas

Consiste en calentar el material vegetal por energía de las microondas para elevar su temperatura y por tanto producir la ruptura de las glándulas de la planta para liberar el aceite esencial. El material vegetal es siempre introducido en un disolvente orgánico que suele ser el CCl₄.

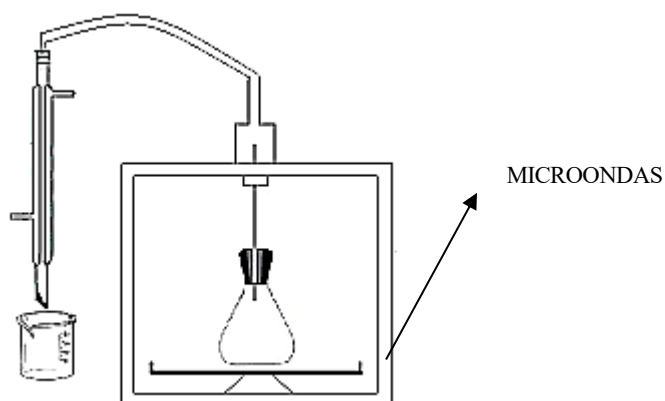


Tabla 9. Ventajas e inconvenientes de la extracción por microondas.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Método rápido. • Buen rendimiento. | <ul style="list-style-type: none"> • Gran inversión inicial. • Peor calidad de los aceites obtenidos. |

2.2.6.3. Extracción por ultrasonidos

Este método consiste en usar ondas de ultrasonido de alta frecuencia en un rango de 18 a 100 kHz, con el fin de desprender el aceite del material vegetal, debido a la vibración de las partículas. A continuación, el aceite pasaría a formar parte del solvente.

Tabla 10. Ventajas e inconvenientes de la extracción por ultrasonidos.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste. • Tecnología limpia. • Gran proyección para el futuro a nivel industrial. | <ul style="list-style-type: none"> • El sonido puede llegar a producir problemas de cavitación en los equipos. |

2.2.6.4. Extracción por degradación térmica

Suele ser utilizado para extraer aceites esenciales de ciertos tipos de madera que contienen compuestos sesquiterpénicos, los cuales soportan temperaturas extremas. Algunos ejemplos de aceites esenciales obtenidos por este método son el de enebro o el de breva de abedul.

El proceso consta de una serie de etapas.

1. Primera etapa. Trituración de la madera.
2. Segunda etapa. Ubicarla en un espacio cóncavo que se encuentra debajo de una plancha. Encima de esta se coloca carbón.
3. Tercera etapa. Al quemar este carbón se produce la degradación térmica de la madera. Por tanto, debajo de la madera debe incorporarse un filtro, de donde se obtendrá el aceite esencial.

Tabla 11. Ventajas e inconvenientes de la extracción por degradación térmica.

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Extrae aceites esenciales difíciles de conseguir por otros métodos. • Aplicable a escala rural. | <ul style="list-style-type: none"> • No es una tecnología limpia. • Operación difícil con requerimientos de mucha mano de obra. • Se trabaja a altas temperaturas. |

2.3. Análisis del mercado de los aceites esenciales

En este apartado se estudiará de forma general el mercado internacional y nacional, tanto en su situación actual, como su evolución en los años anteriores, así como las previsiones propuestas por ciertos organismos para este mercado. También se estudiarán cuáles podrían ser los aceites esenciales más interesantes a nivel comercial en base a dichas previsiones.

2.3.1. Análisis del mercado internacional

Según los datos recogidos por “The Observatory of Economic Complexity” (OEC), el mercado de los aceites esenciales está dominado a nivel internacional tanto en exportaciones como en importaciones, por los países europeos como conjunto, seguidos de Asia y América del norte. En este contexto, Oceanía, África o América del Sur quedarían en un segundo plano.

Un detalle muy importante es que los países con mayores cifras de importaciones y exportaciones no se encuentran en Europa, si no que son pertenecientes a América del Norte, Asia o América del Sur.

Con respecto a las exportaciones, es EE. UU. la mayor potencia, con el 13% [13] de las exportaciones mundiales

de aceites esenciales. También es el país con más importaciones con un 23% [13] de las importaciones globales, va seguido de Francia, Alemania y Reino Unido. Se muestran en la Figura 7 los responsables principales a nivel continental de las importaciones y exportaciones.

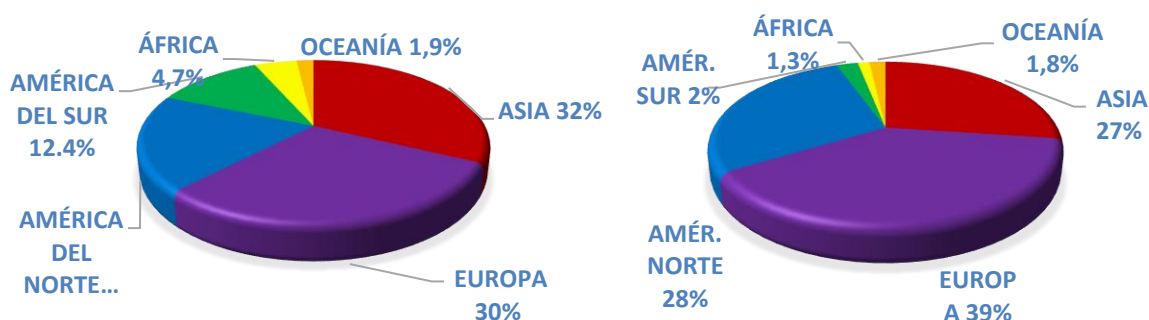


Figura 7. Exportaciones e importaciones internacionales de aceites esenciales por continente. (2017) Datos: OEC [13].

2.3.2. Análisis del mercado nacional

Según los datos del OEC, España en general sigue la tendencia internacional, es decir, los mayores valores en importaciones y exportaciones de España radican en los países europeos. Aunque los demás continentes no se encuentran tan desplazados como hacían mostrar los datos internacionales.

- Exportaciones

La mayor parte de las exportaciones de aceites esenciales se realizan a países europeos por valor de 79,9 millones de dólares. Los países a los que más exporta España serían; Francia, Alemania y EE. UU.

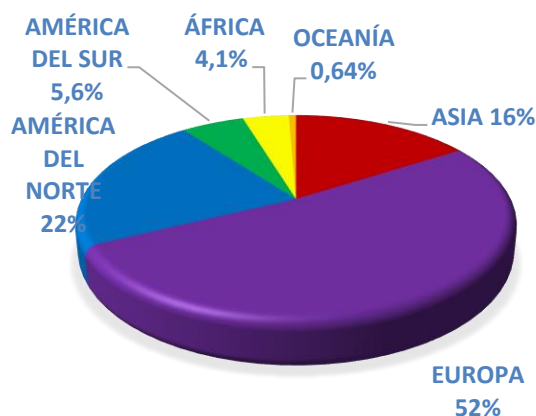


Figura 8. Exportaciones españolas de aceites esenciales (2017). Datos: OEC [13].

En este contexto también se puede estudiar cómo ha sido la evolución del mercado español de los aceites esenciales. Para ello se usará los datos facilitados por la OEC. En la Figura 8, se pone de manifiesto que otros países europeos son importantes en las exportaciones españolas.

Pese a que hasta el año 2003 el mercado se encontraba “adormilado”. Desde este año, empezó a darse una clara tendencia creciente con altibajos. La mayor caída en las exportaciones nacionales se dio entre los años 2011 y 2012, que se solventó rápidamente hasta alcanzar en 2017 la mayor cota en exportaciones en este mercado.

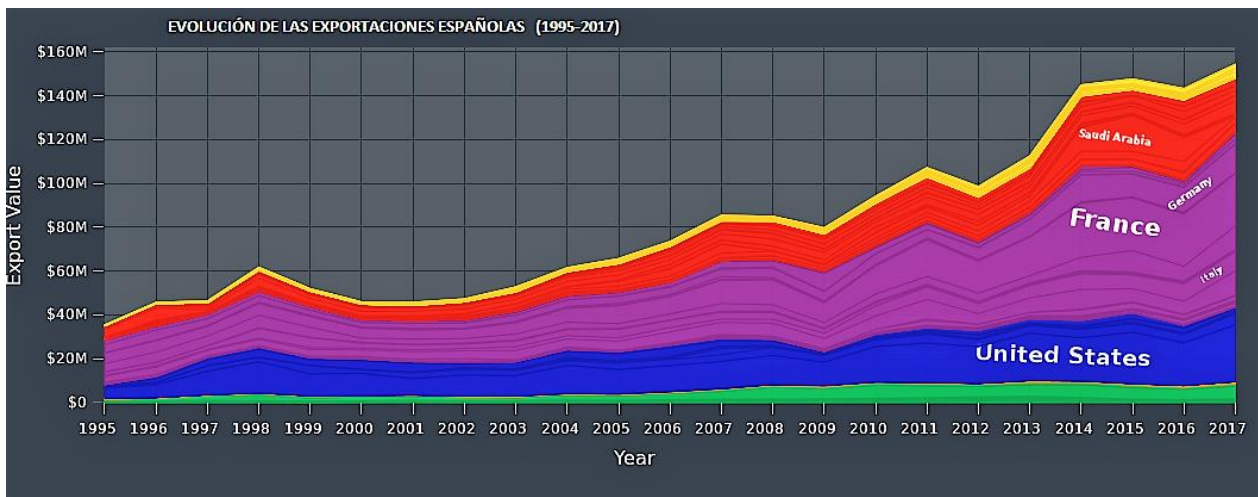


Figura 9. Evolución de las exportaciones españolas de aceites esenciales. (1995-2017). [13]

- Importaciones

Como puede apreciarse en la Figura 10, la mayor parte de las importaciones de aceites esenciales se realizan desde Asia, por valor de 64,8 millones de dólares. Se destacan países como China, Francia e Indonesia.

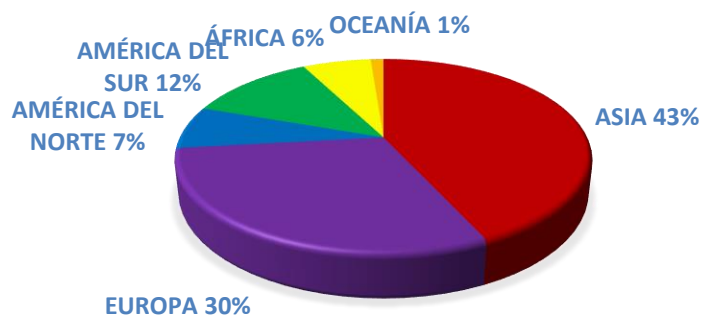


Figura 10. Importaciones españolas de aceites esenciales. Datos: OEC. [13]

Al igual que en el caso de las exportaciones, se puede comprobar que en España las importaciones empezaron a experimentar un crecimiento claramente creciente desde el año 2003. La mayor caída del mercado desde el ángulo de las importaciones fue la del año 2009, que rápidamente remontó alcanzando una cota bastante elevada en 2010. Como en las exportaciones, las cotas más altas se encuentran en 2017.

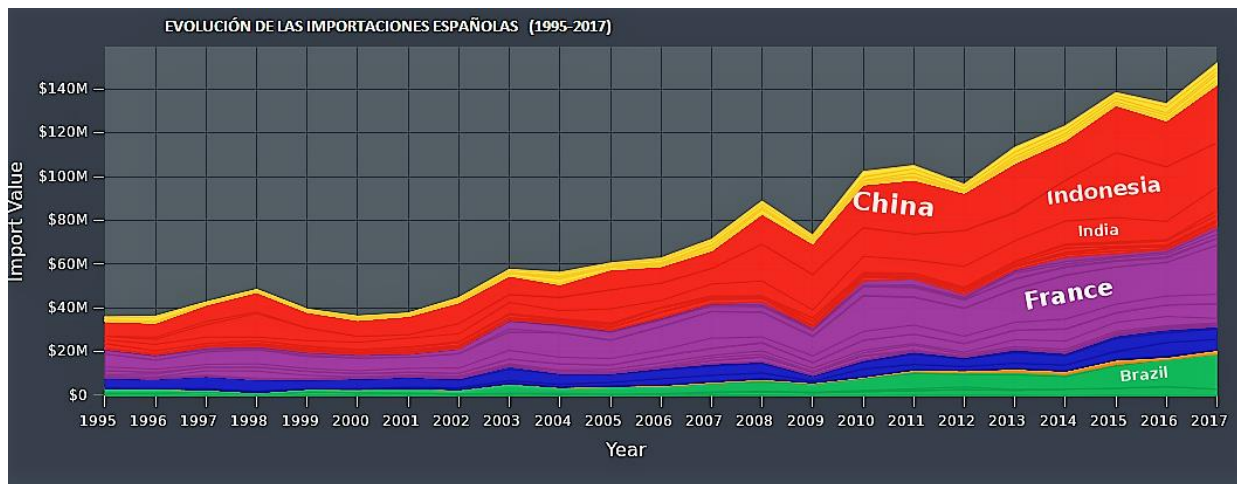


Figura 11. Evolución de las importaciones españolas de aceites esenciales. (1995-2017) [13].

2.3.3. Previsiones sobre la evolución del mercado

Según los datos proporcionados por Grand View Research en “*Essential Oils Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Cleaning & Home, Medical, Food & Beverages, Spa & Relaxation), By Product, By Channel, And Segment Forecasts, 2019-2025.*”, publicado en 2019, estiman que la demanda global de aceites esenciales está en 226,9 kilotoneladas. Además, se prevé que se expandirá a un CAGR¹ de 8,6% anual desde 2019 hasta 2025, el cual puede verse en la Figura 12. De modo que se puede esperar un aumento anual del nivel de producción de forma muy sostenida [14]

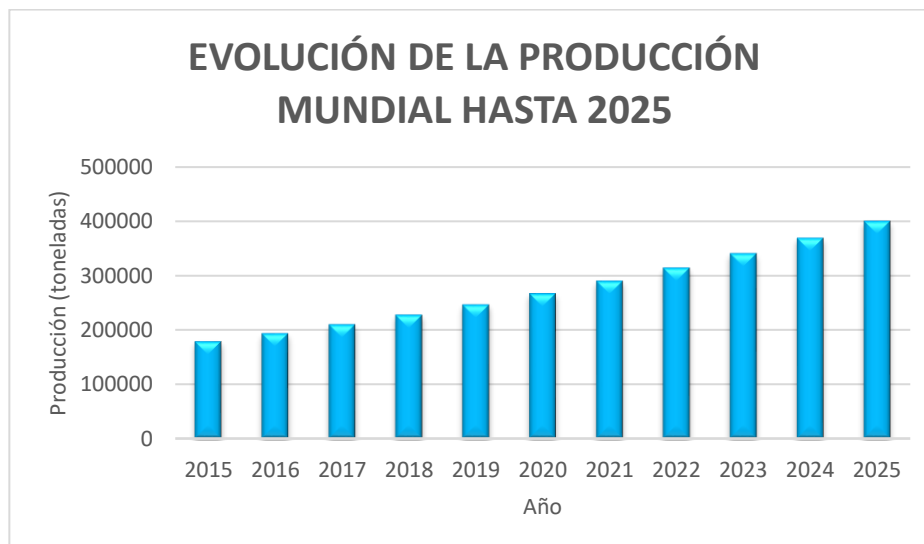


Figura 12. Evolución de la producción de los aceites esenciales hasta 2025 en base a los datos de *Grand View Research*.

2.3.4. Previsiones sobre los productos más demandados

Una vez conocida la tendencia del mercado general, es conveniente conocer qué productos serán los más demandados, para asegurar en la medida de lo posible la rentabilidad financiera de la planta de extracción. A

¹ CAGR: es la Tasa de Retorno “Suavizada”. Esta se encarga de medir el crecimiento de una inversión como si hubiera aumentado a un ritmo anual constante de forma anual compuesta. [41]

continuación, en la Figura 13, publicada por *Grand View Research*, se muestran los productos que van a experimentar un significativo aumento en su demanda en EE. UU. Esto puede ser un buen indicador de cómo va a evolucionar el mercado internacional, debido a que, como se ha apuntado anteriormente, EE. UU. es el mayor exportador e importador de aceites esenciales a nivel mundial.

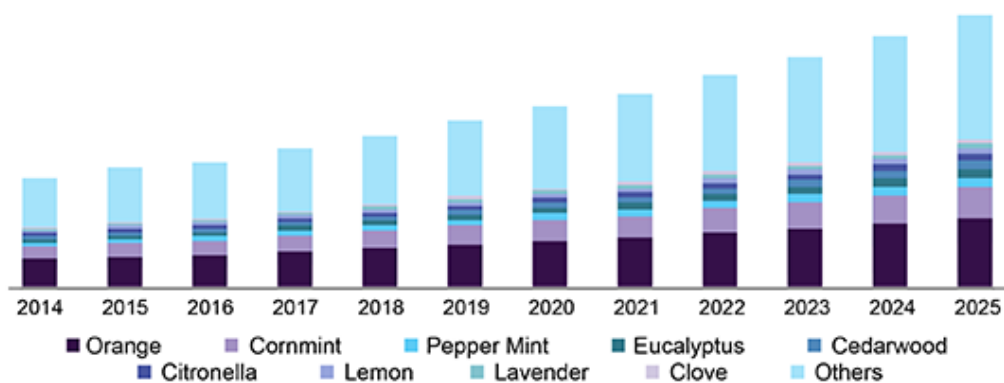


Figura 13. Evolución de la demanda de distintos aceites esenciales en EE. UU. [14]

Como se puede observar, el aceite de naranja va a ser uno de los que se estima que tendrá un aumento en su demanda, junto con la menta o el eucalipto. Otros, como el clavo o el limón no experimentarán aumento en su demanda, pero tampoco decrecimiento.

En este contexto, *Grand View Research* tiene en cuenta las razones por las que el mercado de los aceites esenciales está en pleno crecimiento y en qué sectores del mercado hay mayor demanda de estos.

Según *Grand View Research* las razones del crecimiento del mercado son:

- Incremento de la preocupación social por la imagen personal.
- Incremento de la preocupación social por el consumo de productos naturales.
- I+D. Desarrollo de nuevos métodos de extracción de aceites esenciales cada vez más sofisticados y baratos.
- Otros, como el desarrollo de la industria alimentaria.

Por otro lado, en 2018 se comprobó que la mayor parte de la demanda de aceites esenciales se focalizó en el sector alimentación a la cabeza, y en el sector spa y relajación, como se puede apreciar en la Figura 14.

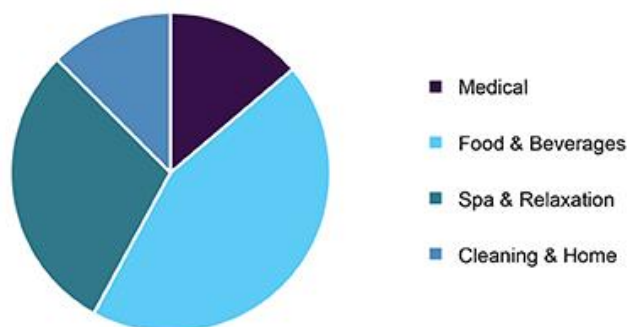


Figura 14. Volumen de ventas mundiales por aplicación de los aceites esenciales. [14]

2.4. Selección del aceite esencial

En base a los datos recogidos del mercado general de los aceites esenciales y de su forma de extracción a nivel industrial, se escogerá un aceite esencial, el cual se llevará a extracción en la planta a diseñar.

En primer lugar, se ha podido comprobar que, a nivel industrial, los métodos más implantados son; el arrastre con vapor y el prensado en frío. De entre estos métodos, se puede afirmar que el arrastre con vapor resulta en general el método más atractivo en cuanto a costes de inversión y costes operacionales. Hay que tener en cuenta que el proceso de prensado en frío involucra una gran cantidad de elementos mecánicos como estrujadoras, trituradoras, etcétera, lo cual aumenta el coste en electricidad. Además, con este método el producto puede contener residuos sólidos, los cuales deben ser eliminados en tratamientos posteriores.

Por otro lado, a partir de los datos proporcionados por el análisis de mercado anterior, se deduce que el mercado de los aceites de esenciales, en general, está en auge. Pero dentro de estos, hay algunos que muestran previsiones en los mercados especialmente atractivas para los inversores. Estos son; el aceite esencial de naranja y el aceite esencial de menta japonesa o “*Mentha arvensis L.*”. Ambos no tienen la misma demanda, pero sí el mismo índice de crecimiento de precios y producción, lo cual los hace igual de deseables a nivel de inversión.

Por su parte, el aceite esencial de naranja es extraído mediante prensado en frío mayoritariamente, mientras que el aceite esencial de menta es extraído por arrastre con vapor.

Se ha seleccionado el aceite esencial de “*Mentha arvensis L.*” por tener una amplia implantación a nivel industrial, con bajos costes y por ser un producto con un gran potencial en el mercado actual y futuro.

2.5. Aceite esencial de “*Mentha arvensis L.*”

2.5.1. Descripción del aceite esencial y uso

Para la extracción de este aceite se usa la conocida *Mentha arvensis L.* perteneciente a la familia de las Labiadas. El aceite se presenta como un fluido líquido transparente que va de incoloro a amarillento pálido y olor a menta fresca. Los usos para los que están destinados este aceite, en los cuales reside el gran potencial de su mercado son:

- Tratar dolores musculares o afecciones.
- Mejorar de la circulación con la vasodilatación de los vasos sanguíneos.
- Aliviar picor y dolor de garganta y tos.
- Potenciar la memoria, concentración y buen funcionamiento del cerebro.
- Regular funciones estomacales.
- Eliminar dolores de cabeza.
- Relajar.

Además de esto, este aceite esencial se encuentra en cremas, geles, pastas de dientes, chicles, gracias a la sensación de frescor que causan los cristales de menthol [15].

2.5.2. Parámetros de control de calidad

Sus propiedades fisicoquímicas son:

- Densidad (a 20°C): 0,893-0,912 g/ml
- Índice de refracción: 1,4550-1,4650
- Solubilidad: 1:4 en etanol a 70 °C

2.5.3. Composición química

En la Tabla 12 se recogen el porcentaje en peso de los compuestos que forman el aceite esencial de menta japonesa según “*Chemical Composition and Antimycotic Activity of the Essential Oils of Corn Mint (Mentha arvensis) and Lemon Grass (Cymbopogon flexuosus) Against Human Pathogenic Fungi*” de A.K Pamdey, M. K. Rai y D. Acharya. Puede comprobarse que la mayor parte de este aceite esencial es menthol.

Tabla 12. Composición química del aceite esencial de *Mentha arvensis* L [16].

| Molécula | Porcentaje (%) (p/p) |
|----------------------------|----------------------|
| 3-Octanol | 1,21 |
| Fenchona | 0,16 |
| <i>endo</i> -Fenhol | 0,21 |
| p-Mentona | 8,04 |
| Iso-Mentona | 5,42 |
| Neo-Menthol | 3,18 |
| Menthol | 71,40 |
| Isopulegol | 1,96 |
| Eugenol | 0,5 |
| Cis-Jasmone | 0,15 |
| β -Bisaboleno | 0,17 |
| Cis-3-Hexenilpentilacetato | 0,39 |
| β -Eudesmol | 0,2 |

2.5.4. Mercado actual del aceite esencial de “*Mentha arvensis* L.”

Para tener un seguimiento exhaustivo de la evolución de la demanda y precios del aceite esencial de “*Mentha arvensis* L.” en los mercados financieros, se han escogido los datos reportados del portal “*The Economic Times*” a fecha de 17 de Junio de 2019. El producto seleccionado presenta una evolución creciente en los últimos meses.



Figura 15. Mercado de Aceite Esencial de *Mentha arvensis L* en 2019 según “The Economic Times”. [17]

En la Figura 15 se ve una tendencia, con un RSI² de 2,13. Esto quiere decir que el mercado se encuentra en situación de sobreventa, y por tanto en pleno crecimiento a la vez que lo hacen sus precios desde el punto de vista del inversor.

De hecho “The Economic Times” aclaraba: “*Los precios del aceite esencial de menta subieron el lunes (17/06/2019) respaldado por un aumento en la demanda de las industrias consumidoras en los mercados de spot. Los especuladores aumentaron sus posiciones en el futuro debido al aumento en la demanda por los mercados de spot frente a los suministros limitados de las principales regiones productoras*”. [17]

Esto último quiere decir que; la demanda crece por encima de la oferta que ofrecen las principales regiones productoras de este aceite esencial, lo cual se traduce en una muy buena predicción de su producción a nivel internacional, haciendo cada vez más atractiva la idea de acometer una inversión futura en la implantación de este tipo de industria en cualquier lugar del mundo, casi desvinculándose de las zonas de cultivo típicas.

Esto último hace la opción de la implantación de la planta de extracción de aceite esencial de “*Mentha arvensis L.*” que sea muy atractiva en el contexto actual y futuro, hasta al menos 2025, según lo publicado por “Grand View Research”.

² RSI es el Índice de Fuerza Relativa que indica con la fuerza con la que suben y bajan los precios. Si su valor se sitúa de 0 a 30 el producto está en sobreventa y si está de 70 a 100 en sobrecompra. De 30 a 70 los precios permanecerían neutrales [42].

3 MEMORIA DESCRIPTIVA Y JUSTIFICATIVA

En este capítulo se mostrará el diagrama de bloques y de procesos de la planta. Además, se explicará de forma detallada cada una de las etapas que conforman el proceso.

3.1. Diagrama de bloques

En este diagrama se representan las operaciones básicas que forman el proceso sin entrar en detalle de los equipos. También se representan de forma resumida las corrientes de entrada y salida del proceso.

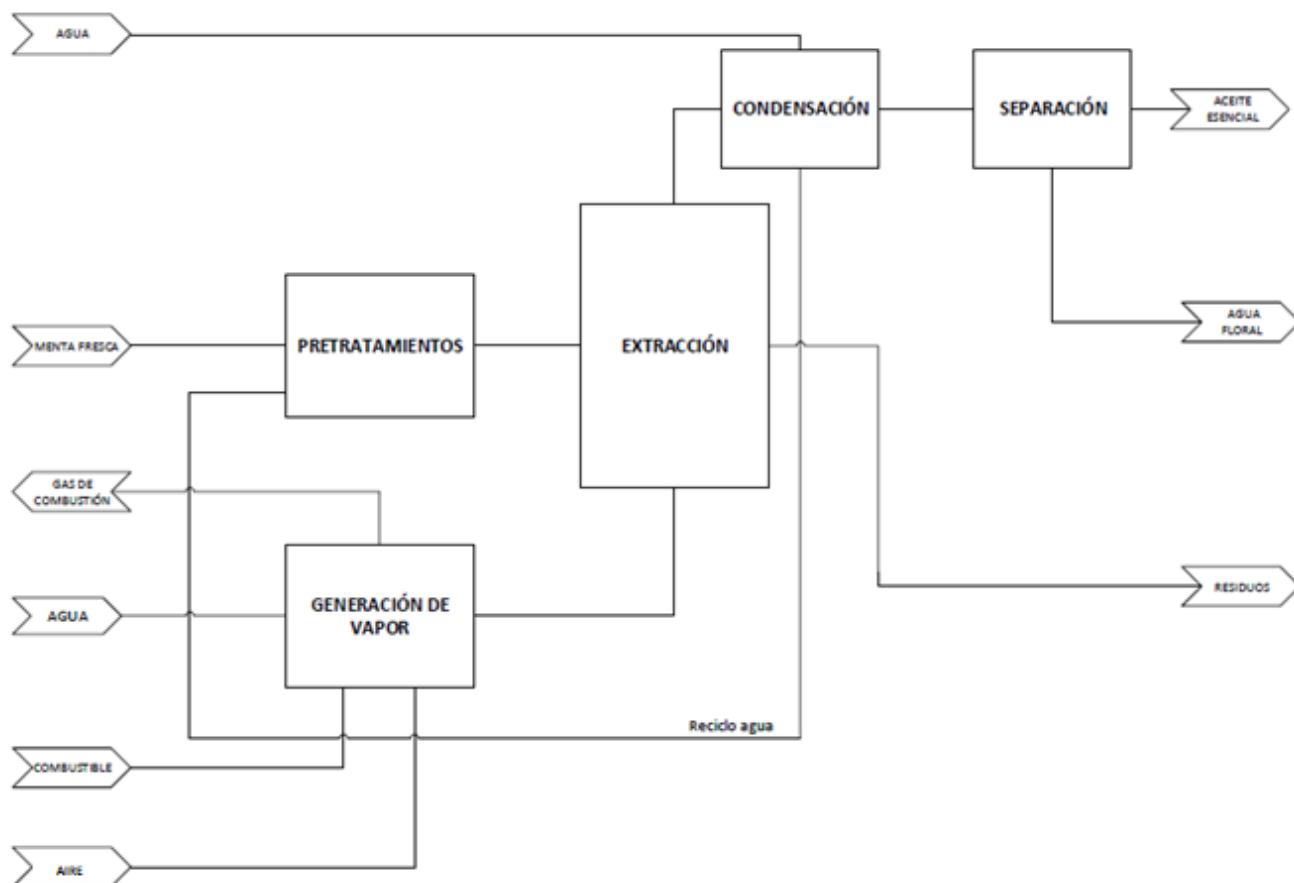


Figura 16. Diagrama de bloques de la planta.

La materia prima es sometida a unos pretratamientos para acondicionarla para su posterior extracción con vapor y finalmente con la condensación y separación se obtiene el aceite esencial.

3.2. Diagrama de flujo

Se explican por separado las distintas zonas del diagrama de flujo, explicando el objetivo de cada uno de sus equipos, la operación de cada uno de ellos y sus parámetros de diseño y dimensionamiento más importantes. El diagrama de flujo se encuentra en el Anexo A.

3.2.1. Zona de Pretratamientos

En primer lugar, se tiene la zona de pretratamientos. Véase la Figura 17, donde se puede ver esta zona del diagrama de flujo.

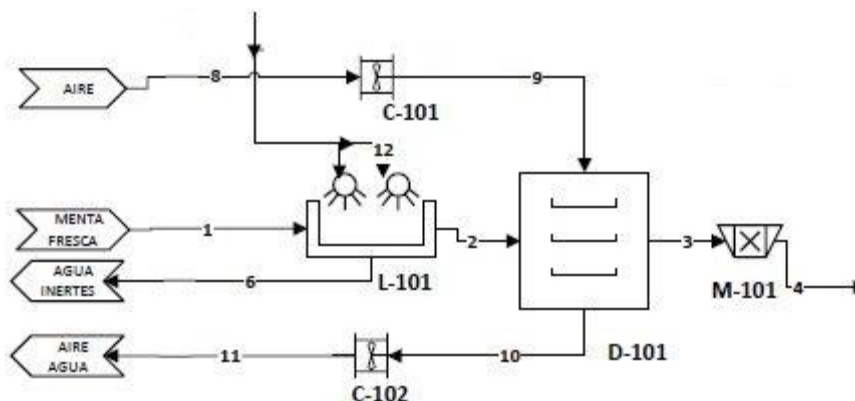


Figura 17. Zona de pretratamientos en el diagrama de flujo.

En la zona de pretratamientos se distinguen tres etapas, siendo estas el lavado (L-101), el secado (D-101) y la trititación (M-101).

3.2.1.1. Operación de lavado

Al entrar a la planta, se supone que toda la masa de menta viene directamente de su recolección. De manera, que es muy importante un lavado previo para prevenir que inertes como tierra o polvo, o algunos insectos y microorganismos interfieran negativamente en las operaciones posteriores. Se ha escogido un lavador de frutas/hierbas industrial por catálogo de la empresa “Zibo Taibo”. El modelo escogido es QX-3-600.



Figura 18. Lavador de materiales herbáceos. Modelo QX-3-600.

El principio de trabajo consiste en que la menta entra y es sometida a un burbujeo de aire a alta presión al ser introducida en agua. Esto es posible gracias al generador de burbujas que hay en el interior del tanque de agua. Estas burbujas de aire pueden frotar el material y hacerlo rodar, para así imitar el lavado manual.

Además, para una mayor eficiencia, el equipo tiene incorporado válvulas de pulverización de alta presión por encima del material herbáceo y el agua. Este es conocido como lavado secundario.

Posteriormente, el material es elevado automáticamente, mientras tanto, se sigue pulverizando agua en el material. La velocidad de transporte puede ser ajustada en el convertidor de frecuencia libremente.

Por último, es importante comentar que puede incorporarse un generador de ozono, para que también entren burbujas de ozono que desinfecten y esterilicen. Esto realmente no es esencial para el proceso seguido en este proyecto, debido a que después de la etapa de lavado, secado y trituración, se someterá al material a la extracción de su aceite esencial en un destilador. En este destilador se alcanzarán temperaturas de hasta 100 °C, condiciones a las cuales se conseguirán eliminar los microorganismos presentes, que no haya conseguido eliminar el lavado.

Además del generador de burbujas de ozono se pueden incorporar opcionalmente los siguientes elementos:

- Rodillos suaves.
- Cepillos de rodillos.
- Dispositivo de reciclaje de agua.

3.2.1.2. Operación de Secado [18]

Después de lavar los sólidos, se requiere un equipo que reste la humedad necesaria al sólido para la extracción de su aceite. Esta operación es necesaria, ya que, la menta es un material natural en cuyas estructuras celulares trae gran cantidad de agua. A esto se le suma el agua de lavado previo. Esta agua puede conllevar problemas en la conservación de la materia prima en la planta y en la etapa de extracción, ya que, el agua puede dificultar la liberación del aceite esencial de las estructuras celulares.

Con respecto al secado de menta se ha decidido que la mejor opción es el secadero de platos perforados o de bandejas. Este es el más utilizado para tratar todo tipo de hierbas. Tiene operación discontinua, es decir, se le introduce una carga de menta, y cuando se complete el ciclo de secado, se vuelve a introducir el siguiente lote. Por otro lado, en el caso del secado de plantas, para un proceso de producción de aceites esenciales, es muy importante definir correctamente la temperatura de entrada del aire de secado, ya que, si se le introduce el aire a muy alta temperatura, las moléculas del material vegetal empiezan a degradarse y se liberan moléculas de aceite esencial, lo cual no interesa en lo referente al rendimiento del proceso de extracción [19]. Por su parte, la humedad relativa del aire a la salida es también un parámetro importante. Si se exige que el secado sea de un rendimiento demasiado alto, es decir, que la humedad relativa del aire a la salida sea prácticamente del 100%, puede existir peligro de condensaciones.

