



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA
Y MATERIALES
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

IQ5701-1 Taller de diseño de procesos

Profesores: Elisa Díaz, Álvaro Olivera, Javiera Riffo.

Auxiliares: Constanza Becerra, Constanza Escobar, Diego Narváez, Francisco Henríquez, Josefa Orellana, Matías

“Productos de almendra: Almmmdra”

Entrega Parcial III

Grupo N°6: Constanza Correa Estrada
Samanta Duarte Salas
Lukas Jeldes Henríquez
Ítalo Muñoz Valenzuela

Fecha entrega: 13 diciembre 2018

Resumen

Las tendencias de vida saludable y responsable con el medioambiente han propiciado el aumento en el número de vegetarianos y veganos a lo largo del país, por lo que surge para desarrollar productos sustitutos lácteos que cubran las necesidades nutricionales de los consumidores, en particular de minerales como el calcio, vitamina B12 y proteínas, que pueden agregarse al producto por medio de la adición de proteína vegetales como la Legumina.

Es en este contexto que se propone la elaboración de productos a partir de almendras: bebida, queso y pellet. El objetivo general de este proyecto es diseñar conceptualmente el proceso productivo de estos productos. Los objetivos específicos de este son: plantear el caso base y límite de batería de la planta, presentar a la organización mediante su misión y visión; y entregar los balances de masa, dimensionamientos de los principales equipos del proceso y desarrollar el bosquejo del plano de la planta utilizando AutoCAD.

Como resultados principales de los balances de masa se obtuvo que el flujo de bebida, queso y pellet producido fue de 13.114, 802 y 1.400 [kg/semana] respectivamente. La cantidad de agua cruda, almendra y aditivos utilizados como materia prima fueron de 16.755, 2.917 y 1.150 [kg/semana] respectivamente y los principales desechos fueron agua con anti-nutrientes, la que corresponde a 6.300 [kg/semana].

Las principales conclusiones indican que el error del balance de masa es cero al considerar conversiones altas y que no existe acumulación. Además, los balances estarían subestimados al no considerar eficiencias, por lo que la cantidad de materias primas necesarias debería ser mayor a la informada en este reporte. Como proyección se propone realizar un análisis HAIN para evaluar socialmente el proyecto.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Objetivos	4
1.2. Caso base	4
1.3. Límite de batería	5
2. La organización	5
2.1. Misión	5
2.2. Visión	6
3. El proceso	6
3.1. Descripción del proceso	6
3.2. Balance de masa	6
3.3. Dimensionamiento de equipos	7
4. Discusiones	7
5. Conclusiones	8
6. Bibliografía	9
7. Anexos	12
7.1. Anexo 1: Comparación aminoácidos caseína y legumina	12
7.2. Anexo 2: Memoria de cálculo caso base	13
7.3. Anexo 3: Límite de batería	15
7.4. Anexo 4: Operaciones unitarias del proceso	9
7.5. Anexo 5: Balance de masa global	9
7.6.1. Cálculos preliminares	11
7.6.2. Pasteurizador	12
7.6.3. Homogeneizador	13
7.6.4. Mezclador	15
7.6.5. Filtro Prensa	20
7.6.6. Moledor de líquidos	24
7.6.7. Intercambiador de calor	26
7.6.8. Blanqueador	33
7.6.9. Tanque de remojo	35
7.6.10. Ciclón	43
7.6.11. Descascaradora	49
7.7. Anexo 7: Memoria de cálculo línea queso	52
7.7.1. Filtro prensa	52
7.7.2. Mezclador de sólidos	52
7.7.3. Reactor Batch	55
7.7.4. Autoclave	64
7.8. Anexo 8: Memoria de cálculo línea pellet	69

7.8.1. Ciclón	69
7.8.2. Molino	69
7.8.3. Peletizadora	71
7.9. Anexo 9: Memoria de cálculo línea agua purificada	73
7.9.1 Reactor PFR	73
7.9.2. Sedimentador	78
7.10. Anexo 10: Dimensionamiento de equipos por catálogo.....	84
7.11. Anexo 11: Carta Gantt tiempos de operación de equipos	85

1. Introducción

Bajo la tendencia actual en la sociedad de tener una vida sana y responsable tanto en ámbitos ambientales como de salud y considerando el inminente aumento de personas que posee un estilo de vida vegetariano o vegano [1] se propone la elaboración de productos sustitutos lácteos a partir de almendra. El proyecto pretende generar tres productos a partir del fruto: el primero y principal es la “leche” fortificada de almendras (en adelante bebida de almendras), el segundo es “queso” a partir de los restos sólidos que se obtienen de la bebida de almendras y, por último, para aprovechar al máximo el fruto y reducir el consumo energético de la planta, se utilizará la cáscara para la fabricación de pellet.

Entre los beneficios de las bebidas vegetales se encuentra que poseen baja cantidad de carbohidratos, contienen ácidos grasos insaturados en lugar de saturados y no poseen lactosa [2]. Se escoge el fruto del almendro por sobre otras opciones como la soya o el arroz, debido a que en Chile existe una producción cercana a las 15 toneladas al año [3]. Además, posee un mayor valor nutricional en comparación a las otras opciones [2], debido a que es rica en antioxidantes y minerales esenciales como el potasio y vitamina E, presenta ácidos grasos omega 6, zinc, hierro, magnesio y contiene un alto nivel de fibra natural. Sin embargo, presenta baja cantidad de proteína y de calcio en comparación a la leche de origen animal, por lo que se recurre a la fortificación con adición de proteínas de origen vegetal que compensen la ausencia de aminoácidos esenciales (ver Anexo 1 para comparación de contenido de aminoácidos).

1.1. Objetivos

El objetivo general del proyecto es concebir y diseñar conceptualmente el proceso productivo de derivados de almendra, junto con evaluar los impactos de la producción a escala industrial.

Los objetivos específicos de la entrega son:

- Plantear caso base y límite de batería de la producción,
- Contextualizar la organización y describir su misión y visión.
- Establecer el proceso productivo junto con balances de masa y el dimensionamiento de equipos que lo componen.
- Realizar el diagrama de equipos de la planta.

1.2. Caso base

A continuación, se presenta el procedimiento realizado para la obtención del caso base. Los supuestos considerados son los siguientes:

- 1) Se considerará la población de las principales regiones de Chile (con mayor cantidad de habitantes) según el Censo 2017 y las más cercanas a la zona del proyecto, el cual se emplaza en la localidad de San Francisco de Mostazal. Dichas regiones son: región Metropolitana, Valparaíso y O'Higgins con 9.735.556 habitantes[4].
- 2) El porcentaje de vegetarianos en Chile corresponde al 6% [1]
- 3) Se asumirá que el consumo *per cápita* de leche fluida anual es comparable al consumo de bebida vegetal, el que corresponde a 28 [litros/personas·año] [5].

- 4) Se conoce que el porcentaje del segmento de bebidas vegetales perteneciente a la bebida de almendras es un 21% [6].
- 5) Se asumirá una competencia perfecta entre las marcas más vendidas en los supermercados (Dream, Almond Breeze, Loncoleche y Vilay) y la bebida vegetal de Almmmdra, dividiendo así la demanda entre cinco.
- 6) Se considerará que por cada litro de bebida vegetal se utilizan 0,08 [kg] de almendras (pepas). [7]

Se considera que el supuesto 5) es fuerte, por lo que la producción anual podría estar sobreestimada. Sin embargo, existe un fragmento de consumidores, como los intolerantes a la lactosa y los alérgicos a proteínas de leche animal, que no se consideraron en el caso. Por otro lado, se desconoce la factibilidad de entrar a un mercado establecido en competencia perfecta, pero se recuerda que el producto presenta ventajas nutricionales por sobre las bebidas presentes en el mercado. Los resultados se muestran en la Figura 1.



Figura 1: Caso Base

1.3. Límite de batería

La organización abarca desde recepción de la almendra con cáscara hasta la obtención de bebida de almendras, queso de almendras y pellet (ver diagrama en Anexo 7.2). El fruto con cáscara se obtendrá directamente desde los productores, por medio de una empresa transportista, quienes entregan la materia prima seca a la planta. Los productos se distribuyen a los clientes por medio de supermercados y tiendas especializadas en formato de cajas de leche de 200[cm³], botellas de vidrio de 1[L] y queso en porciones de 250[g]. Los RILes y RISes se tratarán en una planta externa, mientras que la piel de almendra es dirigida a un relleno sanitario.

2. La organización

“Almmmdra” es una empresa dedicada a la producción de bebida vegetal y queso de almendras, buscando aprovechar al máximo el recurso de la almendra en forma sostenible.

2.1. Misión

“Somos una empresa chilena que brinda una alimentación saludable para todas las personas que deseen consumir bebidas de origen vegetal, que poseen una baja cantidad de carbohidratos y un alto nivel de proteínas.

Realizamos nuestros procesos con el mayor cuidado y responsabilidad, por medio de un control de calidad exhaustivo, para entregar un producto innovador que satisfaga las necesidades

nutricionales de todos nuestros consumidores, en base al respeto e integridad de las personas y del proceso.”

2.2. Visión

“Ser la empresa líder en el país en la elaboración de bebida y queso vegetal, a través de productos novedosos que contribuyan a la nutrición de los chilenos, con posicionamiento en todas las ciudades del país, y mejorando continuamente nuestros procesos.”

3. El proceso

3.1. Descripción del proceso

Se presentan las 4 líneas del proceso: bebida de almendra, queso de almendra, pellet de almendra y tratamiento de agua, el diagrama de las operaciones unitarias se adjunta en el Anexo 3. Las cuales poseen un régimen de operación Semicontinuo, pues hay equipos que funcionan en forma Batch y otros en continuos.

La línea de bebida de almendra inicia con la **descascaradora**, en el que se parte la cáscara para así liberar la pepa, luego sigue la **separación** de estos dos productos, la que se lleva a cabo en un **ciclón**. Posteriormente, la pepa pasa al **tanque de remojo** para eliminar el anti nutriente ácido fítico. Continuando, la pepa llega al **blanqueador**, donde se extrae la piel de la almendra, la que representa el 4%^[8] en peso. Una vez realizado el blanqueado, son llevadas al **intercambiador de calor** el cual busca añadir sabor y además eliminar un 4% en peso evaporando agua^[9]. Posteriormente se llega al **moledor**, donde la pepa es reducida en tamaño y se le añade agua. La solución creada es llevada al **filtro prensa** donde se separa lo que será la bebida de almendras y el queso. La parte líquida pasa por un **mezclador** donde se realiza la adición de aditivos, tales como proteínas, espesante, endulzante, estabilizante y emulsionante, luego la solución del mezclador se hace pasar por el **homogeneizador** para eliminar los posibles grumos y finalmente pasa por el **pasteurizador** para estandarizar y esterilizar la bebida de almendra.

La línea de queso de almendra inicia con la pasta de almendras separada en el proceso de filtrado, continua su camino hacia el **mezclador**, donde se realiza la añaden aditivos, luego pasa al **reactor Batch** de catálisis ácida, donde se desnaturaliza la proteína y finalmente entra al **pasteurizador** para eliminar los agentes patógenos.

La línea de pellet de almendra se inicia con las cáscaras obtenidas del proceso de separación, las cuales pasan por una **segunda molienda**, para luego entrar al proceso de aglomeración que se lleva a cabo en una **peletizadora** y así obtener pellet de almendra.

Finalmente, la línea de tratamiento de agua inicia con la captación de agua cruda desde el río, la que es tratada en un **sedimentador** para eliminar los sólidos en suspensión y con la desinfección con cloro, la cual es llevada a cabo en un **reactor de flujo pistón** para así obtener el agua tratada del proceso.

El diagrama del proceso completo y la disposición de los equipos se presenta en la Figura 2.

3.2. Balance de masa

En la Tabla 1, se muestra el balance de masa global del proceso, en el cual se juntaron todos los aditivos en un solo ítem. Cabe destacar que el recurso mayor utilizado es el de agua cruda, pues es necesaria para el remojo de las almendras, como también para la elaboración de bebida y del queso de almendra. En cuanto a los principales supuestos, no se considera acumulación en ningún equipo. Además, la densidad de la bebida de almendras corresponde a una ponderación de la densidad de agua y almendras, y se asume que los aditivos no influyen en esta. Otro supuesto importante son las composiciones de entrada y salida de algunos flujos, que se obtienen en bibliografía. En los Anexos 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 se puede encontrar los balances de masa de cada equipo de manera detallada.

Tabla 1: Resumen del balance de masa global del proceso, con respectivas entradas y salidas.

Entradas			Salidas		
Especie	Valor	Unidad	Especie	Valor	Unidad
Agua cruda	16754	[kg/semana]	Bebida de almendra	13114	[kg/semana]
Pepa	1086	[kg/semana]	Queso de almendra	802	[kg/semana]
Cáscara	1750	[kg/semana]	Pellet de almendra	1400	[kg/semana]
Piel	46	[kg/semana]	Agua eliminada	5925	[kg/semana]
Aditivos	1149	[kg/semana]	Lodos	30	[kg/semana]
Cloro	926	[kg/semana]	Cáscara perdida	350	[kg/semana]
			Anti nutrientes	79	[kg/semana]
Total	21746	[kg/semana]	Total	21746	[kg/semana]
		Error porcentual	1,6·10 ⁻¹⁴ %		

3.3. Dimensionamiento de equipos

Se dimensionaron 8 equipos, de los cuales 4 son para la línea de bebida de almendra, 2 para la de queso de almendra y 2 para la línea de tratamiento de agua. Los equipos dimensionados, se encuentran en la Tabla 2. En los anexos 7.6, 7.7, 7.8 y 7.9, se encuentran las memorias de cálculo de cada equipo. Los equipos por catálogo se encuentran en el Anexo 7.10. Para los dimensionamientos de los equipos correspondientes a la línea de bebida, el supuesto más importante fue que las eficiencias son de 100%, los supuestos para la línea de tratamiento de agua es que las densidades y diámetro de partículas son los menores existentes en el agua cruda y para el reactor PFR se utilizó la menor velocidad de reacción posible.

La planta posee equipos batch y continuos conectados por almacenes que operan 10 horas al día, 5 veces a la semana. En el Anexo 7.11 se encuentra una carta Gantt el orden de operación de los equipos.

Tabla 2: Equipos dimensionados con su respectivo parámetro y magnitud.

Línea	Equipo	Parámetros calculados	
Bebida de almendra	Ciclón	Diámetro cilindro	0,8 [m]
	Tanque de remojo (5 etapas)	Volumen por etapa	0,5 [m ³]
	Intercambiador de calor	Área de intercambio	8 [m ²]
	Filtro Prensa	Área del filtro	170 [m ²]
Queso de almendra	Reactor BATCH de catálisis ácida	Volumen	0,3 [m ³]
	Autoclave	Volumen	0,25 [m ³]
Tratamiento de agua	Sedimentador	Área	6,3 [m ²]
	Reactor PFR de desinfección	Volumen	3,5[m ³]

4. Discusiones

Con respecto a los resultados obtenidos en el balance de masa global se aprecia que el error es cero. Esto se debe a que no existe acumulación y las reacciones que ocurren en el proceso

se consideran con un 99% de conversión. Cabe destacar que en un proceso real esto diferiría ya que se tienen pérdidas por fugas.

Al considerar altas eficiencias implica que existe una subestimación de los flujos necesarios, ya que, al incluir menor eficiencia, se obtendría mayor cantidad de residuos y se necesitaría mayor cantidad de materias primas para satisfacer el caso base. Así mismo, los equipos de la línea de bebida están subdimensionados, porque al tener un mayor flujo las dimensiones de algunos de estos deberían aumentar.

En cuanto a los resultados obtenidos para el dimensionamiento de los equipos de la línea de agua, se considera que se encuentran sobredimensionados. Esto se debe a que los cálculos del sedimentador se realizaron considerando la menor densidad y tamaño de partícula presentes en el agua cruda, lo que implica la menor velocidad de sedimentación. Además, para el reactor PFR, se utiliza la reacción más lenta según la constante cinética, lo que implica un mayor volumen y un mayor flujo de cloro. Se elige este caso ya que no se logra encontrar información sobre la composición de materia orgánica del agua cruda y también porque considerar este caso asegura que la materia orgánica será tratada en su totalidad. En caso de saber esta composición se lograría utilizar una constante cinética más acorde y, considerando que ya se está utilizando la reacción de menor velocidad, el volumen del reactor disminuiría.

Para las formulaciones del queso y la bebida de almendra, se desconoce la estabilidad de los productos terminados, ya que aun cuando se hicieron utilizando fórmulas de patentes, no se han realizado experimentos de laboratorio de estos productos en particular. En el caso de la bebida, esta corresponde a una emulsión en la que la fase grasa se encuentra dispersa en la fase acuosa, por lo tanto, si el producto no es estable estas fases se separarán, así mismo se debe asegurar que la proteína no precipite.