Este equipo consta de un esqueleto que consiste en una cámara rectangular de chapa metálica que contiene carretes para soportar los bastidores. Cada bastidor tiene platos perforados poco profundos, ya que a mayor profundidad, mayor cantidad de sólido se depositaría en cada una de las bandejas, lo que haría aumentar demasiado la pérdida de carga en cada uno de los lechos, es decir, en cada una de las bandejas, y eso haría que fuese necesario aumentar el caudal de aire a la entrada para superar la pérdida de carga en las bandejas, el calor proporcionado a ese aire y la potencia que debe dar el ventilador [18]. En este aspecto es importante la velocidad a la que debe entrar el aire de secado. Esto último va a depender de si el aire tiene que atravesar los lechos de forma perpendicular o transversal. El rango de velocidades correcto para flujo transversal del aire sería de 2 a 5 m/s, y para los de flujo ascendente sería de 0,5 a 1,25 m/s [20].

Por otro lado, se debe tener en cuenta el diseño interior de la cámara, de manera que el aire tras ser impulsado por el ventilador pase por las resistencias térmicas, y de aquí, que sea dirigido a los platos perforados, en los que se realiza el intercambio de materia y energía, saliendo a continuación por la boca de aire, la cual estará estratégicamente separada de la boca de entrada para evitar caminos preferenciales del aire antes de que este pase por las bandejas. Atendiendo a esta premisa, existen muchas posibilidades para el diseño del equipo, de

manera que pueden incorporarse placas distribuidoras de aire, o simplemente que el aire sea calentado con otra fuente de calor, como por ejemplo, un intercambiador de calor que aproveche el calor transportado por una corriente de gas de combustión o un vapor residual de la planta.

Como se ha comentado anteriormente la planta operará en discontinuo, es decir, por lotes. Esto último afecta a la etapa de secado. Se debe tener en cuenta que en el secadero de bandejas se introducirá un lote de menta y se secará en el tiempo que dure la operación. Evidentemente se sabe que este equipo trabaja en discontinuo y por tanto, se sabe que la cantidad de aire introducida en el primer instante portará consigo una mayor cantidad de vapor de agua que el aire tras horas de secado. Por tanto, con el balance de materia de un secadero se calcularía la cantidad de aire de secado en kilogramos para conseguir retirar el agua del sólido. Debido a esto, se debe considerar que los ventiladores introducirán y sacarán un caudal de aire constante del secadero. Ya que se necesita este caudal para poder escoger los ventiladores por catálogo, se dividirá la masa de aire en kilogramos de aire ambiente para la operación entre el tiempo de secado.

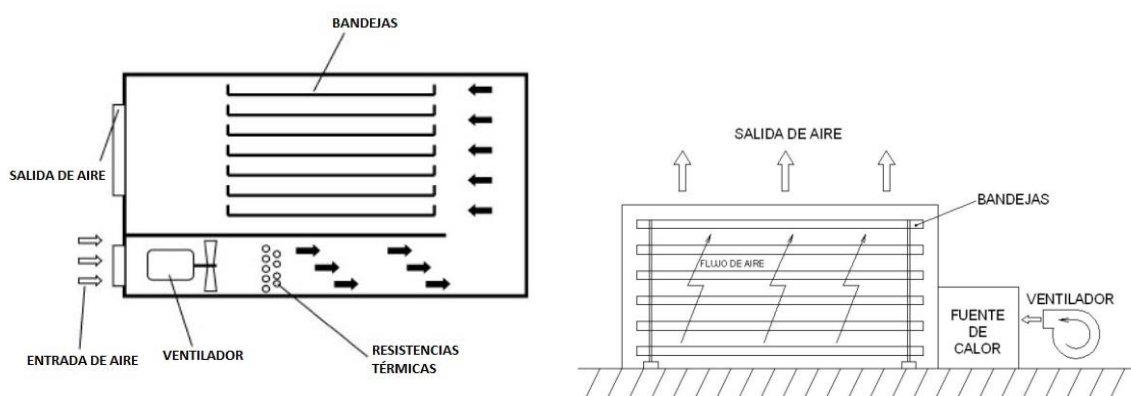


Figura 19. Esquema de distintos tipos de secaderos de platos perforados.

Como se ha avanzado anteriormente, para llevar a cabo esta operación, se requieren resistencias eléctricas para calentar el aire de secado a la entrada. Estas resistencias serán resistencias blindadas tubulares lisas (no aleteadas).

Su función consiste en calentar corrientes gaseosas o líquidas a una determinada temperatura, o en mantener ambientes a temperaturas controladas.

Sus innumerables formas y pliegues, y su tamaño reducido hacen que puedan instalarse para el calentamiento directo o indirecto dentro de canales de ventilación y de equipos de acondicionamiento para el calentamiento directo del aire circulante, como es el caso del secadero de bandejas instalado en la planta.

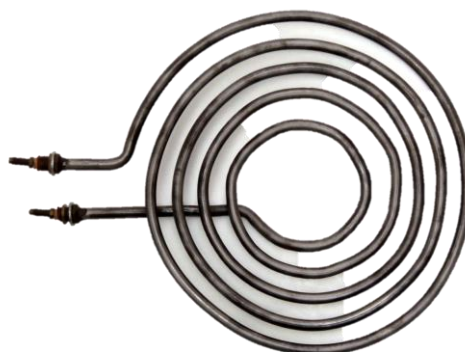


Figura 20. Resistencia eléctrica para el calentamiento de aire de entrada del secadero.

Este tipo de calentadores individuales lisos o no aleteados se realizan generalmente con una carga superficial de $0,5-4 \text{ W/cm}^2$. En caso de grandes caudales de aire o gas circulante es posible alcanzar potencias de 3 y 7 W/cm^2 .

3.2.1.3. Operación de trituración.

Para mejorar el rendimiento de extracción de aceites esenciales se propone una etapa de triturado previo del material herbáceo ya secado. En estas condiciones el molino escogido es un molino de corte ya que estos son los ideales para la trituración primaria de materiales blandos, elásticos y fibrosos. Este será escogido por catálogo de la empresa “Retsch”. Su modelo es el SM 400.



Figura 21. Molino de corte SM 400.

Este modelo consta de un motor de 3 kW de alto par y con masa móvil. Su operación se lleva a cabo por efecto corte y cizalla. El material alimentado entra en el campo de acción del rotor y se tritura entre los listones de corte de la carcasa y el propio rotor.

Este modelo presenta algunas ventajas adicionales con respecto a otros molinos de corte:

- Trituración potente gracias al motor de 3 kW.
- Efecto de corte optimizado.
- Acepta granulometrías iniciales de hasta 170 x 220 mm.
- Limpieza rápida gracias a la tolva con superficies lisas.
- Granulometría final seleccionable mediante tamices.
- Es apropiado para materiales termosensibles debido al mínimo calentamiento que se produce en la operación.

3.2.2. Zona de extracción y condensación

A continuación, se explicará la zona de extracción, la cual involucra el extractor y la etapa de condensación. Véase la Figura 22.

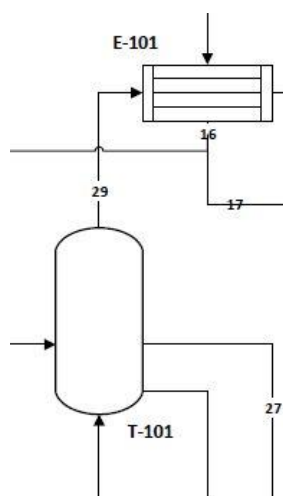


Figura 22. Etapa de extracción y condensación en el diagrama de flujo.

3.2.2.1. Operación de extracción

Después de la molienda, la menta lavada, secada y triturada al tamaño requerido, se introduce en el tanque extractor o destilador. El destilador consiste en un tanque con diámetro igual o algo inferior a su altura, el cual consta en su parte superior de una tapa que debe ser cerrada herméticamente.

El material de construcción más empleado es el acero inoxidable. El espesor de las chapas de acero es un parámetro importante en su diseño.

Con respecto a la estructura del equipo extractor se distinguen varias partes. En la parte baja del extractor se encuentra el tubo de entrada de vapor. Es importante que se deje suficiente espacio entre el agujero de entrada del vapor y el fondo del extractor, para conservar en ese espacio las condensaciones. Pero aún así, si debido a cualquier fallo en la operación de la planta, el nivel de las condensaciones siguiera subiendo, habría una purga controlada por un controlador de nivel, para evitar que el condensado suba hasta los agujeros de entrada del distribuidor de vapor de agua, o peor, que llegara a la rejilla que soporta el sólido [21]. Para ello se propondría un sistema de medición de nivel por presión diferencial, que utilizaría las lecturas de los transmisores en la cola del tanque para mantener el nivel de las condensaciones en un rango concreto.

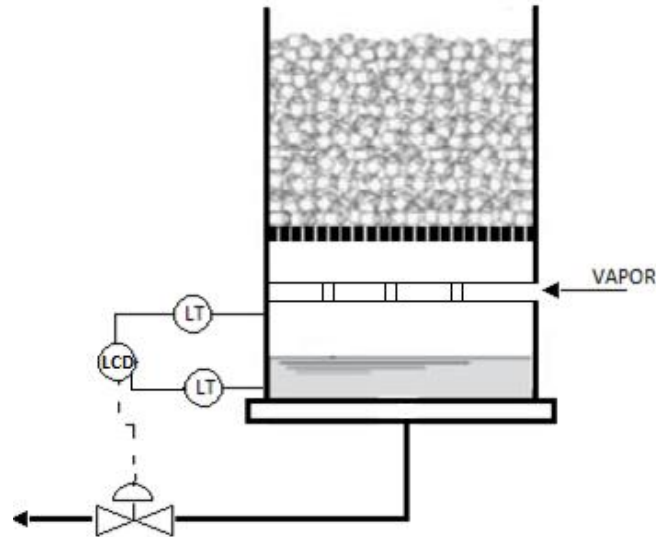


Figura 23. Estrategia del control del nivel de condensado en tanque extractor.

Algo que hay que tener en cuenta es la correcta distribución del vapor, que se asegura gracias a la disposición en espiral o en cruz de la prolongación del tubo alimentador. Este último tiene agujeros en la parte superior y a lo largo de él. En este caso se ha decidido diseñar un distribuidor en forma de cruz como el mostrado en la Figura 24.

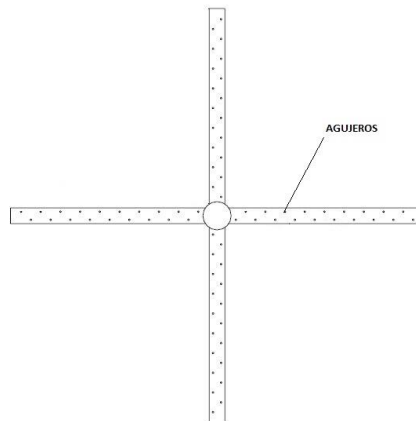


Figura 24. Esquema del distribuidor de vapor.

Un destilador correctamente construido debe ser hermético, para ello debe ajustarse las juntas y el cierre de la tapa. Por otro lado, es importante que la carga de material no se encuentre comprimida para no dificultar el paso del vapor a su través. De hecho, esto será algo a tener muy en cuenta en el diseño. Debido a la pérdida de carga del lecho, se debe hacer un diseño del destilador que impida al vapor dirigirse hacia caminos preferenciales, como por ejemplo deslizar por las paredes en lugar de pasar por el lecho. También, por esta razón, si se decide incorporar una cesta en lugar de una reja, esta no debería tener alambres perforados, si no que deberían ser cestos con costados de chapa sin agujeros, con el fondo perforado [21].

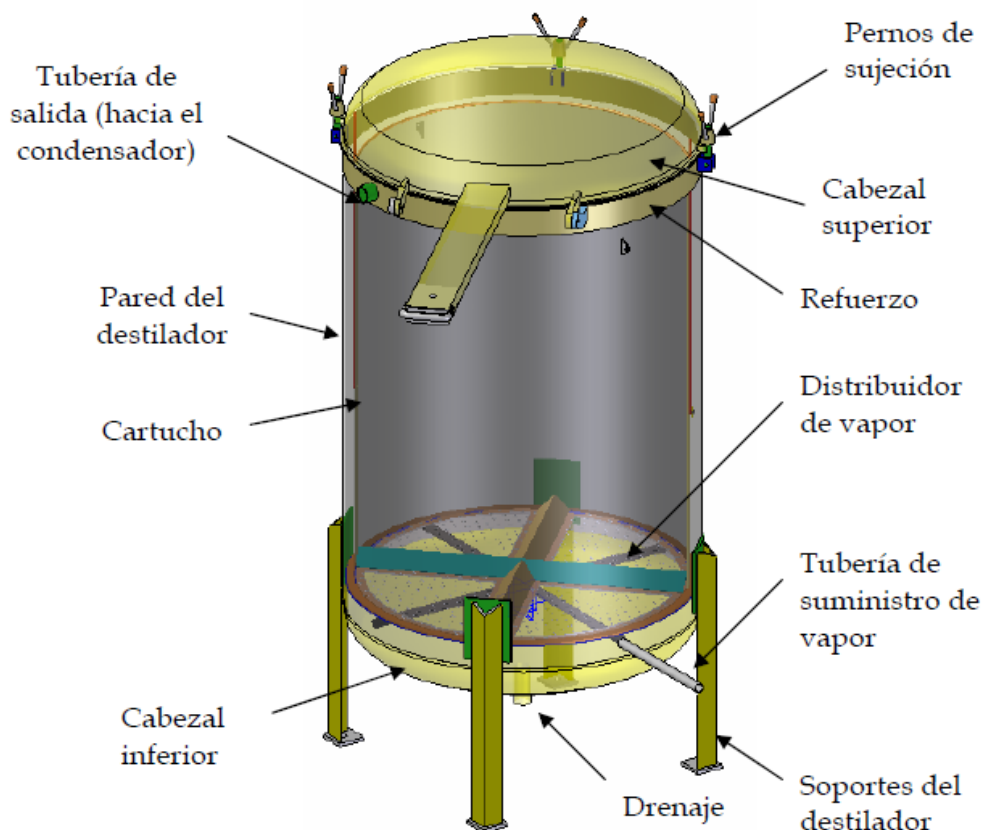


Figura 25. Esquema del destilador y sus partes [21].

Con respecto a la estrategia de operación del destilador, se ha decidido trabajar con vapor saturado. Debido a esto, en la operación se pueden distinguir dos procesos distintos.

1. Lo primero que debe ocurrir es el calentamiento de la menta y las paredes del extractor. La menta se sabe que entra al extractor a unos 25 °C, y las paredes del extractor se estiman que estén también a unos 25 °C. De modo que, como se está introduciendo vapor saturado a 1 atm y 100 °C, cuando este vapor entre en contacto con superficies más frías, condensará, cediendo su calor latente para calentar los sólidos comentados anteriormente. De modo que, esta etapa terminará cuando se haya introducido el vapor necesario como para calentar a la temperatura de 100 °C todos estos sólidos.
2. Una vez terminada la etapa de calentamiento, todos los elementos en contacto con el vapor están a 100°C, motivo por el cual, el vapor introducido ya no condensaría, e invertiría su calor en arrancar las moléculas de aceite esencial de las estructuras celulares, dirigiéndose el vapor saturado con el aceite esencial a la tubería de salida del vapor, situada en la cabeza del destilador. Esta etapa es conocida como etapa de extracción.

El tiempo de extracción depende de dos parámetros [22]:

- Tiempo básico (tb): es el tiempo requerido para destilar un parche, es decir, una glándula de aceite que se revienta debido al calor suministrado por el vapor y se deposita sobre la superficie de la herbácea.
- Factor incremento (s): es la relación entre el área de un parche de aceite (a) y el incremento de dicha área por unidad de altura de la carga (δa). Matemáticamente: $s = \frac{a}{\delta a}$

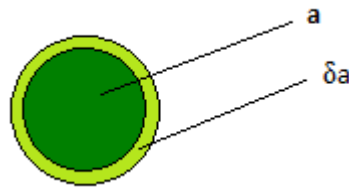


Figura 26. Esquema de un parche de aceite esencial.

Cada una de las etapas descritas conlleva un tiempo que será calculado en el apartado de diseño del extractor.

De la misma manera que ocurría con el secadero de bandejas, se sabe que este equipo trabaja también en discontinuo y que, por tanto, la primera cantidad de vapor introducida en la etapa de extracción portará muchas más moléculas de aceite esencial que el vapor introducido al final del tiempo de extracción ya que la concentración de esencia en el agua variaría con el tiempo. De manera que ocurriría lo mismo que en el secadero. Mediante el balance de energía en el destilador se calcularía la cantidad de vapor que se debe introducir para extraer el aceite esencial en el material vegetal. Además, como se debe generar un caudal de vapor que sea constante durante todo el tiempo de extracción, se dividirá la masa de vapor calculada entre el tiempo que dura la operación para obtener el número del caudal.

3.2.2.2. Operación de condensación

El vapor proveniente del extractor sigue estando a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1 atm , de modo que está saturado, por tanto, se necesitará un equipo que consiga condensar la mezcla para posteriormente en estado líquido, separar el aceite del agua.

Para ello se utilizará un condensador de carcasa y tubos, debido a que proporciona gran área de transferencia en muy poco espacio. Además, es importante la disposición de los fluidos por el intercambiador.

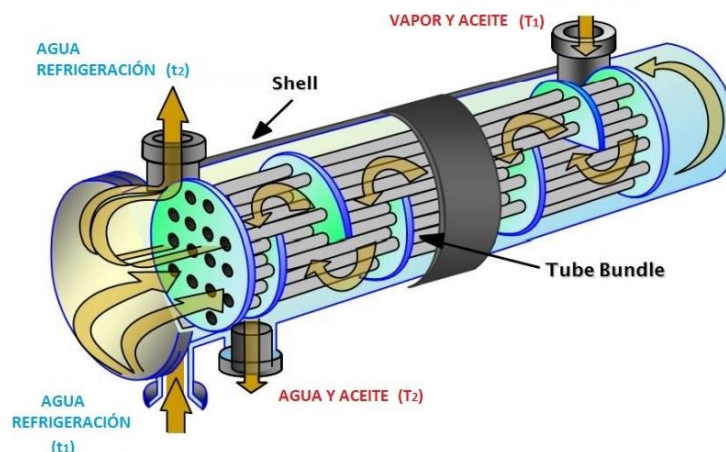


Figura 27. Esquema de las corrientes en intercambiador de carcasa y tubo.

Es importante comentar que para el diseño de este tipo de condensador, se deben considerar dos etapas. La primera de ellas es la condensación del vapor proveniente del destilador, es decir, el cambio de estado de la mezcla. A continuación, sucedería la etapa del subenfriamiento, es decir, la etapa donde el condensado se enfría hasta la temperatura impuesta. La temperatura de salida de la mezcla de agua y aceite, se supondrá en unos $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que es la temperatura recomendada para la posterior separación de los dos compuestos.

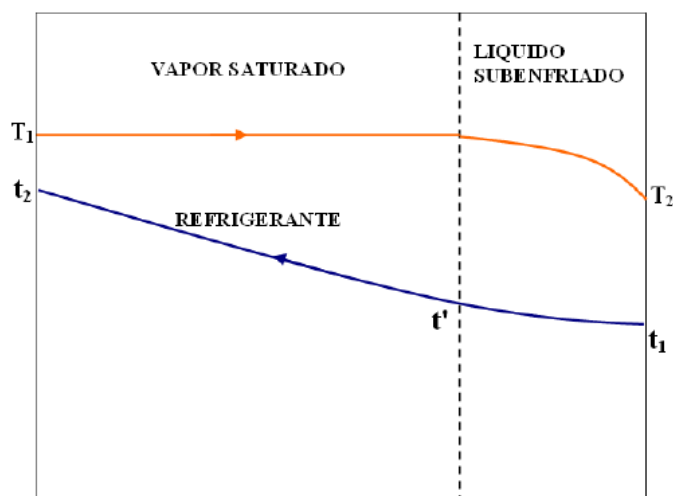


Figura 28. Etapas de transferencia de calor en el condensador. [23]

Lo explicado anteriormente puede llegar a complicar bastante el balance de energía de este equipo. Esto es debido a que el caudal de agua refrigerante está limitado por la temperatura que puede tener el refrigerante tras la condensación, es decir, t' . Lo cual significa que no se puede imponer esta temperatura demasiado baja, ya que se dispararía el valor del caudal de refrigerante. Pero tampoco puede ser demasiado alta, ya que tiene que ser menor que T_2 , para enfriar la mezcla de agua con aceite hasta la temperatura requerida en el equipo de separación posterior.

En aras de la mayor optimización posible del proceso, se recirculará el agua de refrigeración. El caudal de refrigeración será parecido al agua necesaria de lavado, por lo tanto, gran parte de este reciclo se empleará en la operación de lavado. Además, también servirá esta agua, para alimentarla al tanque previo a la etapa de generación de vapor. Así, el único agua que se debería introducir en el proceso sería la de fluido refrigerante, más una cantidad mínima adicional para la operación de lavado.

Con respecto a este reciclo hay que tener en cuenta que los equipos y el proceso en general tiene una operación en discontinuo, esto quiere decir que, en la primera jornada de la planta, el agua debe ser introducida en los tanques en su totalidad, para cubrir la demanda de agua de los dos ciclos de ese día, es decir, ya que los dos lavados primeros de la vida de la planta se producen antes que la primera operación de condensación. Pero a partir del segundo día el agua de refrigeración del primer día se quedaría almacenada para ser usada en los lavados posteriores.

3.3. Justificación de las etapas de pretratamiento

Como se ha podido comprobar anteriormente, una parte muy importante de este proyecto es el diseño de la zona de pretratamientos. Esto implica que gran parte de la inversión de la planta irá destinado al montaje de los equipos de esta zona. Esa es la razón por la que, para cada una de las etapas de los pretratamientos, se justificará el porqué son útiles o necesarias.

1. Etapa de lavado. El lavado de las especies vegetales es importante, ya que, consiste en separar polvo, raíces, y otros. Esta etapa no solo asegura separar agentes químicos, sino que también agentes biológicos como insectos o diferentes microorganismos.

Los insectos que en mayor medida maltratan a la menta japonesa son [24]:

- Los pulgones.
- Los trips (thysanoptera).
- Los ácaros de la araña

Los microorganismos que en mayor medida afectan a la menta japonesa son [24]:

- *Verticillium*: provoca marchitamiento.
- *Puccinia*: provoca la aparición del moho de la menta.

2. Etapa de secado. Es la etapa más crítica del pretratamiento si se tiene en cuenta el rendimiento global de la planta. En primer lugar, hay que aclarar que las condiciones de trabajo deben ser muy concretas, ya que trabajar, por ejemplo, con demasiada temperatura en la entrada de aire de secado, podría implicar una disminución muy importante en el tiempo de operación del secadero, pero también podría implicar grandes pérdidas de aceite esencial por volatilización. Sin embargo, si se respetan estas condiciones, las pérdidas serían insignificantes [25].

Además, secar el material, y reducir su porcentaje de agua de un 70% a un 10%, haría que su densidad se incremente, lo que implicaría un tamaño de extractor mucho más pequeño, implicando igualmente menor cantidad de vapor generado en la caldera, y con menores costes en el intercambiador y el separador. En definitiva, con el secado se reducirían en gran medida los costes de inversión de la planta, a cambio de unos costes de operación en el equipo de secado que son mínimos con respecto a los costes de la generación de vapor en la caldera, o el coste de la implantación de equipos de mayor tamaño.

También se debe tener en cuenta que los compuestos aromáticos presentan una estabilidad a temperatura ambiente durante mucho tiempo cuando el contenido de agua es pequeño en la planta, y las enzimas oxidativas ofrecen protección, así pues, se facilita la extracción de aceite esencial, eliminando un alto porcentaje de agua libre de las células y tejidos, lo cual influye significativamente en la cantidad de vapor y el tiempo de extracción requerido [26].

Como se ha aclarado anteriormente, si en la planta se tuviese que almacenar durante un tiempo la materia prima hasta la extracción de su aceite, es importante que el material esté seco para la adecuada conservación, evitando la proliferación de bacterias en el material [27].

3. Etapa de trituración. En esta etapa se aumenta la superficie de contacto entre el vapor y el material. Esto hace que el rendimiento de extracción aumente considerablemente.

4 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Como ya se ha comentado, esta planta trabaja en discontinuo, es decir, por lotes, de manera que no se puede abordar el balance de materia a partir de caudales, ya que, algunos de los equipos tienen corrientes con caudales constantes, pero otras corrientes no son caudales, sino que son lotes que se introducen en el equipo y se sacan cuando la operación termina. También, hay que tener en cuenta que la planta tiene un ciclo de trabajo, y que cada equipo tiene un tiempo de operación concreto. De manera que el balance de materia se abordará teniendo en cuenta la masa de cada uno de los componentes en la entrada y la salida de cada uno de los equipos, sin tener en cuenta variables temporales. Por otro lado, se realizará un acoplamiento entre las etapas de la planta para que trabajen continuamente durante la jornada.

4.1. Especificaciones para el balance de materia y energía

Para realizar el balance de materia es necesario imponer ciertas condiciones. Las especificaciones iniciales del balance de materia son:

- La masa de menta fresca inicial es 525 kg, que será lo correspondiente a un lote. Si se incluyen los inertes la masa total serían 530 kg.
- En la etapa de lavado se considerará que el agua necesaria sería la correspondiente al volumen del equipo más el agua que corresponde al pequeño tanque que la alimenta a las boquillas de pulverización. Véase la hoja de especificaciones del equipo. Teniendo en cuenta que el lavado se produce posterior al cultivo, en su transporte, el material fresco perderá algo de agua. La cantidad de agua que entra al lavado es el 60% del material fresco, y la que sale del lavado es 70% del material fresco.
- Para la etapa de secado se considerará que el aire entrará al equipo con un 35% de humedad relativa a 45 °C y saldrá de él con un 45 % de humedad relativa con 35 °C de temperatura. Además, se supondrá que el material fresco entrará con un 70% de agua y saldrá del equipo de secado con un 10% de agua.
- Para la etapa de extracción se considerará que la concentración media de aceite esencial en el material fresco sería de 5,3 kg de aceite esencial por cada tonelada de material fresco [19]. De este aceite, con los datos de experimentales escogidos y el tiempo de extracción calculado se supondrá que el equipo de destilación consigue arrancar el 90% [25] de esencia presente en el material de entrada. También, el 70% de la esencia restante quedará retenida en el sólido considerado residuo, y el 30% saldrá con las condensaciones.
- Con respecto al agua en el destilador se sabe que el vapor introducido en el tiempo de calentamiento del extractor saldrá como residuo líquido en las condensaciones. Y que el vapor introducido durante el tiempo de extracción se irá por cabeza de la torre con el aceite esencial, aunque tendrá unas pérdidas del 3% de agua que se queda retenida en el sólido.
- Con respecto al balance de materia del condensador, es importante conocer la masa de refrigerante necesaria de este equipo. Esta dependerá de las condiciones de temperatura de la entrada y de la salida de cada corriente, para lo cual es imprescindible resolver el balance de materia y energía del equipo. Este está resuelto en el apartado de cálculos, lo cual fue imprescindible resolver antes de abordar completamente el balance de materia. Es importante considerar que el caudal de refrigerante calculado solo circulará en el condensador durante el tiempo de extracción.
- Con respecto a la recirculación de agua como fluido refrigerante, es importante aclarar que se aprovecha en su totalidad. Como se ha explicado anteriormente, una parte se destinará a cubrir la demanda total de vapor requerido en la zona de caldera para generar el vapor saturado que se requiere en la extracción y la otra parte se destinará a la zona de lavado del lote posterior.
- Del equipo de separación se supondrá que tiene un rendimiento del 100 %.
- Con respecto a la zona de generación de vapor, es esencial resolver el balance de materia en el horno

para calcular la cantidad de combustible requerida en la operación. Es importante aclarar que la caldera solo generará vapor durante la operación del equipo de extracción. Estos cálculos se encuentran en el apartado de cálculos.

4.2. Balance de materia y energía por etapas

A continuación, se presentan el balance de materia y energía de cada una de las etapas del proceso:

- Balance de materia y energía en la etapa de lavado

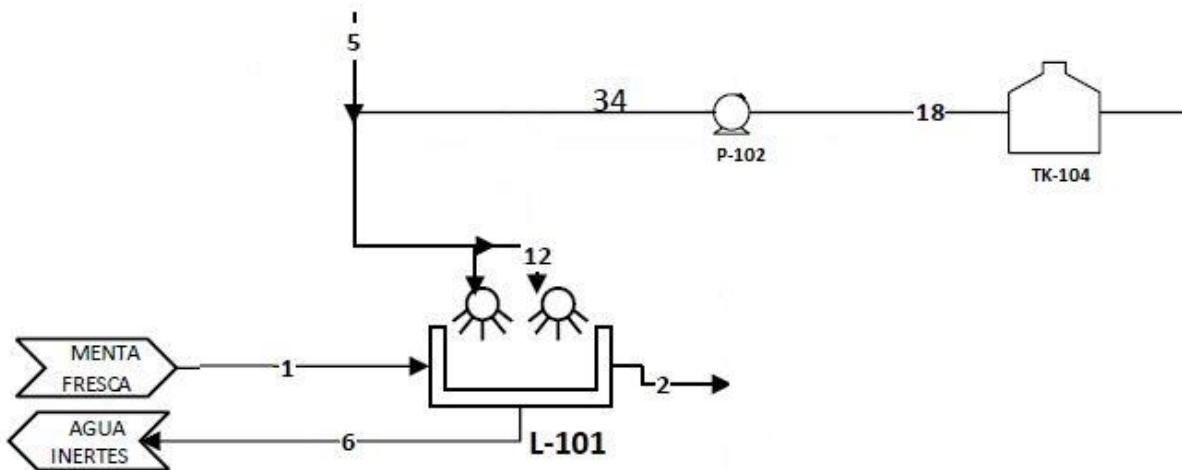


Figura 29. Lavado

Tabla 13. Balance de materia y energía de la etapa de lavado.

| | 1 | 2 | 5 | 34 | 6 | 12 | 18 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|
| Agua (kg) | 315 | 490 | 928,1 | 3.796,9 | 4.900 | 4.725 | 3.796,9 |
| Esencia (kg) | 2,8 | 2,8 | - | - | - | - | - |
| Material vegetal (kg) | 207,8 | 207,8 | - | - | - | - | - |
| Aire (kg) | - | - | - | - | - | - | - |
| Inerte (kg) | 5 | - | - | - | 5 | - | - |
| Gas Natural (kg) | - | - | - | - | - | - | - |
| Gases de combustión (kg) | - | - | - | - | - | - | - |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 |
| Temperatura (k) | 298 | 298 | 298 | 298 | 298 | 298 | 298 |

- Balance de materia y energía en la etapa de secado

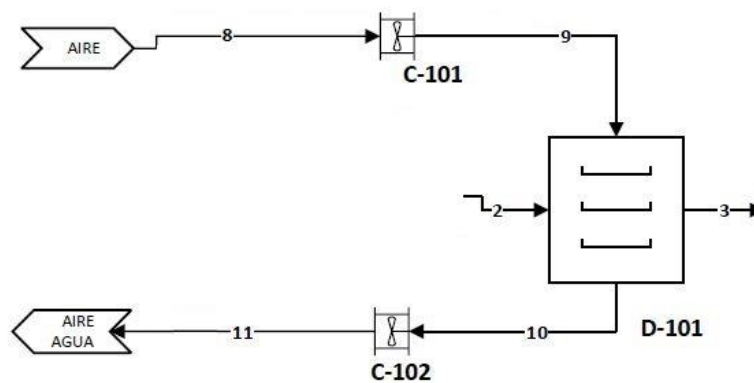


Figura 30. Secado.

Tabla 14. Balance de materia y energía de la etapa de secado.

| | 2 | 3 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| Agua (kg) | 490 | 70 | 1.915,7 | 1.915,7 | 2.335,7 | 2.335,7 |
| Esencia (kg) | 2,8 | 2,8 | - | - | - | - |
| Material vegetal (kg) | 207,8 | 207,8 | - | - | - | - |
| Aire (kg) | - | - | 76.6 | 76.6 | 76.6 | 76.6 |
| Inerte (kg) | - | - | - | - | - | - |
| Gas Natural (kg) | - | - | - | - | - | - |
| Gases de combustión (kg) | - | - | - | - | - | - |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,02 | 1,02 | 1,013 |
| Temperatura (k) | 298 | 308 | 318 | 318 | 308 | 308 |

- Balance de materia y energía en la etapa de trituración

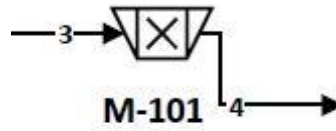


Figura 31. Trituración.

Tabla 15. Balance de materia y energía de la etapa de trituración.

| | 3 | 4 |
|---------------------------------|----------|----------|
| Agua (kg) | 70 | 70 |
| Esencia (kg) | 2,8 | 2,8 |
| Material vegetal (kg) | 207,8 | 207,8 |
| Aire (kg) | - | - |
| Inerte (kg) | - | - |
| Gas Natural (kg) | - | - |
| Gases de combustión (kg) | - | - |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 |
| Temperatura (k) | 298 | 298 |

- Balance de materia y energía en la etapa de extracción

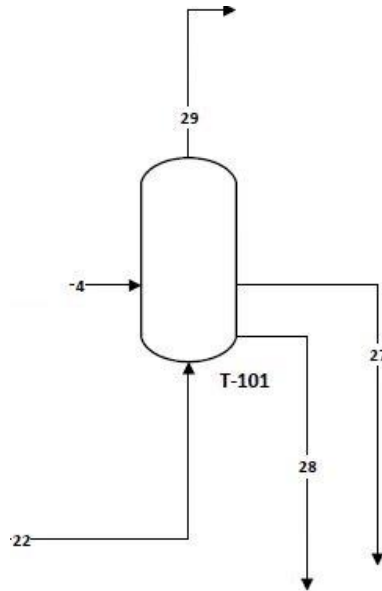


Figura 32. Extracción.

Tabla 16. Balance de materia y energía de la etapa de extracción.

| | 4 | 22 | 29 | 27 | 28 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Agua (kg) | 70 | 108,4 | 87,3 | 73 | 18,11 |
| Esencia (kg) | 2,8 | - | 2,5 | 0,2 | 0,084 |
| Material vegetal (kg) | 207,8 | - | - | 207,8 | - |
| Aire (kg) | - | - | - | - | - |
| Inerte (kg) | - | - | - | - | - |
| Gas Natural (kg) | - | - | - | - | - |
| Gases de combustión (kg) | - | - | - | - | - |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 |
| Temperatura (k) | 298 | 373 | 373 | 373 | 373 |

- Balance de materia y energía en la etapa de condensación

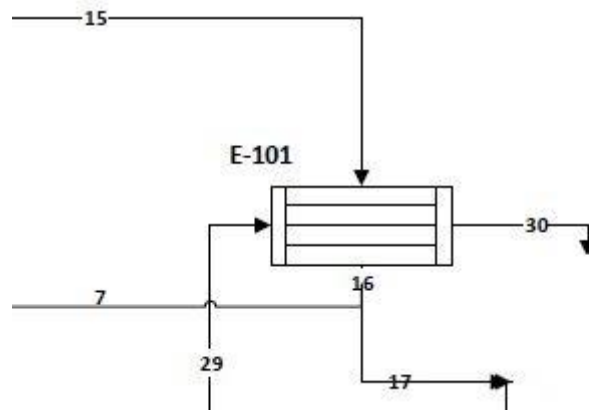


Figura 33. Condensación.

Tabla 17. Balance de materia y energía de la etapa de condensación.

| En 36,1 min | 29 | 30 | 15 | 16 | 17 | 7 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Agua (kg/min) | 2,4 | 2,4 | 108,1 | 108,1 | 24,18 | 83,88 |
| Esencia (kg/min) | 0,08 | 0,08 | - | - | - | - |
| Material vegetal (kg/min) | - | - | - | - | - | - |
| Aire (kg/min) | - | - | - | - | - | - |
| Inerte (kg/min) | - | - | - | - | - | - |
| Gas Natural (kg/min) | - | - | - | - | - | - |
| Gases de combustión (kg/min) | - | - | - | - | - | - |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 |
| Temperatura (k) | 373 | 318 | 298 | 314,5 | 314,5 | 314,5 |

- Balance de materia y energía en la etapa de separación

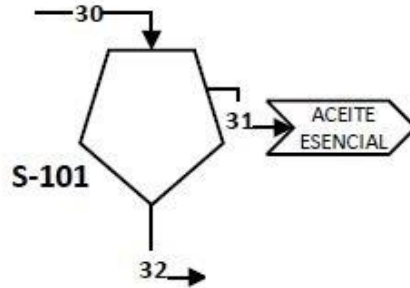


Figura 34. Separación.

Tabla 18. Balance de materia y energía de la etapa de separación.

| | 30 | 31 | 32 |
|---------------------------------|-------|------|-------|
| Agua (kg) | 87,29 | - | 87,92 |
| Esencia (kg) | 2,52 | 2,52 | - |
| Material vegetal (kg) | - | - | - |
| Aire (kg) | - | - | - |
| Inerte (kg) | - | - | - |
| Gas Natural (kg) | - | - | - |
| Gases de combustión (kg) | - | - | - |
| Presión (bar) | 1,03 | 1,03 | 1,03 |
| Temperatura (k) | 318 | 318 | 318 |

- Balance de materia y energía en la etapa de generación de vapor

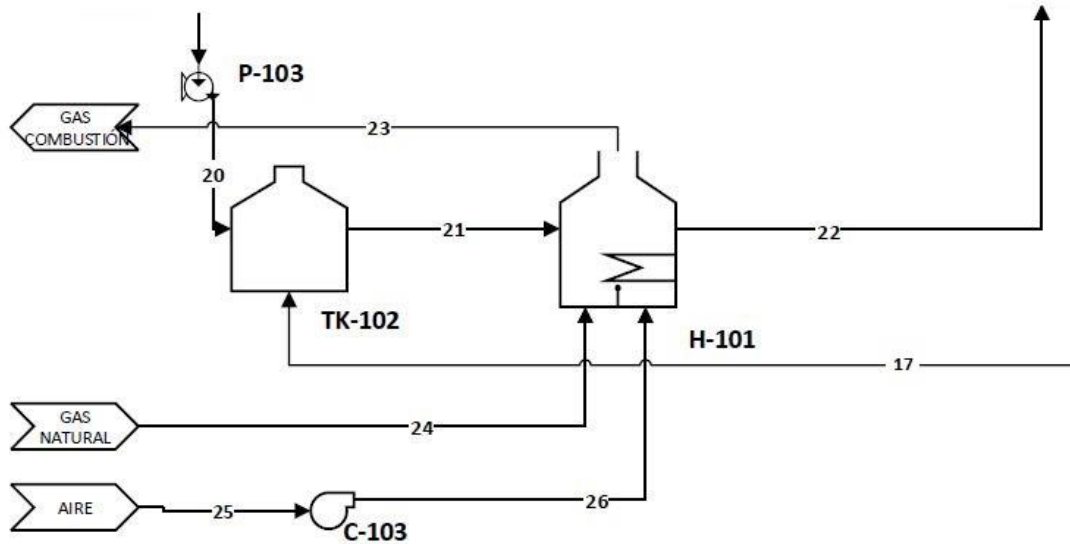


Figura 35. Generación de vapor.

Tabla 19. Balance de materia y energía de la etapa de generación de vapor.

| En 36,1 min | 20 | 21 | 17 | 22 | 24 | 25 | 26 | 23 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-----|
| Agua (kg/min) | 3 | 3 | 3 | 3 | - | - | - | - |
| Esencia (kg/min) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Material vegetal (kg/min) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aire (kg/min) | - | - | - | - | - | 3 | 3 | - |
| Inerte (kg/min) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Gas Natural (kg/min) | - | - | - | - | 0,16 | - | - | - |
| Gases de combustión (kg/min) | - | - | - | - | - | - | - | 3,1 |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 10 | 1,013 | 1,04 | 10 |
| Temperatura (k) | 298 | 308 | 318 | 373 | 303 | 298 | 298 | 523 |

- Balance de materia y energía en la etapa de alimentación de agua de red

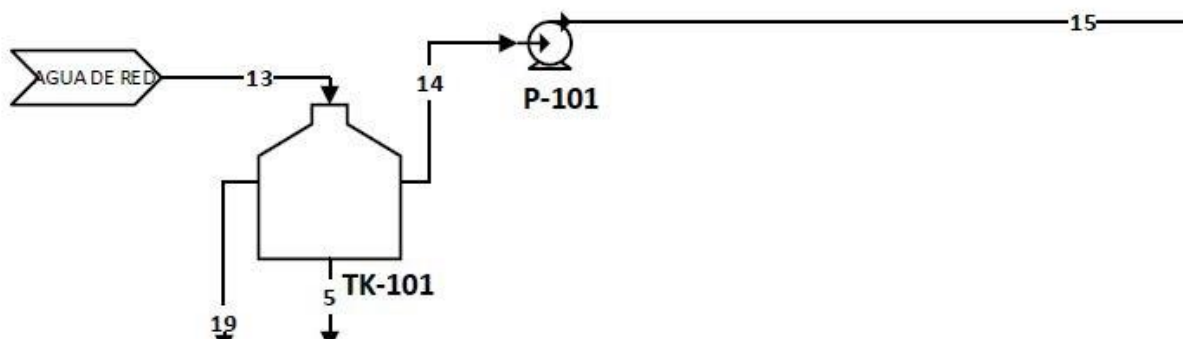


Figura 36. Almacenamiento principal de agua a la planta.

Tabla 20. Balance de materia y energía de la etapa de tanque de alimentación de agua.

| | 13 | 19 | 5 | 14 | 15 |
|---------------------------------|---------|-------|--------|----------|----------|
| Agua (kg) | 4.941,8 | 108,4 | 928,11 | 3.905,29 | 3.905,29 |
| Esencia (kg) | - | - | - | - | - |
| Material vegetal (kg) | - | - | - | - | - |
| Aire (kg) | - | - | - | - | - |
| Inerte (kg) | - | - | - | - | - |
| Gas Natural (kg) | - | - | - | - | - |
| Gases de combustión (kg) | - | - | - | - | - |
| Presión (bar) | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 | 1,013 |
| Temperatura (k) | 298 | 298 | 298 | 298 | 298 |

4.3. Secuencia de las etapas del proceso.

Después de resolver el balance de materia y energía de cada una de las etapas, se debe tener en cuenta que esta planta trabaja en discontinuo, es decir, por lotes, de manera que hay que acoplar temporalmente las etapas según las horas de trabajo al día de la planta.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que la planta trabajará 12 h por día, y que en ellas se procesarán dos lotes de material. Para abordar esto, se debe calcular los tiempos que trabajarán los equipos. Los cálculos de estos tiempos se pueden observar en la posterior memoria de cálculos.

Para esto se ha decidido trabajar con el programa *Microsoft Project*. Con este programa se hará un Diagrama de Gantt, el cual permite conocer la secuenciación de actividades en un proceso. El objetivo del diagrama de Gantt es exponer el tiempo de dedicación previsto para las diferentes tareas, pero no indica las relaciones entre ellas [28]. En él pueden representarse las horas que dura cada actividad, pudiendo conocer la secuencia de actividades a seguir. En el diagrama se presentará el primer lote del día con el número 1 y color azul, mientras que se representará el segundo lote con el número 2 y el color naranja.

Para hacer el Diagrama de Gantt de la planta a diseñar se deben tener calculados los tiempos de operación de cada uno de los equipos. Se muestran a continuación.

LOTE 1

- Lavado 1. Tendrá una duración de 20 minutos, teniendo en cuenta la cantidad de material a procesar y la cantidad de agua introducida en el lavado.
- Secado 1. Tendrá una duración de 4,3 h la duración exclusiva de secado, pero deben considerarse los tiempos de carga y descarga, se supondrá que la duración de todo el ciclo de secado es de 5 horas. Este ciclo de carga y descarga se considera en los secados ya que se debe cargar y recoger el material de cada una de las bandejas, lo cual conlleva bastante tiempo.
- Molienda 1. Tendrá una duración de unos 20 minutos, teniendo en cuenta que la cantidad de material no es demasiado grande.
- Extracción 1. Tendrá una duración calculada de 36 minutos.
- Separación 1. Tendrá una duración calculada de 29 minutos.

LOTE 2

- Lavado 2. Tendrá la misma duración que el lavado 1. Este será paralelo a la etapa de secado 1, ya que el lavador se queda libre. Se aprovecha el agua almacenada de refrigeraciones anteriores. Además, hacer el lavado en este momento favorece al secado, ya que la menta queda algo más seca al estar casi 5 horas escurriendo entre su lavado y su secado.
- Secado 2. Tendrá la misma duración que el secado 1. Este será paralelo a la etapa de molienda, extracción y separación 1. Esto último permite que la planta procese dos lotes en una jornada en lugar de uno solo.
- Molienda 2. Tendrá la misma duración que la molienda 1.
- Extracción 2. Tendrá la misma duración que la extracción 1.
- Separación 2. Tendrá la misma duración que la separación 1.

Teniendo en cuenta que la planta trabaja durante 12 horas serán necesarios dos operarios que trabajen 8 horas por jornada. Estos se ocuparán básicamente de la operación de carga y descarga de los equipos.



Figura 37. Diagrama de Gantt que muestra la secuencia de actividades en una jornada en la planta.

5 MEMORIA DE CÁLCULO

En este capítulo se realizará el balance de materia y energía en cada uno de los equipos, teniendo en cuenta la capacidad de menta diaria de la planta que es 530 kg de menta fresca por lote, siendo procesados dos lotes al día. También se calcularán los tiempos requeridos de operaciones como el secado o la extracción, además del dimensionamiento de los equipos.

5.1. Parámetros y dimensionamiento del secadero de bandejas

Teniendo en cuenta que la corriente de sólidos tiene una gran cantidad de agua ya que proviene de una operación de lavado, se estima que sea del 70 % [20] en peso en agua y 30 % en material sólido. Por ello, se debe proponer un diseño de secadero que permita dejar esta corriente en un valor aceptable de agua para su correcta operación en el extractor. El porcentaje en agua recomendable sería del 10%, siendo, por tanto, el 90% menta [20].

Se detallan por tanto en la Tabla 21, los datos que se requieren para realizar el balance de materia y energía en el equipo acompañados de las especificaciones impuestas que ayudarán a la resolución de dichos balances.

Tabla 21. Datos de partida para el diseño del secadero.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|--|-------------------------------|-----|----|
| Masa de material de entrada | Mse | 700 | Kg |
| Contenido de agua en material de entrada | Xage | 70 | % |
| Contenido de menta en material de entrada | Xme | 30 | % |
| Temperatura de entrada del material a la entrada | Tse | 25 | °C |
| Temperatura de entrada de la corriente de aire ambiente | Tae | 45 | °C |
| Humedad relativa del aire a la entrada | ϕ_{ae} | 35 | % |
| Ancho medio de la hoja de menta | | 1,5 | cm |
| Longitud media de la hoja de menta | | 4 | cm |

Una aclaración importante es que para el diseño del secadero se supondrá que el aire ya calentado por las termorresistencias entrará en el equipo a 45 °C [29]. Como se avanzó anteriormente, esta temperatura es un parámetro importante debido a las pérdidas por volatilización de aceites esenciales.

Es importante además definir ciertos parámetros para la determinación de las dimensiones del secadero, así como para el balance de materia y energía. Por ejemplo, se asume que la temperatura de los sólidos y su agua a la salida serán igual a la temperatura de entrada del aire de secado. Otros aspectos importantes serán los referentes a las condiciones de salida del aire de secado. Se supondrá que la corriente de salida del aire estará a una temperatura de 35 °C, un valor razonable, teniendo en cuenta la temperatura del sólido a la entrada. También es importante definir un valor de humedad de salida del aire, que se asumirá del 70% [29], ya que, como se ha avanzado anteriormente, se debe evitar el peligro de condensaciones.

En la Tabla 22 se resumirán las especificaciones antes comentadas.

Tabla 22. Especificaciones para el diseño del secadero.

| ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO | | | |
|--|-------------|----|--------------------|
| Temperatura de los sólidos y agua a la salida | T_{ss} | 45 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Temperatura de la corriente de aire a la salida | T_{as} | 35 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Humedad relativa de la corriente de aire a la salida | ϕ_{as} | 70 | % |

También, es importante aclarar que la operación en este equipo es una operación discontinua, de manera que, las ecuaciones estarán referidas a la masa de cada lote de menta, así se calcula la masa de aire total necesaria para conseguir las condiciones impuestas. Después, se calcula el tiempo de secado, lo que permitirá identificar caudales de cada corriente, en caso de que fuese necesario para el balance de materia y energía.

BALANCE DE MATERIA

El parámetro más importante del balance de materia sería la cantidad de aire necesario a la entrada. Para ello se necesitan conocer las humedades absolutas de la corriente de entrada y salida del aire. Como se tienen las humedades relativas y las temperaturas, el diagrama psicrométrico a presión atmosférica proporcionará las humedades absolutas.

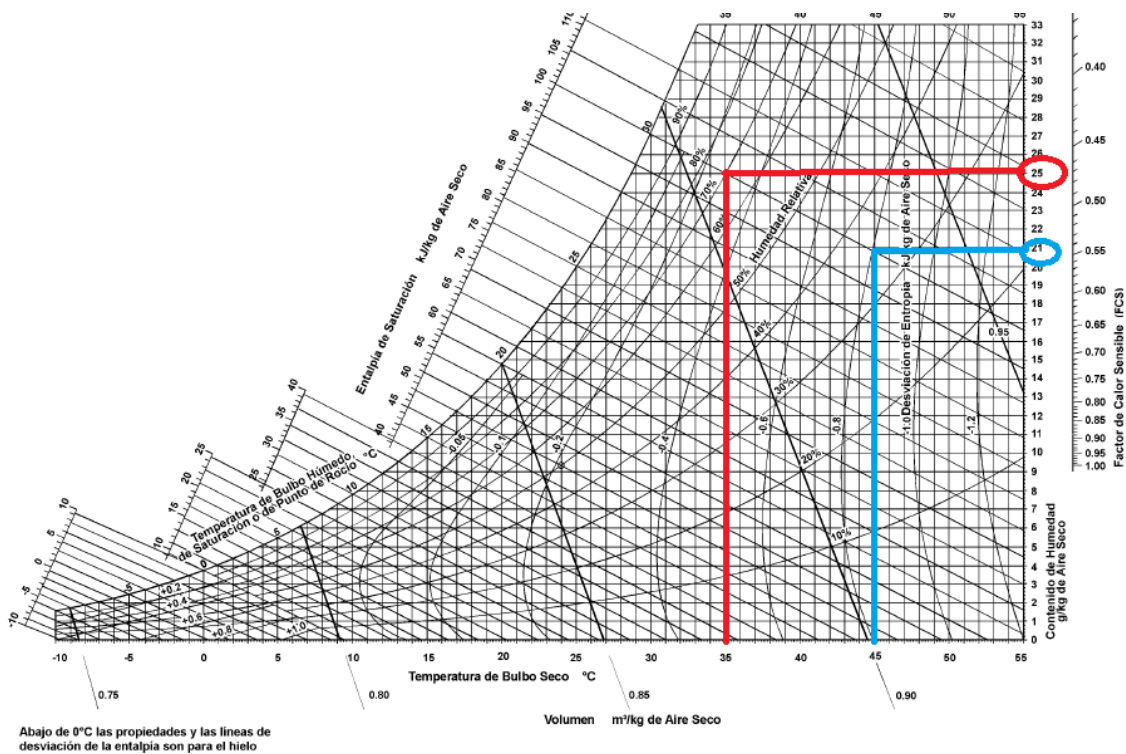


Figura 38. Diagrama psicrométrico aire-agua a presión atmosférica para el cálculo de las humedades absolutas.

A continuación, debería calcularse la cantidad de agua que se transfiere de la corriente de sólidos a la entrada de la corriente de aire. Para esto se recurre a los datos de proporción de agua en la corriente de sólido. Véase Tabla 21 Con los datos obtenidos se podría calcular la cantidad de aire seco requerido por la siguiente expresión:

$$m_{as} = \frac{m_{ag_{ev}}}{w_{air_s} - w_{air_e}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- m_{as} es la masa de aire seco requerida (kg).
- m_{ag_ev} es la masa de agua a evaporar (kg).
- w_{air_c} es la humedad absoluta del aire a la entrada del secador (kg agua/kg de aire seco).
- w_{air_s} es la humedad absoluta del aire a la salida del secador (kg agua/kg de aire seco).

A continuación, con la ecuación de los gases ideales, se hallaría el volumen de aire requerido en relación a la masa anterior, y teniendo en cuenta las condiciones de operación.

$$V_{as} = \frac{m_{as} \cdot R \cdot T}{P} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- V_{as} es el volumen de aire seco requerido (m^3).
- m_{as} es la masa de aire seco requerida (kg).
- R es constante de los gases ($kPa \cdot m^3 \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).
- T es la temperatura (K).
- P es la presión (kPa).

El proximo paso sería calcular la masa de aire ambiente.

$$m_a = V_{as} \cdot \rho_a \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- m_a es la masa de aire ambiente (kg).
- V_{as} es el volumen de aire seco (kg).
- ρ_{ag} es la densidad del aire en condiciones normales (kg/m^3).

TIEMPO DE SECADO

Una vez se ha obtenido la masa de aire ambiente para el secado del caudal de menta, se debe definir el tiempo de secado necesario para un lote. Este parámetro será de interés para definir caudales suponiendo que se trate el secadero como un volumen de control.

Este parámetro se debe definir suponiendo una velocidad del aire de entrada. Un valor razonable para este parámetro sería 2 m/s, teniendo en cuenta que se está trabajando con flujo transversal de aire [18]. Con este supuesto ya se puede empezar a calcular el tiempo de secado.

$$t_s = \frac{m_{ms}}{A_{tt} \cdot R_c} \cdot \left(\phi_i - \phi_c - \phi_c \cdot \ln \left(\frac{\phi_c}{\phi_f} \right) \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- t_s es el tiempo de secado (s).
- m_{ms} es la masa de menta seca inicial (kg).
- A_{tt} es el área de transferencia del aire y la hierba (m^2).

- R_c es la velocidad de secado ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Φ_i es la humedad inicial.
- Φ_c es la humedad crítica.
- Φ_f es la humedad final.

Para calcular el tiempo hay que hallar algunos parámetros:

El área de transferencia hay muchas formas de estimarla. Una de ellas es hallar el área de una hoja de menta y multiplicarlo por una cantidad estimada de hojas. El área de una hoja de menta se supondrá rectangular con el ancho y largo medios definidos en la Tabla 21. Por otra parte, el número de hojas se estimará teniendo en cuenta que 4 hojas de menta pesan un gramo. Si se tienen en cuenta los gramos de menta que entran en el equipo, se obtendría la cantidad hojas aproximadas introducidas.

$$A_{tt} = n \cdot 2 \cdot A_h \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- A_{tt} es el área total de transferencia (m^2).
- n es el número aproximado de hojas.
- A_h es el área estimada de una hoja (m^2).

Por otra parte, para el cálculo de R_c (velocidad de secado), se aplica:

$$R_c = \frac{h \cdot (T_{ae} - T_{as})}{h_{fTs}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- h es el coeficiente de película ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).
- T_{as} es la temperatura del aire de salida al secador (K).
- T_{ae} es la temperatura del aire de entrada al secador (K).
- h_{fTs} es la entalpía del vapor de agua a la temperatura de salida de la corriente de aire (J/kg).

Para el cálculo del coeficiente de película se recurre al número de Nusselt con la siguiente correlación:

$$Nu_D = \frac{h \cdot D_e}{k} = 1,17 \cdot Re^{0,585} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- Nu_D es el número de Nusselt.
- h es el coeficiente de película ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).
- D_e es el diámetro equivalente de partícula (m).
- k es la conductividad del fluido ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)
- Re es el número de Reynolds.
- Pr es el número de Prandtl.

Para aplicar la ecuación anterior es necesario conocer el diámetro equivalente.

$$De = \frac{4 \cdot A}{P} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- De es el diámetro equivalente (m).
- A es el área de una hoja (m²).
- P es el perímetro de una hoja (m).

También es necesario la aplicación del número de Reynolds. Las propiedades físicas del aire son sacadas del Anexo E.

$$Re = \frac{De \cdot v \cdot \rho_a}{\mu_a} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- Re es el número de Reynolds.
- v es la velocidad del aire (m/s).
- ρ_a es la densidad del aire (kg/m³).
- μ_a es la viscosidad del aire (kg·s·m⁻¹)

Tabla 23. Resultados de balance de materia y tiempo de la operación de secado.

| RESULTADOS | | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|---------------|-----------|--|---------------|
| mas (kg) | Vas (m³) | maa (kg) | Att (m²) | De (m) | Re | Rc (J²·kg·m⁻²·J⁻¹) | ts (h) |
| 76.628 | 69.021 | 82.825 | 1.008 | 0,02182 | 2.495 | 0,0004888 | 4,278 |

DISEÑO MECÁNICO DEL SECADERO

Altura del Secadero y número de bandejas

El parámetro hallado para el diseño mecánico del secadero será la altura de este. Se supondrán valores de longitud y altura total de todas las cámaras del secadero [30].

Tabla 24. Datos de partida para el dimensionamiento del secadero.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------|-------------------|
| Longitud supuesta | L | 3 | m |
| Anchura supuesta | B | 2 | m |
| Densidad de la menta lavada | ρ_{ml} | 50 | kg/m ³ |
| Longitud de bandeja estándar | Lb | 0.48 | m |
| Anchura de bandeja estándar | Bb | 0.64 | m |
| Altura de bandeja estándar | Hb | 0.045 | m |

La altura del secadero sería:

$$H = \frac{Mse}{\rho_{ml} \cdot L \cdot B} \quad \text{Ecuación 10}$$

Con las dimensiones obtenidas, se podrían calcular el número de bandejas necesario, atendiendo a las dimensiones estándar de las bandejas.

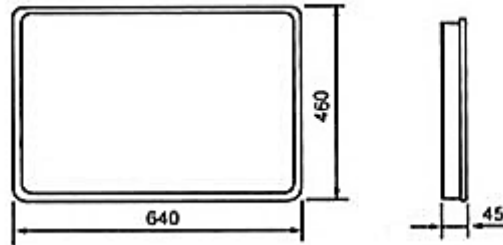


Figura 39. Dimensiones en mm de una bandeja estándar (mm) [30].

Con las dimensiones escogidas y asumiendo que el secadero se separa en dos compartimentos con el mismo número de filas de bandejas, y que cada fila está compuesta por dos bandejas por cada estante, se obtendrían los siguientes resultados con este diseño.

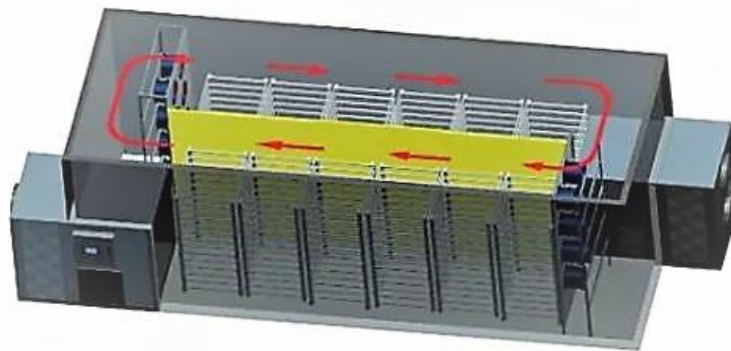


Figura 40. Diseño escogido para el secadero.

Tabla 25. Resultados del dimensionamiento del secadero.

| RESULTADOS | |
|-------------------|-------------------|
| H (m) | N bandejas |
| 2,33 | 86 |

Ventiladores del secadero

Al diseño del secadero se le sumará los ventiladores que se requieren para introducir el aire y sacarlo del secadero. Éste trata con una gran cantidad de material fresco, de manera que se requerirán dos ventiladores uno de tiro forzado, que impulse el aire con la velocidad requerida en el secadero (2 m/s), y otro de tiro inducido, que aspire aire, ya que la impulsión a la entrada de aire a esa velocidad no será suficiente para recorrer todo el secadero venciendo la pérdida de carga que imponen todas las bandejas con los lechos de menta. Además, los ventiladores adecuados para esta operación son ventiladores axiales, los cuales son usados para mover grandes cantidades de aires en espacios amplios. Como en este caso la resistencia al flujo es muy baja, se requerirá generar una presión estática pequeña del orden de 5 a 25 mmca. Por ello a estos ventiladores se les conoce como extractores o inyectores de aire y son muy usados en aplicaciones de ventilación.

El parámetro más importante para diseñar los ventiladores es el caudal, que se introducirá constante, ya que se tiene la cantidad en m^3 de aire ambiente a introducir para el secado y el tiempo en horas de secado. Como el equipo trabajará por lotes es evidente que a medida que pase el tiempo, la concentración de agua en la salida de aire será menor, por ello este caudal es un caudal medio para poder elegir el equipo de ventilación.

Además del caudal, se deberá definir el ángulo de las paletas del ventilador, lo cual no es un parámetro muy crítico ya que se puede observar en curvas características que las curvas del ángulo son paralelas y muy cercanas unas a otras, lo que quiere decir que la presión que se proporciona al gas impulsado no variará mucho escogiendo ángulos distintos. La potencia proporcionada tampoco variará mucho ya que sus curvas con horizontales y muy próximas unas a otras. Sus curvas pueden verse en el Anexo G.

El modelo escogido será CJTHT/PLUS, del catálogo de la empresa “SODECA”.

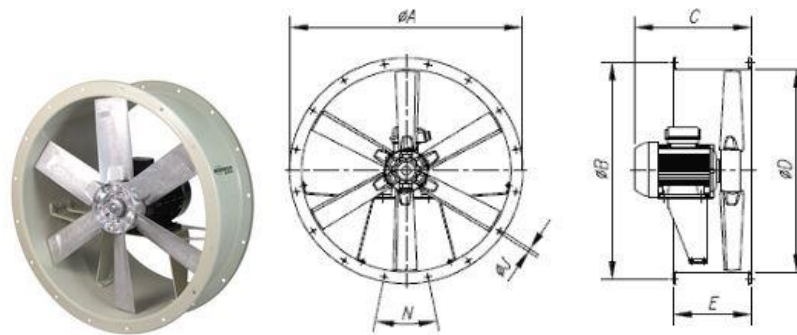


Figura 41. Ventilador CJTHT/PLUS [31].

Con el caudal y el grado de las palas se podría calcular la presión estática y la potencia requerida.

Tabla 26. Parámetros del ventilador de tiro forzado del secadero.

| PARAMETROS DEL VENTILADOR 1 (TIRO FORZADO) | | | |
|---|---|-----------|-----------------------|
| Caudal de aire | $Q_{\text{air_Amb}}$ | 17.438,76 | m^3/s |
| Ángulo de las palas | α | 16 | $^{\circ}$ |
| Presión estática | P_e | 360 | Pa |
| Potencia absorbida | P_a | 3.500 | W |

Tabla 27. Parámetros de tiro inducido del secadero.

| PARAMETROS DEL VENTILADOR 2 (TIRO INDUCIDO) | | | |
|--|----------------------------|-----------|-------------------|
| Caudal de aire | Q_{air_Amb} | 17.438,76 | m ³ /s |
| Ángulo de las palas | α | 16 | ° |
| Presión estática | Pe | 370 | Pa |
| Potencia absorbida | Pa | 3.500 | W |

5.2. Parámetros de la caldera

Para este equipo debe resolverse el balance de materia y energía, para así conocer el caudal de combustible necesario a introducir para llevar el agua líquida al estado de vapor saturado a 100 °C y 1 atm. Para esto también de deben imponer ciertas condiciones que se propondrán a continuación.

En primer lugar, se debe escoger un combustible que se alimenta a la caldera con una composición química estándar desde el punto de vista comercial.

Tabla 28. Composición del Gas Natural comercial [32].

| COMPONENTE | COMPOSICIÓN (% v/v) |
|-------------------|----------------------------|
| Nitrógeno | 3,0 |
| Metano | 86,0 |
| Etano | 7,6 |
| Propano | 2,4 |
| Butano | 1,0 |

Lo primero sería calcular la composición química elemental, dada la anterior composición.

Tabla 29. Composición elemental del Gas Natural.

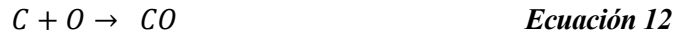
| ELEMENTO | COMPOSICIÓN (% p/p) |
|----------------------|----------------------------|
| Carbono (C) | 75,117 |
| Hidrógeno (H) | 23,323 |
| Nitrógeno (N) | 1,56 |

A continuación, se detallan algunas suposiciones necesarias para poder completar el balance de materia y energía:

- La proporción de CO en los gases de combustión es de 0,01% p/p.
- La proporción de O₂ en los gases de combustión es de 2,2% p/p.
- Las pérdidas de calor por combustión se estiman en un 2% de la potencia que entra con el combustible.

BALANCE DE MATERIA

Para la resolución del balance de materia se requieren conocer las reacciones de combustión de los distintos elementos que entran con el gas natural.



Se presentan a continuación los resultados del balance de materia en función de la masa de combustible:

Tabla 30. Resultados del balance de materia en el horno.

| RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIA EN EL HORNO | | | |
|---|-------------------|---------|----------------------|
| Caudal de vapor de agua a la salida de la caldera | m_{vapS} | 2,0358 | kg vap sal/ kg cble |
| Caudal de gases secos a la salida de la caldera | m_{gsS} | 17,8486 | kg gas sal/ kg cble |
| Caudal de gases totales a la salida de la caldera | m_{gT} | 19,8844 | kg gas tot/ kg cble |
| Caudal de aire teórico | m_{airt} | 16,6964 | kg air teor/ kg cble |
| Caudal de de aire real | m_{airR} | 18,48 | kg air real/ kg cble |

Como todos los resultados obtenidos están en función de la masa de combustible, se necesita plantear el balance de energía en el equipo para conocer esta masa. Los datos de las condiciones de cada corriente están especificados en la Figura 42.

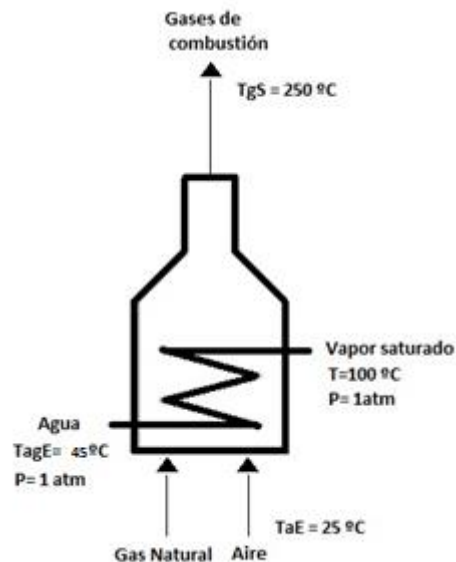


Figura 42. Esquema de las condiciones de cada corriente de la caldera.