5. Conclusiones

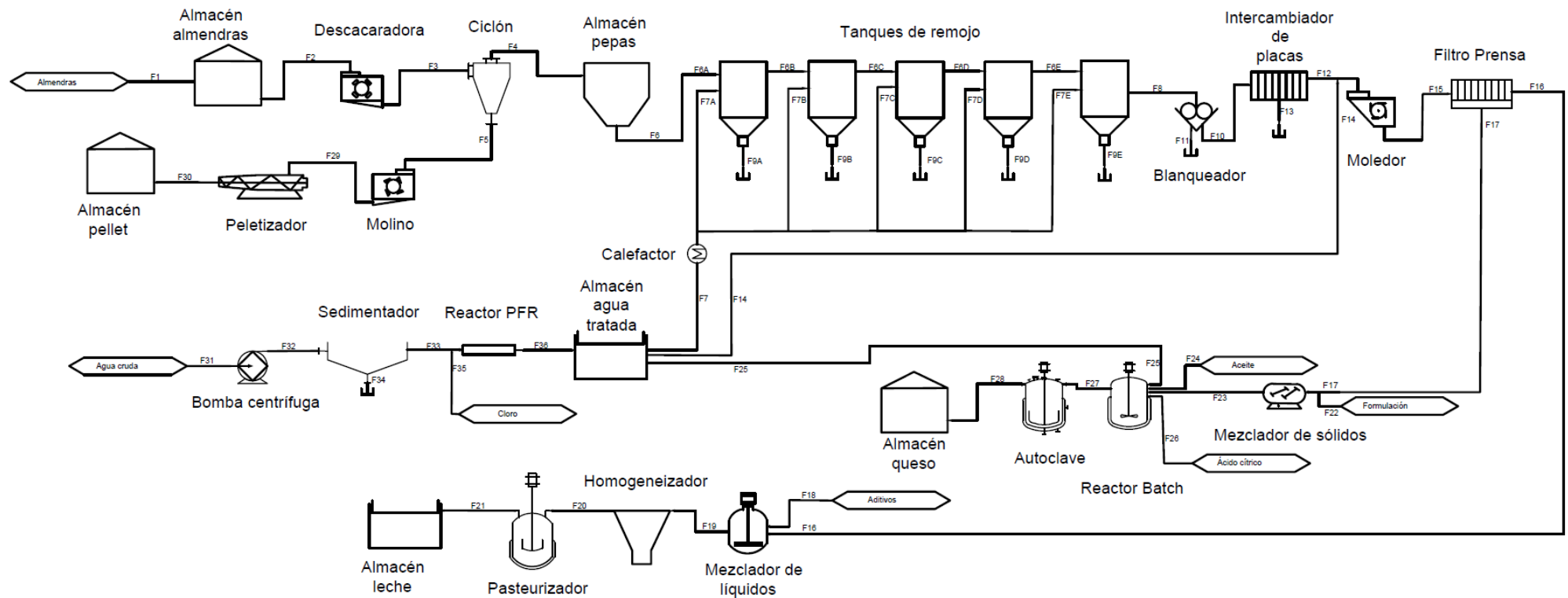
Se cumplen los objetivos propuestos, entre ellos: se logró plantear un caso base de producción de 13.210 [L/semana]. Se plantea el límite de batería, el que considera que todas las materias primas llegan a la planta. Se establecen la misión y visión de la organización y se obtienen los balances de masa de cada equipo, con sus respectivas entradas y salidas. Entre los flujos más importantes se obtiene que la producción de bebida, queso y pellet sería de 13.114, 802 y 1.400 [kg/semana] respectivamente. En cuanto a los balances de equipo, fue posible dimensionar los parámetros característicos de cada uno de ellos.

El error del balance de masa es cero al considerar conversiones altas y que no existe acumulación.

En general, se obtiene que los balances de masa se encuentran subestimados, ya que no se consideró la eficiencia de los equipos. Por otro lado, los equipos de la línea de bebida estarían subdimensionados, mientras que los de la línea de tratamiento de agua estarían sobreestimados.

Como proyección se realizará una evaluación social del proyecto considerando la responsabilidad social empresarial (RSE), y utilizando las herramientas de análisis integral (HAIN).

Diagrama de flujos del proceso de productos de almendra



6. Bibliografía

- [1] El Desconcierto, "Un 6% de la población chilena es vegetariana | El Desconcierto." [Online]. Available: <http://www.eldesconcierto.cl/2018/05/02/un-6-de-la-poblacion-chilena-es-vegetariana/>. [Accessed: 12-Oct-2018].
- [2] M. de relaciones exteriores ProChile, "Prochile » Bebidas 'neo lácteas' crecen con fuerza." [Online]. Available: <https://www.prochile.gob.cl/noticia/bebidas-neo-lacteos-crecen-con-fuerza/>. [Accessed: 12-Oct-2018].
- [3] J. Bravo Mina, "Almendras, con espacio para crecer," 2014.
- [4] Instituto Nacional de Estadísticas-Chile, "Según cifras preliminares del Censo 2017, población censada en Chile llega a 17.373.831 personas." [Online]. Available: <http://www.inec.cl/prensa/detalle-prensa/2017/08/31/segun-cifras-preliminares-del-censo-2017-poblacion-censada-en-chile-llega-a-17373831-personas>. [Accessed: 12-Oct-2018].
- [5] Mundo Agropecuario, "Consumo de lácteos en Chile alcanza los 151,6 litros per cápita al año – Mundoagropecuario." [Online]. Available: <http://www.mundoagropecuario.cl/new/2018/06/11/consumo-de-lacteos-en-chile-alcanza-los-1516-litros-per-capita-al-ano/>. [Accessed: 12-Oct-2018].
- [6] SOCOEX, "Chile: Informaciones cosechas 2017 - SECOEX Comercio Exterior." [Online]. Available: <http://www.secoex.com/noticias/295-chile-informaciones-cosechas-2017>. [Accessed: 18-Oct-2018].
- [7] R. B. Arnold, L. Arthur, and C. Corporation, "'United States Patent Office' 2,547,730," pp. 3–5, 1951.
- [8] G. Mandalari *et al.*, "Characterization of polyphenols, lipids and dietary fibre from almond skins (*Amygdalus communis* L.)," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 23, no. 2, pp. 166–174, 2010.
- [9] ODEPA, "Agregación de valor de frutos secos: Nueces y Almendras," *Publicación la Of. Estud. y Políticas Agrar. del Minist. Agric. Gob. Chile*, p. 161, 2016.
- [10] G. O. Phillips and P. A. Williams, *Handbook of food proteins*. Woodhead Publishing, 2011.
- [11] C. J. Bailey and D. Boulter, "The structure of legumin, a storage protein of broad bean (*Vicia faba*) seed.," *Eur. J. Biochem.*, vol. 17, no. 3, pp. 460–6, Dec. 1970.
- [12] C. Aydin, "Physical properties of almond nut and kernel," *J. Food Eng.*, vol. 60, no. 3, pp. 315–320, 2003.
- [13] "Almond drinks and methods for their production," Dec. 2011.
- [14] A. García Gabarra, "Ingesta de nutrientes: Conceptos y recomendaciones internacionales (2 a parte)," *Nutr. Hosp.*, vol. 21, no. 4, pp. 437–447, 2006.
- [15] MINSAL, "Manual de Etiquetado de Alimentos (Chile)," *Gob. Chile*, 2017.
- [16] Y. W. Zhang Dongbai, "Vegetable protein beverage and method for making the same."
- [17] J. O. Perry, Robert H , Gree, Don W, Maloney, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 1997.
- [18] Y. Maghsoudlou, M. Alami, M. Mashkour, and M. H. Shahraki, "Optimization of Ultrasound-Assisted Stabilization and Formulation of Almond Milk," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 40, no. 5, pp. 828–839, Oct. 2016.
- [19] "Manufacturing delicious soy milk," 2011.
- [20] G. G. Chase, J. Arconti, and J. Kanel, "The Effect of Filter Cakes on Filter Medium Resistance," *Sep. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 16, pp. 2179–2196, Oct. 1994.
- [21] G. Huang, "Hot air roasting of almonds," *Calif. almonds*, no. july, pp. 1–5, 2014.
- [22] P. Y. Marcas, "Bebidas de almendra y métodos para su producción," 2014.
- [23] "Pronóstico del tiempo y condiciones meteorológicas para Santiago, Chile: The Weather Channel | Weather.com." [Online]. Available: <https://weather.com/es-CL/tiempo/hoy/1/CIXX0020:1:CL>. [Accessed: 09-Dec-2018].
- [24] "Uso de carta Psicrométrica Psicrometría."
- [25] "Dimensionamiento intercambiadores de calor." [Online]. Available: <https://www.monografias.com/docs113/dimensionamiento-intercambiadores-calor->

- tubulares/image047.png. [Accessed: 09-Dec-2018].
- [26] C. Yunes A, *Termodinámica*, 7ma edició. Mc Graw Hill, 2012.
 - [27] B. E. N. E. Fits, "R5 - Heat Exchanger Plate." .
 - [28] E. M. Vargas-Solano and F. A. Garzón-Rodríguez, "Montaje y puesta en marcha de un secador por lotes semiautomático de bandejas por aire caliente," *Ing. e Investig.*, vol. 30, no. 2, pp. 43–51, 2010.
 - [29] A. G. PONEROS-SCHNEIER and J. W. ERDMAN, "Bioavailability of Calcium from Sesame Seeds, Almond Powder, Whole Wheat Bread, Spinach and Nonfat Dry Milk in Rats," *J. Food Sci.*, vol. 54, no. 1, pp. 150–153, 1989.
 - [30] R. K. Gupta, S. S. Gangoliya, and N. K. Singh, "Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 52, no. 2, pp. 676–684, 2013.
 - [31] F. Kong and R. P. Singh, "Digestion of raw and roasted almonds in simulated gastric environment," *Food Biophys.*, vol. 4, no. 4, pp. 365–377, 2009.
 - [32] J. L. Bahamondes, "Diseño Y Construcción De Un Separador Ciclónico Para La Industria Naval," *Univ. austral chile*, 2006.
 - [33] A. Arrabal, "1 - Denominación Del Material," p. 229.
 - [34] W. L. McCabe, J. C. Smith, and P. Harriot, *Operaciones básicas de Ingeniería química*, 4a ed. Madrid: McGraw-Hill, 1991.
 - [35] F. Application *et al.*, "United States Patent (19)," *U.S. Pat. 5976719*, no. 19, 1999.
 - [36] Svedberg and B. Sjogren, "The ph-stability regions of serum albumin and of serum globulin," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 52, no. 7, pp. 2855–2863, 1930.
 - [37] S. Yada, K. Lapsley, and G. Huang, "A review of composition studies of cultivated almonds: Macronutrients and micronutrients," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 24, no. 4–5, pp. 469–480, 2011.
 - [38] J. B. Dumas, "Tratado de química aplicada a las artes - Google Play," 1847. [Online]. Available: <https://play.google.com/books/reader?id=IWhmvts1Tjkc&pg=GBS.PA608>. [Accessed: 08-Dec-2018].
 - [39] S. On *et al.*, "No Title."
 - [40] A. M. Osorio, J. M. Marín, and G. Restrepo, "Diseño y evaluación energética de dos circuitos de molienda y clasificación para un clinker de cemento a escala piloto," *Inf. Tecnol.*, vol. 24, no. 2, pp. 99–108, 2013.
 - [41] A. Sancho, "Cáscara de almendra como alternativa al pellet," 2016. [Online]. Available: <https://bioenergyinternational.es/cascara-de-almendra-como-alternativa-al-pellet/>. [Accessed: 12-Dec-2018].
 - [42] Gustavo, "Proyecto 220345 Programa De Estimulo a La Investigacion, Desarrollo Tecnológico E Innovación Programa De Estímulos a La Innovación Ficha Pública Del Proyecto: (220345)," pp. 1–38, 2015.
 - [43] C. Girardi and F. Gonz, "Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales Contenido," 2018.
 - [44] *No Title* גלית אגם - דוקטורט .
 - [45] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, "DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS ESTERO LA CADENA, REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS."
 - [46] M. Deborde and U. von Gunten, "Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment—Kinetics and mechanisms: A critical review," *Water Res.*, vol. 42, no. 1–2, pp. 13–51, Jan. 2008.
 - [47] J. A. Barrios, "Aspectos generales del manejo de lodos," *Curso sobre manejo y Aprovech. lodos provenientes plantas Trat.*, p. 96, 2009.
 - [48] R. F. Weiner and R. Matthews, *Env handbook*. .
 - [49] INGRID GARCES, "NITRATO DE SODIO."
 - [50] Visionlearning, "La Gravedad | Physics | Visionlearning." [Online]. Available: <https://www.visionlearning.com/es/library/Física/24/La-Gravedad/118>. [Accessed: 22-Nov-2018].
 - [51] Ali Baba, "Automático De Cacahuete Almendras Tuerca Cortar Máquinas Para Aplastar De

- Maní - Buy Máquina Para Cortar Maíz,Equipo Para Cortar Nueces,Máquinas Para Triturar Almendras Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/automatic-groundnut-almonds-nut-chopping-equipment-machines-to-crush-peanut-60819786631.html?spm=a2700.8699010.29.37.6bf67821fSyxiE>. [Accessed: 06-Dec-2018].
- [52] Estupina, “Peladora de almendras pequeña 5000/3 MRE.” [Online]. Available: <http://www.estupina.com/es/productos/peladora-de-almendras/peladora-de-almendras-para-uso-particular/peladora-de-almendras-pequea-a-5000-3-mre/29/>. [Accessed: 06-Dec-2018].
- [53] Goodfellow, “Acero Inoxidable - AISI 316 - Catalogo en linea - Materiales en pequenas cantidades para el diseno - Goodfellow.” [Online]. Available: <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>. [Accessed: 04-Dec-2018].
- [54] SAMRO, “Homogeneizador industrial de la nueva condición 4350 PSI, máquina de homogeneización.” [Online]. Available: <http://spanish.homogenizer-machine.com/sale-7285260-new-condition-industrial-homogenizer-4350-psi-homogenizing-machine.html>. [Accessed: 06-Dec-2018].
- [55] T. Brik and A. Tba, “نيلغشملاب تصاخ تيبير دت قروء Tetra Pak.”
- [56] Meelko, “Maquina Prensa para pellets anular industrial capacidad 100-300kg/h madera, 500-800kg/h alimentos - MKRD250C-W.” [Online]. Available: <http://articulo.meelko.com/71-prensa-para-pellets-anular-industrial-capacidad-----madera--a--alimentos>. [Accessed: 06-Dec-2018].

7. Anexos

7.1. Anexo 1: Comparación aminoácidos caseína y legumina

La caseína es el grupo proteico dominante en la leche de vaca y es el principal contribuyente funcional a una familia de ingredientes lácteos que se utilizan de forma generalizada en la industria alimentaria [10]. La legumina es una proteína de almacenamiento presente en semillas de leguminosas y constituye la mayor parte de las proteínas de estas [11].

El objetivo es fortificar la bebida con una proteína que sea de origen vegetal para obtener un producto vegano, y que sea similar a la caseína.

A continuación, se compara la composición aminoacídica de ambas proteínas con tal de evaluar la calidad de la proteína que se quiere agregar. En rojo se muestran los aminoácidos esenciales de la legumina que están ausentes o en baja cantidad con respecto a la caseína.

Tabla Anexos 1: comparación composición a.a legumina y caseína.

Aminoácidos	Legumina	Caseína	Carencia	a.a esenciales
<i>Leu</i>	8,8	10,5		*
<i>Ala</i>	4,4	3,1		
<i>Cys</i>	0,8	0,3		
<i>Asp</i>	11,54	7		
<i>Glu</i>	27,47	23,4		
<i>Gly</i>	4,96	2,1		
<i>Ile</i>	5,37	5,7		*
<i>Lys</i>	6,43	8,2		*
<i>Met</i>	0,38	3	*	*
<i>Phe</i>	5,04	5,1		*
<i>Pro</i>	6,13	12	*	
<i>Ser</i>	5,8	5,5		
<i>Thr</i>	3,56	4,4		*
<i>Tyr</i>	4,0	6,1		
<i>Trp</i>	0	1,5	*	*
<i>Val</i>	6,33	7		*
<i>Arg</i>	0	4,1	*	
<i>His</i>	0	3	*	*

7.2. Anexo 2: Memoria de cálculo caso base

Para los cálculos se tomaron los siguientes supuestos:

- Se considera la población de las regiones de Valparaíso, O'Higgins y Metropolitana, que son las más pobladas y cercanas a la zona del proyecto, el cual se emplaza en la localidad de San Francisco de Mostazal. En la Tabla Anexo 2 se muestra la población de estas regiones, según el Censo 2017 [4]
- El porcentaje de vegetarianos en Chile corresponde al 6% [1]
- El consumo *per cápita* de leche fluida anual es comparable al consumo de bebida vegetal, el que corresponde a 28 litros al año [5].
- El porcentaje del segmento de bebidas vegetales perteneciente a la bebida de almendras es un 21% [6].
- Se asume una competencia perfecta entre las cuatro marcas más vendidas en los supermercados (Dream, Almond Breeze, Loncoleche y Vilay) y la bebida vegetal de Almmmdra.

Tabla Anexos 2: Población de regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins según Censo 2017.

Región	Símbolo	Población [habitantes]
Valparaíso	Pob_v	1.790.219
Metropolitana	Pob_m	7.036.792
O'Higgins	Pob_o	908.545

En primer lugar, se determina la población de las regiones más habitadas que se encuentran cercanas al proyecto, vale decir, las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, a partir de los datos de la Tabla Anexo 2:

$$Pob = Pob_v + Pob_m + Pob_o = 9.735.556 \text{ [habitantes]}$$

Luego, se considera el porcentaje de población vegetariana, que corresponde a un 6% del total:

$$Pob_{veg} = Pob \cdot 0,06 = 584.133 \text{ [personas]}$$

Después, se estima el consumo de bebidas vegetales suponiendo que el consumo *per cápita* de leche fluida anual es comparable al consumo de bebida vegetal, el que corresponde a 28 litros *per cápita* al año:

$$C_{b_{veg}} = Pob_{veg} \cdot 28 \left[\frac{L}{per \cdot año} \right] = 16.355.724 \left[\frac{L}{año} \right]$$

Posteriormente, se calcula el consumo de bebida de almendra, teniendo en cuenta que tiene una cuota de mercado del 21% en el segmento de bebidas vegetales:

$$C_{b_{alm}} = C_{b_{veg}} \cdot 0,21 = 3.434.702 \left[\frac{L}{año} \right]$$

Por último, se asume una competencia perfecta con las cuatro marcas más vendidas en los supermercados, dividiendo la demanda entre cinco:

$$P_{b_alm} = \frac{C_{b_alm}}{5} = 686.940 \left[\frac{L}{año} \right]$$

Donde:

Pob : Población total de las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins.

Pob_{veg} : Población vegetariana de las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins.

C_{b_veg} : Consumo anual de bebidas vegetales [L bebida vegetal/año] de Pob_{veg} .

C_{b_alm} : Consumo anual de bebida de almendra [L bebida almendra/año] de Pob_{veg} .