BALANCE DE ENERGÍA

$$Q_{cble} + Q_{aire} = Q_{útil} + Q_{gases} + Q_{agua} + Q_P \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

- Q_{cble} es la potencia que aporta el combustible. (kW).

$$Q_{cble} = \dot{m}_{cble} \cdot PCI \quad \text{Ecuación 15}$$

PCI es el poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg), que se puede definir, conociendo la composición elemental del combustible y los poderes caloríficos de los elementos. Solo intervendrían en la ecuación el carbono y el hidrógeno.

$$PCI = \sum_i^n x_i \cdot PCI_i \quad \text{Ecuación 16}$$

- Q_{aire} es la potencia aportada por el aire (kW). Este término se anularía debido a que la temperatura de entrada del aire a la caldera (T_{ae}) coincide con la temperatura de referencia.

$$Q_{aire} = \dot{m}_{cble} \cdot m_{airR} \cdot (T_{ae} - T_{ref}) \quad \text{Ecuación 17}$$

- $Q_{útil}$ es la energía que se cede al fluido calentado (kW).

$$Q_{útil} = \dot{m}_{ag} \cdot (h_g - C_{p_{agE}} \cdot T_{agE}) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

- m_{ag} es la masa de agua a evaporar para introducirse al destilador (kg/s).
- h_g es la entalpía del vapor saturado a la salida a 100 °C y 1 atm (kJ/kg).
- $C_{p_{agE}}$ es el calor específico del agua a la entrada de la caldera (kJ/(kg·°C)).
- T_{agE} es la temperatura del agua de entrada a la caldera (°C).
- Q_{gases} es la potencia que portan los gases secos al salir por la chimenea de la caldera (kW).

$$Q_{gases} = \dot{m}_{cble} \cdot \dot{m}_{gsS} \cdot C_{p_{gs}} \cdot T_{gs} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

- m_{gsS} es la masa de gases secos (kg/s).
- $C_{p_{gs}}$ es el calor específico de los gases a la salida por chimenea (kJ/(kg·°C)).
- T_{gs} es la temperatura de los gases de salida del horno que se supondrá 250 °C (°C).
- Q_{vapor} es la potencia que porta el vapor de agua al salir por la chimenea de la caldera (kW).

$$Q_{vapor} = \dot{m}_{cble} \cdot \dot{m}_{vaps} \cdot C_{p_{vaps}} \cdot T_{gs} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- M_{vaps} es la masa de vapor saturado a la salida (kg/s).

- $C_{p_{\text{vapS}}}$ es el calor específico del vapor de agua a la salida por chimenea ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$).
 - T_{gS} es la temperatura de los gases de salida del horno que se supondrá 250°C ($^{\circ}\text{C}$).
- Q_p es el calor de pérdidas que se estima que sea un 2% del valor de Q_{cble} .

Tabla 31. Resultados del balance de materia y energía en el horno.

| RESULTADOS | |
|--|--|
| Caudal de combustible de alimentación a la caldera (kg/h) | |
| 9,72 | |

Ventilador del horno

Para introducir el aire en la caldera, se escogerá un ventilador centrífugo de la empresa “SODECA”. El modelo escogido será el CMPE. Sus curvas características pueden observarse en el Anexo K.

| PARAMETROS DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO | | | |
|---|-----------------------|-------|-----------------------|
| Caudal de aire | $Q_{\text{air_Amb}}$ | 0,043 | m^3/s |
| Presión estática | P_e | 2.000 | Pa |
| Potencia absorbida | P_a | 0,37 | kW |

5.3. Parámetros y dimensionamiento del extractor

Para el diseño del destilador, es importante saber el tiempo de operación que este requiere, además del caudal de vapor necesario para llevar a cabo la extracción. Tras obtener estos parámetros, se dimensionará el extractor y alguno de sus componentes más importantes.

Se parte de los siguientes datos:

Tabla 32. Datos de partida para el diseño del extractor.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|--|----------|---------|------------------------|
| Diámetro interior del destilador | D_i | 1,143 | m |
| Masa de menta a la entrada | m_{me} | 210 | kg |
| Densidad de la menta | ρ_m | 276 | kg/m^3 |
| Densidad del acero escogido de construcción | ρ_a | 7.900 | kg/m^3 |
| Densidad de diseño | ρ | 200 | kg/m^3 |
| Esfuerzo para el acero escogido de construcción | S | 106.924 | kPa |
| Eficiencia (media) de las juntas | E | 0,7 | - |

| | | | |
|--|----------------------------------|---------|-----------|
| Calor específico de la menta | C_{p_m} | 2,929 | kJ/(kg·K) |
| Calor específico del material escogido de construcción | C_{p_p} | 0,451 | kJ/(kg·K) |
| Calor latente del agua a 100 °C y 1 atm | λ | 2.256,7 | kJ/kg |
| Caudal masico medio impuesto en la extracción con menta | ṁ_v | 3 | Kg/min |
| Presión de trabajo | P | 101,325 | kPa |
| Temperatura inicial de la menta | T_{mi} | 35 | °C |
| Temperatura inicial de las paredes | T_{pi} | 25 | °C |

TIEMPO DE LA OPERACIÓN Y MASA DE VAPOR

Como se ha detallado anteriormente, el tiempo de operación se divide en tiempo de calentamiento de los solidos y en el tiempo de extracción.

Tiempo de calentamiento

El cálculo del tiempo de calentamiento depende de la masa de acero del equipo y la masa de menta.

Lo primero sería calcular el area de la sección transversal de la torre:

$$A = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- A es el area transversal de la torre (m²).
- Di es el diametro interno de la columna (m).

A continuación, se obtiene la altura del lecho:

$$H = \frac{m_{me}}{\rho_m \cdot A} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

- H es la altura del lecho (m).
- m_{me} es la masa de menta a la entrada (kg).
- ρ_m es la densidad de la menta (kg/m³).
- A es el área transversal (m²).

Con los cálculos anteriores se podría hallar el volumen de acero requerido para envolver al lecho:

$$V_a = \pi \cdot \frac{D_e + D_i}{2} \cdot H \cdot e \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

- V_a es el volumen de acero necesario para el lecho (m^3).
- D_e es el diámetro exterior (m).
- D_i es el diámetro interior (m).
- H es la altura del lecho (m).
- e es el espesor de la lámina de acero (m).

Para hallar el volumen se necesita conocer el espesor, el cual se especificará a los proveedores en función de la presión de trabajo. Se puede hallar con la siguiente ecuación teniendo en cuenta el tipo de acero escogido:

$$e = \frac{P \cdot R_i}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

- e es el espesor (m).
- P es la presión (kPa).
- R_i es el radio interno de la torre (m).
- S es el esfuerzo permisible para el tipo de acero escogido.
- E es la eficiencia media de las juntas. Puesto que no se llevará a cabo el diseño de las juntas, se impondrá una eficiencia media de 0,7.

Con el espesor y el diámetro interno se podría hallar el diámetro externo:

$$D_e = D_i + 2 \cdot e \quad \text{Ecuación 25}$$

Una vez calculado el volumen de acero que ocuparía el lecho, se podría hallar su masa:

$$m_a = \rho_a \cdot V_a \quad \text{Ecuación 26}$$

Con esta masa de acero calculada, ya se puede aplicar el balance de energía del extractor en el tiempo de calentamiento. Como se explicó anteriormente, en este periodo el vapor es usado para que condense debido a su contacto con los sólidos más fríos y que así ceda su calor latente.

$$m_{vapC} \cdot \lambda = m_{me} \cdot C_{p_m} \cdot (T_{mf} - T_{mi}) + F_p \cdot m_a \cdot C_{p_a} \cdot (T_{af} - T_{ai}) \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

- m_{vapC} es la masa de vapor requerida en el periodo de calentamiento (kg).
- λ es el calor latente del agua a 100°C y 1 atm (kJ/kg).
- M_{me} es la masa de menta a la entrada (kg).
- C_{p_m} es el calor específico de la menta (kJ/(kg·K)).
- T_{mf} es la temperatura de la menta al final de la operación (K).
- T_{mi} es la temperatura de la menta al inicio de la operación (K).
- M_a es la masa de acero que envuelve al lecho (kg).
- C_{p_a} es el calor específico del acero escogido (kJ/(kg·K)).
- T_{af} es la temperatura del acero al final de la operación (K).
- T_{ai} es la temperatura del acero al inicio de la operación (K).

- F_p es un factor que considera que no solo el acero que envuelve al lecho se calienta, si no que también considera un porcentaje de torre algo mas grande debido a la transmisión de calor. Se asumirá su valor en 1,3, es decir, transmite calor a un 30% más de masa de acero de la que exclusivamente envuelve al lecho.

Se asumirá que T_{mf} y T_{af} serán iguales a la temperatura de entrada del vapor (100 °C).

Una vez se tiene la masa de vapor requerida en el calentamiento, se calcularía el tiempo de calentamiento, puesto que se sabe por datos experimentales el caudal másico de vapor que se debe introducir para la extracción de aceite esencial de menta.

$$tc = m_{vapC} \cdot \dot{m}_v \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

- tc es el tiempo de calentamiento (min).
- m_{vapC} es la masa de vapor requerida en el periodo de calentamiento (kg).
- \dot{m}_v es el caudal másico de vapor impuesto (kg/min).

Tabla 33. Resultados del diseño de la zona de calentamiento del destilador.

| RESULTADOS | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|-----------|--------|----------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| A (m ²) | H _{lecho} (m) | e (m) | De (m) | V _a (m ³) | m _a (kg) | m _{vapC} (kg) | t _c (min) |
| 1,026 | 0,7416 | 0,0007743 | 1,145 | 0,00203 | 16,3 | 18,11 | 6,036 |

Tiempo de extracción

La fase de extracción es muy compleja, ya que tiene involucrados muchos factores, como la transferencia de agua, aceite, perdidas de calor por conducción, convección y radiación, variación del rendimiento en función de la perdida de carga del lecho, condiciones de entrada y salida del vapor, etcétera. De manera que no se puede modelar facilmente de forma matemática el tiempo que conlleva este proceso y su requerimiento de vapor, se suelen coger datos experimentales, y se corrigen.

Los datos experimentales recogidos serán de (TIM DENNY, 2009) [33]. De estos datos se sacaron los parámetros importantes para el cálculo de este tiempo.

Tabla 34. Datos de partida para el diseño de la etapa de extracción del destilador.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|-------------------|----------------|-------|-----|
| Tiempo básico | t _d | 30,1 | min |
| Factor incremento | s | 0,468 | - |

En primer lugar, hay que calcular el factor de corrección de densidad. Este factor tiene en cuenta la diferencia entre la densidad de la menta usada en las pruebas experimentales y la densidad de la menta en el lecho industrial. Sirve para adaptar el tiempo básico.

$$F_{cd} = \frac{A - 0,00664 \cdot (\rho_m \cdot H \cdot A)^{\frac{2}{3}}}{A - 0,00664 \cdot (m_{me})^{\frac{2}{3}}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

- F_{cd} es el factor de corrección de densidad.
- A es el area transversal (m^2).
- H es la altura del lecho (m).
- m_{me} masa de menta a la entrada (kg).
- ρ_m densidad de la menta (kg/m^3).

Con este factor se calcula el tiempo básico corregido:

$$t_{bc} = \frac{t_b}{F_{cd}} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

- t_{bc} es el tiempo básico corregido (min).
- t_b es el tiempo básico (min).
- F_{cd} es el factor de corrección de densidad.

Antes de hallar el tiempo de extracción, es importante calcular la variación de la altura del lecho con el cambio de densidad del material:

$$H_v = H \cdot \frac{\rho}{\rho_m} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

- H_v es la altura virtual, es decir, la altura de la carga a la densidad de referencia (m).
- H es la altura de la carga a la densidad de la menta (m).
- ρ es la densidad de referencia (kg/m^3).
- ρ_m es la densidad de la menta (kg/m^3).

Ahora se calculará el tiempo de extracción (min) suponiendo que el rendimiento de extracción varía muy poco frente a los distintos valores de densidad del lecho de menta. De modo que se asumirá que el factor s , no cambia con el rendimiento.

$$t_e = t_{bc} \cdot \sqrt{1 + \frac{H_v}{s}} \quad \text{Ecuación 32}$$

Con este tiempo y el de calentamiento, se podría hallar el tiempo total del proceso (min):

$$t_T = t_c + t_e \quad \text{Ecuación 33}$$

Y con tiempo total se calcula la cantidad de vapor total requerido en la operación (kg):

$$m_{vap} = \dot{m} \cdot t_T \quad \text{Ecuación 34}$$

Tabla 35. Resultados de diseño de la etapa de extracción del destilador.

| RESULTADOS | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| F_{cd} | H_{TOTAL} | De (m) | t_e (min) | t_T (min) | m_{vapE} | m_{vapTOTAL} |
| 1 | 1,602 | 1,145 | 30,1 | 36,14 | 90,29 | 108,4 |

DISEÑO MECÁNICO

Dimensiones del extractor

Debido a que se supuso el diámetro interno, se pudo conocer el espesor de la lámina de acero de construcción. Con ese espesor se calculó el diámetro externo que debía tener el extractor. Debido a que ya se tiene el diámetro, se puede conocer la altura total de este con una simple correlación recomendada [33].

$$H_D = 1,4 \cdot D_e \quad \text{Ecuación 35}$$

Diseño del distribuidor de vapor

Para el diseño de este elemento se supondrán cuatro brazos en forma de cruz. Para su diseño se necesitan algunos datos de partida:

Tabla 36. Datos de partida para el diseño del distribuidor de vapor.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|--|-------------------------|--------|--------------------|
| Volumen específico del vapor a 100 °C y 1 atm | v | 1,6742 | m ³ /kg |
| Velocidad máxima de vapor recomendada | v | 3000 | m/min |
| Diámetro de los agujeros del distribuidor | D_{perf} | 4,7625 | min |

Deberán definirse 3 parámetros:

1. Diámetro de la tubería.

$$D = \sqrt{\frac{21220 \cdot \dot{m} \cdot v}{v}} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

- D es el diámetro de la tubería (mm).
- \dot{m} es el caudal másico de vapor (kg/h).
- v es el volumen específico del vapor a 100 °C y 1 atm (m³/kg).
- v velocidad máxima del vapor recomendada (m/min). El valor será escogido de la Tabla 37 y sera 3000 m/min.

Tabla 37. Recomendaciones para velocidades de fluidos por tuberías [34].

| Condiciones del vapor de agua | Presión bar (p) (libras/pulg ²) | Servicio | Velocidad razonable metros por minuto (pies por minuto) (V) |
|-------------------------------|--|---|---|
| Saturado | 0 a 1.7(0 a 29) | Calfacción (líneas cortas) | 1200 a 1800 (4000 a 6000) |
| | mayor de 1.7 (mayor de 25) | Equipo centrales térmicas, tubería de proceso, etc. | 1800 a 3000 (6000 a 10 000) |
| Sobrecalentado | mayor de 14 (mayor de 200) | Conexiones de calderas, turbinas, etc. | 2000 a 6000 (7000 a 20 000) |

2. Número de agujeros (N).

$$N = \frac{D^2}{D_{perf}^2} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

- N es el número de agujeros.
- D es el diámetro de la tubería (mm).
- D_{perf} es el diámetro de cala uno de los agujeros del distribuidor. Será un valor impuesto por fabricante (mm) [22].

3. Distancia entre agujeros (d_p)

$$d_p = \frac{L}{N_L + 1} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

- d_p es la distancia entre agujeros (mm).
- L es la longitud de un brazo del distribuidor, que se supondrá igual al radio interno del destilador (mm). Véase la Figura 43.
- N_L es el número de agujeros que contiene uno de los brazos del distribuidor, es decir, el número de agujeros totales entre 4 brazos.

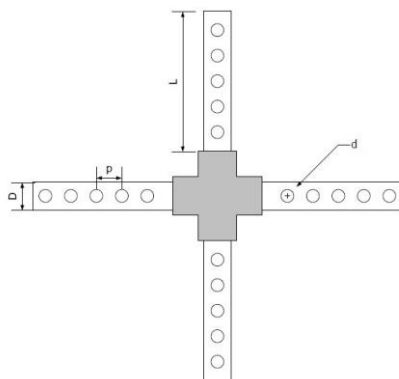


Figura 43. Esquema del distribuidor de vapor.

Tabla 38. Resultados del diseño del distribuido de vapor.

| RESULTADOS | | |
|------------|----|---------|
| D (mm) | N | dp (mm) |
| 46,17 | 94 | 23,3 |

Diseño de la malla

Se utilizará una malla con 20 agujeros por pulgada cuadrada, sabiendo que esta malla tiene de diámetro, el diámetro interno supuesto para el extractor y 1 mm de espesor [33]. Esta estará ubicada entre el refuerzo de la base y la cara anterior de esta. Tendrá un cierto ángulo para facilitar la descarga de sólidos.

5.4. Parámetros y dimensionamiento del condensador

Para el diseño del condensador se escogerá un condensador de carcasa y tubos, y se hallará la longitud necesaria para cada una de las dos etapas que ocurren en él. Se diseñará por el método ϵ -NTU. Para aplicar este método, se conocen los datos de entrada de los fluidos, y de deberán definir algunas especificaciones.

Tabla 39. Datos de partida para el diseño del condensador.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|---|-------------------|--------|--------------------|
| Temperatura del vapor saturado (agua-aceite) | T_{ag-ac} | 100 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Temperatura del agua refrigerante | T_{re} | 25 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Calor latente del agua a 100 $^{\circ}\text{C}$ | λ | 2.256 | kJ/kg |
| Caudal másico de vapor saturado (agua-aceite) | \dot{m}_{ag-ac} | 0.0415 | kg/s |

Las especificaciones para el diseño serían:

- Se impondrá la temperatura a la que tendrá que salir la mezcla de agua y aceite esencial, ya que es un parámetro importante en la operación de separación posterior. Esta será de 45 $^{\circ}\text{C}$.
- Se impondrá la temperatura del agua intermedia refrigerante, es decir, la temperatura a la que debería acabar la etapa de condensación. Ajustar correctamente este parámetro es muy importante tanto para el

caudal de refrigerante introducido, como para la etapa posterior de enfriamiento. Por ello esta temperatura no puede exceder de 45 °C. Un valor prudente es 40 °C.

- Se impondrá el número de tubos, el factor de resistencia a conducción y los factores de ensuciamiento se supondrán despreciables debido a que el fluido es mayormente agua en ambas secciones del intercambiador.
- Se supondrá que los tubos tendrán un diámetro interno y externo impuesto por el fabricante.
- Por último, se impondrá un coeficiente de película externo, con un valor aproximado en situaciones similares.

Tabla 40. Especificaciones para el diseño del condensador.

| ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO | | | |
|--|--------------|--------|-----------------------|
| Temperatura intermedia impuesta del refrigerante | T_r' | 40 | °C |
| Temperatura de salida impuesta de mezcla líquida | T_{ag-acS} | 45 | °C |
| Numero de tubos | N_t | 40 | - |
| Factor de ensuciamiento interno | F_{si} | 0 | - |
| Factor de ensuciamiento externo | F_{se} | 0 | - |
| Resistencia a conducción | R_{cd} | 0 | - |
| Diámetro interno de tubos | D_i | 10,922 | mm |
| Diámetro externo de tubos | D_e | 12,7 | mm |
| Coficiente de película externo estimado | h_{ext} | 1800 | W/(m ² ·K) |

ETAPA DE CONDENSACIÓN

En la Figura 44 se puede observar la evolución que tendrán las entalpías y las temperaturas de las corrientes del condensador en la etapa de condensación.

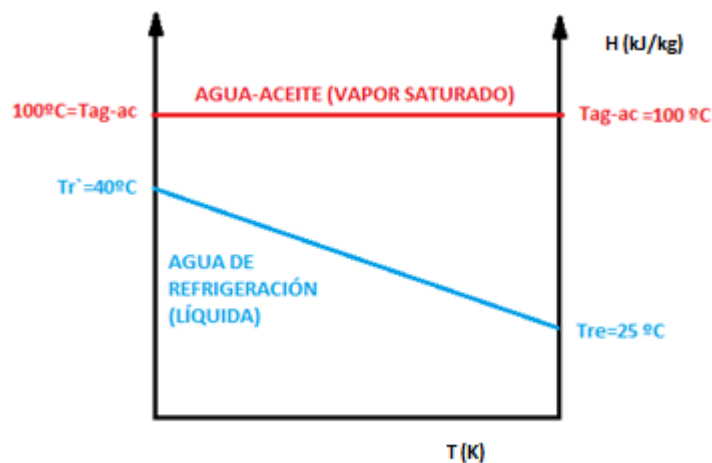


Figura 44. Esquema de los perfiles de temperatura de la condensación en el intercambiador.

En esta etapa se debe calcular, con ayuda del balance de energía, la masa de agua refrigerante, además de la longitud del intercambiador que requiere esta etapa.

Si se aplica el balance de energía:

$$Q_c = \dot{m}_{agR} \cdot C_{p_{agR}} \cdot (T'_r - T_{re}) = \dot{m}_{ag-ac} \cdot \lambda \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

- Q_c es el calor intercambiado en la etapa de condensación (kW).
- \dot{m}_{agR} es el flujo másico de agua refrigerante (kg/s).
- $C_{p_{agR}}$ es el calor específico del agua refrigerante (kJ/(kg·s)). Calculado en EES.
- T'_r es la temperatura del refrigerante al terminar la condensación (K).
- T_{re} es la temperatura del refrigerante inicialmente (K).
- \dot{m}_{ag-ac} es el flujo másico de la mezcla de agua aceite (kg/s).
- λ es el calor latente del agua a 100 °C (kJ/kg). Calculado en EES.

A continuación, se debe hallar el C_{min} . Como uno de los fluidos está en ebullición, la C_{min} quedaría como:

$$C_{min} = \dot{m}_{agR} \cdot C_{p_{agR}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Con esta información se hallaría el factor ε .

$$Q_c = \varepsilon \cdot C_{min} \cdot \Delta T_{m\acute{a}x} \quad \text{Ecuación 41}$$

Paralelamente debe conocerse C_R :

$$C_R = \frac{C_{min}}{C_{m\acute{a}x}} \quad \text{Ecuación 42}$$

Como en este caso se trata de un fluido en ebullición, el C_R se aproxima a 0.

Con el parámetro ε y C_R se puede hallar NTU, de tablas en el Anexo F.

El siguiente paso es calcular el coeficiente de transferencia interna h_{int} . Para ello se debe hallar la velocidad del fluido en el interior del tubo.

$$\frac{\dot{m}_{1tubo} \cdot N_{pt}}{N_t} = \rho_{agR} \cdot v \cdot A_s \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el flujo másico de agua refrigerante por cada tubo (kg/s).
- N_{pt} es el número de pasos por tubos.
- N_t es el número de tubos

- ρ_{agR} es la densidad del agua refrigerante (kg/m^3). Cálculada en EES.
- v es la velocidad del fluido en un tubo (m/s).
- A_s es el área de la sección del tubo (m^2). Se calcularía con el diámetro interno.

Con la velocidad se halla el Re por la Ecuación 9 con las propiedades del agua proporcionada por EES.

Con ello y con la definición de Nu se calcularía el vaor de hint.

Con el valor de hint ya se puede calcular el Coeficiente Global de Transferencia de Calor (U).

$$U = \frac{1}{A_{ext} \cdot \left(\frac{1}{h_{int} \cdot A_{int}} + \frac{1}{h_{ext} \cdot A_{ext}} + \frac{F_{si}}{A_{int}} + \frac{F_{se}}{A_{ext}} + R_{cd} \right)} \quad \text{Ecuación 44}$$

Y se aplica la Ecuación 45 para calcular la longitud:

$$NTU = \frac{N_t \cdot \pi \cdot D_e \cdot L_c \cdot U}{C_{min}} \quad \text{Ecuación 45}$$

Tabla 41. Resultados del diseño de la etapa de condensación en el intercambiador.

| RESULTADOS ETAPA DE CONDENSACIÓN | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|------------|------------|--------|------------|--------|---------------------------------|---------------------------|--------|
| \dot{m}_{agR} (kg/s) | Cmin (kJ/s) | Qc (kW) | ϵ | NTU | v (m/s) | Re | hint (w/(m ² ·K)) | U (w/(m ² ·K)) | Lc (m) |
| 1,801 | 7,521 | 112,8 | 0,2 | 0,2181 | 0,9664 | 14.039 | 5.125 | 1.220 | 0,8424 |

FASE DE ENFRIAMIENTO

En la Figura 455 se puede observar la evolución que tendrán las entalpías y las temperaturas de las corrientes del condensador en la etapa de enfriamiento.

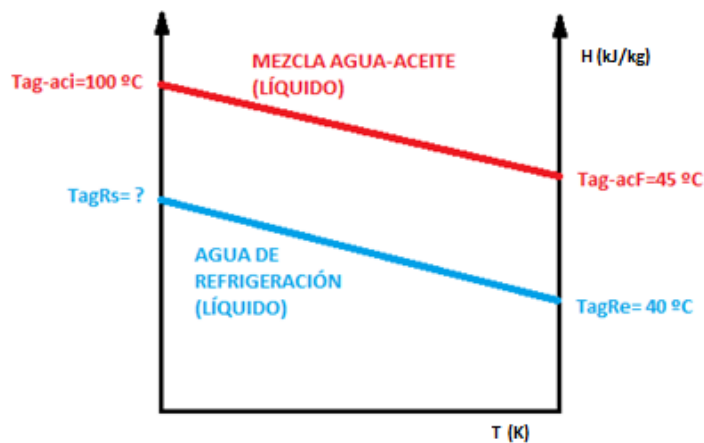


Figura 45. Esquema de los perfiles de temperatura del enfriamiento en el intercambiador.

En esta etapa se debe calcular, con ayuda del balance de energía, la temperatura de salida del refrigerante, con el caudal calculado anteriormente de refrigerante a introducir.

El balance de energía quedaría como:

$$Q_e = \dot{m}_{agR} \cdot C_{p_{agR}} \cdot (T_{agRs} - T'_r) = \dot{m}_{ag-ac} \cdot C_{p_{ag-ac}} \cdot (T_{SATag} - T_{ag-acS}) \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

- Q_e es el calor intercambiado en la etapa de enfriamiento (kW).
- \dot{m}_{agR} es el flujo másico de agua refrigerante (kg/s).
- $C_{p_{agR}}$ es el calor específico del agua refrigerante (kJ/(kg·s)). Calculado en EES.
- T'_r es la temperatura del refrigerante al terminar la condensación (K).
- T_{agRs} es la temperatura del refrigerante a la salida (K).
- \dot{m}_{ag-ac} es el flujo másico de la mezcla de agua aceite (kg/s).
- $C_{p_{ag-ac}}$ es el calor específico de la mezcla de agua y aceite (kJ/(kg·s)). Calculado en EES.
- T_{SATag} es la temperatura de saturación del agua (K).
- T_{ag-acS} es la temperatura de la mezcla de agua y aceite a la salida (K).

Una vez obtenida la temperatura de salida del refrigerante, los cálculos para calcular la longitud son los mismos que en la etapa anterior.

Tabla 42. Resultados de diseño de la etapa de enfriamiento en el intercambiador.

| RESULTADOS ETAPA DE ENFRIAMIENTO | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------|---------------------|------------|--|-------------------------------------|---------------|
| TagRs (K) | Cmin' (kJ/s) | Qe (kW) | ε' | NTU' | v' (m/s) | Re' | hint' (w/(m²·K)) | U' (w/(m²·K)) | Le (m) |
| 314,5 | 0,209 | 11,5 | 0,9167 | 2,6 | 0,9845 | 26.878 | 6.930 | 1.332 | 0,2556 |

LONGITUD Y CALOR TOTAL TRANSFERIDO

Se deben sumar los parámetros de la etapa de conndensación y enfriamiento:

$$Q = Q_c + Q_e \quad \text{Ecuación 47}$$

$$L = L_c + L_e \quad \text{Ecuación 48}$$

Tabla 43. Resultados finales del diseño del intercambiador.

| RESULTADOS | |
|-------------------|--------------|
| Q (kW) | L (m) |
| 124,3 | 1,098 |

5.5. Parámetros y dimensionamiento del decantador

Los datos de partida para el diseño de este equipo serán:

Tabla 44. Datos de partida para el diseño del decantador.

| DATOS DE PARTIDA | | | |
|--|-------------|--------|-------------------|
| Viscosidad del agua a 45 °C | μ_{ag} | 0,5963 | cP |
| Densidad del agua a 45 °C | ρ_{ag} | 990,3 | kg/m ³ |
| Densidad del aceite esencial de menta a 45 °C | ρ_{ac} | 866,7 | kg/m ³ |

TIEMPO DE RESIDENCIA

En primer lugar, se calculará el tiempo necesario para la separación de los dos líquidos [35].

$$t = 100 \cdot \frac{\mu_{ag}}{\rho_{ag} - \rho_{ac}} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

- t es el tiempo de residencia en el decantador para la separación de los líquidos (h).
- μ_{ag} es la viscosidad del agua a 45 °C (cP).
- ρ_{ag} es la densidad del agua a 45 °C (kg/m³).
- ρ_{ac} es la densidad del aceite esencial a 45 °C (kg/m³).

VOLUMEN DEL DECANTADOR

Conociendo el tiempo de residencia y el caudal mezcla de agua y aceite, se puede calcular el volumen que debe tener el decantador:

$$V = Q \cdot t \quad \text{Ecuación 50}$$

Una vez conocido este volumen se calculará el volumen real V_R con un factor de seguridad del 10 %, además, se supondrá que la relación longitud diámetro para este equipo será $L/D=5$ [36].

Tabla 45. Resultados del diseño del decantador.

| RESULTADOS | | | |
|-------------------|--------------------------|--------------|--------------|
| t (h) | V (m³) | L (m) | D (m) |
| 0,4824 | 0,1 | 1,45 | 0,3 |

5.6 Dimensionamiento de tanques

Para el dimensionamiento de los tanques TK-101, TK-102, TK-103 y TK-104 se usarán los códigos API-650. Esta norma distingue entre tanques para el almacenamiento de sólidos y líquidos. En este caso se debe tener en cuenta que se almacenará agua a 1 atm y 25 °C. En el caso del TK-103 se almacenará el agua floral, que se supondrá con las mismas propiedades físicas del agua.

El primer paso para el dimensionamiento de tanques sería hallar el volumen de agua que albergarían. Se considerará que al día hay dos ciclos de trabajo, de manera que el tanque almacenará el agua requerida para estos dos ciclos, además de la cantidad de agua proporcional a un ciclo más. Esto último se hace para que la planta no se quede parada en caso de un fallo en el abastecimiento de agua de red. Es muy importante considerar que el volumen de fluido en el tanque no debe exceder el 80% del volumen total de este [37].

Para un tanque de líquidos a la presión y temperaturas de trabajo, las correlaciones impuestas por la norma con respecto al diámetro y la altura de los tanques serían los siguientes.

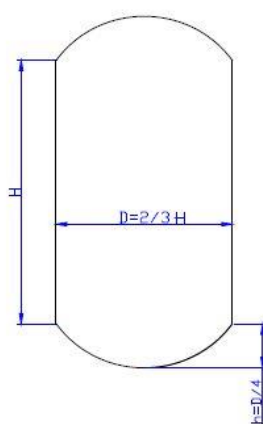


Figura 46. Correlaciones de diseño impuestas por el código API-650.

Una vez se tiene la relación entre el diámetro de la torre (D), la altura de la parte cilíndrica de la torre (H) y la altura de la parte de la cabeza y la cola (h), se pueden saber todos los valores de diseño con las siguientes ecuaciones.

$$V_T = V_{CIL} + 2 \cdot V_{C-C} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

- V_T es el volumen total del tanque (m³).
- V_{CIL} es el volumen de la parte cilíndrica (m³).
- V_{C-C} es el volumen de la parte de la cabeza/cola (m³).

Estos volúmenes a su vez se calculan como:

$$V_{CIL} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot H \quad \text{Ecuación 52}$$

$$V_{C-C} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{6} \quad \text{Ecuación 53}$$

El dimensionamiento de los tanques quedaría como:

Tabla 46. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-101.

| RESULTADOS TK-101 | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Vagua (m³) | V_T (m³) | h (m) | H (m) | D (m) |
| 14,345 | 17,93 | 0,58 | 3,5 | 2,3 |

Tabla 47. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-102.

| RESULTADOS TK-102 | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Vagua (m³) | V_T (m³) | h (m) | H (m) | D (m) |
| 0,1743 | 0,2179 | 0,13 | 0,8 | 0,5 |

Tabla 48. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-103.

| RESULTADOS TK-103 | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Vagua (m³) | V_T (m³) | h (m) | H (m) | D (m) |
| 0,1161 | 0,15 | 0,12 | 0,7 | 0,5 |

Tabla 49. Resultados del dimensionamiento del tanque TK-104.

| RESULTADOS TK-104 | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Vagua (m³) | V_T (m³) | h (m) | H (m) | D (m) |
| 11,9 | 14,9 | 0,55 | 3,3 | 2,2 |

PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DISEÑO

Según el código API-650, la presión de diseño se estima en un 10% superior a la presión de operación [37]. La presión y temperatura de diseño serán especificadas en las hojas de especificaciones de cada uno de los tanques.

5.7. Parámetros de bombas

Se escogerán algunas bombas centrífugas en las líneas más importantes de la planta. Puesto que no se conocen las dimensiones exactas de la planta, se estimará la longitud de las líneas para tener un valor aproximado de la pérdida de carga que el fluido debe vencer en su circulación. Además, la pérdida de carga de equipos como la caldera o intercambiador se supondrán tomando valores de bibliografía.

Por otra parte, para la caracterización completa de una bomba centrífuga se requieren de algunos parámetros de interés:

1. Caudal volumétrico para impulsar (Q).

2. Altura proporcionada por la bomba (H_b). Para ello se utiliza la ecuación de Bernuilli, que no es más que un balance de energía mecánica.

$$H_b = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + h_{1-2} + h_{EQUIPOS} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

- P_i son las presiones a la entrada (1) y a la salida de la bomba (2) (Pa).
 - ρ es la densidad del fluido (kg/m^3).
 - u_i son las velocidades a la entrada (1) y a la salida de la bomba (2) (m/s).
 - h_{1-2} es la pérdida de carga de la línea (Pa). Calculada en el Anexo H.
 - $h_{EQUIPOS}$ es la pérdida de carga de los equipos (Pa).
3. Potencia suministrada por la bomba (W). Aunque hay que considerar que el rendimiento (η) de las bombas no es del 100%. Por ello se calcula la potencia real (W_{REAL}) en kW.

$$W = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_b \quad \text{Ecuación 55}$$

$$W_{REAL} = \frac{W}{\eta} \quad \text{Ecuación 56}$$

El valor de η es dado por el fabricante. A veces, el propio fabricante da el valor de la potencia real.

4. NPSH disponible es la altura mínima que requiere la succión de una bomba para que no haya cavitación. Si la presión en algún punto del circuito es menor que la presión de vapor del líquido tendrá lugar la cavitación, es decir, la bomba aspira vapor en lugar de líquido, lo que puede causar importantes daños en el equipo [33].

$$NPSH_d = \frac{P_1}{\rho} - \frac{P_{H2O}^0}{\rho} - h_{1-1'} - h_{EQUIPOS} \quad \text{Ecuación 57}$$

Se debe aclarar que el punto 1' es el punto justo en la entrada de la bomba.