P_{b_alm} : Producción anual de bebida de almendra de la planta [L bebida almendra/año].

7.3. Anexo 3: Límite de batería

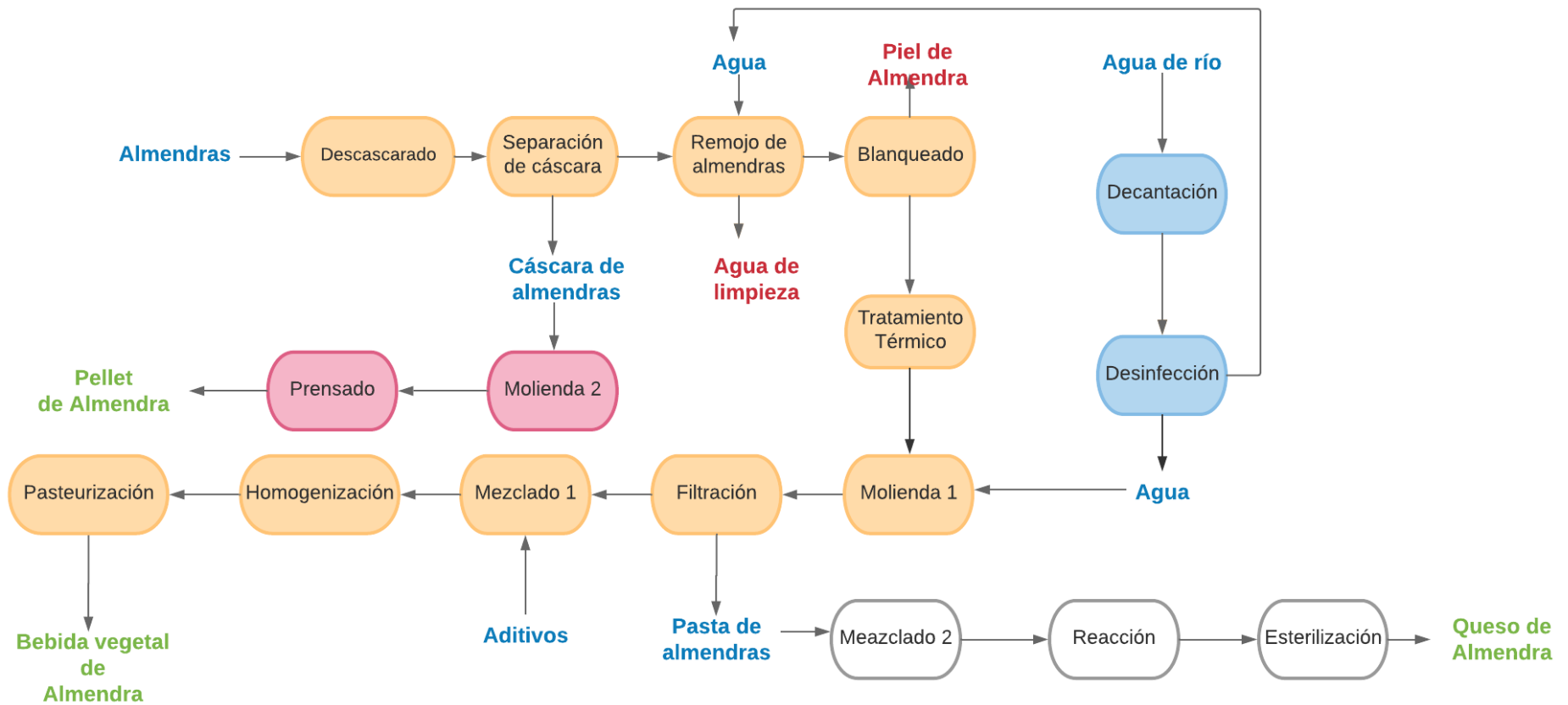
A continuación, en la Figura Anexo 1 se muestra el diagrama de límite de batería del proceso.



Figura Anexos 1: Diagrama límite de batería.

7.4 Anexo 4: Operaciones unitarias del proceso.

En el presente Anexo se muestran las operaciones unitarias de la planta de “Almmmdra” donde la línea amarilla corresponde a la línea de bebida de almendra, la línea en blanco al queso de almendra, la línea en rosa es el pellet de almendra y en azul se presenta la línea de purificación de agua. Las entradas a las líneas están con letras celestes, los residuos están en rojo, mientras que, en verde se encuentran los productos de la planta.



7.5 Anexo 5: Balance de masa global

A continuación, se anexa el balance de masa global, cabe destacar que los aditivos en esta parte se separaron y se detallan sus valores en la entrada.

Tabla Anexos 3: Balance de masa global

Entradas	Magnitud	Unidades	Salidas	Magnitud	Unidades
Agua de almendras	35,00	[kg/semana]	Agua con anti nutrientes	6.004,14	[kg/semana]
Pepa con anti nutriente	1.086,11	[kg/semana]	Piel de almendra	45,54	[kg/semana]
Cascara	1.749,97	[kg/semana]	Bebida de almendras	13.114,35	[kg/semana]
Piel	45,54	[kg/semana]	Queso de almendra	801,87	[kg/semana]
Proteínas	396,30	[kg/semana]	Pellet de almendra	1.399,98	[kg/semana]
Vitamina A	0,015	[kg/semana]	Lodos	29,94	[kg/semana]
Vitamina B12	0,00005	[kg/semana]	Cáscara perdida	349,99	[kg/semana]
Vitamina D	0,00013	[kg/semana]			
Calcio (carbonato de calcio)	15,85	[kg/semana]			
Estabilizante (fosfato tricálcico)	13,11	[kg/semana]			
Espesante (carragenanos)	13,11	[kg/semana]			
Emulsionante (lecitina)	13,11	[kg/semana]			
Azúcar	488,30	[kg/semana]			
Sal	32,71	[kg/semana]			
Carragenina	3,65	[kg/semana]			
Goma Xantana	4,49	[kg/semana]			
Fosfato tricálcico	0,56	[kg/semana]			
Fosfato trisódico	1,68	[kg/semana]			
Ácido sórbico	4,49	[kg/semana]			
Ácido cítrico	1,46	[kg/semana]			
Aceite	120,00	[kg/semana]			
Agua Cruda	16.754,07	[kg/semana]			
Ácido Hipocloroso	925,92	[kg/semana]			

total	21.745,79	[kg/semana]	total	21.745,79	[kg/semana]
-------	-----------	-------------	-------	-----------	-------------

7.6. Anexo 6: Memoria de cálculo línea bebida de almendras

A continuación, se muestran las memorias de cálculo de los balances de masa presentes en los equipos de la línea de producción de bebida de almendras. Dichos equipos son: ciclón, tanque de remojo, blanqueador, intercambiador de calor, molidor, filtro prensa, mezclador, homogeneizador y pasteurizador. Cabe destacar que el caso base hace referencia a los litros de bebida de almendra que deben salir del pasteurizador, y desde este punto se comenzó a construir el balance de masa. Es por esto que las memorias presentadas a continuación comenzarán desde el pasteurizador.

7.6.1. Cálculos preliminares

Del caso base se tiene que se debe producir un flujo de bebida de almendra igual a:

$$V_b = 687 \left[\frac{m^3}{año} \right]$$

Donde:

$$V_b: \text{Flujo volumétrico de bebida de almendra} \left[\frac{m^3}{año} \right]$$

Para calcular la masa de bebida de almendra a producir es necesario conocer la densidad de la bebida de almendra. Para esto se pondera la densidad de la almendra [10] con la densidad del agua. Los ponderadores se obtienen sabiendo la composición de almendra en la bebida, la que corresponde a un 4,5%, y asumiendo que los aditivos no influyen en la densidad del producto.

Tabla Anexos 4: Datos para cálculos preliminares.

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Composición de agua en la bebida	x_a	0,955	[kg agua/kg bebida]
Composición de pepa en la bebida	x_p	0,045	[kg pepa/kg bebida]
Densidad agua a 25°C	ρ_a	997,13	[kg/m ³]
Densidad pepa [12]	ρ_p	900	[kg/m ³]

Luego se obtiene que:

$$\rho_b = x_a \cdot \rho_a + x_p \cdot \rho_p \quad (1)$$

$$\rho_b = 992,76 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Donde:

$$\rho_b: \text{Densidad de la bebida de almendra} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Ahora para obtener el flujo volumétrico de bebida de almendra que se desea producir, se multiplica la densidad por el flujo volumétrico de la bebida:

$$F_b = V_b \cdot \rho_b \quad (2)$$

$$F_b = 682.026 \left[\frac{kg}{año} \right]$$

Donde:

$$F_b: \text{Flujo másico de bebida de almendra} \left[\frac{kg}{año} \right]$$

Suponiendo que se trabajan las 52 semanas al año, el flujo másico de la bebida de almendras a procesar semanalmente es de:

$$F_{bs} = 682.026 \left[\frac{kg}{año} \right] \cdot \left[\frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}} \right]$$

$$F_{bs} = 13.115 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

$$F_{bs}: \text{Flujo másico de bebida de almendra} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

7.6.2. Pasteurizador

7.6.2.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

El fin de este equipo es poder eliminar los microorganismos y así asegurar la calidad de la bebida. El diagrama que representa al equipo se presenta en la Figura Anexos 3:

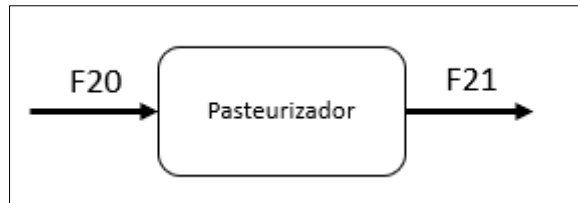


Figura Anexos 3: Diagrama pasteurizador

Además, en la siguiente Tabla Anexos 5 se puede apreciar los datos utilizados en el equipo:

Tabla Anexos 5: Datos de composición utilizados para el pasteurizador

Equipo: Pasteurizador		
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F20	Bebida4	1,00
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F21	Leche de almendra	1,00

El supuesto que se toma en ese equipo, es que el volumen de bebida de almendra, y a su vez la masa, no varía producto de las altas presiones y temperaturas a la cual es sometida, además de considerar la misma composición para los flujos de entrada y salida [9].

- *Ecuaciones y resultados*

Utilizando el supuesto que la masa de bebida que entra al equipo no se pierde producto de las altas presiones y temperaturas a la cual es sometida, se tiene lo siguiente.

$$F_{b4} = F_{bs} \quad (1)$$

Donde:

F_{b4} : Flujo másico de bebida que entra al pasteurizador $\left[\frac{kg}{semana} \right]$
 F_{bs} : Flujo másico de bebida que sale del pasteurizador $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

Como se tiene que la masa que sale del pasteurizador debe ser lo producido según el caso base, se tiene que el flujo másico que sale del pasteurizador es:

$$F_{bs} = 13.114,35 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

De esta manera el flujo másico que entra al pasteurizador es:

$$F_{b4} = 13.114,35 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

A continuación, en la Tabla Anexos 6 se presenta un resumen de los flujos del equipo:

Tabla Anexos 6: Resumen de flujos del pasteurizador

Equipo: Pasteurizador					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad
F20	13.114,35	Bebida 4	1,00	13.114,35	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F21	13.114,35	Bebida de almendra	1,00	13.114,35	[kg/semana]

- *Discusiones*

Asumir que en el pasteurizador no se pierde masa, implica que se cumplen los requerimientos para el caso base, por ende, se puede suplir la necesidad de abastecer a las tres regiones más pobladas de Chile. En el caso que este supuesto no se cumpla, se tiene que se requerirá más almendras para cumplir el caso base, además de que se genera una mayor cantidad de residuos, de los cuales la organización se debería hacer cargo.

7.6.3. Homogeneizador

7.6.3.1. Balance de masa

- Datos y supuestos utilizados*

La finalidad del equipo es poder eliminar los grumos que se pueden generar en la etapa de mezclado. En la Figura Anexos 4 que se muestra a continuación se muestran los flujos de entrada y salida del equipo, y en la Tabla Anexos 7 se muestran el detalle de los flujos.

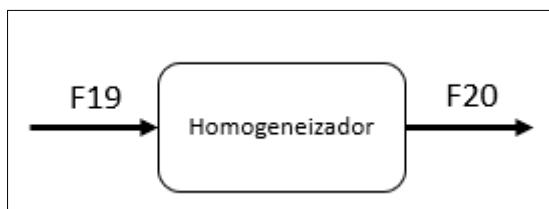


Figura Anexos 4: diagrama homogeneizador

La Tabla Anexos 7 presenta los datos conocidos del homogeneizador.

Tabla Anexos 7: datos homogeneizador

Equipo: Homogeneizador		
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F19	Bebida3	1,00
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F20	Bebida4	1,00

El supuesto utilizado es que el equipo posee una eficiencia del cien por ciento, es decir, es capaz de eliminar todos los grumos generados en la mezcla y además no se pierde masa.

- Ecuaciones y resultados*

Como en este equipo no se pierde masa, se tiene que el flujo a la salida es el mismo que el de la entrada, por lo cual se puede modelar según la siguiente ecuación.

$$F_{b3} = F_{b4} \quad (1)$$

Donde:

$$F_{b3}: \text{Flujo másico de bebida que entra al homogeneizador} \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

$$F_{b4}: \text{Flujo másico de bebida que sale del homogeneizador} \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

Del Anexo anterior se tiene que el flujo másico que sale del equipo es:

$$F_{b4} = 13.114,35 \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

Por consiguiente, la masa de bebida que, entra al homogenizado es de:

$$F_{br} = 13.114,35 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La diferencia de la bebida 4 con la bebida 3, es que la primera está totalmente homogenizada, y por consiguiente se puede asumir que la formulación será homogénea.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los flujos de los equipos son:

Tabla Anexos 8: resumen de balance de masa en homogeneizador

Equipo: Homogeneizador					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad
F19	13.114,35	Bebida3	1,00	13.114,35	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F20	13.114,35	Bebida4	1,00	13.114,35	[kg/semana]

- *Discusiones*

Nuevamente, al asumir que no se pierde masa en el equipo, ayuda a cumplir el caso base, como también a reducir la cantidad de residuos que genera la organización. Además, al asumir que el homogeneizador es capaz de eliminar todos los grumos que se generan en la etapa de mezclado, indica que toda la mezcla cumple los estándares de calidad para poder ser pasteurizada y luego embotellada.

7.6.4. Mezclador

7.6.4.1 Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

Este equipo es necesario, pues acá es donde se realiza la formulación de la bebida de almendra, es decir, se añaden los aditivos necesarios para que el producto sea duradero y cumpla estándares de calidad. A continuación, se muestra el bosquejo del equipo con sus entradas y salidas correspondientes.

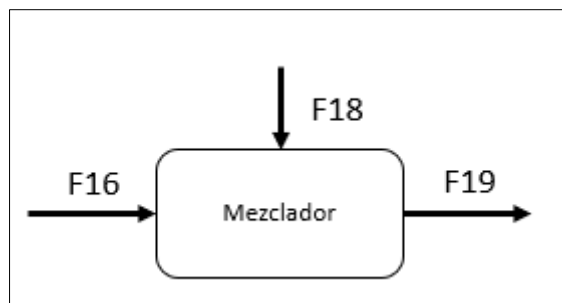


Figura Anexos 5: diagrama mezclador

En la Tabla Anexos 9 se muestra el desglose de los flujos que entran y salen del equipo.

Tabla Anexos 9: desglose de flujos de entrada y salida del mezclador

Equipo: Mezclador	
Nombre corriente	Especie
F16	Bebida 2
F18	Proteína (Legumina)
	Vitamina A
	Vitamina B12
	Vitamina D
	Calcio (carbonato de calcio)
	Estabilizante (fosfato tricálcico)
	Espesante (carragenanos)
	Emulsionante (lecitina)
	Azúcar
Nombre corriente	Especie
F19	Bebida 3

La formulación de la bebida de almendra se realiza según bibliografía[13], mientras que la cantidad de vitaminas y calcio según la dosis diaria recomendada (DDR) [14], por lo que se tiene que la cantidad de aditivos es la siguiente:

Tabla Anexos 10: Datos balance de masa mezclador.

Especie	Valor	Unidad
Azúcar	40	[g/L]
Proteína (Legumina)	30	[g/L]
Calcio (carbonato de calcio)	1,2	[g/L]
Vitamina A	1200	[μg/L]
Vitamina B12	3,8	[μg/L]
Vitamina D	10	[μg/L]
Estabilizante (fosfato tricálcico)	0,1	%p/p bebida
Espesante (carragenina)	1	%p/p pepa
Emulsionante (lecitina)	1	%p/p pepa

- *Ecuaciones y resultados.*

Algunos aditivos se agregan según la composición final que va a tener la bebida de almendras, por lo cual, es importante conocer la cantidad de bebida de almendra que se tiene que producir, en este caso corresponde a:

$$F_{bs} = 13.114,35 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Lo cual se traducen en un volumen de:

$$V_{bs} = 13.210, \left[\frac{l}{semana} \right]$$

Los resultados se obtienen del Anexo: Cálculos preliminares.