5. NPSH requerido es un dato dado por el fabricante. Se relaciona con el NPSH disponible como:

$$NPSH_r \geq \frac{NPSH_d}{1,2} \quad \text{Ecuación 58}$$

Esto último supone un criterio para la elección de la bomba.

Tabla 50. Parámetros y elección de bomba.

| Bomba | Q(m3/h) | Hb (m) | W(kW) | NPSHd | NPSHr | Modelo | Empresa | Anexo |
|-------|---------|--------|-------|-------|-------|-----------|------------|-------|
| P-101 | 6,4836 | 15,779 | 0,74 | 10,09 | 8,412 | CPM-158 | AGB Bombas | I |
| P-102 | 6,400 | 9,9 | 0,55 | 10,1 | 8,42 | CX-120/55 | AGB Bombas | J |

6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

En este capítulo se estimará el coste de inversión inicial de la planta estimando el coste de cada uno de los equipos en función de sus parámetros operacionales en base a un método de estimación. Además, se estudiará la rentabilidad financiera de la planta en una vida de 10 años según algunos indicadores financieros.

6.1. Coste de equipos

En primer lugar, se deben calcular los costes de cada uno de los equipos de la planta, para ello se usa la capacidad o tamaño del equipo. Estos parámetros se relacionan con el coste de inversión del equipo por la ecuación [38]:

$$\log_{10} C_{Equipos}^0 = K_1 + K_2 \cdot \log_{10}(A) + K_3 \cdot (\log_{10}(A))^2 \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde:

- C_{Equipo} es el coste base del equipo, es decir, si la presión es atmosférica, opera a temperatura ambiente y es construido con acero al carbono (\$).
- A es la capacidad o tamaño del equipo. Este parámetro depende del equipo que se trate, por ejemplo, si se habla de un horno la capacidad sería el calor total transferido. Si por en cambio fuese un tanque, su capacidad sería su volumen. Véase el Anexo M.
- K_i son unos parámetros característicos de cada equipo. Véase el Anexo M.

Hay que tener en cuenta si el equipo no trabaja a presión atmosférica, en este caso, hay que introducir un factor de corrección por presión conocido como F_P . Este valor puede calcularse como [38]:

$$\log_{10} F_P = C_1 + C_2 \cdot \log_{10}(P) + C_3 \cdot (\log_{10}(P))^2 \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

- F_P es el factor de corrección de presión (bar).
- P es la presión de operación de los equipos (bar).
- C_i son los parámetros característicos de los equipos para este cálculo. Véase Anexo M.

También se debe introducir un factor de corrección por material para aquellos equipos que no son de acero al carbono, conocido como F_M .

Por último, una vez se tiene el coste base del equipo, y los factores de corrección se aplican las correlaciones proporcionadas por la Tabla 53, para calcular el coste total del equipo.

En primer lugar, deben concretarse cuales son las capacidades de los equipos de la planta diseñada.

Tabla 51. Capacidades de los diferentes equipos de la planta.

| Equipo | Capacidad o Tamaño |
|--------------------------------|---|
| Bombas | Potencia (kW) |
| Ventiladores | Potencia (kW) |
| Tanques | Volumen (m ³) |
| Horno | Calor transferido (kW) |
| Extractor (Vasija vertical) | Volumen (m ³) |
| Intercambiador | Área de transferencia (m ²) |
| Decantador (Vasija horizontal) | Volumen (m ³) |

En la Tabla 52 se muestran los parámetros de necesarios para calcular el coste de cada equipo de acuerdo con las correlaciones de la Tabla 53.

Tabla 52. Parámetros K_i de los equipos de la planta.

| Equipo | K_1 | K_2 | K_3 |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Bombas | 3,3892 | 0,0536 | 0,1538 |
| Ventiladores | 3,1761 | -0,1373 | 0,3414 |
| Tanques (Techo fijo) | 4,8509 | -0,3973 | 0,1445 |
| Horno | 2,7652 | 0,7282 | 0,0783 |
| Extractor (Vasija vertical) | 3,4974 | 0,4485 | 0,1074 |
| Intercambiador | 3,3444 | 0,2745 | -0,0472 |
| Decantador (Vasija vertical) | 3,4974 | 0,4485 | 0,1074 |

Con respecto a la corrección por presión, se puede decir que todos los equipos trabajarían a presión atmosférica menos el horno. El cual no tendrá tampoco corrección por presión por que trabaja a menos de 10 bar. Véase el Anexo M.

Con respecto a la corrección por material, se puede decir que todos los equipos estarán constituidos de acero al carbono, de manera que su F_M será igual a 1. Los equipos elegidos por catálogo como el lavador y el molino estarían constituidos de acero inoxidable y acero templado, pero de ellos se tienen los precios del catálogo. También, se debe aclarar que se calculará el precio del secadero atendiendo a la cantidad de acero comercial que se necesite para construirlo.

Una vez se conoce el precio base y F_P y F_M , se calcula el precio total del equipo atendiendo a las siguientes correlaciones:

Tabla 53. Correlaciones del precio final de los equipos [38]

| Tabla 4. Coste final del equipo (corrección por P, T y materiales) | |
|--|---|
| Equipo | Correlación |
| Intercambiadores de calor, Vasija y bomba | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot (B_1 + B_2 \cdot F_M \cdot F_p)$ (Costes fabricación, preparación y envío) |
| Compresores y soplantes | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM}$ |
| Evaporadores y vaporizadores | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM} \cdot F_p$ |
| Ventiladores | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM} \cdot F_p$ |
| Calderas y Hornos | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM} \cdot F_p \cdot F_T$ $F_T = 1 + 0,00184 \cdot \Delta T - 0,00000335(\Delta T)^2$ Donde: F_T es el factor de sobrecalentamiento en calderas de vapor ΔT = Sobrecalentamiento en °C |
| Turbinas | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM}$ |
| Columnas de plato y separadores de gotas | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot N \cdot F_M \cdot F_q$ $\log_{10} F_q = 0,4771 + 0,08516 \cdot \log_{10} N - 0,3473(\log_{10} N)^2$ si $N < 20$ $F_q = 1$ si $N > 20$ Donde : N es el número de platos F_q es un factor de corrección en C. plato |
| Columnas de relleno | $C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 \cdot F_{BM}$ |

Nota: Factores de corrección obtenidos a partir del ANEXO I teniendo en cuenta el equipo

- C_{equipos}^0 Coste del equipo calculado mediante correlación o mediante la regla de Williams
- F_{BM} es un factor de corrección que computa el efecto del material
- F_M es un factor de corrección que depende del material de construcción
- F_p es un factor de corrección que depende de la presión
- B_i son parámetros característicos del equipo

Como se puede observar en la Tabla 53, se deben conocer los parámetros B_i .

Tabla 54. Parámetros B_i de los equipos de la planta.

| Equipo | B_1 | B_2 |
|--------|-------|-------|
| Tanque | 1,10 | - |
| Bomba | 1,89 | 1,35 |
| Horno | 1,74 | 1,55 |

También en caso de que el método anterior no ofrezca un valor coherente, puede usarse el método de “Estimación del coste base de equipos a partir de otro equipo”. Este se corrige en función de la capacidad con el método de Williams [38]:

$$\frac{C_{\text{Equipo 1}}^0}{C_{\text{Equipo 2}}^0} = \left(\frac{A_{\text{Equipo 1}}}{A_{\text{Equipo 2}}} \right)^\alpha \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

- $C_{\text{Equipo } i}^0$ es el precio base del equipo (\$).
- $A_{\text{Equipo } i}$ es la capacidad del equipo.
- α parámetro que se puede suponer 0,6.

Tabla 55. Coste total de los equipos.

| Equipo | Nomenclatura | Capacidad | Capacidad | Precio (\$) |
|----------------------------|---------------------|---|------------------|--------------------|
| Bomba | P-101 | Potencia (kW) | 0,74 | 3.036,46 |
| Bomba | P-102 | Potencia (kW) | 0,55 | 2.437,82 |
| Ventilador | C-101 | Potencia (kW) | 3,5 | 1.594,00 |
| Ventilador | C-102 | Potencia (kW) | 3,5 | 1.594,00 |
| Ventilador | C-103 | Potencia (kW) | 0,37 | 1.990,86 |
| Tanque | TK-101 | Volumen (m ³) | 17,9 | 12.925,1 |
| Tanque | TK-102 | Volumen (m ³) | 0,2 | 871,65 |
| Tanque | TK-103 | Volumen (m ³) | 0,15 | 733,46 |
| Tanque | TK-104 | Volumen (m ³) | 14,9 | 11.578,07 |
| Horno | H-101 | Calor transferido (kW) | 144,8 | 11.791,11 |
| Extractor | T-101 | Volumen (m ³) | 1,7 | 4.026,37 |
| Intercambiador | E-101 | Área de transferencia (m ²) | 53,76 | 4.765,09 |
| Decantador | S-101 | Volumen (m ³) | 0,1 | 1.340,29 |
| Secadero | D-101 | - | - | 9.760,00 |
| Lavador | L-101 | - | - | 5.000,00 |
| Molino | M-101 | - | - | 1.500,00 |
| Total coste equipos | | | | 74.944,28 |

6.2. Coste total de la planta

Se puede calcular el coste total de la planta en base al coste total de los equipos. Esto se consigue gracias al método de estimación de Chilton.

Este método de estimación aplica factores de corrección al coste total de los equipos para calcular distintos costes directos e indirectos de la planta. Para los factores de conversión, se consideran los valores medios del rango dado.

En la Tabla 56 se distinguen los costes directos de la planta con sus factores de corrección.

Tabla 56. Coste total de la planta aplicando el Método de Chilton.

| Concepto | Factor | Concepto | Precio (\$) |
|---|-----------|----------|------------------|
| 1. Coste de equipos principales | 1 | 1 | 74.944,28 |
| 2. Coste de equipos instalados | 1,4-2,2 | 1 | 104.921,922 |
| 3. Tuberías (Planta mixta) | 0,1-0,3 | 2 | 10.492,19 |
| 4. Instrumentación (Algo de automatización) | 0,05-0,1 | 2 | 5.246,1 |
| 5. Edificios y preparación del terreno (Planta mixta) | 0,6-1 | 2 | 62.953,15 |
| 6. Auxiliares (Pequeña ampliación) | 0-0,05 | 2 | 2.623,048 |
| 7. Líneas exteriores (Unidad integrada) | 0-0,05 | 2 | 2.623,048 |
| 8. Coste directo: (suma 2+3+4+5+6+7) | | | 188.859,46 |
| 9. Ingeniería y construcción (Complejidad simple) | 0,2-0,35 | 8 | 37.771,89 |
| 10. Contingencia y beneficio del contratista (Proceso sujeto a cambios) | 0,2-0,3 | 8 | 37.771,89 |
| 11. Factor del tamaño (Pequeña) | 0,05-0,15 | 8 | 9.442,97 |
| Costes indirectos: (suma 9+10+11) | | | 84.986,75 |
| COSTE TOTAL DE LA PLANTA (\$) | | | 273.846,2 |
| COSTE TOTAL DE LA PLANTA (€) | | | 246.461,8 |

6.3. Análisis de la inversión

Para el análisis de la inversión se calculará el VAN, el TIR y el Payback de la inversión.

6.3.1. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto se calcula de forma bastante simple calculando previamente los flujos de caja, según las siguientes ecuaciones.

$$FC = BDI + AMORTIZACIÓN \quad \text{Ecuación 62}$$

$$BDI = (ING - GAST - AMORTIZACIÓN) * (1 - TI) \quad \text{Ecuación 63}$$

Donde:

- FC es el flujo de caja anual (€/año).
- BDI es el beneficio después de impuestos anual (€/año).
- AMORTIZACIÓN es el valor de la amortización de los equipos anual (€/año).
- ING son los ingresos anuales (€/año).
- GAST son los gastos anuales (€/año).
- TI es la tasa impositiva, en este caso del 0,3.

Una vez hecho el estudio de los flujos de caja, se calcula el VAN con la siguiente ecuación.

$$VAN = -A + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+k)^i} \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

- A es la amortización inicial (€).
- n son los años de vida de la planta.
- FC_i son los flujos de cajas anuales.
- K es el tipo de interés. En este caso del 10%.

Para realizar esto es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La planta tendrá una vida de 10 años.
2. La obtención de aceite esencial en planta anualmente será de 2,52 kg/lote.
3. Se trabaja con dos lotes al día.
4. Al año la planta trabajará 225 días.
5. El precio de aceite esencial será 0,5 €/mL.
6. El precio de la menta fresca será 2 €/kg.
7. La masa de menta fresca será 530 kg/lote.

8. El coste del agua será 0,8 €/mL.
9. El precio de gas natural será 0,045 (€/kg·h).
10. El precio de la electricidad será de 0,1255 (€/kg·h).

En las Tablas 57 y 58 se muestran los flujos de cajas anuales.

Tabla 57. Cálculo del BDI anual.

| Año | (Inversión) | Ingreso | (Gasto) | (Amortización) | BAI | (Impuestos) | BDI |
|------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------|--------------------|------------|
| 0 | 246461,759 | - | - | - | - | - | - |
| 1 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 2 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 3 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 4 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 5 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 6 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 7 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 8 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 9 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |
| 10 | - | 630000 | 481965,506 | 24646,17592 | 123388,3182 | 37016,4955 | 86371,8228 |

Tabla 58. Cálculo del Flujo de Caja anual.

| BDI | Amortización | FC |
|------------|---------------------|-------------|
| - | - | -246461,759 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |
| 86371,8228 | 24646,1759 | 111017,999 |

Se ha calculado que el flujo de caja anual es de 111.018 €/año. Además, el cálculo del VAN toma el valor de 435.695,8 €. Que el VAN sea positivo implica que se recuperaría la inversión inicial, que se obtiene el retorno buscado (que se ha impuesto del 10%) y, que además se obtiene un remanente sobre el retorno requerido de 435.695,8 €. Por lo tanto, se asegura la rentabilidad del proyecto ya que agrega valor económico.

6.3.2. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Se calcula como el valor que toma k cuando VAN es igual a 0. Sería:

$$0 = -A + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} \quad \text{Ecuación 65}$$

El cálculo del TIR es 0,4386, es decir, el 43,86%. Al ser este valor mayor que la rentabilidad mínima, fijada anteriormente del 10%, se deduce que la inversión es rentable, ya que, en base a este criterio el proyecto dejaría remanentes.

6.3.3. Cálculo del Payback

Se define como la cantidad de tiempo que se tarda en recuperar la inversión. Su valor es de 2,22 años. De manera que planta empezaría a dar beneficios transcurrido este tiempo.

7 PLANTEAMIENTO DE MEJORAS DE LA PLANTA

Anteriormente se ha propuesto un proceso de extracción por destilación de arrastre con vapor, el cual está ampliamente implantado en la industria actual. Pero previo a la etapa de extracción, se ha propuesto una serie de pretratamientos, los cuales pueden ser modificados para obtener el mayor rendimiento de producción global posible. Se verán a continuación algunos aspectos que harían mejorar el rendimiento de la planta y algunas consideraciones para diversificar en mayor medida el mercado en el que se trabaja.

7.1. Flexibilidad ante otros materiales y aceites

La planta diseñada tiene la finalidad de extraer aceite esencial de menta japonesa, pero esto no suele ser lo típico en la industria. De hecho, las plantas de extracción de aceites esenciales suelen ser múltiples, con una gran cantidad de extractores que trabajan en paralelo. De esta forma, se abre la planta a un mercado mucho mayor, de manera que la misma planta extraiga al mismo tiempo aceite esencial de por ejemplo; menta, lavanda, orégano, tomillo, etcétera.

En general, se ha trabajado durante la realización de este proyecto con el software *EES* simulando cada uno de los diseños de los equipos de la planta, de manera que se podría diseñar un complejo de extracción de aceites esenciales como el llevado a cabo en las industrias más grandes. Pero esto no sería más que multiplicar el número de equipos.

Lo importante es que las grandes industrias no tienen extractores distintos en función del tipo de material al que se le quiere extraer el aceite esencial. De manera que todos los extractores serían idénticos, tomando como base los datos de un material herbáceo en concreto, que, por ejemplo, podría ser la menta japonesa.

En estos extractores, como el diseñado en el proyecto, se introducirían todo tipo de hierba. Algunos ejemplos son: lavanda, romero, menta, yerbabuena, eucalipto, etcétera.

Evidentemente al arrancar la planta con otro material, muchos parámetros de operación cambiarían, como:

- Tiempo de secado.
- Cantidad de aire ambiente necesario para el secado forzado.
- Tamaño de trituración.
- Rendimiento de extracción, ya que, la cantidad de aceite esencial en el material herbáceo sería distinto.
- Tiempo de extracción en el extractor. El tiempo de calentamiento en el extractor permanecería prácticamente constante.
- La cantidad de vapor requerida para la extracción sería distinta, lo que implica una cantidad de combustible introducida distinta.
- Tiempo de separación según la cantidad de aceite esencial y agua floral.

Además, hay que tener en cuenta los parámetros del nuevo material, como:

- La masa de material fresco puede ser distinta debido a las variaciones de densidad.
- La cantidad de agua que traiga consigo el material, lo cual es muy crítico para la etapa de secado.
- La densidad del material una vez se seca.
- Caudal de vapor deducido a partir de sus datos experimentales.

Todo esto debe estar corroborado por los datos recogidos en el laboratorio, que se haría previo a la extracción en planta. En este caso no se ha llevado a cabo este tipo de experimentos en el laboratorio. Se han escogido datos de un experimento ya hecho anteriormente para otro proyecto (TIM DENNY, 2009).

7.2. Mejoras en la etapa de secado

Como ya se ha comentado anteriormente, la opción escogida y estudiada para esta planta ha sido un secado forzado con un secadero de bandejas que impulsa y expulsa el aire del secadero mediante dos ventiladores axiales.

Como se ha podido comprobar previamente, la etapa limitante del proceso es el secado, ya que, llevar a la menta a la cantidad de agua requerida lleva aproximadamente 5 horas. Esto es realmente el factor que más limita la producción. Tanto es así, que realmente solo se pueden procesar dos lotes de 530 kg de menta fresca al día. Para solucionar esto, se propone alternar el secado forzado con un secado natural.

El secado natural consiste en colocar las plantas en una sala ventilada y a la sombra para que pierdan humedad al cabo de los días. Normalmente las plantas se extienden en bandejas agujereadas, para mejorar la circulación de aire, o en cajones o apiladas si el material lo permite. Estas salas de secado deben estar bien ventiladas, en lugares secos y protegidos de roedores u otros animales. Como es evidente, este proceso dependerá de las condiciones ambientales exteriores, lo que reduce el posible control sobre el proceso [39].

Estas estructuras suelen llevar aparejado poco coste de inversión, además de un nulo coste de operación. Véase en la Figura 47 un secadero natural aplicable a esta situación.



Figura 47. Tipología de secadero natural elegido para el proceso.

Si en la planta hubiese suficiente espacio como para implantar un secadero natural sería muy positivo para el rendimiento global de la planta. De manera que, si se implementan los dos secaderos a la vez, la planta podría estar operando continuamente, ya que siempre habría material seco para introducir en el extractor.

Con respecto a la operación en planta, la secuencia de actividades sería:

1. La cantidad de material fresco a la entrada de la planta sería mayor, y los lavados consecutivos, de manera que durante la jornada el lavador no dejaría de funcionar.
2. De las operaciones de lavado, la menta iría a una primera etapa de secado, que es el secado natural, el cual es lento y no tan eficiente como el forzado. Pero hay que tener en cuenta que este secado reduciría

en gran medida la cantidad de agua en la menta. De manera que, si se estima que después del lavado, el material portaría un 70% de agua, dependiendo de cuanto tiempo se deje reposar el material en el secadero natural, la concentración de agua en el material sería mucho menor. La evolución del rendimiento de secado con respecto al tiempo en un secadero natural se ha deducido de la experiencia expuesta en el artículo “*Diseño de una estructura para secado natural de orégano y menta*” de J. Ringuelet, E. Cerimele y C. Henning en la Facultad de Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de La Plata) en el año 2008.

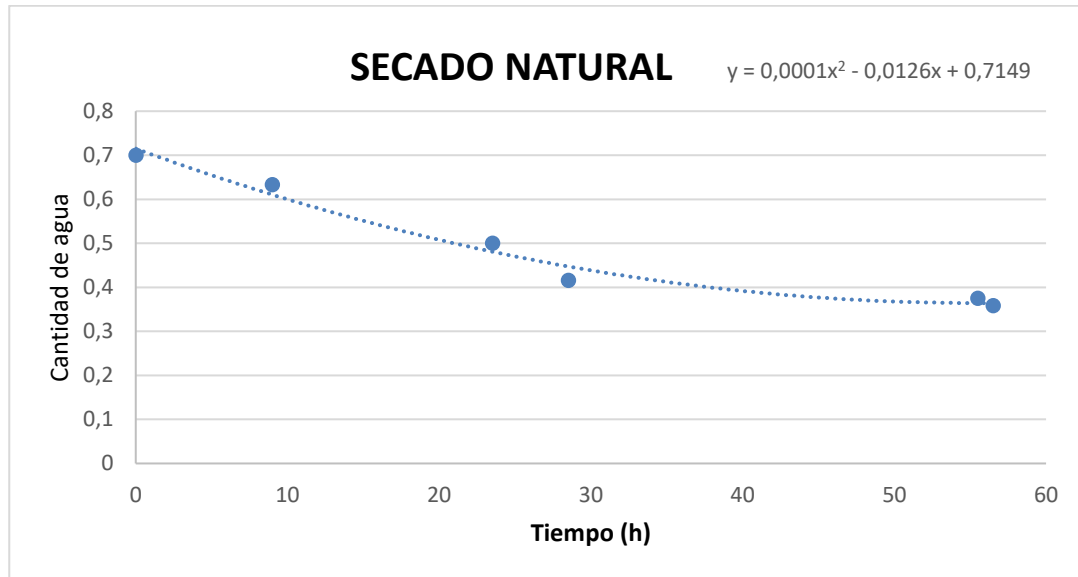


Figura 48. Cantidad de agua en material en tanto por uno según el tiempo de secado [40].

3. A continuación, se interrumpiría la etapa de secado natural para dar lugar a la etapa de secado forzado. Hay que tener en cuenta que la etapa de secado en el secadero de bandejas conllevaría mucho menos tiempo que anteriormente, puesto que el secado natural ya ha quitado, tras horas de secado, una gran cantidad de agua. Como se han simulado todos los equipos de la planta en *EES*, se ha podido obtener la evolución del rendimiento del secadero forzado con respecto al tiempo. Es importante aclarar que esta etapa se debe seguir haciendo, ya que, se quiere dejar la menta con una cantidad de agua del 10%, lo cual es difícil con el secado natural, tal y como se ha visto anteriormente. En la Figura 49 se observa el tiempo que tardaría el secadero forzado en dejar el material con una concentración de agua a la salida en un 10% desde una concentración de agua distinta a la entrada.

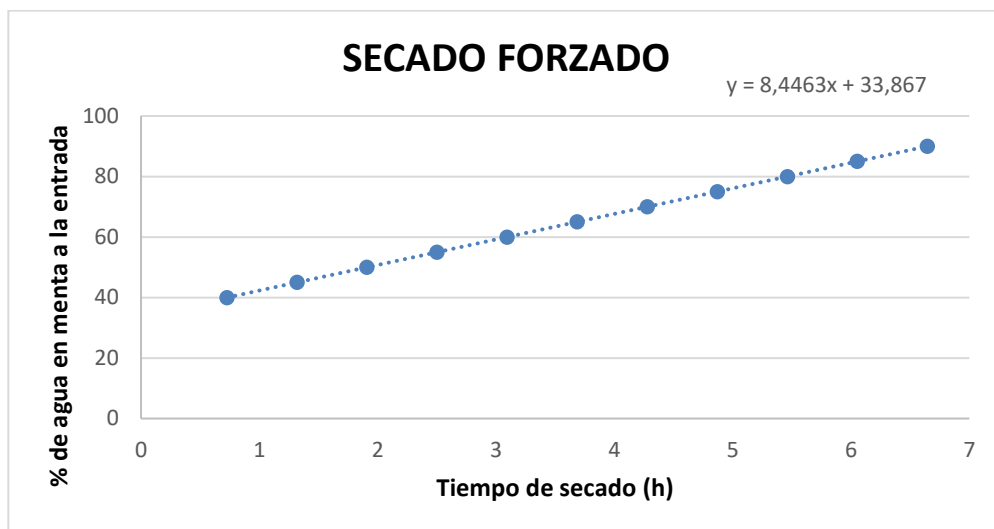


Figura 49. Horas de secado necesarias respecto de la humedad del material a la entrada.

En la Figura 49, no se contempla que la humedad de entrada al secadero de bandejas sea menor del 40% ya que eso implicaría que el material haya estado secándose más de 48 horas, lo cual es prácticamente inviable desde el punto de vista de la rentabilidad de la planta.

Un ejemplo sería que la menta entrara al secadero natural con un 70 % de agua, y tal y como indica la Figura 48, tras 24 horas de secado natural la humedad se reduciría a un 50 %. Con este porcentaje de humedad a la entrada del secadero forzado, el tiempo necesario en este secadero de bandejas sería aproximadamente de 2 horas según la Figura 49. Con estos tiempos de operación, el ritmo de trabajo en la planta es mucho mayor tal y como indica la Figura 50. Ahora se pueden procesar hasta 4 lotes al día.

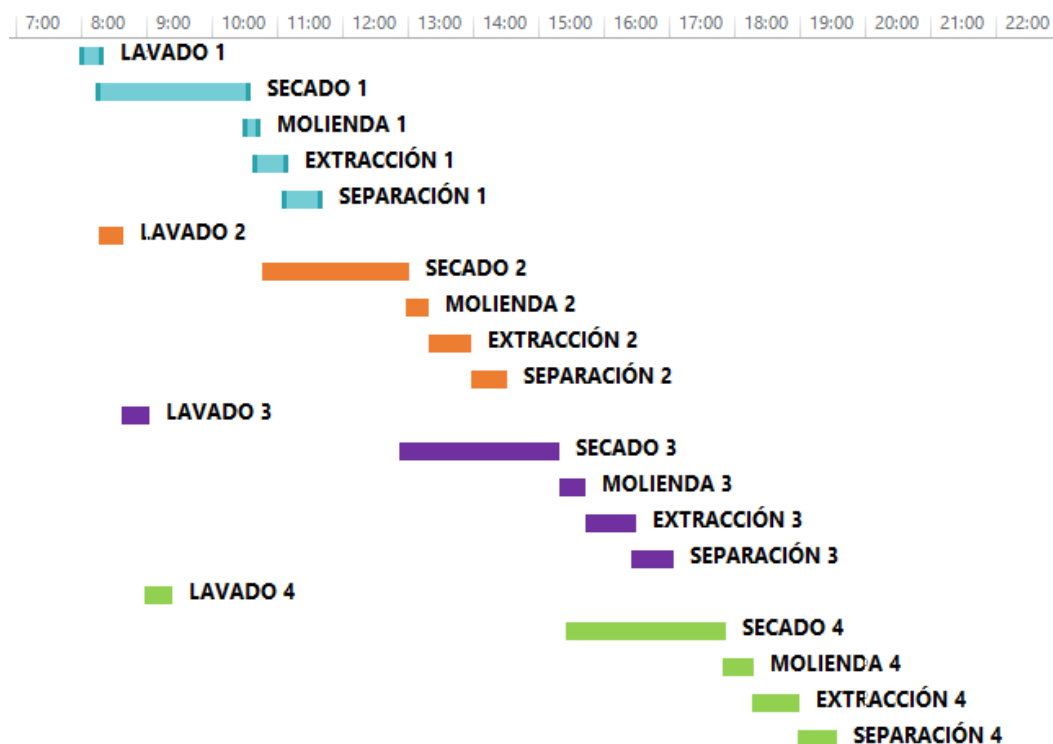


Figura 50. Diagrama de Gantt que muestra la secuencia de actividades en una jornada con un secadero natural complementario.

4. Al final la etapa de secado natural la menta sería introducida en el extractor y a continuación se llevaría a la separación. Es importante aclarar que todo esto sería paralelo a los lavados y secados anteriores.

Una cuestión que se plantea es por qué no suprimir directamente la etapa de secado forzado, y tener la menta secada, por ejemplo, a un 30% de agua tras 55 horas.

En primer lugar, porque es un proceso lento e implicaría mayor coste de inversión de los equipos. Además, el rendimiento en el extractor bajaría debido a la cantidad de agua adicional. A esto se le suma la mayor cantidad de vapor requerida para el extractor, o cual conlleva a un mayor coste de operación en la caldera por el aumento de gasto en gas natural.

En segundo lugar, porque un secado natural no asegura que la planta vaya a cumplir con una producción diaria establecida, ya que esta operación de secado depende en gran medida de las condiciones ambientales externas. Por ejemplo, en invierno, tener exclusivamente este tipo de secadero supondría un problema debido a las bajas temperaturas y las frecuentes precipitaciones. De manera que se requiere un secado forzado.

8 CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las principales conclusiones del estudio bibliográfico y de los cálculos abordados en el proyecto.

1. Tras analizar las distintas tecnologías de extracción de aceites esenciales, se ha valorado que la técnica más eficiente, limpia, con menores costes y con el producto de mayor calidad es la destilación de arrastre con vapor. Paralelamente a esto, se ha hecho un estudio de mercado, del cual se concluye que el mercado general de los aceites esenciales está en pleno crecimiento. También se ha propuesto un tipo de aceite en concreto para extraer, atendiendo a algunos índices de mercado, que hacen atractivo a este aceite para los inversores de la planta. Tras valorar todos estos factores, el aceite esencial escogido será el de menta japonesa o “*Mentha arvensis L.*”
2. Con respecto al balance de materia y energía de la planta, se debe aclarar que a ella entrarán 530 kg de material fresco por cada lote. De este, se estiman que se extraigan unos 2,5 kg de aceite esencial y 87,3 kg de agua floral. Por otro lado, la planta trabajará a presión atmosférica en la mayoría de sus etapas.
3. Además de realizar el balance de materia y energía, también se ha realizado un Diagrama de Gantt con ayuda del software *Microsoft Project* que indica la secuencia de tareas en la planta en aras de la correcta organización de estas tareas. De esta forma, se ha podido establecer el orden de las etapas del proceso de manera que se puedan procesar dos lotes de menta diarios de 530 kg cada lote. La planta trabajará 12 horas cada día.
4. Con el software *EES*, se ha simulado cada equipo de la planta, para calcular sus tiempos de operación, dimensiones, caudales, temperaturas y presiones de trabajo y de diseño, etcétera. Debido a esto, se ha concluido que la etapa con el equipo de mayor dimensión y que requiere mayor tiempo para su operación es el secado. De manera que será en ella en la que se concentren los esfuerzos de mejora del proceso.
5. El precio total estimado del coste de todos los equipos de la planta es 67.450 €. Gracias al método de Chilton se ha podido conocer el coste total de la planta, que es 246.461,8 €. Además, es importante aclarar que la rentabilidad económica del proceso pasa por los altos precios del aceite esencial, ya que como se puede comprobar, se tiene muy poco aceite por kilogramo de material fresco. La rentabilidad económica de la planta está asegurada gracias a los índices financieros calculados previamente, que son; el VAN, la TIR y el Payback.
6. También se han propuesto varias mejoras de la planta, como diversificar el mercado con varios tipos de aceites, en función de la demanda, con la misma instalación en base a las premisas técnicas anteriormente expuestas. También, se ha propuesto incorporar una etapa de secado natural que complemente a la de secado forzado. Esto último incrementaría la capacidad de producción, debido a que se podrían procesar muchos más lotes de material al día, sin necesidad de enfrentar altos costes de inversión y de operación adicionales.