Donde:

F_{bs} : Flujo másico de bebida de almendra a producir $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

V_{bs} : Flujo volumétrico de bebida de alemndra a producir $\left[\frac{l}{semana} \right]$

Para el calcular la cantidad de azúcar que se tiene que añadir es la máxima que se puede añadir para que el producto no tenga el sello de alto en azúcares, siendo este valor $40 \left[\frac{g}{lt} \right]$ [15],

Entonces se tiene que:

$$F_{Azu} = 40 \left[\frac{g}{L} \right] \cdot V_{bs} \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg}{g} \right] \quad (1)$$

$$F_{Azu} = 528,40 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{Azu} : Flujo másico de azúcar en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

Para la proteína se tiene que se añaden $30 \left[\frac{g}{l} \right]$, pues está dentro de los rangos que se pueden disolver en las bebidas vegetales [16] que es un 5% en volumen.

$$F_{pro} = 30 \left[\frac{g}{L} \right] \cdot V_{bs} \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg}{g} \right] \quad (2)$$

$$F_{pro} = 396,30 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{pro} : Flujo másico de proteína en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

El flujo de calcio se tiene según la dosis diaria recomendada.

$$F_{Ca} = 1,2 \left[\frac{g}{L} \right] \cdot V_{bs} \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg}{g} \right] \quad (3)$$

$$F_{Ca} = 15,85 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{ca} : Flujo másico de calcio en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

El flujo de vitaminas se hace en base a la dosis diaria recomendada

$$F_{VITA} = 1200 \left[\frac{\mu g}{L} \right] \cdot V_{bs} \cdot 10^{-9} \left[\frac{kg}{\mu g} \right] \quad (4)$$

$$F_{VITA} = 0,01585 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{VITA} : Flujo másico de vitamina A en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$$F_{VITB} = 3,8 \left[\frac{\mu g}{L} \right] \cdot V_{b2} \cdot 10^{-9} \left[\frac{kg}{\mu g} \right] \quad (5)$$

$$F_{VITB} = 0,00005 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{VITB} : Flujo másico de vitamina B₁₂ en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$$F_{VITD} = 10 \left[\frac{\mu g}{L} \right] \cdot V_{b2} \cdot 10^{-9} \left[\frac{kg}{\mu g} \right] \quad (6)$$

$$F_{VITD} = 0,00013 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{VITD} : Flujo másico de vitamina D en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

Según los datos que se muestran en la Tabla de datos bibliográficos. Se tienen los flujos másicos para estabilizante, espesante y emulsionante.

$$F_{est} = 0,001 \cdot F_{bs} \quad (7)$$

$$F_{est} = 13,11 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{est} : Flujo másico de estabilizante en $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$$F_{esp} = 0,01 \cdot F_{bs} \quad (8)$$

$$F_{esp} = 13,11 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{esp} : Flujo másico de estabilizante en $\left[\frac{kg}{semana}\right]$

$$F_{emu} = 0,01 \cdot F_{bs} \quad (9)$$

$$F_{emu} = 10,04 \left[\frac{kg}{semana}\right]$$

Donde:

F_{emu} : Flujo másico de emulsionante en $\left[\frac{kg}{semana}\right]$

A partir de lo anterior se plantea el balance de masa del equipo:

$$F_{b2} + F_{Azu} + F_{pro} + F_{Ca} + F_{VITA} + F_{VITB_{12}} + F_{VITD} + F_{est} + F_{esp} + F_{emu} = F_{b3} \quad (10)$$

Donde:

F_{b2} : Flujo másico de bebida que entra al mezclador $\left[\frac{kg}{semana}\right]$

F_{b3} : Flujo másico de bebida que sale del mezclador $\left[\frac{kg}{semana}\right]$

Ahora del Anexo anterior se tiene que el flujo de bebida 3 es

$$F_{b3} = 13.114,85 \left[\frac{kg}{semana}\right]$$

Con esto se tiene que el flujo másico de bebida 2 es:

$$F_{b2} = 12.134,44 \left[\frac{kg}{semana}\right]$$

A modo resumen se presenta la siguiente tabla como resumen de los valores de los flujos.

Tabla Anexos 11: resumen de balances de masa en el mezclador

Equipo: Mezclador					
Nombre corriente	Entrada[kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad
F16	12.134,44	Bebida 2	1,00	12.134,44	[kg/semana]
		Proteína (Legumina)	0,40	396,30	[kg/semana]
		Vitamina A	0,00002	0,01585	[kg/semana]
		Vitamina B12	0,0000001	0,00005	[kg/semana]
		Vitamina D	0,0000001	0,00013	[kg/semana]
F18	979,91	Calcio (carbonato de calcio)	0,01618	15,85	[kg/semana]
		Estabilizante (fosfato tricálcico)	0,01	13,11	[kg/semana]
		Espesante (carragenanos)	0,01	13,11	[kg/semana]
		Emulsionante (lecitina)	0,01	13,11	[kg/semana]

		Azúcar	0,54	528,40	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F19	13.114,35	Bebida 3	1,00	13.114,35	[kg/semana]

- *Discusiones*

Como se tiene que la formulación de la bebida de almendra se hace a base a búsqueda bibliográfica, se desconoce si la proporción en la cual se añaden los estabilizantes, emulsionantes y espesantes es la correcta para obtener un producto que cumpla los estándares de calidad o se asemeje a las demás bebidas vegetales. Lo mismo ocurre cuando se añade el calcio y las vitaminas, no se ha encontrado reportes de si es necesario agregar algún otro aditivo para que todos los compuestos puedan coexistir en la bebida de almendra. En el caso que la formulación no sea la idónea, es necesario realizar investigación en laboratorios en conjunto de una mayor búsqueda bibliográfica para poder tener una bebida que sea competitiva en el mercado.

7.6.5. Filtro Prensa

El propósito de este equipo es separar la pasta de almendras de la bebida obtenida en el molidor.

7.6.5.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

En la Figura Anexos 6 se muestra un diagrama del equipo, con sus flujos de entrada y salida.

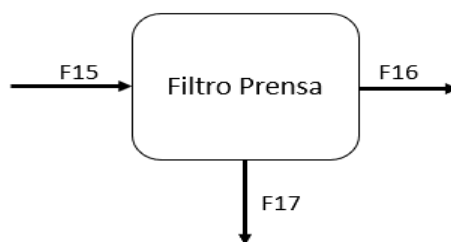


Figura Anexos 6: Diagrama filtro prensa

En la Tabla Anexos 12, se presentan los principales datos utilizados en el balance de masa.

Tabla Anexo 12: Datos balance de masa filtro prensa

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Flujo másico de entrada al filtro (bebida 1)	F15	12,751.16	[kg/semana]
Flujo másico de salida de bebida 2	F16	12,235.69	[kg/semana]
Flujo másico de salida de pasta de almendras	F17	515.47	[kg/semana]
Composición de agua en la bebida 2	y _a	0.955	[kg agua/kg bebida]
Composición de pepa en la bebida 2	y _p	0.045	[kg pepa/kg bebida]

Composición de agua en la pasta	x_a	0.10	[kg agua/kg pasta]
Composición de pepa en la pasta	x_p	0.90	[kg pepa/kg pasta]

Los supuestos utilizados son las composiciones de agua y pepa con las que salen la bebida y la pasta de almendras del filtro.

- *Ecuaciones y resultados*

Del balance de masa del equipo anterior (Anexo 7.6.4) se tiene que el flujo de bebida que sale del filtro es:

$$F_{b2} = 12,134.44 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Realizando un balance de masa de la pepa entre el molidor y el filtro prensa se tiene que:

$$F_{pm} = F_{pasta} \cdot x_p + F_{b2} \cdot y_p \quad (1)$$

Donde:

F_{pm} : Flujo másico de pepa que entra al molidor [kg/semana]

F_{pasta} : Flujo másico de pasta que sale del filtro [kg/semana]

Pero el flujo de pepa que entra al molidor está dado por la fracción másica que se muestra en la Tabla Anexo 12:

$$F_{pm} = F_{e1} \cdot x_{pm} \quad (2)$$

Donde:

F_{e1} : Flujo másico de pepa "tostada" que entra al molidor [kg/semana]

x_{pm} : Composición de pepa en flujo F_{e1}

Además, se tiene que el flujo másico de pepa "tostada" que entra al molidor corresponde a un 8% del flujo de bebida que sale del pasteurizador:

$$F_{e1} = x_{pt} \cdot F_{pt} \quad (3)$$

$$F_{e1} = 1,049.15 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{pt} : Flujo másico de bebida que sale del pasteurizador [kg/semana]

x_{pt} : Proporción entre pepa tostada y bebida que sale del pasteurizador.

Así se obtiene que:

$$F_{pm} = 1,007.18 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Despejando la ecuación 1 se obtiene el flujo de pasta que sale del filtro:

$$F_{pasta} = \frac{F_{pm} - (F_{b2} \cdot y_p)}{x_p} \quad (4)$$

$$F_{pasta} = 512.37 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Por último, haciendo un balance de masa en el filtro, se obtiene el flujo de bebida 1 que entra al equipo:

$$F_{b1} = F_{b2} + F_{pasta} \quad (5)$$

$$F_{b1} = 12,646.81 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{b1} : Flujo másico de bebida 1 que entra al filtro [kg/semana]

En la Tabla Anexos 13 se presenta un resumen de los flujos de entrada y salida del filtro

Tabla Anexos 13: resumen del balance de masa en el filtro prensa

Equipo: Filtro Prensa					
Nombre corriente	Entrada [kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad
F15	12,646.81	Bebida 1	1.00	12,646.81	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F16	12,134.44	Bebida 2	1.00	12,134.44	[kg/semana]
F17	512.37	Pasta de Almendra	1.00	512.37	[kg/semana]

- *Discusiones*

Se considera que las composiciones de agua y pepa con las que salen la bebida y la pasta de almendras del filtro son adecuadas ya que fueron obtenidas a partir de bibliografía, sin embargo, los flujos están subestimados debido a que no se considera la masa que se pueda perder en el filtro, vale decir, masa que no sale ni por el filtrado ni por la torta. Luego se necesitaría mayores flujos de pepa y agua para satisfacer el caso base.

7.6.5.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos utilizados*

En la Tabla Anexo 14 se presentan los datos utilizados para realizar el dimensionamiento del filtro.

Tabla Anexo 14: datos utilizados para el dimensionamiento

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
-------------	---------	----------	----------

Densidad agua a 25°C [17]	ρ_{agua}	997.13	[kg/m ³]
Densidad pepa de almendra [12]	ρ_{pepa}	900	[kg/m ³]
Viscosidad bebida de almendra [18]	μ	0.003	[Pa·s]
Caída de presión en el lecho	ΔP	80	[kPa]
Resistencia específica de la torta	α	$5.76 \cdot 10^{13}$	[m/kg]
Resistencia del filtro	R_M	$1.99 \cdot 10^9$	[1/m]
Jornada de trabajo	t_j	5	[días/semana]
Tiempo de operación del filtro	t	8640	[s]

En este equipo se tomaron en consideración los siguientes supuestos:

- La resistencia específica de la torta de bebida de almendra es similar a la formada en la filtración de bebida de soya.
- La caída de presión es 80 [kPa].
- La resistencia del filtro, para una caída de presión de 80 [kPa], es similar en la filtración de bebida de almendra y de soya.
- El tiempo de ciclo es de 3 horas. El tiempo de operación corresponde al 80% del tiempo del ciclo. El resto corresponde al tiempo de carga y limpieza.

• *Ecuaciones y resultados*

A partir de los datos y supuestos, se calcula en primer lugar, el volumen total de filtrado, en el tiempo de operación:

$$V = \left(\frac{F16 \cdot y_p}{\rho_{\text{pepa}}} + \frac{F16 \cdot y_a}{\rho_{\text{agua}}} \right) \cdot \frac{1}{t_j} \quad (6)$$

$$V = 2,44 \left[\frac{m^3}{\text{día}} \right]$$

En segundo lugar, se calcula la masa de torta por unidad de volumen filtrado, dividiendo el flujo másico de pasta de almendras que se obtiene por el volumen total de filtrado:

$$C = \frac{F17 \cdot x_p}{V \cdot t_j} \quad (7)$$

$$C = 37,6 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Finalmente se determina el área transversal del filtro, mediante la ecuación de diseño:

$$t = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot C}{2 \cdot \Delta P} \left(\frac{V}{A} \right)^2 + \frac{R_M \cdot \mu}{\Delta P} \left(\frac{V}{A} \right) \quad (8)$$

Despejando se obtiene que:

$$A = \frac{\frac{R_M \cdot \mu}{V \cdot \Delta P} + \sqrt{\left(\frac{R_M \cdot \mu}{V \cdot \Delta P}\right)^2 + \frac{2 \cdot t \cdot \mu \cdot \alpha \cdot C}{V^2 \cdot \Delta P}}}{\frac{2 \cdot t}{V^2}} \quad (9)$$

$$A = 167,9[m^2]$$

- *Discusiones*

La viscosidad utilizada corresponde a la de bebida de almendra luego de una homogeneización de ultrasonido[18]. Esta propiedad podría variar según el proceso utilizado y la formulación hecha, pero se espera que tenga el mismo orden de magnitud. Aun así, pequeños cambios pueden provocar grandes cambios en el dimensionamiento. En cuanto a la resistencia específica de la torta, dado que el proceso de preparación de bebida de soya es similar al de bebida de almendra (remojo, molienda, filtración) [19] se considera que la torta que se forma tiene características semejantes y el valor utilizado es apropiado, no obstante, al igual que con la viscosidad, cambios pequeños producen cambios grandes en el área dimensionada. Por otro lado, la resistencia del filtro dependerá del tamaño de las partículas y la compresibilidad de la torta, y en general aumenta con la altura de esta [20], sin embargo, al ser varios ordenes de magnitud menor a la resistencia de la torta, si se desprecia su valor, el dimensionamiento no se ve afectado. Finalmente, el tiempo de operación utilizado se considera adecuado para los requerimientos operacionales de la planta (es decir, que los tiempos de operación de los equipos se ajusten a la jornada de trabajo), pero al aumentarlo, disminuye el área del filtro.

Cabe mencionar, que tanto la resistencia específica de la torta como la resistencia del filtro pueden ser determinadas experimentalmente, lo que ayudaría a obtener resultados más certeros.

7.6.6. Moedor de líquidos

7.6.6.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

La finalidad de este equipo es poder crear una solución de agua y pepa de almendras para así iniciar la producción de la bebida de almendra.

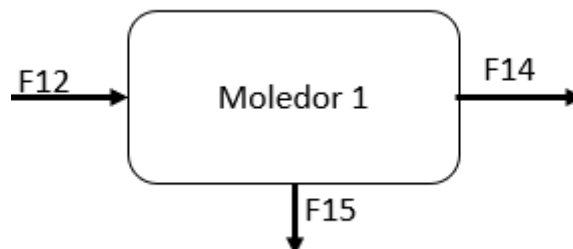


Figura Anexos 7: diagrama moedor 1

La composición de los flujos de este equipo se muestra a continuación.

Tabla Anexos 15: datos utilizados para moedor 1

Equipo: Moedor 1	
Nombre corriente	Especie
F12	Pepa
	Agua en pepa
F14	Agua potabilizada
Nombre corriente	Especie
F15	Bebida 1

Los datos que se tienen para realizar el balance de masa están en la siguiente tabla.

Tabla Anexo 16: datos utilizados para moedor 1

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Flujo másico de entrada de pepa tostada	F12	1,049.15	[kg/semana]
Flujo másico de entrada de pepa	F12.1	1,007.18	[kg/semana]
Composición de agua en pepa en el moedor	x_{aguap}	0.04	[kg agua/kg pepa tostada]
Flujo másico de salida de bebida 1	F15	12,646.81	[kg/semana]

Los supuestos utilizados fueron las composiciones de pepa y agua en el flujo de pepa “tostada” que entra al moedor.

- Ecuaciones y resultados.*

El flujo de agua en pepa que entra al moedor está dado por la fracción másica que se muestra en la Tabla Anexo 16:

$$F_{aguap} = F_{e1} \cdot x_{aguap} \quad (1)$$

$$F_{aguap} = 41.97 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{aguap} : Flujo másico de agua en pepa que entra al moedor [kg/semana]

Luego, haciendo un balance de masa en el moedor, se obtiene el flujo de agua potabilizada que entra al equipo:

$$F_{apot} = F_{b1} - (F_{pm} + F_{aguap}) \quad (2)$$

$$F_{apot} = 12,646.81 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{apot} : Flujo másico de agua potabilizada que entra al molidor [kg/semana]

En la Tabla Anexos 17 se presenta un resumen de los flujos de entrada y salida del molidor.

Tabla Anexos 17: datos utilizados para molidor 1

Equipo: Molidor					
Nombre corriente	Entrada [kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F12	1,049.15	Pepa	0.96	1,007.18	[kg/semana]
		Agua en pepa	0.04	41.97	[kg/semana]
F14	11,597.66	Agua potabilizada	0.92	11,597.66	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F15	12,646.81	Bebida 1	1.00	12,646.81	[kg/semana]

- *Discusiones*

Las composiciones de entrada están dadas por el proceso anterior, es decir, que la pepa sale con un 4% de humedad del tratamiento térmico. Esto podría variar, sin embargo, dado que el flujo de pepa tostada está determinado por el flujo que sale del pasteurizador, no debería cambiar el flujo de agua potabilizada necesaria en el proceso. Por otro lado, no se ha considerado que se puede perder masa en el equipo producto de la operación misma (es decir, que quede pepa en las paredes o en las cuchillas).