9 HOJAS DE ESPECIFICACIONES

| BOMBA 1 | |
|--|-----------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial "Menta arvensis L" | Nomenclatura: P-101 |
| Número de línea: 14 | Cantidad: 1 |
| Modelo: CPM-158 | Material: Acero al carbono |
| Descripción: Bomba centrífuga de fluido refrigerante al condensador | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Agua |
| Caudal (kg/h) | 6480,36 |
| Caudal (m³/h) | 6,4836 |
| Diámetro interno (m) | 0,10226 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 20 |
| Temperatura de diseño (°C) | 45 |
| Densidad (kg/m³) | 955,5 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 1001 |
| Altura (m) | 15,779 |
| Presión de aspiración (bar) | 1 |
| Presión de impulsión (bar) | 1 |
| Presión de vapor (bar) | 1,013 |
| Presión de diseño (bar) | 1,1143 |
| NPSH requerido (m) | 8,412 |
| Rendimiento (%) | - |
| Potencia consumida (kW) | 0,74 |
| Frecuencia de giro del motor (Hz) | - |

Tabla 59. Hoja de especificaciones de la bomba P-101.

| BOMBA 2 | |
|--|-----------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: P-102 |
| Número de línea: 7 | Cantidad: 1 |
| Modelo: CX-120/55 | Material: Acero al carbono |
| Descripción: Bomba centrífuga de reciclo a lavado. | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Agua |
| Caudal (kg/h) | 6395,18 |
| Caudal (m³/h) | 6,398 |
| Diámetro interno (m) | 0,10226 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 20 |
| Temperatura de diseño (°C) | 45 |
| Densidad (kg/m³) | 955,5 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 1001·10 ⁶ |
| Altura (m) | 9,9 |
| Presión de aspiración (bar) | 1 |
| Presión de impulsión (bar) | 1 |
| Presión de vapor (bar) | 1,013 |
| Presión de diseño (bar) | 1,1143 |
| NPSH requerido (m) | 8,42 |
| Rendimiento (%) | - |
| Potencia consumida (kW) | 0,55 |
| Frecuencia de giro del motor (Hz) | - |

Tabla 60. Hoja de especificaciones de la bomba P-102.

| INTERCAMBIADOR 1 | | | |
|---|--|----------------------------------|---|
| Planta: Extracción Aceite esencial "Menta arvensis L" | | Nomenclatura: E-101 | |
| Material: Ac. carbono | | | |
| Número de línea carcasa: 15 | | Número de línea tubos: 29 | |
| | | Cantidad: 1 | |
| Descripción: Condensador de aceite esencial y agua que sale del extractor. | | | |
| DATOS DE OPERACIÓN | | CARCASA | TUBOS |
| Caudal total (kg/h) | | 6.483,6 | 180 |
| Fluido | | Agua | Agua-Aceite esencial |
| Disposición de fluidos | | Frío | Caliente |
| Temperatura de entrada (°C) | | 25 | 100 |
| Temperatura de salida (°C) | | 40 | 45 |
| Presión de entrada (bar) | | 1 | 1 |
| Pérdida de carga (Pa) | | 6.331 | 4.0623 |
| Densidad (kg/m³) | | 990,3 | 982,6 |
| Viscosidad (Pa·s) | | 596,3·10 ⁶ | 443,5·10 ⁶ |
| Conductividad térmica (W/(m·K)) | | 637,4·10 ³ | 659,1·10 ³ |
| Velocidad del fluido (m/s) | | - | 0,9845 |
| Factor de ensuciamiento (m²·K/W) | | - | - |
| Coefficiente de película (W/m²·K) | | 1800 | 5.125/6.930 |
| Temperatura media de masa (°C) | | 32,5 | 72,5 |
| DIMENSIONES | | ÁREA Y CALOR TRANSFERIDO | |
| Número de tubos | | 40 | Temperatura de diseño (°C) 120 |
| Pitchit (m) | | - | Presión de diseño (bar) 1,113 |
| Disposición de los tubos | | Triang | Calor intercambiado (MW) 124,3 |
| Diámetro interno tubo (mm) | | 10,92 | Coefficiente global, U (W/(m²·K)) 1.220 |
| BWG | | ¾ 12 | Área de intercambio (m²) 53,76 |
| Diámetro de la carcasa (in) | | 37 | Área tubo (m²) 1,344 |
| Distancia entre baffles (m) | | 0,02 | |
| Longitud (m) | | 1,98 | |

Tabla 61. Hoja de especificaciones del intercambiador E-101.

| LAVADOR | |
|---|---------------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L.” | Modelo: QX-3-600 |
| Número de línea: 1 | Nomenclatura: L-101 |
| Material: SUS304 Acero inoxidable | Cantidad: 1 |
| Descripción: Lavador de menta con agua. | |
| CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO | |
| Material a procesar | Frutas, hortalizas, material herbáceo |
| Energía (kW) | 4,5 |
| Capacidad (kg/h) | ≤ 100 |
| Principio de trabajo | Burbujas de aire |
| Principio de desinfección (opcional) | Burbujas de ozono |
| Voltaje (V) | 110-480 |
| Peso (kg) | 300 |
| L x W x H (mm) | 3000 x 1050 x 1300 |
| MOQ (set) | 1 |
| Correa de malla (mm) | 600 |
| Certificación | CE |

Tabla 62. Hoja de especificaciones del lavador L-101.

| MOLINO DE CORTE | |
|--|----------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Modelo: SM 400 |
| Número de línea: 3 | Nomenclatura: M-101 |
| Material: Acero templado | Cantidad: 1 |
| Descripción: Reducción de tamaño por corte/cizalla de la menta. | |
| CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE MOLIENDA | |
| Tipo de material | Blando, semiduro, fibroso |
| Principio de molienda | Corte/cizalla |
| Granulometría inicial (mm) | < 170 x 220 |
| Granulometría final (mm) | 1 – 20 |
| CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO | |
| Volumen del recipiente de molienda (l) | 7,45 |
| Velocidad a 50 Hz (60 Hz) (min⁻¹) | 280 |
| Velocidad periférica del rotor (m/s) | 2,25 |
| Tipos de rotor | Parrallel section rotor |
| Diámetro del rotor (mm) | 152 |
| Tipos de tolvas | Universal, para material oblongo |
| Tamaños de tamiz (mm) | Trapezoid holes: 1-2 |
| Motor | Motor trifásico |
| Potencia Motriz (kW) | 3 |
| Conexión eléctrica | Voltajes diferentes |
| Alimentación de red | Trifásica |
| Tipo de protección | IP 54 |
| AxHxF cerrado (mm) | 695 x 1399 x 719 |
| Peso neto (kg) | 180 |
| Normas | CE |

Tabla 63. Hoja de especificaciones del molino M-101.

| TANQUE 1 | |
|--|-----------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: TK-101 |
| Número de línea: 13 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Tanque de agua | |
| DIMENSIONES | |
| Tipo | Cilíndrico |
| Tipo de techo | Fijo |
| Posición | Vertical |
| Volumen (m³) | 17,93 |
| Altura (m) | 3,5 |
| Diámetro (m) | 2,3 |
| DATOS DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Agua |
| Estado | Líquido |
| Temperatura (°C) | 25 |
| Presión (bar) | 1 |
| Aislamiento | No |
| Fluido corrosivo | No |
| Punto de inflamación (°C) | No |
| Peligrosidad | No |
| Densidad (kg/m³) | 999,5 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 890,1 |

Tabla 64. Hoja de especificaciones del tanque TK-101.

| TANQUE 2 | |
|---|-----------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: TK-102 |
| Número de línea: 20 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Tanque de agua de alimentación a caldera. | |
| DIMENSIONES | |
| Tipo | Cilíndrico |
| Tipo de techo | Fijo |
| Posición | Vertical |
| Volumen (m³) | 0,22 |
| Altura (m) | 0,8 |
| Diámetro (m) | 0,5 |
| DATOS DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Agua |
| Estado | Líquido |
| Temperatura (°C) | 25 |
| Presión (bar) | 1 |
| Aislamiento | No |
| Fluido corrosivo | No |
| Punto de inflamación (°C) | No |
| Peligrosidad | No |
| Densidad (kg/m³) | 999,5 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 890,1 |

Tabla 65. Hoja de especificaciones del tanque TK-102.

| TANQUE 3 | |
|--|------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: TK-103. |
| Número de línea: 32 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Tanque de agua floral. | |
| DIMENSIONES | |
| Tipo | Cilíndrico |
| Tipo de techo | Fijo |
| Posición | Vertical |
| Volumen (m³) | 0,1451 |
| Altura (m) | 0,7 |
| Diámetro (m) | 0,5 |
| DATOS DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Agua |
| Estado | Líquido |
| Temperatura (°C) | 25 |
| Presión (bar) | 1 |
| Aislamiento | No |
| Fluido corrosivo | No |
| Punto de inflamación (°C) | No |
| Peligrosidad | No |
| Densidad (kg/m³) | 999,5 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 890,1 |

Tabla 66. Hoja de especificaciones del tanque TK-103.

| TANQUE 4 | |
|--|------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial "Menta arvensis L" | Nomenclatura: TK-104. |
| Número de línea: 7 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Tanque de reciclado a lavado. | |
| DIMENSIONES | |
| Tipo | Cilíndrico |
| Tipo de techo | Fijo |
| Posición | Vertical |
| Volumen (m³) | 14,9 |
| Altura (m) | 3,3 |
| Diámetro (m) | 2,8 |
| DATOS DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Agua |
| Estado | Líquido |
| Temperatura (°C) | 45 |
| Presión (bar) | 1 |
| Aislamiento | No |
| Fluido corrosivo | No |
| Punto de inflamación (°C) | No |
| Peligrosidad | No |
| Densidad (kg/m³) | 999,5 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 890,1 |

Tabla 67. Hoja de especificaciones del tanque TK-104.

| CALDERA | |
|--|----------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: H-101 |
| Número de línea: 21 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Producir el vapor saturado. | |
| PROPIEDADES DEL FLUIDO | |
| Temperatura de entrada (°C) | 25 |
| Temperatura de salida (°C) | 250 |
| Presión de entrada (bar) | 1 |
| Pérdida de carga (Pa) | 175,9 |
| Densidad (kg/m³) | 0,6748 |
| Viscosidad (N·s/m²) | 27,6·10 ⁶ |
| Velocidad (m/s) | 1,5 |
| CALOR INTERCAMBIADO | |
| Calor útil transferido al fluido (MW) | 0,1286 |
| Calor aportado al combustible (MW) | 0,14476 |
| Calor aportado por el aire (MW) | 0 |
| Masa de combustible (kg/h) | 9,72 |
| Exceso de aire (%) | 5 |
| Rendimiento (%) | 85 |
| Calor de gases de chimenea (MW) | 0,0109 |
| Coefficiente global, U (W/(m²·K)) | 40 |
| Área de transferencia (m²) | - |
| Pérdidas por transmisión de calor (MW) | 0,00289 |
| COMBUSTIBLE | |
| Tipo | Gas Natural |
| PCI (kJ/kg) | 45.000 |
| PCI de C (kJ/kg) | 81.000 |
| PCI de H (kJ/kg) | 28.905,9 |
| Composición (% volumen) | |
| Nitrógeno | 3 |
| Metano | 86 |
| Etano | 7,6 |
| Propano | 2,4 |
| Butano | 1 |

Tabla 68. Hoja de especificaciones del horno H-101.

| VENTILADOR 1 | |
|---|-----------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial "Menta arvensis L" | Nomenclatura: C-101 |
| Número de línea: 8 | Cantidad: 1 |
| Modelo: CJTHPLUS | Material: Acero al carbono |
| Descripción: Ventilador que introduce el aire de secado al secadero. | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Aire |
| Caudal (kg/h) | 20.647,49 |
| Caudal (m³/h) | 17.438,76 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 40 |
| Temperatura de diseño (°C) | En ciclos de 4h, 200°C (MÁXIMA) |
| Densidad (kg/m³) | 1,11 |
| Viscosidad (kg/(m·s)) | 19,41·10 ⁶ |
| Incremento Presión estática (Pa) | 370 |
| Presión de aspiración (bar) | 1,01325 |
| Presión de impulsión (bar) | 1,01695 |
| Ángulo de las palas (°) | 16 |
| Potencia consumida (kW) | 3,5 |
| Frecuencia de giro del motor (Hz) | 50 |

Tabla 69. Hoja de especificaciones del ventilador C-101.

| VENTILADOR 2 | |
|---|-----------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: C-102 |
| Número de línea: 10 | Cantidad: 1 |
| Modelo: CJTHPLUS | Material: Acero al carbono |
| Descripción: Ventilador que extrae el aire de secado del secadero. | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Aire |
| Caudal (kg/h) | 20.647,49 |
| Caudal (m³/h) | 17.438,76 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 40 |
| Temperatura de diseño (°C) | En ciclos de 4h, 200°C (MÁXIMA) |
| Densidad (kg/m³) | 1,11 |
| Viscosidad (kg/(m·s)) | 19,41·10 ⁶ |
| Incremento Presión estática (Pa) | 370 |
| Presión de aspiración (bar) | 1,01695 |
| Presión de impulsión (bar) | 1,01325 |
| Ángulo de las palas (°) | 16 |
| Potencia consumida (kW) | 3,5 |
| Frecuencia de giro del motor (Hz) | 50 |

Tabla 70. Hoja de especificaciones del ventilador C-102.

| VENTILADOR 3 | |
|---|-----------------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial "Menta arvensis L" | Nomenclatura: C-103 |
| Número de línea: 26 | Cantidad: 1 |
| Modelo: CA | Material: Acero al carbono |
| Descripción: Ventilador centrífugo que impulsa el aire de combustión al horno. | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Fluido | Aire de combustión |
| Caudal (kg/h) | 180 |
| Caudal (m³/h) | 152,03 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 25 |
| Temperatura de diseño (°C) | 250 (MÁXIMA) |
| Densidad (kg/m³) | 1,12 |
| Viscosidad (kg/(m·s)) | 18,49·10 ⁻⁶ |
| Incremento Presión estática (Pa) | 2.000 |
| Presión de aspiración (bar) | 1,01 |
| Presión de impulsión (bar) | 1,04 |
| Potencia consumida (kW) | 0,37 |

Tabla 71. Hoja de especificaciones del ventilador C-103.

| SECADERO | |
|---|----------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Mentha arvensis L” | Nomenclatura: D-101 |
| Número de línea: 2 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Secador de plantas de menta. | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Temperatura del aire de entrada (°C) | 45 |
| Temperatura del aire de salida (°C) | 35 |
| Humedad relativa del aire de entrada (%) | 35 |
| Humedad relativa del aire de salida (%) | 70 |
| Cantidad de agua en material inicial (%) | 70 |
| Cantidad de agua en material final (%) | 10 |
| Velocidad del aire (m/s) | 2 |
| Dirección del flujo de aire | Horizontal |
| Masa de aire ambiente de secado (kg) | 76.628 |
| DIMENSIONES | |
| Altura (m) | 2,33 |
| Anchura (m) | 2 |
| Longitud (m) | 3 |
| Número de bandejas | 86 |
| Altura de bandejas (mm) | 45 |
| Anchura de bandejas (mm) | 450 |
| Longitud de bandejas (mm) | 640 |
| Tipo de ventiladores | Axiales |
| Ventiladores Tiro forzado/Tiro inducido | Sí/Sí |
| Presión de trabajo (bar) | 1,01325 |
| Presión de diseño (bar) | 1,118645 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 45 |
| Temperatura de diseño (°C) | 200 |
| Tiempo de secado (h) | 4,278 |

Tabla 72. Hoja de especificaciones del secadero D-101.

| EXTRACTOR | |
|---|----------------------------|
| Planta: Extracción Aceite esencial “Menta arvensis L” | Nomenclatura: T-101 |
| Número de línea: 4 | Cantidad: 1 |
| Material: Acero al carbono | |
| Descripción: Destilador de aceite esencial por arrastre con vapor. | |
| CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| Temperatura vapor de entrada (°C) | 100 |
| Presión de vapor de entrada (bar) | 1,01325 |
| Masa de menta seca (kg) | 210 |
| Presión de trabajo (bar) | 1,01325 |
| Presión de diseño (bar) | 1,33825 |
| DISEÑO MECÁNICO Y DIMENSIONAMIENTO | |
| Esfuerzo mecánico acero (kPa) | 106,924 |
| Eficiencia media de las juntas | 0,7 |
| Calor específico del acero (kJ/(kg·K)) | 0,451 |
| Espesor láminas de acero (m) | 0,0007743 |
| Masa de vapor total para la extracción (kg) | 108,4 |
| Tiempo de la etapa de calentamiento (min) | 6,036 |
| Tiempo de la etapa de extracción (min) | 30,1 |
| Tiempo total de la operación (min) | 36,136 |
| Diámetro externo (m) | 1,145 |
| Altura total (m) | 1,602 |
| DISTRIBUIDOR DE VAPOR | |
| Forma del distribuidor de vapor | Cruz |
| Número de brazos | 4 |
| Diámetro de orificios (mm) | 23,3 |
| Número de orificios | 94 |

Tabla 73. Hoja de especificaciones del extractor T-101.

BIBLIOGRAFÍA

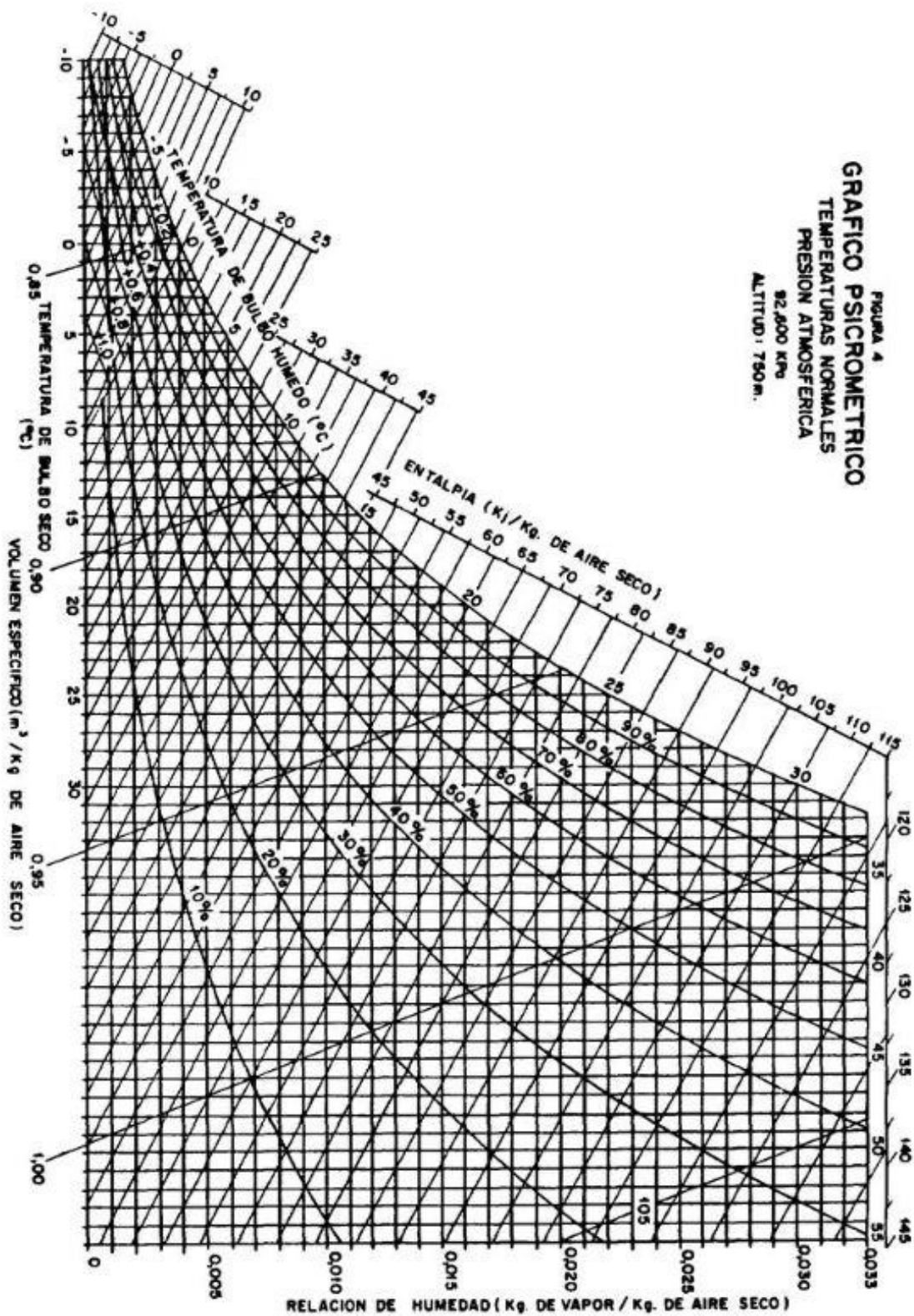
- [1] A. Ávalos García y E. Pérez Urria Carril, «Metabolismo secundario de plantas,» *REDUCA*, vol. 2, n° 3, pp. 119-145, 2009.
- [2] E. E. Stashenko y E. E. Stashenko, *ACEITES ESENCIALES*, Ciudad Universitaria de Bucaramanga-Santander: CENIVAM, 2009.
- [3] C. d. wikipedia, «Wikipedia,» Wikipedia. La Enciclopedia Libre., 1 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Hidrocarburo_alif%C3%A1tico&oldid=109664122.
- [4] G. d. J. Montoya Cadavid, *Aceites Esenciales. Una Alternativa de Diversificación para el Eje Cafetero, Manizales: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*, 2010.
- [5] A. Martínez, *Aceites esenciales*, Medellín: Universidad de Antioquia, 2003.
- [6] D. O. Paredes Punina y F. D. Quinatoa Chicaiza, “*DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES*”, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010.
- [7] A. Jover, «Aromaterapia Familiar,» 30 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://aromaterapiafamiliar.wordpress.com/2012/01/30/el-potencial-de-los-aceites-esenciales-frente-al-cancer/>.
- [8] «muchas salud,» 15 Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://www.muchasalud.net/5-aceites-esenciales-con-las-propiedades-anticancerigenas-mas-potentes/>.
- [9] «LA VANGUARDIA,» 23 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/vida/salud/20151120/30282777396/salud-calidad-de-vida-aromaterapia-medica-aceites-esenciales-inmunoestimulantes.html>.
- [10] «PromoFama,» 6 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.promofarma.com/blog/salud-y-bienestar/pon-freno-a-las-digestiones-dificiles-con-aceites-esenciales/>.
- [11] M. Cerutti y F. Neumayer, *Introducción a la Obtención de Aceite Esencial de Limón*, Invenio, 2004.
- [12] C. B. SENA, *Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales Extraídos de Plantas Medicinales y Aromáticas*, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- [13] «The Observatory of Economic Complexity (OEC),» 2018. [En línea]. Available: <https://atlas.media.mit.edu/en/>.
- [14] «Essential Oils Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Cleaning & Home, Medical, Food & Beverages, Spa & Relaxation), By Product, By Channel, And Segment Forecasts, 2019-2025.,» *Grand View Research*, 2019.
- [15] R. Elena Dueñas, «Aceite Esencial de Menta,» Laboratorio de Remedios Herbolarios.

- [16] A. K. Pandey, M. K. Rai y D. Archarya, «Chemical Composition and Antimycotic Activity of the Essential Oils of Corn Mint (*Mentha arvensis*) and Lemon Grass (*Cymbopogon flexuosus*) Against Human Pathogenic Fungi,» *Pharmaceutical Biology*, vol. 41, n° 6, pp. 421-425, 2008.
- [17] «The Economic Times. Market,» 17 06 2019. [En línea]. Available: <https://economictimes.indiatimes.com/commoditysummary/symbol-MENTHAOIL.cms>. [Último acceso: 17 06 2019].
- [18] W. L. McCABE y J. C. Smith, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, McGraw-Hill, 1991.
- [19] E. Moré y R. Melero, Transformación de Plantas Aromáticas y Medicinales, Área de Productos Secundarios del Bosque del CENTRE TECNOL GIC FORESTAL DE CATALUNYA.
- [20] R. Calle Benites y J. J. Aparicio Baidal, DISEÑO DE UNA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE HIERBAS AROMÁTICAS, Guayaquil-Ecuador: Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, 2011.
- [21] R. Granados Montenegro y W. G. Arias Jaimes, Diseño de una Planta Extractora de Aceites Esenciales, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [22] E. López Arenales y J. M. Carvajal Alvarracin, Diseño y Construcción de una Planta para la Extracción de Aceites Esenciales con Capacidad para 300 kg de Material Vegetal, Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, 2009.
- [23] W. G. Ríos Bardales, V. J. J. Grlasqui y L. A. Rodríguez Pacífico, Diseño, Construcción e Instalación de un Condensador con Envolvente Multitubular para la Obtención de Aceites Esenciales para el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la F.I.Q-UNAP, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, 2015.
- [24] E. E. D. WIKIFARMER, «WIKIFARMER,» [En línea]. Available: <https://wikifarmer.com/es/plagas-y-enfermedades-de-la-menta/>. [Último acceso: 27 Julio 2019].
- [25] M. F. Ortuño Sánchez, Manual Práctico de Aceites Esenciales, Aromas y Perfumes, AIYANA, 2006.
- [26] I. Otazu Larrañosa, Influencia de la Temperatura y Tiempo de Secado en la Calidad de las Hojas de *Cymbopogon Citratus* D.C.STAF, Navarra: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos-Universidad Pública de Navarra, 2010.
- [27] P. Masango, Cleaner Production of essential oils by steam distillation, ELSEVIER, 2014.
- [28] «WIKIPEDIA,» 5 Julio 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Gantt. [Último acceso: 8 Julio 2019].
- [29] C. A., R. R. , A. O y A. W, Secado de Especies Aromáticas en la Provincia de Buenos Aires. Factibilidad del Recurso Solar., Universidad Nacional de Luján.
- [30] «alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tray-type-noodle-dryer-drying-machine-2008776966.html>.
- [31] «FIUBA,» [En línea]. Available: http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_VENTILADORES.pdf. [Último acceso:

17 06 2019].

- [32] R. González Falcón y D. Velázquez González, Tablas y Gráficos. Tecnología Energética., ETSI-Universidad de Sevilla.
- [33] T. Denny, Field Distillation for Herbaceous Oils, Australia: McKenzie Associates, 2001.
- [34] Crane, Flujo de Fluidos. En Válvulas, Accesorios y Tuberías., México: McGraw-Hill, 1998.
- [35] I. Aymá García, R. Luque Luceno, C. Rodríguez Luceno y S. Sellarés Feiner , Planta de Producción de Clorobenceno, Cerdayona del Vallés: Universidad Autónoma de Barcelona-Escuela de Ingeniería, 2017.
- [36] A. Lara Quijano, Ingeniería Básica de una Planta de Producción de p-xileno por Metilación de Tolueno, Sevilla: E.T.S Ingeniería, 2018.
- [37] API 650, Washington DC: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2016.
- [38] E. Portillo, Tema 9. Ingeniería de Procesos. Análisis económicos de procesos químicos., Sevilla: E.T.S. de Ingeniería, 2018/2019.
- [39] J. Palá Paúl, CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES DEL GÉNERO "ERYNGIUM" L, EN LA PENINSULA IBÉRICA, MADRID: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID-FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, 2002.
- [40] J. Ringuelet, S. Martínez, E. Cerimele y C. Henning, Diseño de una Estructura para Secado Natural de Orégano y Menta, Buenos Aires: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de La Plata., 2008.
- [41] «Microsoft,» [En línea]. Available: <https://support.office.com/es-es/article/calcular-la-tasa-anual-compuesta-de-crecimiento-cagr-3ccb7cd3-39b3-49ee-8b38-c19972607dfa> .
- [42] J. L. Mateu Gordon, «Expansión.com,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.expansion.com/diccionario-economico/indice-de-fuerza-relativa.html>. [Último acceso: 22 06 2019].

ANEXO B. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA.



ANEXO C. PROPIEDADES DEL AGUA LÍQUIDA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

Tabla 4.5: Propiedades del agua líquida a presión atmosférica

| T (°C) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/kg·K) | $\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/m·K) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | $\beta \cdot 10^3$ (1/K) | Pr |
|-----------|--------------------------------|--------------------|---|---|---------------------------|--|-----------------------------|-------|
| 0.001 | 1005 | 4.213 | 1766 | 1.757 | 567.2 | 0.1339 | -0.08021 | 13.12 |
| 5 | 1004 | 4.201 | 1506 | 1.500 | 574.8 | 0.1363 | 0.01135 | 11.00 |
| 10 | 1003 | 4.191 | 1300 | 1.297 | 583.0 | 0.1387 | 0.08744 | 9.348 |
| 15 | 1001 | 4.184 | 1135 | 1.134 | 591.4 | 0.1412 | 0.1523 | 8.033 |
| 20 | 999.5 | 4.180 | 1001 | 1.001 | 599.8 | 0.1436 | 0.209 | 6.975 |
| 25 | 997.9 | 4.176 | 890.1 | 0.8920 | 608.0 | 0.1459 | 0.2594 | 6.114 |
| 30 | 996.2 | 4.175 | 797.6 | 0.8007 | 616.0 | 0.1481 | 0.3051 | 5.406 |
| 35 | 994.3 | 4.174 | 719.6 | 0.7238 | 623.6 | 0.1503 | 0.347 | 4.817 |
| 40 | 992.4 | 4.174 | 653.3 | 0.6583 | 630.7 | 0.1523 | 0.3859 | 4.323 |
| 45 | 990.3 | 4.175 | 596.3 | 0.6022 | 637.4 | 0.1542 | 0.4225 | 3.906 |
| 50 | 988.1 | 4.177 | 547.1 | 0.5537 | 643.6 | 0.1559 | 0.4572 | 3.551 |
| 55 | 985.7 | 4.179 | 504.2 | 0.5115 | 649.3 | 0.1576 | 0.4903 | 3.245 |
| 60 | 983.2 | 4.182 | 466.6 | 0.4746 | 654.4 | 0.1592 | 0.5221 | 2.981 |
| 65 | 980.6 | 4.184 | 433.5 | 0.4420 | 659.1 | 0.1606 | 0.5528 | 2.752 |
| 70 | 977.9 | 4.188 | 404.1 | 0.4132 | 663.2 | 0.1620 | 0.5827 | 2.551 |
| 75 | 975.0 | 4.191 | 378.0 | 0.3877 | 666.9 | 0.1632 | 0.6118 | 2.375 |
| 80 | 971.9 | 4.195 | 354.6 | 0.3648 | 670.2 | 0.1644 | 0.6402 | 2.219 |
| 85 | 968.8 | 4.199 | 333.6 | 0.3443 | 673.0 | 0.1654 | 0.6682 | 2.081 |
| 90 | 965.5 | 4.204 | 314.6 | 0.3259 | 675.5 | 0.1664 | 0.6958 | 1.958 |
| 95 | 962.1 | 4.209 | 297.5 | 0.3092 | 677.5 | 0.1673 | 0.723 | 1.848 |
| 100 | 958.5 | 4.214 | 281.9 | 0.2941 | 679.3 | 0.1682 | 0.7501 | 1.749 |

Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia Versión 6.271 (20-07-2001).

ANEXO D. PROPIEDADES DEL VAPOR A PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

Tabla 4.4.5: Propiedades del vapor de agua a presión atmosférica

| T (°C) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/kg·K) | $\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/m·K) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | Pr |
|-----------|--------------------------------|--------------------|---|---|---------------------------|--|--------|
| 100.1 | 0.5973 | 2.044 | 122.7 | 20.54 | 25.1 | 20.56 | 0.9992 |
| 110 | 0.5808 | 2.023 | 126.4 | 21.77 | 25.78 | 21.94 | 0.992 |
| 120 | 0.5652 | 2.007 | 130.2 | 23.04 | 26.5 | 23.37 | 0.9861 |
| 130 | 0.5504 | 1.995 | 134 | 24.35 | 27.26 | 24.82 | 0.9812 |
| 140 | 0.5365 | 1.987 | 137.9 | 25.71 | 28.05 | 26.31 | 0.9771 |
| 150 | 0.5233 | 1.981 | 141.8 | 27.1 | 28.86 | 27.84 | 0.9735 |
| 160 | 0.5108 | 1.977 | 145.8 | 28.53 | 29.7 | 29.41 | 0.9703 |
| 170 | 0.4989 | 1.975 | 149.7 | 30.01 | 30.57 | 31.02 | 0.9675 |
| 180 | 0.4876 | 1.974 | 153.7 | 31.52 | 31.45 | 32.67 | 0.9649 |
| 190 | 0.4768 | 1.975 | 157.7 | 33.08 | 32.36 | 34.37 | 0.9624 |
| 200 | 0.4665 | 1.976 | 161.8 | 34.68 | 33.28 | 36.11 | 0.9602 |
| 220 | 0.4472 | 1.98 | 169.9 | 37.99 | 35.19 | 39.74 | 0.9559 |
| 240 | 0.4295 | 1.986 | 178.1 | 41.46 | 37.16 | 43.56 | 0.9519 |
| 260 | 0.4131 | 1.994 | 186.3 | 45.1 | 39.19 | 47.57 | 0.948 |
| 280 | 0.398 | 2.003 | 194.6 | 48.89 | 41.28 | 51.77 | 0.9444 |
| 300 | 0.384 | 2.013 | 202.9 | 52.84 | 43.41 | 56.16 | 0.9408 |
| 350 | 0.3529 | 2.04 | 223.7 | 63.38 | 48.96 | 67.98 | 0.9323 |
| 400 | 0.3266 | 2.07 | 244.5 | 74.87 | 54.75 | 80.98 | 0.9245 |
| 450 | 0.3039 | 2.102 | 265.2 | 87.26 | 60.76 | 95.13 | 0.9173 |
| 500 | 0.2842 | 2.135 | 285.7 | 100.5 | 66.97 | 110.4 | 0.9108 |
| 550 | 0.2669 | 2.168 | 306.1 | 114.7 | 73.35 | 126.8 | 0.9048 |
| 600 | 0.2516 | 2.203 | 326.2 | 129.7 | 79.89 | 144.2 | 0.8994 |

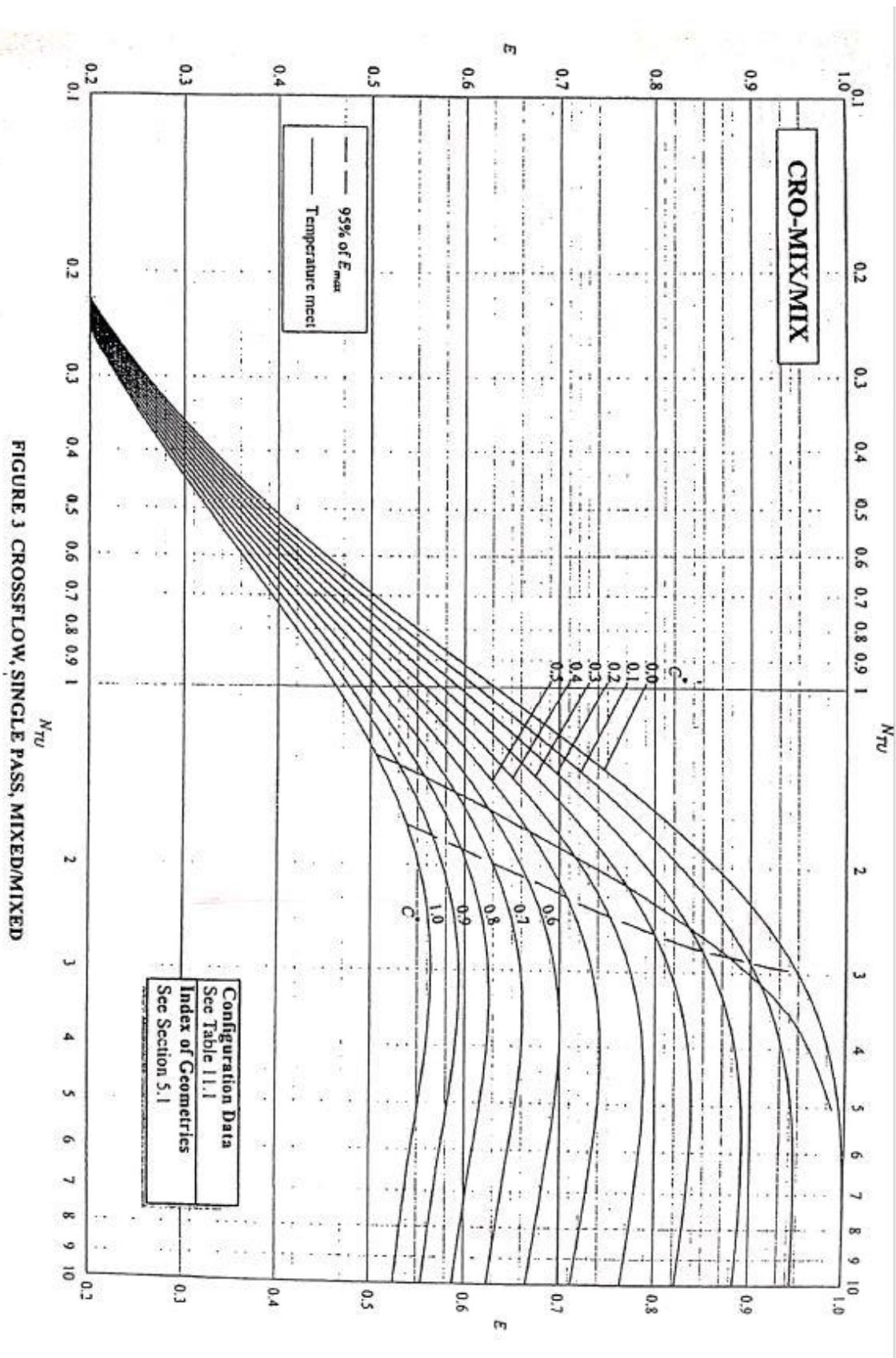
Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia Versión 6.271 (20-07-2001).

ANEXO E. PROPIEDADES DEL AIRE SECO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Tabla 4.4.1: Propiedades del aire seco a presión atmosférica

| T (°C) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/kg·K) | $\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/m·K) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | Pr |
|-----------|--------------------------------|--------------------|---|---|---------------------------|--|--------|
| -150 | 2.867 | 0.9825 | 8.636 | 3.013 | 11.71 | 4.157 | 0.7246 |
| -100 | 2.039 | 0.9656 | 11.9 | 5.835 | 15.82 | 8.034 | 0.7263 |
| -90 | 1.927 | 0.9753 | 12.49 | 6.482 | 16.62 | 8.842 | 0.733 |
| -80 | 1.828 | 0.9835 | 13.07 | 7.153 | 17.42 | 9.692 | 0.7381 |
| -70 | 1.738 | 0.9901 | 13.64 | 7.85 | 18.22 | 10.59 | 0.7414 |
| -60 | 1.656 | 0.9952 | 14.2 | 8.572 | 19.01 | 11.53 | 0.7433 |
| -50 | 1.582 | 0.999 | 14.74 | 9.317 | 19.79 | 12.52 | 0.744 |
| -40 | 1.514 | 1.002 | 15.27 | 10.08 | 20.57 | 13.56 | 0.7436 |
| -30 | 1.452 | 1.004 | 15.79 | 10.88 | 21.34 | 14.65 | 0.7425 |
| -20 | 1.394 | 1.005 | 16.3 | 11.69 | 22.11 | 15.78 | 0.7408 |
| -10 | 1.341 | 1.006 | 16.8 | 12.52 | 22.88 | 16.96 | 0.7387 |
| 0 | 1.292 | 1.006 | 17.29 | 13.38 | 23.64 | 18.17 | 0.7362 |
| 5 | 1.269 | 1.006 | 17.54 | 13.82 | 24.01 | 18.8 | 0.735 |
| 10 | 1.247 | 1.006 | 17.78 | 14.26 | 24.39 | 19.44 | 0.7336 |
| 15 | 1.225 | 1.007 | 18.02 | 14.71 | 24.76 | 20.08 | 0.7323 |
| 20 | 1.204 | 1.007 | 18.25 | 15.16 | 25.14 | 20.74 | 0.7309 |
| 25 | 1.184 | 1.007 | 18.49 | 15.61 | 25.51 | 21.4 | 0.7296 |
| 30 | 1.164 | 1.007 | 18.72 | 16.08 | 25.88 | 22.08 | 0.7282 |
| 35 | 1.146 | 1.007 | 18.95 | 16.54 | 26.25 | 22.76 | 0.7268 |
| 40 | 1.127 | 1.007 | 19.18 | 17.02 | 26.62 | 23.45 | 0.7255 |
| 45 | 1.11 | 1.007 | 19.41 | 17.49 | 26.99 | 24.16 | 0.7241 |
| 50 | 1.092 | 1.007 | 19.63 | 17.97 | 27.35 | 24.87 | 0.7228 |
| 55 | 1.076 | 1.007 | 19.86 | 18.46 | 27.72 | 25.59 | 0.7215 |
| 60 | 1.06 | 1.007 | 20.08 | 18.95 | 28.08 | 26.31 | 0.7202 |
| 65 | 1.044 | 1.007 | 20.3 | 19.45 | 28.45 | 27.05 | 0.719 |
| 70 | 1.029 | 1.007 | 20.52 | 19.95 | 28.81 | 27.79 | 0.7177 |
| 75 | 1.014 | 1.008 | 20.74 | 20.45 | 29.17 | 28.55 | 0.7166 |
| 80 | 0.9996 | 1.008 | 20.96 | 20.97 | 29.53 | 29.31 | 0.7154 |
| 85 | 0.9857 | 1.008 | 21.17 | 21.48 | 29.88 | 30.07 | 0.7143 |
| 90 | 0.9721 | 1.008 | 21.39 | 22 | 30.24 | 30.85 | 0.7132 |
| 95 | 0.9589 | 1.009 | 21.6 | 22.52 | 30.6 | 31.63 | 0.7121 |
| 100 | 0.946 | 1.009 | 21.81 | 23.05 | 30.95 | 32.42 | 0.7111 |
| 110 | 0.9213 | 1.01 | 22.23 | 24.12 | 31.65 | 34.02 | 0.7092 |
| 120 | 0.8979 | 1.011 | 22.64 | 25.21 | 32.35 | 35.64 | 0.7073 |
| 130 | 0.8756 | 1.012 | 23.05 | 26.32 | 33.05 | 37.3 | 0.7057 |
| 140 | 0.8544 | 1.013 | 23.45 | 27.44 | 33.74 | 38.98 | 0.7041 |
| 150 | 0.8343 | 1.014 | 23.85 | 28.59 | 34.43 | 40.68 | 0.7027 |
| 160 | 0.815 | 1.016 | 24.24 | 29.74 | 35.11 | 42.4 | 0.7014 |
| 170 | 0.7966 | 1.017 | 24.63 | 30.92 | 35.79 | 44.15 | 0.7003 |
| 180 | 0.779 | 1.019 | 25.01 | 32.11 | 36.46 | 45.92 | 0.6992 |
| 190 | 0.7622 | 1.021 | 25.39 | 33.32 | 37.13 | 47.71 | 0.6983 |
| 200 | 0.7461 | 1.023 | 25.77 | 34.54 | 37.79 | 49.53 | 0.6974 |
| 210 | 0.7306 | 1.025 | 26.14 | 35.78 | 38.45 | 51.36 | 0.6967 |
| 220 | 0.7158 | 1.027 | 26.51 | 37.04 | 39.1 | 53.21 | 0.696 |
| 230 | 0.7016 | 1.029 | 26.88 | 38.31 | 39.75 | 55.08 | 0.6955 |
| 240 | 0.6879 | 1.031 | 27.24 | 39.6 | 40.4 | 56.97 | 0.695 |
| 250 | 0.6748 | 1.033 | 27.6 | 40.9 | 41.04 | 58.88 | 0.6946 |
| 260 | 0.6621 | 1.035 | 27.95 | 42.22 | 41.67 | 60.81 | 0.6942 |
| 270 | 0.6499 | 1.037 | 28.3 | 43.55 | 42.31 | 62.75 | 0.694 |
| 280 | 0.6382 | 1.04 | 28.65 | 44.9 | 42.93 | 64.72 | 0.6938 |
| 290 | 0.6269 | 1.042 | 29 | 46.26 | 43.56 | 66.69 | 0.6936 |
| 300 | 0.6159 | 1.044 | 29.34 | 47.64 | 44.18 | 68.69 | 0.6935 |

ANEXO F. DIAGRAMA C-NTU-ε DEL INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS E-101



ANEXO G. MODELO Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VENTILADORES AXIALES DEL SECADERO DE BANDEJAS C-101 Y C-102.

CJTHT/PLUS



Atenuador acústico integrado de alta eficacia

Unidades de extracción helicoidales 400°C/2h, 300°C/2h y 200°C/2h con atenuador acústico integrado

Unidades de extracción con caja aislada acústicamente, para trabajar inmersas en zonas de riesgo de incendios 400°C/2h, y atenuador acústico, con núcleo central incorporado.

Ventilador:

- Estructura en chapa de acero galvanizado, con aislamiento térmico y acústico
- Hélices orientables en fundición de aluminio
- Atenuador acústico con material fonoabsorbente, especialmente estudiado para obtener una importante reducción de ruido. Unidades aptas para trabajo vertical y horizontal. Homologación según norma EN 12101-3:2002/AC:2006, con certificación N°: 0370-CPR-0312
- Dirección aire motor-hélice

Motor:

- Motores clase H, uso continuo S1 y uso emergencia S2, con rodamientos a bolas, protección IP55, de 1 ó 2 velocidades según modelo
- Trifásicos 230/400V.-50Hz.(hasta 4CV.) y 400/690V.-50Hz.(potencias superiores a 4CV.)
- Temperatura máxima del aire a transportar: Servicio S1 -20°C+ 40°C en continuo, Servicio S2 200°C/2h, 300°C/2h, 400°C/2h

Acabado:

- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

Bajo demanda:

- Hélices reversibles 100%



Curvas características

THT CJTHT/PLUS CJTHT CJTHT/DUPLEX/ATEX

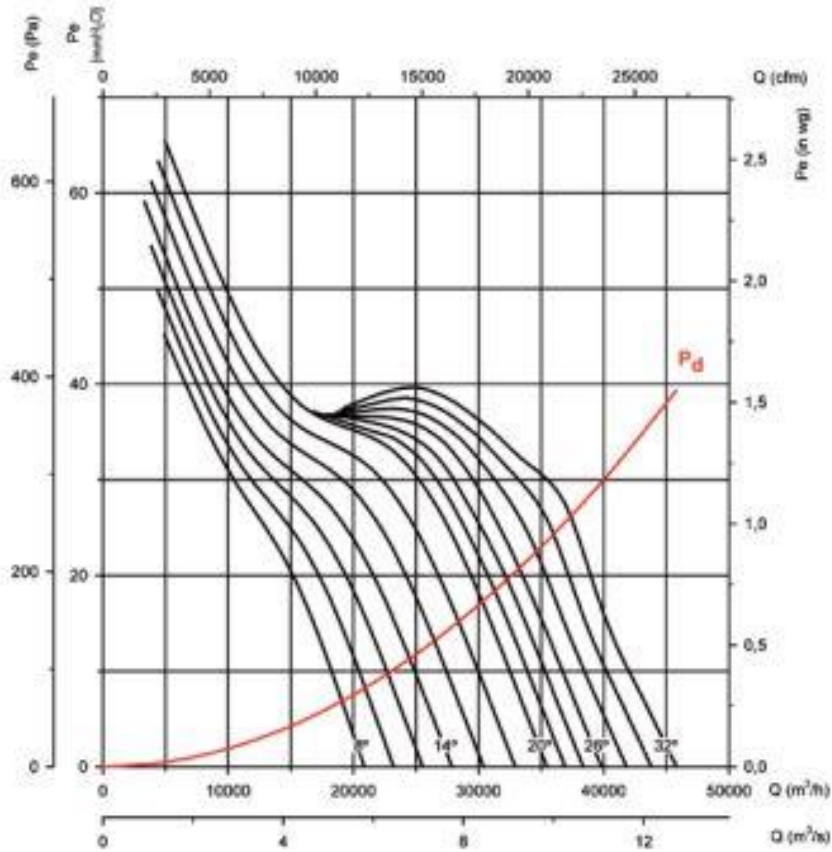
Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm.

Pe= Presión estática en mmH₂O, Pa e inwg.

Diámetro Hélice (cm): 80

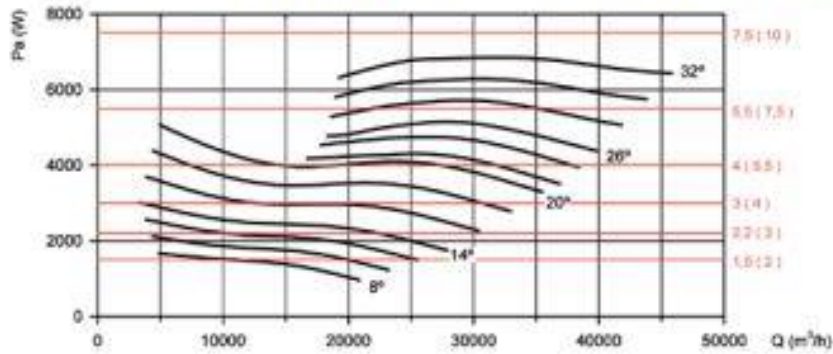
Número de polos: 4

Número de palas: 6



Potencia absorbida

Potencia Motor Recomendada kW(CV)



ANEXO H. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA DE LAS LÍNEAS DE LA PLANTA.

La pérdida de carga las líneas de la planta se pueden hallar con la siguiente ecuación:

$$h_{1-2} = \left(4 \cdot f \cdot \frac{L + \sum_i L_{eq}}{D} + \sum_j K_j \right) \cdot \frac{u^2}{2}$$

Donde:

- f es el factor de fricción.
- L es longitud de la línea (m).
- L_{eq} son longitudes equivalentes de cada accesorio (m). Se supondrán cero porque no se considerará ningún accesorio (m).
- D es el diámetro de la tubería (m).
- K_j es el coeficiente de resistencia de los accesorios. Se considerarán cero.
- u es la velocidad del fluido en la tubería (m/s).

Hallar f implica conocer el tipo de material y el diámetro de la tubería. Con ello se calcularía el factor ϵ/D y con ayuda del Ábaco de Moody, el factor f .

Para todo esto se necesita el número de Reynolds.

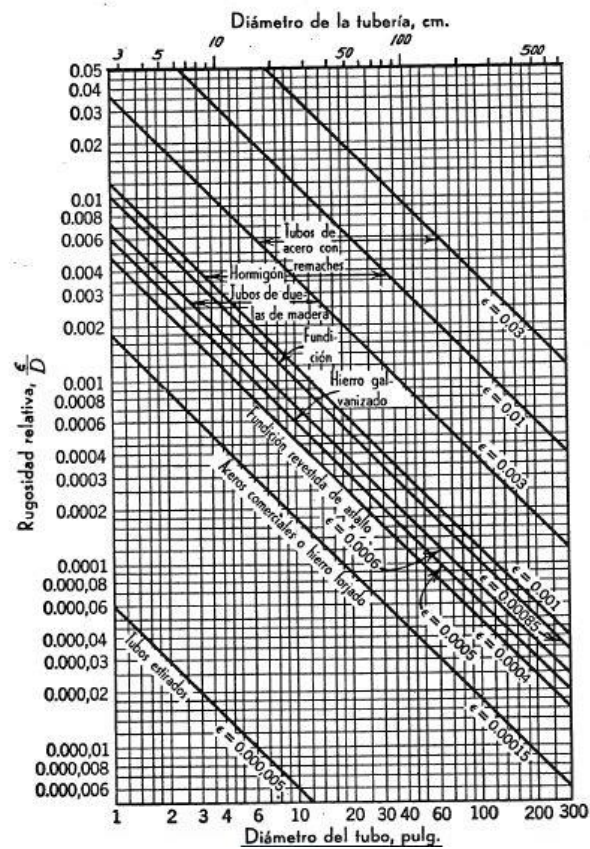
$$Re = \frac{D_e \cdot v \cdot \rho_a}{\mu_a}$$

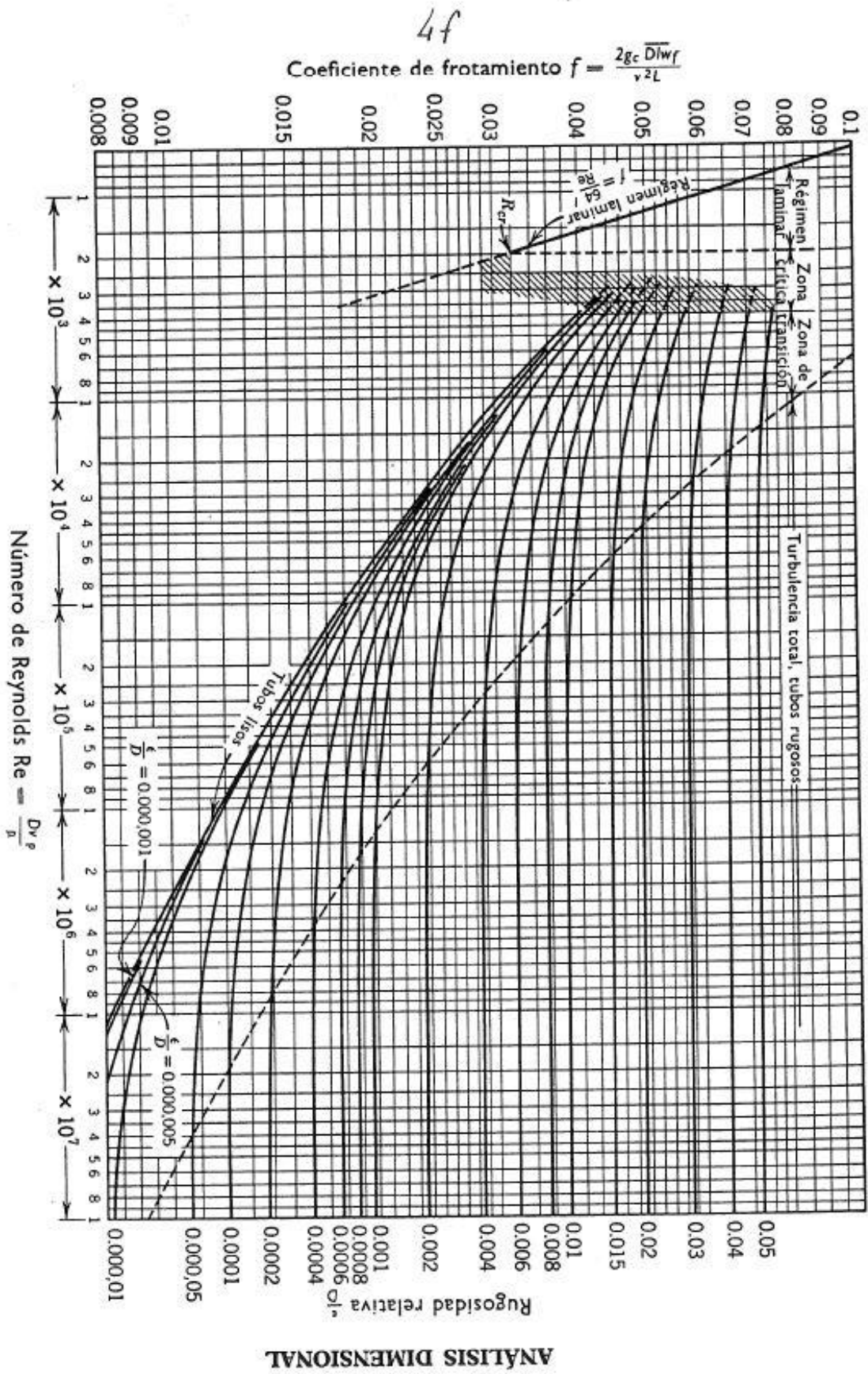
Donde:

- Re es el número de Reynolds.
- v es la velocidad del agua (m/s).
- ρ_a es la densidad del agua (kg/m^3).
- μ_a es la viscosidad del agua ($\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)

TABLA 8.3. Dimensiones de tuberías de acero normalizadas

| Diámetro nominal (pulgadas) | Diámetro exterior (cm) | Diámetro interior (cm) | Espesor de pared (cm) | Número de catálogo |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1/8 | 1,029 | 0,683 | 0,173 | 40 |
| 1/8 | 1,029 | 0,546 | 0,241 | 80 |
| 1/4 | 1,372 | 0,925 | 0,224 | 40 |
| 1/4 | 1,372 | 0,767 | 0,302 | 80 |
| 3/8 | 1,715 | 1,252 | 0,231 | 40 |
| 3/8 | 1,715 | 1,074 | 0,320 | 80 |
| 1/2 | 2,134 | 1,580 | 0,277 | 40 |
| 1/2 | 2,134 | 1,387 | 0,373 | 80 |
| 3/4 | 2,667 | 2,093 | 0,287 | 40 |
| 3/4 | 2,667 | 1,885 | 0,391 | 80 |
| 1 | 3,340 | 2,664 | 0,338 | 40 |
| 1 | 3,340 | 2,431 | 0,455 | 80 |
| 1 1/4 | 4,216 | 3,505 | 0,356 | 40 |
| 1 1/4 | 4,216 | 3,246 | 0,485 | 80 |
| 1 1/2 | 4,826 | 4,089 | 0,368 | 40 |
| 1 1/2 | 4,826 | 3,810 | 0,508 | 80 |
| 2 | 6,033 | 5,250 | 0,391 | 40 |
| 2 | 6,033 | 4,925 | 0,554 | 80 |
| 2 1/2 | 7,303 | 6,271 | 0,516 | 40 |
| 2 1/2 | 7,303 | 5,900 | 0,701 | 80 |
| 3 | 8,890 | 7,793 | 0,549 | 40 |
| 3 | 8,890 | 7,366 | 0,762 | 80 |
| 3 1/2 | 10,16 | 9,012 | 0,574 | 40 |
| 3 1/2 | 10,16 | 8,545 | 0,808 | 80 |
| 4 | 11,43 | 10,226 | 0,602 | 40 |
| 4 | 11,43 | 9,718 | 0,856 | 80 |
| 5 | 14,13 | 12,819 | 0,655 | 40 |
| 5 | 14,13 | 12,225 | 0,953 | 80 |
| 6 | 16,83 | 15,405 | 0,711 | 40 |
| 6 | 16,83 | 14,633 | 1,097 | 80 |
| 8 | 21,91 | 20,272 | 0,818 | 40 |
| 8 | 21,91 | 19,368 | 1,270 | 80 |
| 10 | 27,31 | 25,451 | 0,927 | 40 |
| 10 | 27,31 | 24,287 | 1,509 | 80 |
| 12 | 32,39 | 30,323 | 1,031 | 40 |
| 12 | 32,39 | 28,890 | 1,748 | 80 |





ANEXO I. BOMBA CENTRÍFUGA P-101.



Características:

Las bombas centrífugas con una turbina, son aptas para usos industriales, trasiegos de líquidos y llenado de depósitos, así como grupos de presión cuando se necesitan caudales elevados a bajas presiones.

Temperatura del agua máxima: 90° C.

Turbina en bronce

| Modelo | C.V. | Precio |
|-------------------------------|------|--------|
| <i>Monofásicas (230 V)</i> | | |
| CPM 130 | 0,5 | 240 |
| CPM 146 | 0,75 | 280 |
| CPM 158 | 1 | 292 |
| CPM 180 | 1,5 | 452 |
| <i>Trifásicas (230/400 V)</i> | | |
| CP 152 | 0,8 | 280 |
| CP 158 | 1 | 292 |
| CP 180 | 1,5 | 440 |
| CP 200 | 2,2 | 460 |
| CP 300 | 3 | 470 |
| CP 400 | 4 | 880 |
| CP 550 | 5,5 | 920 |

| Modelo bomba | | Potencia | | Amperios | | | Caudal litros/hora | | | | | | | | | | | | | | Ø | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|----------|------|----------|-----------|-----|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|-------|------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--------------------|--------------------|
| | | | | Monof. | Trifásico | 600 | 1.200 | 1.800 | 2.700 | 3.600 | 4.500 | 5.400 | 6.300 | 7.200 | 8.400 | 12.000 | 15.000 | 18.000 | Asp. | Envío | | | | | | | | | | | | | | | |
| Monof. | Trifásico | C.V. | KW. | 230 | 230 | 400 | Altura en metros | | | | | | | | | | | | | | Asp. | Envío | | | | | | | | | | | | | |
| CPM 130 | | 0,5 | 0,37 | 2,8 | 1,7 | 1,1 | 20 | 18 | 16 | 12 | 9 | 5 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1" | 1" | |
| CPM 146 | CP 152 | 0,75 | 0,55 | 3,5 | - | - | 26 | 25 | 24 | 20 | 16 | 12 | 10 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1" | 1" |
| CPM 158 | CP 158 | 1 | 0,74 | 5,7 | 3,8 | 2 | 33 | 32,5 | 31,5 | 30,5 | 29,5 | 27,5 | 25 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1" | 1" |
| CPM 180 | CP 180 | 1,5 | 1,1 | 8,8 | 6 | 3,4 | 40,5 | 40 | 39 | 38 | 37 | 34,5 | 31 | 27,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1" | 1" |
| | CP 200 | 2,2 | 1,65 | | 6,7 | 4,2 | 50,5 | 50 | 49 | 47,5 | 46 | 44,5 | 42 | 39 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1" | 1" |
| | CP 300 | 3 | 2,2 | | 8,2 | 5,2 | 58,5 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 51 | 48 | 44 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1" | 1" |
| | CP 400 | 4 | 3 | | 12 | 6,8 | 46,5 | 46,3 | 46,2 | 46 | 45,2 | 44,8 | 43,5 | 42,9 | 42 | 41,1 | 37,5 | 32,5 | | | | | | | | | | | | | | | 2" | 1 ^{1/4} " | |
| | CP 550 | 5,5 | 4 | | 14 | 9,6 | 56,1 | 55,8 | 55,7 | 55 | 54,9 | 54,9 | 54,5 | 53,9 | 53,5 | 52,1 | 50 | 46 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | 2" | 1 ^{1/4} " |

ANEXO J. BOMBA CENTRÍFUGA P-102.

**Características:**

Bombas construidas totalmente en acero **INOX 304**, aptas para usos doméstico e industrial en conducción de líquidos sin sólidos y no agresivos químicamente.

Temperatura del agua máxima: 80 °C.

Construcción:

Cuerpo bomba, difusores, impulsores y eje en acero **INOX**. Cierre mecánico en carbón,cerámica y goma nitrílica. Juntas en goma nitrílica. Bajo encargo pueden suministrarse con cierre en carbón,cerámica y vitón, y con juntas en vitón.

CX ... : Boca aspiración: 1 1/4", Boca impulsión: 1"

CX 200: Boca aspiración: 1 1/2", Boca impulsión: 1"

CX 210: Boca aspiración: 1 1/2", Boca impulsión: 1 1/4"

CX 370: Boca aspiración: 2" , Boca impulsión: 1 1/4"

Motor:

Motor eléctrico cerrado, asincrónico, con ventilación externa. En la versión monofásica incorpora protector térmico y condensador permanente. **Protección IP 55**. Los motores trifásicos deben ser protegidos por el usuario.


| Modelo | Potencia | | Amperios | | | F | l/min | | | | | | | | | AISI 304 | | AISI 316 | |
|-----------|----------|------|-------------|----------------|------|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|--------|----------|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | PRECIO | | PRECIO | |
| | CV | kW | monof. 230V | trifásico 230V | 400V | | | m³/h | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | Monof. | Trifás. | Monof. |
| CX 70/37 | 0,5 | 0,37 | 2,72 | 2,51 | 1,45 | 14 | M.m.c.a | 20,1 | 19,1 | 16,6 | 12,8 | | | | | 488 | 488 | 555 | 555 |
| CX 70/55 | 0,75 | 0,55 | 4,55 | 2,86 | 1,65 | 16 | | 28,8 | 27,7 | 24,7 | 20,2 | | | | | 507 | 507 | 578 | 578 |
| CX 80/75 | 1 | 0,75 | 4,87 | 3,65 | 2,11 | 20 | | 30 | 29,3 | 27,4 | 24,7 | 21 | | | | 521 | 561 | 595 | 641 |
| CX 120/55 | 0,75 | 0,55 | 4,33 | 2,74 | 1,58 | 16 | | 20,7 | 20,1 | 18,9 | 17,5 | 15,9 | 14 | 11,8 | 9,2 | 555 | 555 | 637 | 637 |
| CX 120/90 | 1,2 | 0,9 | 6,24 | 4,52 | 2,61 | 25 | | 30 | 29,4 | 28,2 | 26,5 | 24,6 | 22,6 | 20 | 17,3 | 638 | 582 | 727 | 784 |

| Modelo | Potencia | | Amperios | | | F | l/min | | | | | | | | | AISI 304 | | AISI 316 | | |
|------------|----------|------|-------------|----------------|------|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----------|--------|----------|--------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | PRECIO | | PRECIO | | |
| | CV | kW | monof. 230V | trifásico 230V | 400V | | | m³/h | 0 | 120 | 160 | 200 | 300 | 400 | 480 | 520 | Monof. | Trifás. | Monof. | Trifás. |
| CX 210/75 | 1 | 0,75 | 5,1 | 3,76 | 2,17 | 20 | M.m.c.a | 17,7 | 16,5 | 15,6 | 14,4 | 10,4 | | | | | 671 | 721 | 765 | 821 |
| CX 210/110 | 1,5 | 1,1 | 6,68 | 4,68 | 2,7 | 30 | | 20,8 | 29,7 | 19 | 18 | 14,4 | | | | | 755 | 792 | 868 | 905 |
| CX 210/150 | 2 | 1,5 | 8,6 | 6,04 | 3,49 | 40 | | 25,5 | 24,8 | 24 | 23 | 19 | | | | | 851 | 857 | 974 | 976 |
| CX 210/185 | 2,5 | 1,85 | 12,7 | 8,35 | 4,82 | 70 | | 29 | 28,2 | 27,5 | 26,6 | 23,1 | | | | | 1.031 | 918 | 1.182 | 1.048 |
| CX 370/110 | 1,5 | 1,1 | 6,75 | 4,71 | 2,72 | 30 | | 16,3 | 15,8 | 15,6 | 15,2 | 13 | 9,4 | | | | 947 | 972 | 1.089 | 1.108 |
| CX 370/150 | 2 | 1,5 | 9,26 | 6,32 | 3,65 | 40 | | 20,4 | 19,9 | 19,5 | 19,1 | 17,2 | 14,1 | 10,8 | | | 999 | 1.002 | 1.146 | 1.146 |
| CX 370/185 | 2,5 | 1,85 | 12,7 | 8,63 | 4,98 | 70 | | 24,4 | 23,7 | 23,3 | 22,9 | 21,1 | 18,2 | 15 | 13 | 1.041 | 1.031 | 1.195 | 1.179 | |
| CX 370/300 | 4 | 3 | | 11 | 6,38 | | | 30,3 | 29,1 | 28,7 | 28,3 | 26,5 | 23,8 | 20,8 | 19 | | 1.364 | | | 1.532 |

ANEXO K. MODELO Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR PARA INTRODUCIR EL AIRE DE COMBUSTIÓN AL HORNO C-103.