7.6.7. Intercambiador de calor

7.6.7.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

Esta etapa permite retirar humedad de la pepa por medio de la deshumidificación del aire y su posterior uso en un tratamiento térmico. El quitar humedad a la pepa permite que no se formen compuestos que le den un mal sabor a la bebida terminada. El diagrama del equipo se muestra en la Figura Anexos 8:

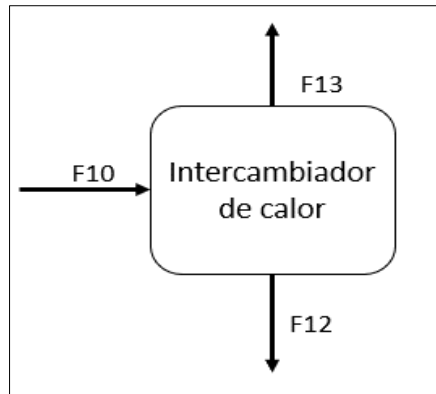


Figura Anexos 8: Diagrama del intercambiador de calor

Los datos utilizados para dimensionar el equipo se muestran en la Tabla Anexos 18:

Tabla Anexos 18: Datos para balance del intercambiador

Nombre corriente	Especie
F10	Pepa
	Agua
Nombre corriente	Especie
F13	Agua (Eliminada del sistema)
F12	Pepa
	Agua en pepa

Desde el balance de masa del molidor se conoce que la fracción másica de pepa y de agua F12 es de 0,96 y 0,4 respectivamente, además se tienen los valores de F12 que son:

$$F12 = 1049,15 \left[\frac{kg}{semana} \right]; F_{pepa_{12}} = 1.007,18 \left[\frac{kg}{semana} \right]; F_{agua_{12}} = 41,97 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

El supuesto considerado en este equipo consiste en asumir que se pierde un 4% de humedad de la pepa, según bibliografía.[21]

- *Ecuaciones y resultados*

Para obtener el agua eliminada se calcula el 4% del total de la pepa, por lo que $F_{pepa_{12}} + F_{agua_{12}}$ corresponden a un 96% de la masa de la pepa, con una regla de 3:

$$F13_{agua} = (F_{pepa_{12}} + F_{agua_{12}}) * \frac{0,04}{0,96} \quad (1)$$

$$F13_{agua} = 43,71 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Así, la cantidad de agua en la entrada del equipo corresponde al agua eliminada más el agua en pepa, mientras que el flujo de pepa se mantiene:

$$(2) \quad F10_{agua} = (F13 + F_{agua_{12}})$$

$$F10_{agua} = 85,68 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

En la Tabla Anexos 19 Se muestra un resumen del balance de masa en el intercambiador:

Tabla Anexos 19: resumen balance de masa en intercambiador

Equipo: Tratamiento térmico					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F10	1.092,86	Pepa	0,92	1.007,18	[kg/semana]
		Agua	0,08	85,68	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F13	43,71	Agua (Eliminada del sistema)	1,00	43,71	[kg/semana]
F12	1.049,15	Pepa	0,96	1.007,18	[kg/semana]
		Agua en pepa	0,04	41,97	[kg/semana]

- *Discusiones*

Desde bibliografía se tiene un rango de eliminación de humedad de la pepa, se escogió este valor como un promedio de los valores posibles, por lo que haber considerado uno de los otros valores pudo haber dado propiedades distintas a la bebida, como mejor sabor.

7.6.7.2. Dimensionamiento

Este equipo permite secar el aire necesario para realizar el tratamiento térmico de la almendra, por 30 [min] a 100°C. El aire se deshumidifica enfriando el gas hasta la temperatura de rocío, permitiendo condensar el vapor de agua.

Para poder dimensionar el intercambiador de calor, es necesario conocer en primer lugar la masa de aire seco ($G_{entrada}$) que se utilizará en el tratamiento térmico y con ese valor calcular la masa de aire a enfriar (M_{aire}) que debe entrar al intercambiador.

- *Datos y supuestos utilizados*

Los datos bibliográficos y la nomenclatura utilizada para realizar este dimensionamiento son los que se muestran en la Tabla Anexos 20:

Tabla Anexos 20: datos para el dimensionamiento del intercambiador de calor

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades	Referencia
t batch	t	0,5	[hr]	[22][22]
Masa pepa a procesar por día	$F10/5 = F_{pepa0}$	217,83	[kg/día]	Ver "Línea leche de almendras" en planilla Excel.

Masa de pepa salida por día	$F_{12/5} = F_{\text{pepa}}$	209,12	[kg/día]	Ver “Línea leche de almendras” en planilla Excel.
Densidad del aire a 30°C	$d_{(30^{\circ}\text{C})}$	1,164	[kg/m ³]	[17]
Peso molecular del agua	M_a	18,02	[g/mol]	[17]
Peso molecular del aire seco	M_b	28,97	[g/mol]	[17]
Presión total en Mostazal	P_t	101.520	[Pa]	[23][23]
Presión parcial del vapor de agua	P_a	4.247	[Pa]	[24][24]
Temperatura de salida del aire (T de rocío)	$T_{c,s}$	5	[°C]	[24][24]
Transferencia de calor parcial	s	35	[W/m ² *K]	[25][25]
Calor específico del aire	$C_{p\text{aire}}$	1.012	[J/kg*K]	[26][26]
Calor específico del refrigerante	$C_{p\text{refrigerante}}$	1.318	[J/kg*K]	[26][26]

En este equipo se tomaron en consideración los siguientes supuestos:

- La humedad del aire seco a 100°C es 0 ($y_1 = 0$).
- La humedad perdida por la pepa durante el tratamiento térmico (4%) es completamente absorbida por el gas.
- La temperatura del gas a la entrada del intercambiador será de 30°C y no varía ($t_{c,e} = 30^{\circ}\text{C}$)
- El refrigerante utilizado para el intercambio ingresará a $t_{f,e} = -10^{\circ}\text{C}$ y saldrá a $t_{f,s} = -2^{\circ}\text{C}$ con el fin de mantener sus propiedades y agilizar el resto de los intercambios.
- El total del flujo a trabajar se dividirá en 6 batch con tal de permitir trabajar el flujo dentro de la jornada laboral ($N^{\circ}\text{batch} = 6$).
- Se asume que no existen pérdidas de calor en el sistema.
- Se utiliza un intercambiador de placas en flujo contracorriente según proveedores [27]

• Ecuaciones y resultados

Es necesario calcular el flujo másico de aire a enfriar (M_{aire}), pero para obtenerlo es necesario saber cuánto aire seco se utilizará en el proceso y posteriormente agregarle la humedad. Para esto se realiza un balance de masa y un balance de humedad en el tratamiento térmico, como muestran las ecuaciones 3 y 4:

$$S_{\text{entrada}} + G_{\text{entrada}} = S_{\text{salida}} + G_{\text{salida}} \quad (3)$$

$$S_{\text{entrada}} * x_1 + G_{\text{entrada}} * y_1 = S_{\text{salida}} * x_2 + G_{\text{salida}} * y_2 \quad (4)$$

Donde:

S_{entrada} = masa del sólido en la entrada

S_{salida} = masa del sólido en la salida

G_{entrada} = masa de gas seco en la entrada

G_{salida} = masa de gas con el 4% de humedad absorbido en la salida

x_1 = fracción de humedad en la entrada del sólido

x_2 = fracción de humedad en la salida del sólido

y_1 = fracción de humedad del gas en la entrada del tratamiento a 100 °C = 0

y_2 = fracción de humedad del gas en la salida del tratamiento = $x_1 * 0,04 + y_1 = 0,0031$

Ahora se calculan las masas de sólido en la entrada y la salida del tratamiento, además de la fracción de humedad según las Ecs. 5, 6 y 7:

$$S_{entrada} = F_{pepa0} * n^{\circ}batch \quad (5)$$

$$S_{salida} = F_{pepa} * n^{\circ}batch \quad (6)$$

$$x = \frac{kg_{agua}}{kg_{pepa} + kg_{agua}} \quad (7)$$

Reemplazando:

$$S_{entrada} = 36,5 [kg]; S_{salida} = 35[kg]; x_1 = 0,078; x_2 = 0,04$$

Combinando las Ecs. 3 y 4, y reemplazando los valores calculados por es posible obtener la masa de aire seco utilizada en el tratamiento ($G_{entrada}$):

$$G_{entrada} = 463 [kg]$$

Ahora, es posible calcular el volumen del aire a enfriar con la Ec. 8:

$$V_{aire} = \frac{G_{entrada}}{d_{30}^{\circ}} \quad (8)$$

$$V_{aire} = 398 [m^3]$$

Se calcula el flujo volumétrico del aire a enfriar con la Ec. 9:

$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t_{batch}} \quad (9)$$

$$Q_{aire} = 0,22 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Se obtiene el volumen húmedo del gas [28] con la Ec. 10:

$$v_h = 8317,6 * \left(\frac{1}{M_b} + \frac{y'}{M_a} \right) * \frac{t_{c,e} + 273,17}{Pt} \quad (10)$$

Para poder utilizar la Ec. 10, es necesario conocer la humedad absoluta y' , que se calcula como:

$$y' = 0,625 * \left(\frac{P_a}{P_t - P_a} \right) \quad (11)$$

$$y' = 0,027$$

Reemplazando en la Ec. 10, el volumen húmedo obtenido es:

$$v_h = 0,89 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Finalmente, con el volumen húmedo del aire es posible calcular el flujo másico del gas a enfriar con la Ec. 12:

$$M_{aire} = \frac{Q_{aire}}{v_h} \quad (12)$$

$$M_{aire} = 0,25 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Ahora se da paso al cálculo del área del intercambiador, para esto se utiliza la Ec. 13, que indica que es necesario conocer el calor a remover (Q_r), la diferencia de temperatura media logarítmica (ΔT_{ml}) y el coeficiente de transferencia de calor (U).

$$A = \frac{Q_r}{U * \Delta T_{ml}} \quad (13)$$

Para calcular el calor removido se realiza un balance de energía según la Ec. 14:

$$Q_r = M_{aire} * Cp_{aire} * (T_{c,e} - T_{c,s}) \quad (14)$$

$$Q_r = 3115,02 \left[\frac{J}{s} \right]$$

Para calcular el ΔT_{ml} asumiendo flujo contra-corriente se utiliza la Ec. 15:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln\left(\frac{T_{c,e} - T_{f,s}}{T_{c,s} - T_{f,e}}\right)} \quad (15)$$

$$\Delta T_{ml} = 22,5 [^{\circ}C]$$

Por último, se calcula el coeficiente de transferencia de calor según la Ec. 16 utilizando los datos de la Tabla Anexos 21:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_r} + \frac{e}{k}} \quad (16)$$

Tabla Anexos 21: datos de placa obtenidos por el fabricante "APV Invensys"[27]

Parámetro	Valor
Largo (l)	1,55 [m]
Ancho (w)	0,42 [m]
Espesor (e)	0,0009 [m]
Conductividad térmica acero inoxidable (k)	16,3 [W/m*K]
Área por placa (a)	0,52 [m²]

Reemplazando,

$$U = 34,9 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Reemplazando los valores obtenidos en la Ec. 13 se obtiene el área de intercambio:

$$A = 8[m^2]$$

Finalmente, dividiendo el área de intercambio por el área de placa, se obtiene el número de placas según la Ec. 17:

$$N^{\circ}placas = \frac{A}{a} \quad (17)$$

$$N^{\circ}placas = 15$$

- *Discusiones*

Uno de los supuestos a considerados en este equipo que podrían alejar su comportamiento de la realidad es asumir que no existen pérdidas de calor al ambiente, dado que no existen equipos perfectos que permitan mantener el calor en el sistema. Sin embargo, considerar como despreciable este calor representa una buena aproximación al problema y permite obtener equipos de catálogo que existen en la industria.

Otro supuesto importante es considerar que la temperatura de entrada del gas al intercambiador no varía de 30°C, ya que durante el año en la región de O'Higgins las temperaturas fluctúan bastante. Este supuesto puede llevar a que el intercambiador esté sobredimensionado en caso de tener temperaturas menores a 30° y subdimensionado en caso de tener temperaturas mayores a 30°C.

7.6.8. Blanqueador

7.6.8.1. Balance de masa.

- Datos y supuestos utilizados*

La finalidad de este equipo es poder remover la piel de la almendra. En la Figura se muestra el bosquejo del equipo con las corrientes de entrada y salida. Además, en la Tabla se muestra la composición de las corrientes.

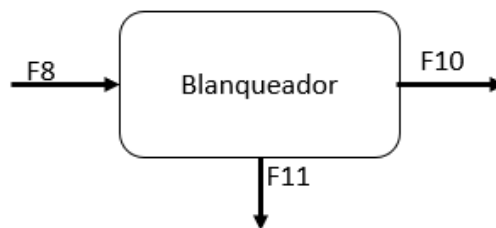


Figura Anexos 9: diagrama blanqueador

Tabla Anexos 22: datos balance de masa blanqueador

Equipo: Blanqueador	
Nombre corriente	Especie
F8	Piel de almendra
	Pepa
	Agua
Nombre corriente	Especie
F11	Piel de almendra
F10	Pepa
	Agua

El dato bibliográfico utilizado es que la masa de piel de la almendra es del 4% [8]. Y el supuesto utilizado es que la piel no retiene agua de la pepa, por lo cual en esta etapa sólo se elimina piel de almendra.

- Ecuaciones y resultados*

En este equipo se tiene que la masa de pepa que entra y sale del equipo es la misma, por lo cual, del Anexo del Intercambiador de Calor, se tiene que la masa de pepa que entra al intercambiador, y por ende, el que entra al Blanqueador es:

$$F_{pepa} = 1007,18 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Para conocer la masa de piel que entra al equipo, se debe utilizar el dato bibliográfico, el cual indica que representa el 4% del peso de la pepa, siendo la ecuación que modelo esto la siguiente:

$$F_{piel f} = F_{pepa} \cdot \frac{0,04}{0,96} \quad (1)$$

$$F_{piel f} = 45,54 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

F_{pepa} : Flujo másico de pepa a la salida del blanqueador $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$F_{piel f}$: Flujo másico de piel a la salida del blanqueador $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

Además, se tiene que la masa de agua que entra a este equipo es la misma que la que sale del ciclón, se tiene que el flujo de agua en pepa que entra y sale del equipo es:

$$F_{apepa} = 85,68 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Luego el balance de masa del equipo es:

$$F_{piel i} + F_{pepa} + F_{apepa} = F_{piel f} + F_{pepa} + F_{apepa} \quad (2)$$

Donde:

$F_{piel i}$: Flujo másico de piel de almendra a la entrada del equipo $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

F_{pepa} : Flujo másico de pepa $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

F_{apepa} : Flujo másico de agua en la pepa $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$F_{piel f}$: Flujo másico de piel en la pepa a la salida del equipo $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla con los flujos de entrada y salida.

Tabla Anexos 23: resumen balances de masa en blanqueador

Equipo: Blanqueador					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F8	1.138,40	Piel de almendra	0,04	45,54	[kg/semana]
		Pepa	0,88	1.007,18	[kg/semana]
		Agua	0,08	85,68	[kg/semana]

Especie	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F11	45,54	Piel de almendra	1,00	45,54	[kg/semana]
F10	1.092,86	Pepa	0,92	1.007,18	[kg/semana]
		Agua	0,08	85,68	[kg/semana]

- *Discusiones*

Al asumir que las blanqueadora no elimina agua del sistema, significa que la cantidad de agua se mantiene desde el estanque de remojos hasta el intercambiador de calor, donde se elimina el agua hasta quedar en un 4% de humedad, por ende, si en el blanqueador no se elimina agua, implica que el gasto energético del intercambiador de calor es mayor, siendo que cabe la posibilidad que en el blanqueador se pueda eliminar agua.

Ahora, como en el blanqueador se elimina el 4% de la piel, ya que este dato es el que se tiene por bibliografía, sin embargo, puede ser que hayan almendras donde el porcentaje de piel sea mayor, y si esto llegase a ocurrir, implica que se genera una mayor cantidad de residuo, pues el equipo sacará toda la piel, en consecuencia de esto, se tiene que la bebida de almendra no se vería afectada en su calidad, pues no llegaría piel de almendra a la formulación.

7.6.9. Tanque de remojo

La finalidad de este equipo es poder eliminar una cantidad óptima de anti nutriente que posee la almendra.

7.6.9.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

A continuación, se muestra un bosquejo del equipo, con sus entradas y salidas.

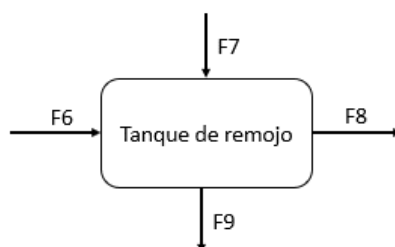


Figura Anexos 10: diagrama tanque de remojo

En la siguiente Tabla Anexos 24 se muestran los valores obtenidos al realizar el balance de masa en el equipo del Tanque de remojo.

Tabla Anexos 24: Descripción de las corrientes

Equipo: Tanque de remojo	
Nombre corriente	Especie
F6	Pepa con anti nutriente
	Agua en pepa
	Piel de almendra
F7	Agua potabilizada
Nombre corriente	Especie
F8	Pepa
	Piel de almendra
	Agua en pepa
F9	Anti nutrientes
	Agua

Por bibliografía se tiene que el anti nutriente a eliminar es el ácido fítico el cual representa el 9,42% del peso de la almendra [29], y los alimentos procesados de almendra poseen un 3,42% de este ácido en peso [30], por lo cual se asume que, al llegar a este porcentaje, el alimento es inocuo para el consumo humano

Los supuestos más importantes para el balance de masa de este equipo fueron:

- El volumen de agua a utilizar es el mismo que el volumen de almendras
- Las almendras solo absorben agua por medio de los poros.
- El anti nutriente se disuelve en el agua al momento que la almendra se humidifica, es decir, se asume que cuando el agua llega al poro, el anti nutriente se libera de la almendra y se disuelve en el agua del estanque[30]
- El porcentaje de humedad de las almendras después de una hora de remojo es de un 30%[31]

• Ecuaciones y resultados

La ecuación que modela la Tabla Anexos 24 anterior es la siguiente:

$$F_{pepae} + F_{aguae} + F_{apepa} + F_{piel} = F_{pepa} + F_{piel} + F_{apepaf} + F_{AntiE} \quad (1)$$

Donde:

$$F_{pepae} = \text{flujo de pepa en la entrada del equipo} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{aguae} = \text{flujo de agua en la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{apepa} = \text{flujo de agua en la pepa a la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{piel} = \text{flujo de piel de almendra} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{apepaf} = \text{flujo de pepa a la salida del estanque} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{apepaf} = \text{flujo de agua en pepa a la salida del estanque} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{AntiE} = \text{flujo de anti nutrientes eliminados de la pepa a la salida} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{aguaaf} = \text{flujo de agua de salida del estanque} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

En primer lugar, se calcula la masa de anti nutriente eliminado del equipo, considerando que el flujo másico de pepa que sale del equipo es el mismo que entra al blanqueador, por lo cual el $F_{pepaf} = 1007,18 \left[\frac{kg}{semana} \right]$ (calculado en el anexo blanqueador).

Para conocer la cantidad de anti nutriente que entra al equipo hay que utilizar el hecho que es el 9,42% en peso seco de la pepa, por lo cual se puede modelar siguiendo la siguiente ecuación.

$$F_{antio} = F_{pepaf} \cdot 0,942 \quad (2)$$

$$F_{antio} = 94,88 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La cantidad de anti nutrientes al final del equipo viene dada por la cantidad de etapas que se tiene, en este caso son 5, por lo cual, se tiene que el flujo de pepa se tendrá un flujo húmedo y otro seco, pues en 1 hora de remojo la almendra posee un 30% de humedad.

$$F_{humedopepa} = 0,3 \cdot F_{pepa_{seca}}$$

Por ejemplo, para la primera etapa.

$$F_{humedopepa} = 0,3 \cdot 1007,18 \left[\frac{kg}{semana} \right] = 302,15 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Entonces el flujo seco de pepas después de la primera etapa será

$$F_{pepa_{seca}} = 1007,18 - 302,15 = 705,03$$

De esta manera se construye la siguiente Tabla, que muestra la cantidad de masa seca y húmeda al final de cada etapa.

Tabla Anexos 25: cantidad de masa húmeda y seca

Etapas	Masa Húmeda [kg/semana]	Masa seca [kg/semana]	Masa total [kg/semana]
0	0,00	1007,18	1007,18
1	302,15	705,03	1007,18
2	513,66	493,52	1007,18
3	661,72	345,46	1007,18
4	765,36	241,82	1007,18
5	837,90	169,28	1007,18

Por lo cual la cantidad de anti nutrientes eliminados del sistema será la masa húmeda a la quinta etapa por el porcentaje de su peso en anti nutrientes que es del 9,42%.

$$F_{AntiE} = F_{humedo\ pepa} \cdot 0,0942 \quad (3)$$

$$F_{AntiE} = 78,93 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Por consiguiente, la masa de pepa que entra al equipo es la masa de anti nutriente eliminada más la masa final de pepa.

$$F_{pepae} = F_{AntiE} + F_{pepaf} \quad (4)$$

$$F_{pepae} = 1.086,11 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Ahora teniendo en cuenta el flujo de pepa a la entrada del equipo y que la densidad real de la almendra es $\rho_{a\ real} = 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$. [12]

$$V_{almendra} = \frac{F_{pepae}}{\rho_{almendra\ real}} \quad (5)$$

Se tiene que $F_{pepa} = 1007,18 \left[\frac{kg}{semana} \right]$ y conociendo la densidad real de la almendra se conoce el volumen. La densidad real de la almendra es $\rho_{almendra\ real} = 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, por consiguiente, el volumen de almendra será de.

$$V_{almendra} = \frac{F_{pepa}}{\rho_{almendra\ real}} = \frac{1.086,11 \left[\frac{kg}{semana} \right]}{900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 1,2 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

$$V_{almendra} = 1,2 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Ahora utilizando el supuesto que el volumen de agua para el remojo de las almendras es el mismo que el volumen de almendras, se tiene que el volumen de agua es:

$$V_{agua} = 1,2 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Además, con ayuda del segundo supuesto, se sabe que no es necesario agregar más agua, ya que la eliminación de anti nutrientes estará determinada por el tiempo en que la almendra esté en remojo.

Conociendo el volumen de agua, multiplica por la densidad del agua a 60°C, $\rho_{agua\ a\ 60^\circ C} = 983,13 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, [17] que es la temperatura a la cual se remoja la almendra [22].

$$F_{aguae} = V_{agua} \cdot \rho_{agua \text{ a } 60^{\circ}\text{C}} \quad (6)$$

$$F_{aguae} = 1,2 \left[\frac{m^3}{semana} \right] \cdot 983,13 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 110,94 [m^3]$$

$$F_{aguae} = 1.179,76 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

El valor anterior es necesario multiplicarlo por la cantidad de etapas que debe estar la pepa en remojo, que según el Anexo 7.6.9.2 es de 5, por consiguiente, en valor del flujo de agua a la semana que entra es de:

$$F_{aguae} = 5.932,17 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Utilizando el supuesto en que la pepa solo absorbe agua, a través de los poros se tiene que la masa de agua al inicio es la final, menos la absorbida.

$$F_{apepa} = F_{apepaf} - F_{absporo} \quad (7)$$

Donde:

$$F_{absporo} = \text{flujo másico de absorción del poro} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La cual se define según la siguiente ecuación

$$F_{absporo} = \frac{F_{pepa}}{\rho_{almendra \text{ real}}} \cdot (\rho_{almendra \text{ aparente}} - \rho_{almendra \text{ real}}) \quad (8)$$

Donde:

$$\rho_{almendra \text{ real}} = \text{densidad real de la pepa } 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [12]$$

$$\rho_{almendra \text{ aparente}} = \text{densidad aparente de la pepa } 950 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [12]$$

$$F_{absporo} = \frac{1.086,11 \left[\frac{kg}{semana} \right]}{900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \cdot (950 \left[\frac{kg}{m^3} \right] - 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right])$$

$$F_{absporo} = 60,34 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Ahora como la humedad de la almendra por hora de remojo es del 30% por cada hora de remojo, se tiene que lo que absorbe el poro al día en una hora de remojo es. [31]

$$F_{absporo} = 60,34 \left[\frac{kg}{semana} \right] \cdot 0,3$$

$$F_{aguaf} = 18,10 \left[\frac{kg}{semana \text{ hora de remojo}} \right]$$

Entonces a la semana la pepa absorbe 18,10 kg de agua por hora de remojo. Del Anexo 7.6.9.2 se tiene que son 5 etapas en la que la pepa debe estar en remojo 1 hora, por

$$F_{agua\ abs} = 18,10 \left[\frac{kg}{semana\ hora\ de\ remojo} \right] \cdot 5 [horas\ de\ remojo] = 90,51 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Con el balance de masa del Blanqueador, Anexo 7.6.8.1, se tiene que la masa de agua contenida en la almendra a la salida de este equipo es de,

$$F_{apepaf} = 85,68 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Por bibliografía, sabemos que el peso del agua en la pepa es del 3% [12], por lo cual como se conoce la masa de pepa que entra al equipo, es posible conocer la cantidad de agua en pepa según la siguiente fórmula

$$F_{apepa} = \frac{F_{pepae}}{0,97} \cdot 0,03 \quad (9)$$

$$F_{apepa} = 35,00 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La masa de piel de almendra viene dada por el balance de masa hecho en el blanqueador, por lo cual, como en este equipo no se pierde piel, se tiene que la masa de piel es:

$$F_{piel} = 45,54 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La cantidad de agua que sale del equipo viene dada por el balance de masa del equipo:

$$F_{pepa} + F_{aguaf} + F_{apepa} + F_{piel} = F_{pepa} + F_{piel} + F_{apepaf} + F_{AntiE} \quad (10)$$

$$F_{aguaf} = 5.881,49 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

A continuación, se presenta un resumen con los resultados obtenidos.

Tabla Anexo 26: resumen balance de masa tanque de remojo

Equipo: Tanque de remojo					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F6	1.166,65	Pepa con anti nutriente	0,93	1.086,11	[kg/semana]
		Agua en pepa	0,03	35,00	[kg/semana]
		Piel de almendra	0,04	45,54	[kg/semana]
F7	5.932,17	Agua potabilizada	1,00	5.932,17	[kg/semana]

Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F8	1.138,40	Pepa	0,88	1.007,18	[kg/semana]
		Piel de almendra	0,04	45,54	[kg/semana]
		Agua en pepa	0,08	85,68	[kg/semana]
F9	5.960,42	Agua eliminada	0,99	5.881,49	[kg/semana]
					[kg/semana]
		Anti nutriente	0,01	78,93	[kg/semana]

- *Discusiones*

Del supuesto que el volumen de agua es el mismo del que almendras significa que todas las pepas van a estar contacto con el aguay por consiguiente el anti nutriente se eliminará de forma equitativa en todas las pepas, esto en la realidad no se cumple, ya que habrá pepas que estarán en mayor contacto en el agua que otras, por consiguiente, estas pepas eliminarán más ácido fítico que otras.

Al asumir que las almendras sólo absorben agua por los poros tiene relación a la cantidad de agua que sale de los estanques, en la realidad la cantidad de agua es mayor, pues las almendras pueden absorber más agua, sin embargo, este aumento no es significativo, pues la mayor cantidad de agua se absorbe por el poro, en resumen, se eliminará menos agua, pero esa reducción es marginal si se compara con la cantidad calculada.

Finalmente, al asumir que el ácido fítico se disuelve en el agua del estanque al momento en que la almendra se humedece, es asumir que el proceso de germinación del fruto ocurre instantáneamente al estar en contacto con el agua, por lo cual, la pepa empieza a expulsar el anti nutriente al agua. En la realidad, esto podría demorarse en ocurrir, sin embargo, la cantidad de ácido fítico eliminado estaría dentro de los parámetros aceptados[30], pues se tiene más tiempo de lo requerido, ya que se espera que los poros puedan absorber todo el agua y por lo cual eliminar la mayor cantidad de anti nutriente posible [30].

7.6.9.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos utilizados*

A los supuestos del balance de masa se suman los siguientes supuestos para el dimensionamiento:

- Luego de una hora de remojo, la pepa alcanza una humedad del 30%[31], y a medida que se cambia de estanque, la almendra se humedece el 30% restante.
- Luego de una hora de remojo, la pepa alcanza una humedad del 30%[31], y a medida que se cambia de estanque, la almendra se humedece el 30% restante.
- El agua es selectiva para el anti nutriente ácido fítico, por consiguiente, la pepa pasa a ser una matriz inerte. [30]- El agua es selectiva para el anti nutriente ácido fítico, por consiguiente, la pepa pasa a ser una matriz inerte. [30]
- La matriz inerte es la pepa de almendra, el soluto a remojar es el ácido fítico y el disolvente es agua a 70°C .

- Se tiene que el equipo opera en régimen Batch, pues se carga toda la pepa a remojar del día.

- *Ecuaciones y resultados*

Del anexo 7.6.9.1 se tienen conocimiento de los volúmenes de almendra y agua que entran a la etapa, los cuales son:

$$V_{agua} = V_{almendra} = 1,2 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Entonces el volumen que entrará y por consiguiente el que será remojado será:

$$V_{remojo} = V_{agua} + V_{pepa} = 1,13 \left[\frac{m^3}{semana} \right] + 1,13 \left[\frac{m^3}{semana} \right] \quad (11)$$

$$V_{remojo} = 2,4 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Ahora como se trabajan sólo 5 días a la semana, se tiene que el volumen a remojar es

$$V_{remojo} = 2,4 \left[\frac{m^3}{semana} \right] \cdot \frac{1}{5} \left[\frac{semana}{día} \right] \quad (12)$$

$$V_{remojo} = 0,48 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Ahora se deben calcular la cantidad de etapas, para ello es necesario conocer la tasa de absorción de agua por hora de la pepa, la diferencia de agua absorbida es la diferencia entre masa de agua en pepa a la salida del estanque y la masa de agua que absorbe la almendra, los cuales están calculadas en el anexo 7.6.9.1

$$F_{agua\ abs} = \%humedad \cdot (F_{apepaf} - F_{apepae}) \quad (13)$$

$$F_{agua\ abs} = 0,3 \cdot (85,68 - 35) \left[\frac{kg}{semana} \right] \cdot \left[\frac{semana}{5\ días} \right]$$

$$F_{agua\ abs} = 3,62 \left[\frac{kg}{día\ hr\ de\ remojo} \right]$$

Lo que significa que al día las pepas absorben 3,04[kg] kilogramos de agua.

Entonces la cantidad de etapas estará dada por la tasa de anti nutriente que sale por cada remojo, es decir, cuantas veces la almendras debe absorber agua para lixiviar todo el anti nutriente, los flujos de F_{anti0} , F_{Anti} , fueron calculados en el Anexo 7.6.9.1

$$N = \frac{F_{apepaf}}{F_{abs}} \quad (14)$$

$$\frac{85,68 \left[\frac{kg}{semana} \right] \cdot \left[\frac{semana}{5 \text{ días}} \right]}{3,62 \left[\frac{kg}{día} \right]} = 4,73$$

$$N \sim 5 \text{ etapas}$$

Entonces el volumen del estanque el volumen a remojar, y se deben tener 5 iguales donde el tiempo de remojo sea de una hora para así poder eliminar los anti nutrientes de la almendra.

$$V_{estanque} = 0,48[m^3]$$

- *Discusiones*

Del supuesto que el volumen de almendras debe ser igual al volumen de agua que ingresa, es el que define el volumen del estanque, por consiguiente, se asume que el volumen del anti nutriente que sale del equipo es mínimo y que como las pepas absorben el agua, el tanque no se rebalsa, por consiguiente, el volumen del estanque es seguro para la operación.

El supuesto que en una hora la almendra se humedece un 30%, indica que cada vez que las pepas pasen de un estanque a otro, la pepa se humedece el 30% restante, por lo cual a medida que se avanzan en los estanques, las pepas absorben menos agua y por lo cual, liberan una menor cantidad de anti nutrientes, esto implica, que para el primer estanque se debiera utilizar más agua para asegurar que todas las pepas estén en contacto con el agua y así liberar la mayor cantidad de anti nutriente.

Finalmente, la pepa de almendras posee otros anti nutrientes, pero el ácido fítico es el mayoritario, por lo cual al asumir que el agua es selectiva para el ácido fítico, también cabe la posibilidad que otros anti nutrientes sean eliminados del sistema, estos se evacuan en menor medida, por ende, se tiene una pepa con menos anti nutrientes totales.

7.6.10. Ciclón

7.6.10.1. Balance de masa

- *Datos utilizados y supuestos*

El fin de este equipo es separar las cáscaras de las pepas en dos flujos, para ser utilizados en la línea de pellet y bebida de almendras respectivamente. La Figura Anexos 11 Muestra un diagrama del equipo.

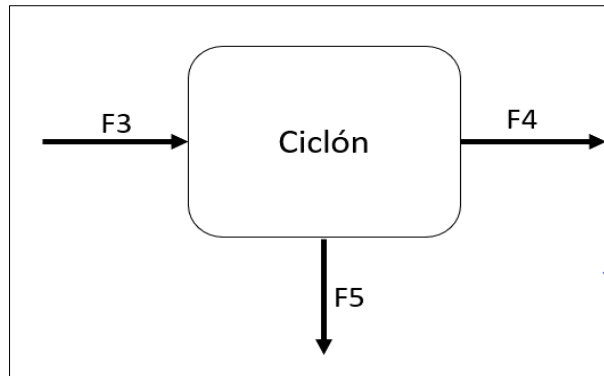


Figura Anexos 11: diagrama ciclón

La Tabla Anexos 27 muestra los datos que se conocidos para realizar el balance de masa.

Tabla Anexos 27: datos conocidos del ciclón

Nombre corriente	Especie
F3	Pepa con antinutriente
	Cáscara
	Piel
	agua en pepa
Nombre corriente	Especie
F4	Piel
	agua en pepa
	Pepa con antinutriente
F5	Cáscara

Desde el tanque de remojo se conocen las composiciones y el flujo de F4, que es equivalente a F6 ya que solo está separado por un almacén.

$$F6 = 1.166,65 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Como supuesto en este equipo se considera que un 6% del total del peso de la almendra corresponde a cáscara [12].

- *Ecuaciones y resultados*

Considerando el supuesto, se tiene que F4 corresponde a un 40% del total del peso de la pepa. Así, realizando una relación se obtiene el valor de la masa de cáscara F5, que será igual al valor de $F3_{cáscara}$.

$$F5 = F4 * \frac{0,6}{0,4}$$

$$F5 = 1.749,97 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La Tabla Anexos 28 resume los flujos y fracciones másicas obtenidas en el equipo.

Tabla Anexos 28: resumen balances de masa en ciclón.

Equipo: Ciclón					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F3	2.916,62	Pepa con antinutriente	0,37	1.086,11	[kg/semana]
		Cáscara	0,60	1.749,97	[kg/semana]
		Piel	0,02	45,54	[kg/semana]
		agua en pepa	0,01	35,00	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F4	1.166,65	Piel	0,04	45,54	[kg/semana]
		agua en pepa	0,03	35,00	[kg/semana]
		Pepa con antinutriente	0,93	1.086,11	[kg/semana]
F5	1.749,97	Cáscara	1,00	1.749,97	[kg/semana]

- *Discusiones*

Considerar que el 60% de la almendra es cáscara corresponde a una aproximación, ya que cada almendra por separado puede tener una composición levemente alejada de la informada. Sin embargo, corresponde a una buena aproximación bibliográfica para estimar la cantidad de cáscara que se tendrá disponible en el proceso. De no corresponder a este número se necesitará una mayor o menor cantidad de materias primas para obtener la producción del caso base.

7.6.10.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos utilizados*

Los datos bibliográficos y la nomenclatura utilizada para realizar este dimensionamiento fueron:

Tabla Anexos 29: datos para el dimensionamiento del ciclón.

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades	Referencia
Flujo másico de entrada al ciclón.	F3	2.832	[kg/semana]	Ver "Línea leche de almendras" en planilla Excel.
Flujo másico de salida de pepa húmeda con piel (overflow).	F4	1.133	[kg/semana]	Ver "Línea leche de almendras" en planilla Excel.