CA

Ventiladores centrífugos de alta presión y simple aspiración con envolvente y turbina en fundición de aluminio




Ventilador:

- Envolvente en fundición de aluminio
- Turbina en fundición de aluminio

Motor:

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 4kW) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 4kW)
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Certificación ATEX Categoría 2

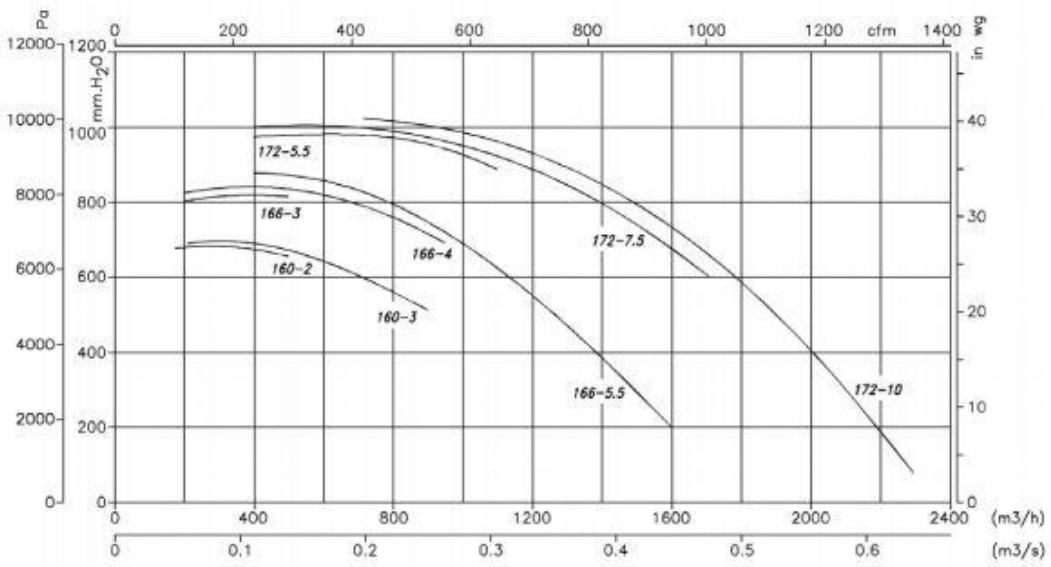
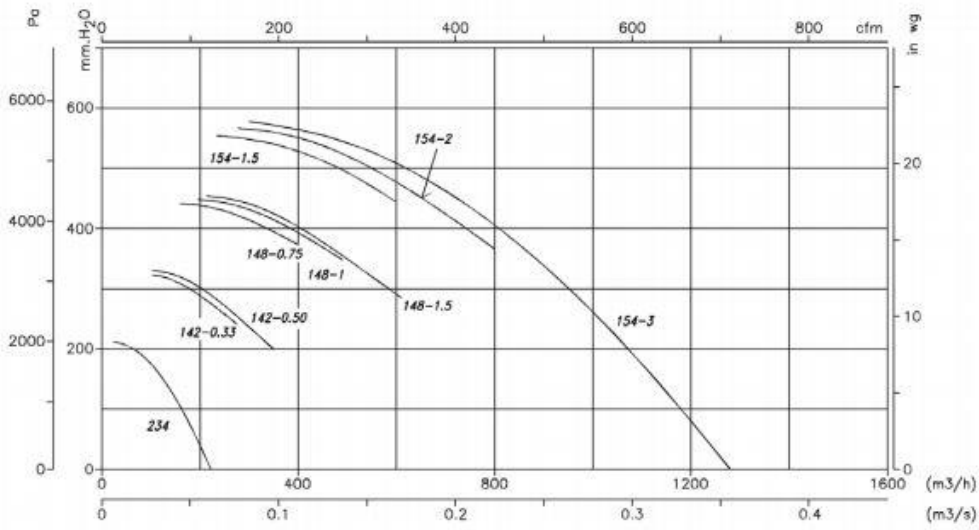


Construcción en aluminio de gran espesor para absorber ruidos y vibraciones

Características técnicas

| Modelo | Velocidad (r/min) | Intensidad máxima admisible (A) | | | Potencia instalada (kW) | Caudal máximo (m³/h) | Nivel presión sonora dB(A) | Peso aprox. (Kg) | According ErP |
|-------------------|----------------------|---------------------------------|-------|------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|
| | | 230V | 400V | 690V | | | | | |
| CA-234-2T | 2710 | 1,92 | 1,11 | | 0,37 | 220 | 72 | 10 | * |
| CA-234-2M | 2780 | 2,53 | | | 0,37 | 220 | 72 | 10 | * |
| CA-142-2T-0.33 | 2710 | 1,29 | 0,75 | | 0,25 | 275 | 73 | 23 | 2015 |
| CA-142-2T-0.5 | 2710 | 1,92 | 1,11 | | 0,37 | 350 | 73 | 23 | 2015 |
| CA-148-2T-0.75 | 2760 | 2,57 | 1,49 | | 0,55 | 400 | 74 | 28 | 2015 |
| CA-148-2T-1 IE3 | 2825 | 2,80 | 1,62 | | 0,75 | 490 | 75 | 35 | 2015 |
| CA-148-2T-1.5 IE3 | 2830 | 4,03 | 2,34 | | 1,10 | 610 | 76 | 33 | 2015 |
| CA-154-2T-1.5 IE3 | 2830 | 4,03 | 2,34 | | 1,10 | 600 | 78 | 47 | 2015 |
| CA-154-2T-2 IE3 | 2875 | 5,34 | 3,07 | | 1,50 | 800 | 79 | 52 | 2015 |
| CA-154-2T-3 IE3 | 2910 | 7,32 | 4,21 | | 2,20 | 1280 | 80 | 55 | 2015 |
| CA-160-2T-2 IE3 | 2875 | 5,34 | 3,07 | | 1,50 | 500 | 83 | 61 | 2015 |
| CA-160-2T-3 IE3 | 2910 | 7,32 | 4,21 | | 2,20 | 900 | 84 | 63 | 2015 |
| CA-166-2T-3 IE3 | 2910 | 7,32 | 4,21 | | 2,20 | 500 | 84 | 72 | 2015 |
| CA-166-2T-4 IE3 | 2910 | 10,00 | 5,77 | | 3,00 | 950 | 85 | 77 | 2015 |
| CA-166-2T-5.5 IE3 | 2900 | 13,00 | 7,50 | | 4,00 | 1600 | 86 | 85 | 2015 |
| CA-172-2T-5.5 IE3 | 2900 | 13,00 | 7,50 | | 4,00 | 1100 | 87 | 99 | 2015 |
| CA-172-2T-7.5 IE3 | 2930 | | 10,10 | 5,86 | 5,50 | 1710 | 88 | 135 | 2015 |
| CA-172-2T-10 IE3 | 2930 | | 14,10 | 8,17 | 7,50 | 2300 | 89 | 120 | 2015 |

* Equipos fuera de la Directiva 2009/125/EC



ANEXO L. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN EL LECHO DE MENTA DEL EXTRACTOR

Para comprobar si la pérdida de carga que impone el lecho de menta es despreciable o no, se usará la ecuación de Ergún:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu \cdot v}{(\phi \cdot D_p)^2} + 1,75 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_g \cdot v^2}{\phi \cdot D_p}$$

Donde:

- ΔP es la pérdida de carga (Pa).
- L es la longitud del lecho (m).
- ε es la porosidad de lecho estimada, tomando como estimación el valor de 0,5.
- μ es la viscosidad del vapor saturado a una atmósfera y 100 °C (kg/(m·s)).
- v es la velocidad del vapor en la torre (m/s).
- ϕ es la esfericidad de las partículas. Como aproximación se tomará que las hojas de menta trituradas se asemejan a discos planos. De manera que la esfericidad se aproxima a 0,5.

Tabla: Esfericidad de partículas

| Forma de la partícula | Esfericidad |
|--------------------------|--------------------|
| Esfera | 1 |
| Cubo | 0,81 |
| Cilindros | |
| $h = d$ | 0,87 |
| $h = 5d$ | 0,70 |
| $h = 10d$ | 0,58 |
| Discos | |
| $h = d/3$ | 0,76 |
| $h = d/6$ | 0,60 |
| $h = d/10$ | 0,47 |
| Arena de playa | Tan alta como 0,86 |
| Arena de río | Tan baja como 0,53 |
| Distintos tipos de arena | 0,75 |
| Sólidos triturados | 0,5 - 0,7 |
| Partículas granulares | 0,7 - 0,8 |
| Trigo | 0,85 |
| Anillos Raschig | 0,26 - 0,53 |
| Sillas Berl | 0,30 - 0,37 |

Fuente: Levenspiel (1993)

- D_p es el diámetro de la partícula o longitud característica (m).
- ρ_g es la densidad del vapor a 1 atmósfera y 100 °C (kg/m³).

| ESPECIFICACIONES PÉRDIDA DE CARGA EN EL LECHO DEL EXTRACTOR | | | |
|--|---------------|-----------------------|-------------------|
| Longitud | L | 0,7416 | m |
| Viscosidad del gas | μ | $122,7 \cdot 10^{-7}$ | kg/(m·s) |
| Porosidad | ε | 0,5 | - |
| Velocidad | v | 0,08 | m/s |
| Esfericidad | ϕ | 0,5 | - |
| Diametro de la partícula | Dp | 0,01 | m |
| Densidad del gas | ρ | 0,5973 | kg/m ³ |

Con todos esto, se estima que la pérdida de carga en el lecho de menta del extractor sea de 12,7 Pa. Una cifra que se puede considerar despreciable.

ANEXO M. CÁLCULO DE LOS COSTES DE EQUIPOS.

En primer lugar, se escogería la capacidad de cada uno de los equipos.

Fan Data (include electric motors)

| Fan Type | K ₁ | K ₂ | K ₃ | F _{MSC} | F _{MBorgass} | F _{MDS} | F _{MNI} | Threshold | V _{min} (m³/s) | V _{max} (m³/s) | P _{max} (barg) |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Centrifugal Radial Fan | 3,5391 | -0,3533 | 0,4477 | 2,7 | 5,0 | 5,8 | 11,5 | 0,01 | 1 | 100 | 0,16 |
| Centrifugal Backward cur | 3,3471 | -0,0734 | 0,3090 | 2,7 | 5,0 | 5,8 | 11,5 | 0,01 | 1 | 100 | 0,16 |
| Axial Tube Fan | 3,0414 | -0,3375 | 0,4722 | 2,7 | 5,0 | 5,8 | 11,5 | 0,04 | 1 | 100 | 0,16 |
| Axial Vane Fan | 3,1761 | -0,1373 | 0,3414 | 2,7 | 5,0 | 5,8 | 11,5 | 0,04 | 1 | 100 | 0,16 |

Fan Data (include electric motors)

| Fan Type | C ₁ | C ₂ | C ₃ | V _{min} (m³/s) | V _{max} (m³/s) | P _{max} (barg) | Pressure Range (barg) |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Centrifugal Radial Fan | 0,00 | 0,209 | -0,033 | 1 | 100 | 0,16 | 1 < ΔP < 16 kPa |
| Centrifugal Backward cur | 0,00 | 0,209 | -0,033 | 1 | 100 | 0,16 | 1 < ΔP < 16 kPa |
| Axial Tube Fan | 0,00 | 0,209 | -0,033 | 1 | 100 | 0,16 | 1 < ΔP < 4 kPa |
| Axial Vane Fan | 0,00 | 0,209 | -0,033 | 1 | 100 | 0,16 | 1 < ΔP < 4 kPa |

Pump Data (including electric drives)

| Pump Type | K ₁ | K ₂ | K ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | P _{max} (barg) | W _{min} (KW) | W _{max} (KW) | Pressure Range (barg) |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Centrifugal pump | 3,3892 | 0,0536 | 0,1538 | -0,3935 | 0,3957 | -0,00226 | 100 | 1 | 300 | 10 < P < 100 |
| Positive Displacement | 3,4771 | 0,1350 | 0,14380 | -0,24538 | 0,259016 | -0,01363 | 100 | 1 | 100 | 10 < P < 100 |
| Reciprocating pump | 3,8696 | 0,3161 | 0,12200 | -0,2454 | 0,2590 | -0,0136 | 100 | 0,1 | 200 | 10 < P < 100 |

Pump Data (including electric drives)

| Pump Type | B ₁ | B ₂ | F _{DCI} | F _{DCS} | F _{DCu} | F _{DCS} | F _{DCI} | F _{DCI} | P _{max} (barg) | W _{min} (KW) | W _{max} (KW) |
|-----------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Centrifugal pump | 1,89 | 1,35 | 1,0 | 1,6 | NA | 2,3 | 4,4 | NA | 100 | 1 | 300 |
| Positive Displacement | 1,89 | 1,35 | 1,0 | 1,4 | 1,3 | 2,7 | 4,7 | 10,7 | 100 | 1 | 100 |
| Reciprocating pump | 1,89 | 1,35 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | 2,4 | 4,0 | 6,4 | 100 | 0,1 | 200 |

Heat Exchanger Data

| Exchanger Type | K ₁ | K ₂ | K ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | B ₁ | B ₂ | A _{min} (m ²) | A _{max} (m ²) | P _{max} (barg) | Pressure Range (barg) |
|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Double Pipe | 3,3444 | 0,2745 | -0,0472 | 0 | 0 | 0 | 1,74 | 1,55 | 1 | 10 | 300 | P < 40 barg |
| | | | | 0,6072 | -0,912 | 0,3327 | | | | | | 40 barg < P < 100 barg |
| Multiple Pipe | 2,7652 | 0,7282 | 0,0783 | 0 | 0 | 0 | 1,74 | 1,55 | 10 | 100 | 300 | P < 40 barg |
| | | | | 0,6072 | -0,912 | 0,3327 | | | | | | 40 barg < P < 100 barg |
| Fixed tube, sheet, or U tul | 4,3247 | -0,303 | 0,1634 | 0,03881 | -0,11272 | 0,08183 | 1,63 | 1,66 | 10,0 | 1000 | 140 | P < 5barg |
| | | | | -0,00164 | -0,00627 | 0,0123 | | | | | | tubes only > 5 barg |
| Floating Head | 4,8306 | -0,8509 | 0,3187 | 0,03881 | -0,11272 | 0,08183 | 1,63 | 1,66 | 10,0 | 1000 | 140 | P < 5barg |
| | | | | -0,00164 | -0,00627 | 0,0123 | | | | | | tubes only > 5 barg |
| Bayonet | 4,2768 | -0,0495 | 0,1431 | 0,03881 | -0,11272 | 0,08183 | 1,63 | 1,66 | 10,0 | 1000 | 140 | P < 5barg |
| | | | | -0,00164 | -0,00627 | 0,0123 | | | | | | tubes only > 5 barg |
| Kettle Reboiler | 4,4646 | -0,5277 | 0,3955 | 0,03881 | -0,11272 | 0,08183 | 1,63 | 1,66 | 10,0 | 100 | 140 | P < 5barg |
| | | | | -0,00164 | -0,00627 | 0,0123 | | | | | | tubes only > 5 barg |
| Scraped Wall | 3,7803 | 0,8569 | 0,0349 | 0 | 0 | 0 | 1,74 | 1,55 | 2,0 | 20 | 300 | P < 40 barg |
| | | | | 0,6072 | -0,912 | 0,3327 | | | | | | 40 barg < P < 100 barg |
| Teflon Tube | 3,8062 | 0,8924 | -0,1671 | 0 | 0 | 0 | 1,63 | 1,66 | 1,0 | 10 | 15 | P < 15barg |
| | | | | 0,0336 | 0,2341 | 0,0497 | | | | | | -0,125 |
| Spiral Tube - shell and tut tube only | 3,9912 | 0,0668 | 0,243 | -0,4045 | 0,1859 | 0 | 1,74 | 1,55 | 1 | 100 | 400 | P > 150 barg |
| | | | | -0,2115 | 0,09717 | 0 | | | | | | tube only 150 < P < 140 barg |
| Spiral Plate | 4,6561 | -0,2947 | 0,2207 | 0 | 0 | 0 | 0,96 | 1,21 | 1 | 100 | 19 | Spiral Plate P < 19 barg |
| Fiat Plate | 4,6656 | -0,1557 | 0,1547 | 0 | 0 | 0 | 0,96 | 1,21 | 10 | 1000 | 19 | Fiat Plate P < 10 barg |

Heat Exchanger Data

Material Factors, F_M

| Exchanger Type | Shell - CS | CS | Cu | Cu | CS | SS | CS | Ni | Ni | CS | Ti |
|-----------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----|----|
| Double Pipe | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Multiple Pipe | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Fixed tube, sheet, or U tul | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Floating Head | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Bayonet | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Kettle Reboiler | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Scraped Wall | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |
| Spiral Tube | 1,00 | 1,35 | 1,69 | 1,81 | 2,73 | 2,68 | 3,73 | 4,63 | 11,38 | | |

| Shell Material | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Type of Exchanger | CS | Cu | SS | Ni | Ti |
| Teflon Tube Exchanger | 1,00 | 1,20 | 1,30 | 1,40 | 3,30 |

| Material In Contact with Process Fluid | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| Type of Exchanger | CS | Cu | SS | Ni | Ti |
| Spiral Plate | 1,00 | 1,35 | 2,45 | 2,68 | 4,63 |
| Fiat Plate | 1,00 | 1,35 | 2,45 | 2,68 | 4,63 |

| Tube Material | | | |
|-------------------|------|------|------|
| Type of Exchanger | CS | Al | SS |
| Air Cooler | 1,00 | 1,42 | 2,93 |

Fired Heater Data

| Reactive Heaters | K ₁ | K ₂ | K ₃ | Q _{min} (kW) | Q _{max} (kW) | P _{max} (barg) | C ₁ | C ₂ | C ₃ | Pressure Range (barg) |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|
| Reformer Furnace | 3,068 | 0,6597 | 0,0194 | 3000 | 100000 | 200 | 0,1405 | -0,2698 | 0,1293 | 10 barg < P < 200 barg |
| Pyrolysis Furnace | 2,3859 | 0,9721 | -0,0206 | 3000 | 100000 | 200 | 0,1017 | -0,1957 | 0,09403 | 10 barg < P < 200 barg |

| Non-reactive Heaters | K ₁ | K ₂ | K ₃ | Q _{min} (kW) | Q _{max} (kW) | P _{max} (barg) | C ₁ | C ₂ | C ₃ | Pressure Range (barg) |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|
| Process Heater | 7,3488 | -1,1666 | 0,2028 | 1000 | 100000 | 200 | 0,1347 | -0,2368 | 0,1021 | 10 barg < P < 200 barg |

| Thermal Fluid Heaters | K ₁ | K ₂ | K ₃ | Q _{min} (kW) | Q _{max} (kW) | P _{max} (barg) | C ₁ | C ₂ | C ₃ | Pressure Range (barg) |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| Hot Water | 2,0829 | 0,9074 | -0,0243 | 650 | 10750 | 200 | -0,0163 | 0,0569 | -0,0088 | 2barg < P < 200 barg |
| Molten Salt, Mineral Oil, | 1,1979 | 1,4782 | -0,0958 | 650 | 10750 | 200 | -0,0163 | 0,0569 | -0,0088 | 2barg < P < 200 barg |
| Diphenyl Based Oils | 2,2628 | 0,8581 | 0,0003 | 650 | 10750 | 200 | -0,0163 | 0,0569 | -0,0088 | 2barg < P < 200 barg |
| Packaged Steam Boilers | 6,9617 | -1,48 | 0,3161 | 1200 | 9400 | 40 | 2,5941 | -4,2348 | 1,7224 | 20barg < P < 40 barg |

Fired Heater Data

| Reactive Heaters | F _{BM} | | |
|-------------------|-----------------|-------------|------|
| | CS | Alloy Steel | SS |
| Reformer Furnace | 2,13 | 2,51 | 2,81 |
| Pyrolysis Furnace | 2,13 | 2,51 | 2,81 |

| Thermal Fluid Heaters | F _{bm} | Steam Supreheat Factor | | |
|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| | | F _{T1} | F _{T2} | F _{T3} |
| Hot Water | 2,17 | | | |
| Molten Salt, Mineral Oil, | 2,17 | | | |
| Diphenyl Based Oils | 2,17 | | | |
| Packaged Steam Boilers | 2,2 | 1,000 | 0,00184 | 3,35E-06 |

| Non-reactive Heaters | F _{BM} | | |
|----------------------|-----------------|-------------|------|
| | CS | Alloy Steel | SS |
| Process Heater | 2,13 | 2,51 | 2,81 |

Vessel Data

| Vertical Vessels | | | | | Horizontal Vessels | | | | | |
|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------|
| K ₁ | K ₂ | K ₃ | V _{min} | V _{max} | K ₁ | K ₂ | K ₃ | V _{min} | V _{max} | P _{max} (barg) |
| 3,4974 | 0,4485 | 0,1074 | 0,3 | 520 | 3,5565 | 0,3776 | 0,0905 | 0,1 | 628 | 400 |

Vessel B-Values

| | B1 | B2 |
|------------|------|------|
| Horizontal | 1,49 | 1,52 |
| Vertical | 2,25 | 1,82 |

Tower Packing

| Materials of Construction | K ₁ | K ₂ | K ₃ | V _{min} (m ³) | V _{max} (m ³) | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Ceramic | 3,0664 | 0,9744 | 0,0055 | 0,03 | 628 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 304 SS | 3,2999 | 0,9744 | 0,0055 | 0,03 | 628 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Plastic Saddle | 2,4493 | 0,9744 | 0,0055 | 0,03 | 628 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tower Tray

| Tray Type | K ₁ | K ₂ | K ₃ | A _{min} (m ²) | A _{max} (m ²) | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
|-----------|----------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Sieve | 2,9949 | 0,4465 | 0,3961 | 0,07 | 12,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Valve | 3,3322 | 0,4838 | 0,3434 | 0,7 | 10,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Demister | 3,2353 | 0,4838 | 0,3434 | 0,7 | 10,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

F_{BM}

| MOC | Sieve | Valve | Demister |
|--------------|-------|-------|----------|
| CS | 1,0 | 1 | |
| SS | 1,8 | 1,83 | 1,0 |
| Fluorocarbon | | | 1,8 |
| Ni-alloy | 5,6 | 5,58 | 5,6 |

Materials of Construction

| | |
|------------------------|-----|
| F _{M CS} | 1,0 |
| F _{M SS clad} | 1,7 |
| F _{M SS} | 3,1 |
| F _{M Ni clad} | 3,6 |
| F _{M Ni} | 7,1 |
| F _{M Ti clad} | 4,7 |
| F _{M Ti} | 9,4 |

ANEXO N. CÁLCULOS EN EES DE ALGUNOS DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA.

ANEXO N.1. SECADERO DE BANDEJAS.

"DATOS"

$W_{airS}=0,02685$ "kg vap/ kg air seco"

$W_{airE}=0,02076$ "kg vap/ kg air seco"

$M_{menta_ag_E}=700$ "kg"

$R=0,287$ "(kPa·m.)/(kg·K)"

$T_{air_S}=45+273$ "K"

$P=101,325$ "kPa"

$\rho_{air_amb}=1,2$ "kg/m³"

$A_{1hoja}=0,0006$ "m²"

$P_{1hoja}=0,11$ "m"

"1-BALANCE DE MATERIA"

$M_{menta_E}=M_{menta_ag_E}*0,3$ "kg"

$M_{ag_E}=M_{menta_ag_E}*0,7$ "kg"

$M_{menta_S}=M_{menta_E}$ "kg"

$M_{ag_S}=(M_{menta_S}*10)/90$ "kg" "Se impone que el 10% de la corriente de solidos será agua"

$M_{ag_ev}=M_{ag_E}-M_{ag_S}$

$M_{airSECO}=M_{ag_ev}/(W_{airS}-W_{airE})$

$V_{airSECO}=(M_{airSECO}*R*T_{air_S})/P$

$M_{airAMB}=V_{airSECO}*\rho_{air_amb}$

"2-TIEMPO DE SECADO"

"2.1-Área de transferencia"

$N_{hojas}=(M_{menta_E}*1000*4)/1$

$A_{TT}=A_{1hoja}*2*N_{hojas}$

"2.2-Diámetro equivalente"

$De=(4*A_{1hoja})/P_{1hoja}$

"2.3-Cálculo del Reynolds"

"Propiedades del aire a 450C y 1 atm"

$\rho_{air}=1,11$

$\mu_{air}=19,41*10^{(-6)}$

$k_{air}=26,99*10^{(-3)}$

$Cp_{air}=1,007$

$Pr=0,7241$

$h_{vapor}=\text{Enthalpy}(\text{Steam};T=45;x=1)$

$v=2$ "velocidad en m/s escogida para el secadero"

$$Re=(De*\rho_{air}*v)/\mu_{air}$$

"2.4-Cálculo del coeficiente de película"

$$((h*De)/k_{air})=(1,17*(Re^{0,585}*(Pr)^{(1/3)}))$$

"2.5-Velocidad de secado"

$$Rc=(h*(45-35))/(h_{vapor}*1000)$$

"2.6-Tiempo de secado"

$$\phi_{agE}=70$$

$$\phi_{agS}=10$$

$$\phi_{agC}=20$$

$$ts=(M_{menta_E}/(A_{TT}*Rc))*(\phi_{agE}-\phi_{agC}-\phi_{agC}*LN(\phi_{agC}/\phi_{agS}))/3600$$

" _____ "

"DISEÑO MECÁNICO DEL SECADERO"

$$L_{SEC}=7 \text{ "m" "largo"}$$

$$B_{SEC}=4 \text{ "m" "ancho"}$$

$$\rho_{menta_lav}=8,2 \text{ "kg/m}^3\text{"}$$

$$H_{SEC}=M_{menta_ag_E}/(L_{SEC}*B_{SEC}*\rho_{menta_lav})$$

"NÚMERO DE BANDEJAS"

$$L_{BAND}=0,45$$

$$B_{BAND}=0,64$$

$$SEP_{BANDEJAS}=0,2$$

$$N_{largo}=(L_{SEC}/L_{BAND})-3$$

$$N_{ancho}=4$$

$$N_{alto}=(H_{SEC}/SEP_{BANDEJAS})$$

$$N_{bandejas}=N_{largo}*N_{ancho}*N_{alto}$$

ANEXO N.2. EXTRACTOR.

"DATOS"

$$Di=1,143 \text{ "m"}$$

$$Ri=Di/2 \text{ "m"}$$

$$\text{dens}_{menta}=276 \text{ "kg/m}^3\text{"}$$

$$\text{dens}_{dis}=200 \text{ "kg/m}^3\text{"}$$

$$\text{dens}_{pared}=7900 \text{ "kg/m}^3\text{"}$$

$$m_{menta}=210 \text{ "kg"}$$

$$P=101,325 \text{ "kPa"}$$

S=106924 "kPa" "es el esfuerzo para ese acero"

E= 0,7 "eficiencia de la junta"

cp_menta=2,929 "kJ/(kg*K)"

cp_pared= 0,451 "kJ/(kg*K)"

R_cond=0,1

hfg_ag=2256,7 "kJ/kg"

Fact_superf=1,6

Qm_vap=3 "kg/min"

" _____ TIEMPO DE CALENTAMIENTO _____ "

"1-ÁREA DE LA SECCIÓN DEL DESTILADOR"

$A=(3,1415*(Di)^2)/4$

"2-ALTURA DEL LECHO"

$H_{lecho}=m_{menta}/(dens_{menta}*A)$

"3-DIAMETRO EXTERNO DEL DESTILADOR"

$De=Di+2*esp$

"Para el cálculo del diametro externo antes se debe obtener el espesor"

$esp=(P*Ri)/((S*E)-(0,6*P))$

"4-VOLUMEN TOTAL DE LA PARED DEL DESTILADOR"

$V_{paredd}=3,1415*((De+Di)/2)*H_{lecho}*esp$

"5-MASA DE LA PARED DEL DESTILADOR"

$M_{paredd}=dens_{pared}*V_{paredd}$

"6-BALANCE DE ENERGÍA PARA CALCULAR LA MASA DE VAPOR NECESARIO"

$M_{vap}*hfg_{ag}=m_{menta}*cp_{menta}*(100-35)+Fact_{superf}*M_{paredd}*cp_{pared}*(100-25)$

"7-CÁLCULO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO SUPONIENDO EL CAUDAL"

$tc=M_{vap}/Qm_{vap}$

" _____ TIEMPO DE EXTRACCIÓN _____ "

"8-CON DATOS EXPERIMENTALES SE CALCULA EL TIEMPO BÁSICO (t) Y FACTOR DE INCREMENTO (s)"

t=30,1 "min"

s_i=0,468

"9-FACTOR DE COORECCIÓN"

$$F_{cd}=(A-0,00664*(dens_menta*H_lecho*A)^{(2/3)})/(A-0,00664*(m_menta)^{(2/3)})$$

"10-CÁLCULO DE LA ALTURA VIRTUAL, ES DECIR, A LA DENSIDAD EN EL LECHO"

$$H_v=H_lecho*(dens_dis/dens_menta)$$

"11-CÁLCULO DEL TIEMPO CORREGIDO "

$$t_{corr}=t/F_{cd}$$

"12-CÁLCULO DEL TIEMPO DE EXTRACCIÓN SIN CONSIDERAR CAMBIOS EN EL RENDIMIENTO SEGÚN LA DENSIDAD DEL LECHO"

$$t_e=t_{corr}*(1+(H_v/s))^{(1/2)}$$

"13-TIEMPO TOTAL DE LA OPERACIÓN"

$$t_TOTAL=t_c+t_e$$

" _____ "

"14-CÁLCULO DE LA MASA DE VAPOR TOTAL REQUERIDA"

$$M_{vapTOT}=Qm_{vap}*t_TOTAL$$

ANEXO N.3. CONDENSADOR.**"DATOS"****"ETAPA DE CONDENSACIÓN"**

$$m_{ag_ace}=0,05 \text{ "kg/s"}$$

$$DELTA h_{vap}=Enthalpy_vaporization(Steam;T=100,1) \text{ "kJ/kg"}$$

$$Cp_{ag_R}=4,176 \text{ "kJ/(kg·k)"}$$

$$T_{ag_R_e}=298 \text{ "K"}$$

$$T_{ag_R_inter}=40+273 \text{ "K"}$$

"1-BE-CALOR DE CONDENSACIÓN" "kW" "Obtenemos m_ag_R"

$$m_{ag_R}*Cp_{ag_R}*(T_{ag_R_inter}-T_{ag_R_e})=m_{ag_ace}*DELTA h_{vap}$$

"2- APLICAMOS EL METODO E-NTU"**"Incremento de temperatura máxima"**

$$DELTA_T_max=(100+273)-T_{ag_R_e}$$

"C mínimo"

$$C_{min}=Cp_{ag_R}*m_{ag_R}$$

"Se calcula E"

$$Q_c = m_{ag_ace} \cdot \Delta T_{ah_vap}$$

$$Q_c = E \cdot C_{min} \cdot \Delta T_{max}$$

"3-CÁLCULO DE NTU"

"Para fluidos en cambio de fases la NTU se calcula directamente"

$$E = 1 - 2,78128^{(-NTU)}$$

"4-CÁLCULO DE U"

$$F_{si} = 0 \text{ "W/m}^2 \cdot \text{K"}$$

$$F_{se} = 0 \text{ "W/m}^2 \cdot \text{K"}$$

$$R_{cd} = 0$$

$$D_e = 12,7/1000$$

$$D_i = 10,922/1000$$

$$A_e = (3,1415 \cdot (D_e)^2)/4$$

$$A_i = (3,1415 \cdot (D_i)^2)/4$$

$$h_e = 1800$$

$$U = 1 / (A_e \cdot ((1/(h_i \cdot A_i)) + (1/(h_e \cdot A_e)) + (F_{si}/A_i) + (F_{se}/A_e) + R_{cd}))$$

"5-SE PLANTEAN CORRELACIONES PARA h_i "

$n_{tub} = 40$ "Se asumen dos pasos por tubos"

$$\text{dens}_{ag_tub} = \text{Density}(\text{Steam}; T=33,1; P=101,325)$$

$$\text{visc}_{ag_tub} = \text{Viscosity}(\text{Steam}; T=33,1; P=101,325)$$

$$\text{Pr}_{ag_tub} = \text{Prandtl}(\text{Steam}; T=33,1; P=101,325)$$

$$k_{ag_tub} = \text{Conductivity}(\text{Steam}; T=33,1; P=101,325)$$

$$m_{ag_tub} = m_{ag_R} / (n_{tub}/2)$$

$$A_{secc} = (3,1415 \cdot (D_i)^2)/4$$

$$m_{ag_tub} = \text{dens}_{ag_tub} \cdot v \cdot A_{secc}$$

$$Re = (\text{dens}_{ag_tub} \cdot v \cdot D_i) / \text{visc}_{ag_tub}$$

"6-CORRELACIÓN"

$$Nu = 0,023 \cdot (Re^{(4/5)}) \cdot (\text{Pr}_{ag_tub}^{0,4})$$

$$Nu = (h_i \cdot D_i) / k_{ag_tub}$$

"7-LONGITUD"

$$A_{ext} = (NTU \cdot C_{min} \cdot 1000) / U$$

$$A_{ext} = n_{tub} \cdot 3,1415 \cdot D_e \cdot L$$

"

"

"DATOS"

"ETAPA DE SUBENFRIAMIENTO"

$$T_{agRe}=T_{ag_R_inter}$$

$$T_{agACe}=100+273$$

$$T_{agACs}=45+273$$

$$Cp_{agAC}=4,18$$

"8-BE PARA CALCULAR T_{agRs} "

$$m_{ag_ace} * Cp_{agAC} * (T_{agACe} - T_{agACs}) = m_{ag_R} * Cp_{ag_R} * (T_{agRs} - T_{agRe})$$

"2- APLICAMOS EL METODO E-NTU"

"Incremento de temperatura máxima"

$$DELTA_T_max2 = (100+273) - (T_{ag_R_inter})$$

"C mínimo"

$$Cmin_2 = m_{ag_ace} * Cp_{agAC}$$

$$Cmax_2 = m_{ag_R} * Cp_{ag_R}$$

$$CR_2 = Cmin_2 / Cmax_2$$

"Se calcula E"

$$Qc_2 = m_{ag_ace} * Cp_{agAC} * (T_{agACe} - T_{agACs})$$

$$Qc_2 = E_2 * Cmin_2 * DELTA_T_max2$$

"Con CR_2 y E_2 y las tablas se calcula NTU_2 "

$$NTU_2 = 2,6$$

$$U_2 = 1 / (A_e * ((1 / (h_i_2 * A_i)) + (1 / (h_e * A_e)) + (F_si / A_i) + (F_se / A_e) + Rcd))$$

"5-SE PLANTEAN CORRELACIONES PARA h_i "

$$Tmed_tub_2 = (100+45)/2$$

$$dens_ag_tub_2 = Density(Steam; T=Tmed_tub_2; P=101,325)$$

$$visc_ag_tub_2 = Viscosity(Steam; T=Tmed_tub_2; P=101,325)$$

$$Pr_ag_tub_2 = Prandtl(Steam; T=Tmed_tub_2; P=101,325)$$

$$k_ag_tub_2 = Conductivity(Steam; T=Tmed_tub_2; P=101,325)$$

$$m_{ag_tub} = dens_ag_tub_2 * v_2 * A_secc$$

$$Re_2 = (dens_ag_tub_2 * v_2 * Di) / visc_ag_tub_2$$

"6-CORRELACIÓN"

$$Nu_2 = 0,023 * (Re_2^{4/5}) * (Pr_ag_tub_2^{0,4})$$

$$Nu_2 = (h_i_2 * Di) / k_ag_tub_2$$

"7-LONGITUD"

$$A_ext_2 = (NTU_2 * Cmin_2 * 1000) / U_2$$

$$A_{\text{ext}_2} = n_{\text{tub}} \cdot 3,1415 \cdot D \cdot L_2$$

ANEXO N.4. DECANTADOR.

"DATOS"

$$\mu_{\text{ag}} = 0,5963 \text{ "cP"}$$

$$\rho_{\text{ag}} = 990,3 \text{ "kg/m}^3\text{"}$$

$$\rho_{\text{ac}} = 866,7 \text{ "kg/m}^3\text{"}$$

$$Q = 0,003 \text{ "m}^3\text{/min"}$$

"1-TIEMPO DE RESIDENCIA"

$$t = 100 \cdot (\mu_{\text{ag}} / (\rho_{\text{ag}} - \rho_{\text{ac}})) \text{ "h"}$$

"2-VOLUMEN DEL DECANTADOR"

$$V = Q \cdot (t \cdot 60)$$

$$V_R = V \cdot 1,1 \text{ "Aplicando factor de seguridad"}$$

"3-DIMENSIONES"

$$V_R = 3,1415 \cdot ((D/2)^2) \cdot L$$

$$L/D = 5$$

ANEXO N.5. TANQUES.

$$V_{\text{ag}} = \text{_____} \text{ {m}^3\text{}}$$

$$V_T = V_{\text{ag}} / 0,8 \text{ {m}^3\text{}}$$

$$V_{\text{Cil}} = 3,1415 \cdot (0,5 \cdot D)^2 \cdot H$$

$$D = (2/3) \cdot H$$

$$V_{\text{Cab}} = (3,1415 \cdot (D^2) \cdot h_p) / 6$$

$$h_p = H / 6 \quad V_T = V_{\text{Cil}} + 2 \cdot V_{\text{Cab}}$$