Flujo másico de salida de cáscara (underflow)	F5	1.700	[kg/semana]	Ver "Línea leche de almendras" en planilla Excel.
Concentración de partículas en el gas	C _{sólido1}	230	[gr/m ³]	[32][32]
Viscosidad dinámica del aire	μ	1,872*10 ⁻⁵	[kg/(m*s)]	[26][26]
Densidad del aire	ρ _f	1,164	[kg/ m ³]	[26][26]
Densidad del sólido a separar (cáscara)	ρ _s	1.460	[kg/ m ³]	[33][33]

En este equipo se tomaron en consideración los siguientes supuestos:

- Se considera una jornada de trabajo de 1 [hr] por día de forma continua, con tal de obtener un caudal que se adecue a los ciclones convencionales y adecuarse a la jornada de trabajo.
- Se asume una concentración de sólidos en el caudal de entrada de 230 [gr/m³] según rango de ciclones convencionales [32] el que junto al flujo de almendra permite obtener el caudal del ciclón. Se asume una concentración de sólidos en el caudal de entrada de 230 [gr/m³] según rango de ciclones convencionales [32] el que junto al flujo de almendra permite obtener el caudal del ciclón.
- Se utiliza la ecuación del hidrociclón de Bradley [34] como un ciclón de alta eficiencia. Se utiliza la ecuación del hidrociclón de Bradley [34] como un ciclón de alta eficiencia.
- Se asume que las cáscaras salen con un mayor tamaño que las pepas desde la trituradora (equipo previo), lo que permitiría la separación junto con una mayor densidad de la cáscara.
- Se utiliza la granulometría de la cáscara de almendras [33] para obtener el diámetro de corte de la separación. Se utiliza la granulometría de la cáscara de almendras [33] para obtener el diámetro de corte de la separación.

• Ecuaciones y resultados

Para calcular el flujo másico que debe procesar el ciclón por segundo, es necesario dividir el flujo másico en la jornada de trabajo como muestra la Ecuación 1

$$F_{requerido} = F2 * \frac{1}{5} \left[\frac{\text{semana}}{\text{días}} \right] * \frac{1}{1} \left[\frac{\text{días}}{\text{hora}} \right] * \frac{1}{3600} \left[\frac{\text{horas}}{\text{segundos}} \right] * 1000 \left[\frac{\text{gr}}{\text{kg}} \right] \quad (1)$$

$$F_{requerido} = 157 \left[\frac{\text{gr}}{\text{s}} \right]$$

Luego, es necesario conocer el caudal (Q) al que trabajará el ciclón, el que se obtiene con la Ecuación 2

$$Q = \frac{F_{requerido}}{C_{sólido_1}} \quad (2)$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$Q = 0,68 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Posteriormente, se calcula el d_{50} de las partículas a separar a partir de los datos de la Figura Anexo 12 [33].

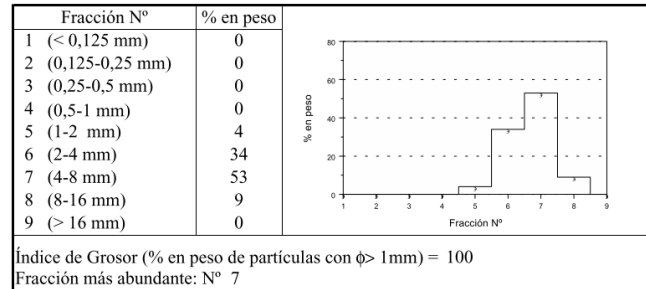


Figura Anexos 12: Granulometría de la cáscara.

Con los datos de la Figura Anexos 12 y tomando como base de cálculo 100 [gr], se obtienen los resultados de la Tabla Anexos 30

Tabla Anexos 30: cálculo del d_{50} del sólido

d [mm]	Masa [gr]	\bar{d} [mm]	m_i/d_i^3	f
0,01-0,125	0	0,03535534	0	0
0,125-0,25	0	0,1767767	0	0
0,25-0,5	0	0,35355339	0	0
0,5-1	0	0,70710678	0	0
1,0-2,0	4	1,41421356	1,41421356	0,43976809
2,0-4,0	34	2,82842712	1,50260191	0,4672536
4,0-8,0	53	5,65685425	0,2927864	0,09104574
8,0-16,0	9	11,3137085	0,00621481	0,00193257
			3,21581668	1

Donde:

d = rango de diámetro de partícula [mm]

Masa = gramos de partículas dentro del rango [gr]

\bar{d} = diámetro promedio de las partículas

$\frac{m_i}{\bar{d}_i^3}$ = masa partido en el diámetro promedio al cubo para cada rango

f = distribución de partículas por rango

El cálculo de \bar{d} y de la distribución se realizó como muestran las Ecuaciones 3 y 4

$$\bar{d} = \sqrt{d_1 * d_2} \quad (3)$$

$$f = \frac{\frac{m_i}{\bar{d}_i^3}}{\sum \frac{m_i}{\bar{d}_i^3}} \quad (4)$$

Así, el diámetro de corte (d_{50}) corresponde a una ponderación de cada distribución (f) por su diámetro promedio (\bar{d}) como muestra la Ecuación 5

$$d_{50} = \left(\sum f_i * \bar{d}_i \right) * \frac{1}{1000} \quad (5)$$

$$d_{50} = 0,0002 \text{ [m]}$$

Con los datos ya calculados, es posible obtener el diámetro del cilindro (D_c) del ciclón mediante la ecuación del hidrociclón de Bradley[34] (Ecuación 6): Con los datos ya calculados, es posible obtener el diámetro del cilindro (D_c) del ciclón mediante la ecuación del hidrociclón de Bradley[34] (Ecuación 6):

$$\frac{d_{50}}{D_c} = 17,6 * 10^{-3} * \left[\frac{\mu * D_c}{Q * (\rho_s - \rho_f)} \right] \quad (6)$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$D_c = 0,8 \text{ [m]}$$

Por último, con las relaciones de Bradley que se muestran en la Tabla Anexos 31, se obtienen los diámetros del resto de las partes del ciclón, las que se observan en la Figura Anexos 13:

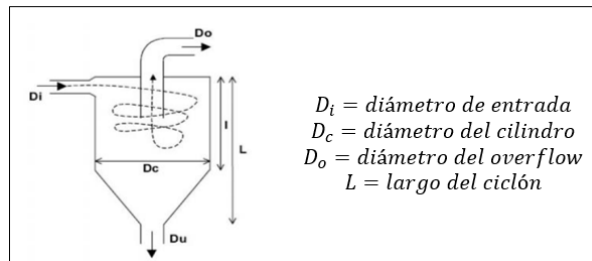


Figura Anexos 13: diámetros característicos del ciclón

Tabla Anexos 31: relaciones de Bradley para un hidrociclón.

	D_i/D_c	D_o/D_c	L/D_c
Bradley	0,133	0,2	6,85

$$D_i = 0,1 \text{ [m]}$$

$$D_o = 0,16 \text{ [m]}$$

$$L = 5,5 \text{ [m]}$$

- *Discusiones*

El supuesto más fuerte considerado en el equipo es suponer que la cáscara entra de un diámetro mayor a la pepa, debido principalmente a que se desconoce el mecanismo de trabajo de la trituradora que trabajará previamente. Sin embargo, debido a que la cáscara tiene una densidad mayor a la pepa, se piensa que la separación ocurriría de todos modos. Este supuesto aleja de la realidad pudiendo entregar pepas en el flujo de salida de cáscara y disminuyendo la eficiencia considerada para el equipo (100%).

Por otro lado, el uso de la ecuación de Bradley para dimensionar un ciclón de aire, también es un supuesto a considerar, ya que esta ecuación se utiliza con medios más densos como el agua. Sin embargo, la ecuación permite variar la densidad del fluido y es más profunda que otros métodos revisados para dimensionar ciclones [15], en donde gran parte de los diámetros se imponen. Se considera que este supuesto hace que el diámetro del cilindro sea grande en comparación al tamaño de las partículas que ingresan.

Debido a los supuestos tomados, se considera que el diámetro del ciclón se encuentra subestimado considerando que la trituradora podría entregar partículas más grandes.

7.6.11. Descascaradora

7.6.11.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

La finalidad de este equipo es poder separar la cáscara de la almendra y separar la cáscara de la almendra de la pepa. A continuación, en la Figura se muestra un bosquejo del equipo con una Tabla donde se especifica la composición de las salidas.

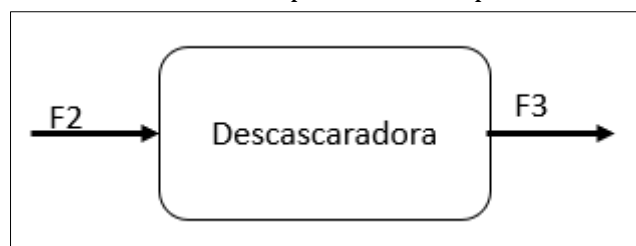


Figura Anexos 14: Diagrama descascaradora

Tabla Anexos 32: datos descascaradora

Equipo: Descascaradora	
Nombre corriente	Especie
F2	Pepa con anti nutriente
	Piel
	Agua en pepa
	Cáscara
Nombre corriente	Especie
F3	Piel
	Agua en pepa
	Pepa con anti nutriente
	Cáscara

El supuesto que se utiliza en este equipo es que la descascaradora partirá por la mitad la cáscara y la pepa de la almendra saldrá de forma íntegra del equipo.

- *Ecuaciones y resultados.*

En este equipo, no existe la pérdida de masa pues toda la almendra que entra sale, por lo cual la ecuación que modela este equipo es:

$$F_{pepae} + F_{aguapepae} + F_{cáscarae} + F_{piele} = F_{pepaf} + F_{piel f} + F_{aguapepaf} F_{cáscaraf} \quad (1)$$

Donde:

$$F_{pepae} = \text{flujo de pepa con anti nutrientes en la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{aguapepae} = \text{flujo de agua en pepa en la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{cáscarae} = \text{flujo de cáscara en la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{piele} = \text{flujo de piel en la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{pepaf} = \text{flujo de pepa con anti nutrientes en la salida} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{aguapepaf} = \text{flujo de agua en pepa en la salida} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{cáscaraf} = \text{flujo de cáscara en la salida} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{piel f} = \text{flujo de piel en la salida} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Del Anexo del Tanque de remojo se tiene que la masa de pepa con anti nutriente que entra a este equipo es el que sale de la descascaradora, por ende, se tiene que:

$$F_{pepaf} = 1.086,11 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Por lo cual la masa de pepa que entra a la descascaradora es:

$$F_{pepae} = 1.086,11 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Lo mismo ocurre con el resto de las especies, las cuales se pueden tomar del Anexo del ciclón.

$$F_{aguapepae} = 35 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La masa de agua en pepa a la salida es de:

$$F_{aguapepaf} = 35 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

La masa de piel a la entrada es la misma masa que entra a la blanqueador, del Anexo del blanqueador se tiene que la masa de piel de almendra que entra al blanqueador y por ende es el que sale de la descascaradora es:

$$F_{piel f} = 45,54 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Por lo cual la masa de piel que entra a la descascaradora es:

$$F_{\text{piel}} = 45,54 \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

Ahora para la cáscara que entra al ciclón es la misma que la sale de la descascaradora, utilizando el Anexo del ciclón se tiene que

$$F_{\text{cáscara f}} = 1.749,97 \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

Finalmente, la cantidad de cáscara que entra al equipo es:

$$F_{\text{cáscara e}} = 1.749,97 \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

A continuación, se tiene una tabla resumen especificando todas las entradas y salidas del equipo.

Tabla Anexos 33: resumen balance de masa descascaradora

Equipo: Descascaradora					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F2	2.916,62	Pepa con anti nutriente	0,37	1.086,11	[kg/semana]
		Piel	0,02	45,54	[kg/semana]
		Agua en pepa	0,01	35,00	[kg/semana]
		Cáscara	0,60	1.749,97	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F3	2.916,62	Piel	0,02	45,54	[kg/semana]
		Agua en pepa	0,0120	35,00	[kg/semana]
		Pepa con anti nutriente	0,37	1.086,11	[kg/semana]
		Cáscara	0,60	1.749,97	[kg/semana]

- *Discusiones*

Como este es el primer equipo en el cual entra la almendra, es muy importante que no se generen pérdidas, pues de ser así se necesitaría un mayor flujo para poder

cumplir el caso base. Finalmente, dado el supuesto de que la descascaradora puede partir la cáscara en dos y que la pepa sale en forma íntegra, tiene implicancias para el ciclón que es el equipo encargado de separar estos dos componentes, ya que si los diámetros de las partículas poseen diámetros muy parecidos el ciclón no podrá funcionar en su óptimo.

7.7. Anexo 7: Memoria de cálculo línea queso

Está línea se construye a partir de la pasta de almendras obtenida en una de las salidas del filtro prensa. Los equipos son los siguientes: Filtro prensa, mezclador 2, reactor batch y autoclave.

7.7.1. Filtro prensa

Del balance de masa mostrado en la línea de Bebida de Almendra, siendo el producto de interés para esta línea la pasta de almendras, la cual posee el siguiente flujo másico.

$$F_{pasta} = 512,37 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

$$F_{pasta} = \text{flujo de pasta de almendra} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

7.7.2. Mezclador de sólidos

7.7.2.1. Balance de masa

- *Datos y resultados*

La finalidad del equipo es poder realizar la formulación del queso de almendra. En la Figura se muestran los flujos del Mezclador.

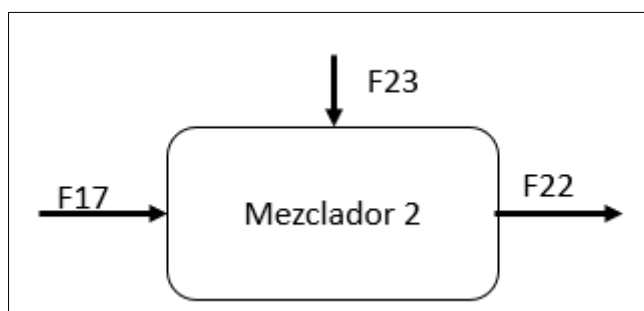


Figura Anexos 15: diagrama moedor 2

En la siguiente tabla, se muestran la composición de cada flujo.

Tabla Anexos 34: resumen balance de masa descascaradora

Equipo: Mezclador 2	
Nombre corriente	Especie
F17	Pasta de Almendra

F22	Sal
	Carragenina
	Goma Xantana
	Fosfato tricálcico
	Fosfato trisódico
	Ácido sórbico
	Ácido cítrico
Nombre corriente	Especie
F23	Premezcla

La formulación del queso de almendra se realiza mediante bibliografía.[35], y el supuesto utilizado es que el mezclador genera una mezcla perfecta, donde todos los componentes se unen de forma íntegra.

Tabla Anexos 35: Datos balance de masa mezclador.

Especie	Valor	Unidad
Pasta de almendra	91,32	%p/p premezcla
Sal	5,83	%p/p premezcla
Carragenina	0,65	%p/p premezcla
Goma xantana	0,8	%p/p premezcla
Fosfato tricálcico	0,1	%p/p premezcla
Fosfato trisódico	0,3	%p/p premezcla
Ácido sórbico	0,8	%p/p premezcla
Ácido cítrico	0,2	%p/p premezcla

- Ecuaciones y resultados.*

Del Anexo del Filtro Prensa, se tiene que el flujo de pasta de almendra que entra al Mezclador 2 es:

$$F_{pasta} = 512,37 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Entonces tenemos que:

$$F_{sal} = F_{pasta} \cdot \frac{5,83}{91,32} \quad (1)$$

$$F_{sal} = 32,71 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{car} = F_{pasta} \cdot \frac{0,65}{91,32} \quad (2)$$

$$F_{car} = 3,5 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{go} = F_{pasta} \cdot \frac{0,8}{91,32} \quad (3)$$

$$F_{go} = 4,49 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{fc} = F_{pasta} \cdot \frac{0,1}{91,32} \quad (4)$$

$$F_{fc} = 0,56 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{fs} = F_{pasta} \cdot \frac{0,3}{91,32} \quad (5)$$

$$F_{fs} = 1,68 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{as} = F_{pasta} \cdot \frac{0,8}{91,32} \quad (6)$$

$$F_{as} = 4,49 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{ac} = F_{pasta} \cdot \frac{0,2}{91,32} \quad (7)$$

$$F_{ac} = 1,12 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Donde:

$$\begin{aligned} F_{sal}: & \text{Flujo másico de sal en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \\ F_{car}: & \text{Flujo másico de carragenina en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \\ F_{go}: & \text{Flujo másico de goma xantana en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \\ F_{fc}: & \text{Flujo másico de fosfato tricálcico en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \\ F_{fs}: & \text{Flujo másico de fosfato trisódico en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \\ F_{as}: & \text{Flujo másico de ácido sórbico en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \\ F_{ac}: & \text{Flujo másico de ácido cítrico en } \left[\frac{kg}{semana} \right] \end{aligned}$$

A partir de lo anterior se plantea el balance de masa del equipo:

$$F_{pasta} + F_{sal} + F_{car} + F_{go} + F_{fc} + F_{fs} + F_{as} + F_{ac} = F_{premezcla} \quad (8)$$

Donde:

F_{pasta} : Flujo másico de pasta que entra al mezclador $\left[\frac{kg}{semana}\right]$

F_{mezcla} : Flujo másico de premezcla que sale del mezclador $\left[\frac{kg}{semana}\right]$

Con esto se tiene que el flujo másico de premezcla es:

$$F_{premezcla} = 561,07 \left[\frac{kg}{semana}\right]$$

En la Tabla Anexos 36 se puede ver el resumen de la composición de los flujos del mezclador.

Tabla Anexos 36: resumen balance de masa descascaradora

Equipo: Mezclador 2					
Nombre corriente	Entrada [kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad
F17	512,37	Pasta de Almendra	1	512,37	[kg/semana]
F22	48,70	Sal	0,67	32,71	[kg/semana]
		Carragenina	0,07	3,65	[kg/semana]
		Goma Xantana	0,09	4,49	[kg/semana]
		Fosfato tricálcico	0,01	0,56	[kg/semana]
		Fosfato trisódico	0,03	1,68	[kg/semana]
		Ácido sórbico	0,09	4,49	[kg/semana]
		Ácido cítrico	0,02	1,12	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F23	561,07	Premezcla	1	561,07	[kg/semana]

- *Discusiones*

Al desconocer la estabilidad de la formulación, no se puede asegurar la calidad del queso, a pesar de que esté hecha por bibliografía, por ende, en el caso que la formulación no sea la correcta es necesario corregirla mediante pruebas en laboratorio y mayor búsqueda bibliográfica. Además, al asumir un mezclado perfecto, se tiene que los aditivos se distribuyen de forma homogénea en la pasta, de esta manera se tiene que cuando la premezcla entre al reactor batch la reacción ocurra de mejor manera, pues la pasta de almendra está distribuida en toda la premezcla.

7.7.3. Reactor Batch

7.7.3.1 Balance de masa.

- *Datos y supuestos utilizados*

El objetivo de este equipo es poder desnaturalizar las proteínas provenientes de la premezcla, añadiendo ácido cítrico. La siguiente figura Y se muestra un bosquejo del equipo a realizar el balance de masa.

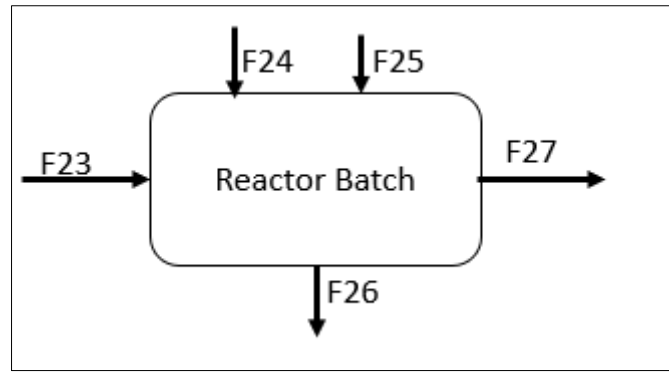


Figura Anexos 16: diagrama reactor batch

La descripción de los flujos se muestra en la siguiente tabla

Tabla Anexos 36: resumen balance de masa descascaradora

Equipo: Reactor Batch		
Nombre corriente	Especies a la entrada	Fracción másica
F23	Premezcla	1,00
F24	Aceite	1,00
F25	Agua	1,00
F26	Ácido cítrico	1,00
Nombre corriente	Especie a la salida	Fracción másica
F27	Mezcla	1,00

Los supuestos utilizados son:

- El pH de la premezcla es 7, y las proteínas se desnaturalizan cuando son llevados a pH 3 [36], por lo cual se busca bajar el pH de 7 a 3
- La formulación del queso de almendras se realizó según búsqueda bibliográfica.[35]

• Ecuaciones y resultados

Para obtener la masa de ácido cítrico que se le debe añadir al reactor, se debe considerar que para que la desnaturalización de la proteína ocurra, es necesario bajar el pH de la mezcla desde 7 a 3. Recordando la definición de pH:

$$pH = -\log[H^+]$$

Se tiene que:

$$10^{-3} = 10^{-7} + [\text{ácido}]$$

Sin embargo, a un pH 3, solo el 50% del ácido cítrico se encuentra en una configuración desprotonada (como se muestra en la Figura x). Luego la concentración necesaria de ácido es:

$$[\text{ácido}] = 2 \cdot (10^{-3} - 10^{-7}) \approx 2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right]$$

Lo que es equivalente a:

$$[\text{ácido}] = 2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right] \cdot 192,3 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right] = 0,38 \left[\frac{\text{g}}{\text{L}} \right]$$

O bien:

$$[\text{ácido}] = 0,38 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

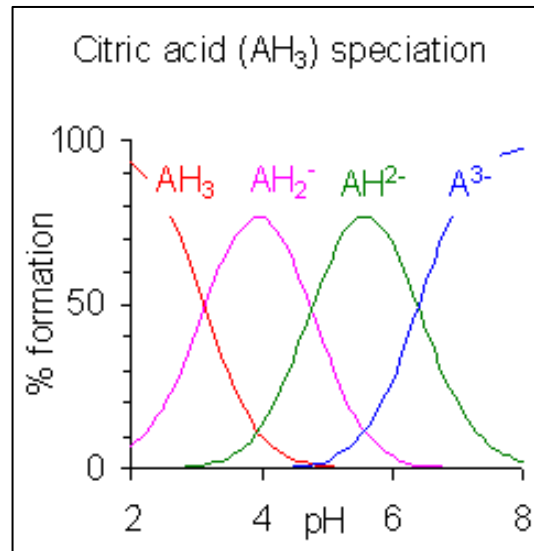


Figura Anexos 17: especiación ácido cítrico.

Una vez obtenida la concentración requerida, se debe calcular el flujo másico de ácido cítrico, mediante la siguiente ecuación:

$$F_{ac} = [\text{ácido}] \cdot V_{\text{queso}} \quad (1)$$

Donde:

$$[\text{Obj}] \quad (2)$$

Para ello se consideran los siguientes datos y composiciones iniciales, obtenidas en bibliografía[35]:

Tabla Anexos 37: Datos balance de masa reactor batch

Especie	Valor	Unidad
Premezcla	70	%p/p mezcla
Aceite	15	%p/p mezcla
Agua	15	%p/p mezcla
Densidad Premezcla	900	[kg/m3]
Densidad Agua[17]	997.13	[kg/m3]
Densidad Aceite[17]	916	[kg/m3]
Densidad Ácido Cítrico[17]	1660	[kg/m3]

A partir del Anexo Mezclador, se tiene el siguiente resultado:

$$F_{\text{premezcla}} = 561,7 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{semana}} \right]$$

$$[\text{Obj}] \quad (3)$$

De esta forma se puede conocer el flujo de ácido acético, pues se debe despejar de la siguiente ecuación.

$$F_{ac} = \rho_{ac} \cdot \left(\frac{F_{premezcla}}{\rho_{premezcla}} - \left(\frac{F_{pepa}}{\rho_{pepa}} + \frac{F_{agua}}{\rho_{agua}} + \frac{F_{aceite}}{\rho_{aceite}} \right) \right) \quad (4)$$

$$F_{ac} = 0,34 \left[\frac{Kg}{semana} \right]$$

Una vez obtenido el flujo de ácido acético, se recalculan las composiciones de la mezcla:

Tabla Anexos 38: Proporciones de la mezcla que sale del reactor.

Especie	Valor	Unidad
Premezcla	69,98	%p/p mezcla
Aceite	14,99	%p/p mezcla
Agua	14,99	%p/p mezcla
Ácido acético	0,04	%p/p mezcla

De esta manera se tiene que:

$$F_{premezcla} + F_{ácidoAcético} + F_{aceite} + F_{agua} = F_{Mezcla} \quad (5)$$

Donde:

$F_{premezcla}$: Flujo másico de premezcla que entra al reactor $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$F_{ácido acético}$: Flujo másico de ácido acético que entra al reactor $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

$F_{acerite}$: Flujo másico de aceite que entra al reactor $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

F_{mezcla} : Flujo másico de mezcla que sale del reactor $\left[\frac{kg}{semana} \right]$

Utilizando los datos expuestos con anterioridad se tiene que la masa de mezcla que sale al reactor es:

$$560,20 \left[\frac{Kg}{semana} \right] + 0,34 \left[\frac{Kg}{semana} \right] + 120,23 \left[\frac{Kg}{semana} \right] + 120,23 \left[\frac{Kg}{semana} \right] = F_{Mezcla}$$

Por consiguiente, el flujo másico de mezcla es de:

$$F_{Mezcla} = 801,87 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

A modo de resumen, se tiene que las entradas y salidas del equipo son:

Tabla Anexos 39: resumen balance de masa reactor batch

Equipo: Reactor de catálisis ácida					
Nombre corriente	Entrada [kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad

F23	564,46	Premezcla	1,00	561,07	[kg/semana]
F24	120,96	Aceite	1,00	120,23	[kg/semana]
F25	120,96	Agua	1,00	120,23	[kg/semana]
F26	0,34	Ácido cítrico	1,00	0,34	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F27	806,72	Mezcla	1,00	801,87	[kg/semana]

- *Discusiones*

El asumir el pH 7 de la premezcla es porque a la premezcla se le añaden estabilizantes que ayudan a regularizar el pH. Además, se asume que todas las proteínas de las almendras se desnaturalizarán a este pH, pues se asume que la proteína mayoritaria es albúmina [37], y que por lo cual es resto de las proteínas se podrá desnaturalizar a este pH. Esto indica, que cabe la posibilidad que no todas las proteínas sigan el mismo comportamiento y, por consiguiente, no se tenga la consistencia deseada. El asumir el pH 7 de la premezcla es porque a la premezcla se le añaden estabilizantes que ayudan a regularizar el pH. Además, se asume que todas las proteínas de las almendras se desnaturalizarán a este pH, pues se asume que la proteína mayoritaria es albúmina [37], y que por lo cual es resto de las proteínas se podrá desnaturalizar a este pH. Esto indica, que cabe la posibilidad que no todas las proteínas sigan el mismo comportamiento y, por consiguiente, no se tenga la consistencia deseada.

Al utilizar una formulación por bibliografía, no asegura que el producto posea una consistencia que cumpla los estándares de calidad, es decir, la mezcla es inocua para el consumo humano, sin embargo, no se puede decir si posee características organolépticas que aseguren que el público lo comprará, para esto es necesario realizar pruebas que ayuden a ajustar los ingredientes a la entrada del reactor.

7.7.3.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos utilizados*

Los datos utilizados para el dimensionamiento se adjuntan en la siguiente tabla.

Tabla Anexos 39: datos para el dimensionamiento

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Composición de pepa en "Queso de almendra"[35]	Xpepa	90,00	%
Composición de Proteína en la Pepa de almendra[37]	Xproteína	37,09	%
Porcentaje de carbono en la proteína de almendra[38]	%C	53,73	%
Porcentaje de hidrógeno en la proteína de almendra[38]	%H	7,11	%
Porcentaje de oxígeno en la proteína de almendra[38]	%O	23,50	%
Porcentaje de nitrógeno en la proteína de almendra[17]	%N	15,66	%

Peso molecular del Carbono[17]	PMc	12,01	[g/mol]
Peso molecular del Hidrógeno[17]	PMh	1,00	[g/mol]
Peso molecular del Oxígeno[17]	PMo	15,99	[g/mol]
Peso molecular del Nitrógeno[17]	PMn	14,01	[g/mol]
Densidad agua [17]	ρ_{agua}	997,13	[kg/m ³]
Densidad pepa[12]	ρ_{pepa}	900	[kg/m ³]
Constante cinética de la desnaturalización de la proteína [39]	K _{dp}	0,0029	[1/s]

Los supuestos que se tomaron para realizar este dimensionamiento son los siguientes:

- La composición de la almendra es de 90% pepa y 10% de agua que entran al molidor 1, este porcentaje sigue hasta llegar al reactor batch. [35].
- Se consideró sólo la proteína mayoritaria de la almendra, la cual es la albumina [37], la cual representa un 90% de las proteínas totales. Además, el porcentaje en peso de la almendra, el 37,09% corresponde a proteínas.[37].
- La composición atómica de la albúmina varía dependiendo del origen animal o vegetal de esta, por lo cual, se tomó la composición encontrada para el origen vegetal [38].
- La constante cinética de la desnaturalización de la albúmina, es igual para el resto de las proteínas de la almendra[39].

• Ecuaciones y resultados

Se tiene que se debe conocer la cantidad de masa de proteína que entra al reactor, para esto se tiene que la composición del queso es el 90% que entran al molidor, además que en un día se querrá operar el reactor sólo una hora.

$$F_{\text{pepa}} = 0,9 \cdot F_{\text{pasta almendra}} = 0,9 \cdot 512,37 \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right] \cdot \left[\frac{\text{semana}}{5 \text{ días}} \right] \cdot \left[1 \frac{\text{día}}{1 \text{ hr}} \right] \quad (6)$$

$$F_{\text{pepa}} = 92,23 \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right]$$

Se tiene además que el 37,9% de la pepa es proteína, por lo cual, el flujo de proteína que entra al reactor viene dada por la siguiente ecuación

$$F_{\text{proteína}} = 0,379 \cdot F_{\text{pepa}} \quad (7)$$

$$F_{\text{proteína}} = 92,23 \cdot 0,379 \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right]$$

$$F_{\text{proteína}} = 6,84 \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right]$$

Para el dimensionamiento se debe conocer la fórmula empírica de la proteína, por lo cual se calculan los moles de cada compuesto, de la siguiente forma

$$n_i = \frac{\%_i \cdot \text{masa de } i}{PM_i} \quad (8)$$

A continuación, se muestra un ejemplo para el caso del carbono

$$n_c = \%_c \cdot \frac{F_{proteina}}{PM_c} = 0,5373 \cdot \frac{6,84 \left[\frac{kg}{hr} \right] \cdot \left[1000 \frac{g}{kg} \right]}{12,01 \left[\frac{g}{mol} \right]} = 306,07 \left[\frac{mol}{hr} \right]$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los moles obtenidos:

Tabla Anexos 40: moles obtenidos

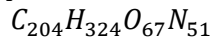
Moles de carbono	n_c	306,07	[mol/hr]
Moles de hidrógeno	n_h	486,42	[mol/hr]
Moles de oxígeno	n_o	100,55	[mol/hr]
Moles de nitrógeno	n_N	76,47	[mol/hr]

Para tener la fórmula empírica, se debe dividir los moles por el menor resultante y así tener la relación entre los compuestos y luego amplificar por un número entero eliminando la parte decima., en la siguiente tabla se muestra el procedimiento descrito.

Tabla Anexos 41: procedimiento descrito

Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno
4,0	6,4	1,3	1,0
204	324	67	51

Con este resultado, se tiene que la fórmula empírica de la proteína es:



Ahora el peso molecular de la proteína es la suma de todos los pesos moleculares de los átomos, ponderado por la cantidad de átomos, la cual se obtiene de la obtención de la fórmula molecular de la proteína.

$$PM_{proteina} = PM_C \cdot \#_c + PM_H \cdot \#_H + PM_O \cdot \#_O + PM_N \cdot \#_N \quad (9)$$

Donde:

$\#_i$ = número de átomos de i

Por lo cual el peso atómico de la proteína es de:

$$PM_{proteina} = 4.562,64 \left[\frac{g}{mol} \right]$$

Se define P_d , como la producción de queso de almendra deseada, en este caso se quiere que toda la proteína se desnaturalice, por lo cual

$$n_{proteina} = \frac{F_{proteina}}{PM_{proteina}} \quad (10)$$

$$n_{proteina} = \frac{6,88 \left[\frac{kg}{hr} \right] \cdot \left[\frac{1000g}{1kg} \right]}{4,562,64 \left[\frac{g}{mol} \right]}$$

Entonces se tiene que la producción de queso de almendra es:

$$P_d = n_{proteina} = 1,50 \left[\frac{mol}{hr} \right]$$

Luego se debe definir la producción por unidad de volumen P_v , la cual se define de la siguiente manera:

$$P_v = C_{proteina0} \cdot \frac{conversión}{t_{operación}} \quad (11)$$

Donde:

$$C_{proteina0} = \text{concentración inicial de proteína} \left[\frac{mol}{hr} \right]$$

$$t_{operación} = \text{tiempo de operación del Batch} [hr]$$

$$conversión = \text{conversión deseada de la desnaturalización de la proteína}$$

Para el caso de la $C_{proteina0}$, se tiene la siguiente ecuación

$$C_{proteina0} = \frac{F_{proteina}}{Vol_{mezcla} \cdot PM_{proteina}} \quad (12)$$

Donde:

$$Vol_{mezcla} = \text{volumen de la mezcla} [m^3]$$

$$PM_{proteina} = \text{peso molecular de la proteína} \left[\frac{g}{mol} \right]$$

De acá, se tiene que el volumen de la mezcla se obtiene, dividiendo la masa de la mezcla por la densidad de la mezcla, la cual es la ponderación de la masa de agua de la mezcla y de la cantidad de pepa

$$Vol_{mezcla} = \frac{F_{mezcla}}{0,1 \cdot \rho_{agua} + 0,9 \cdot \rho_{pepa}} = \frac{561,07 \left[\frac{kg}{semana} \right]}{0,1 \cdot 997,13 \left[\frac{kg}{m^3} \right] + 0,9 \cdot 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \quad (13)$$

$$Vol_{mezcla} = 0,62 [m^3]$$

La masa de proteína está dada por la ecuación 10, $F_{proteina} = 170,72 \left[\frac{kg}{semana} \right]$, utilizando la ecuación 12, se tiene que

$$C_{proteina0} = \frac{F_{proteina}}{Vol_{mezcla} \cdot PM_{proteina}} = \frac{6,84 \left[\frac{kg}{hr} \right] \cdot \left[\frac{1000g}{kg} \right]}{0,62 [m^3] \cdot 4.562,64 \left[\frac{g}{mol} \right]} = 2,43 \left[\frac{mol}{m^3} \right]$$

$$C_{proteina0} = 2,43 \left[\frac{mol}{m^3} \right]$$

Ahora para calcular el tiempo de operación se tiene que utilizar la ecuación de diseño de un reactor Batch el cual es la siguiente.

$$\frac{dC_{proteina}}{dt} = -r_{proteina} \quad (14)$$

Donde:

$$r_{proteina} = \text{cinética de reacción de la proteína} \left[\frac{mol}{m^3 \cdot min} \right]$$

Como la ecuación es de primer orden con respecto a la proteína se tiene que la cinética de reacción es:

$$r_{proteina} = k_{dp} \cdot C_{proteina}$$

Ahora bien, el término derivativo también se puede escribir de la siguiente manera.

$$C_{proteina} = C_{proteina0}(1 - conversión)$$

Aplicando el operador derivada, se llega a que

$$dC_{proteina} = -C_{proteina0} \cdot dconversión$$

Así la ecuación 14, se puede escribir de la siguiente manera

$$t_{operación} = \int_0^{0,99} \frac{dconversión}{k_{dp}(1 - conversión)} \quad (15)$$

Asumiendo que se quiere tener una conversión del 99%, y aplicando la ecuación 15, se tiene que el tiempo de operación es:

$t_{operación} = 0,45 [hr]$

Ya se tienen todos los valores para poder calcular la ecuación 11:

$$P_v = C_{proteina0} \cdot \frac{conversión}{t_{operación}} = 60,78 \left[\frac{mol}{m^3} \right] \cdot \frac{0,99}{27 [min]}$$

$P_v = 5,35 \left[\frac{mol}{m^3 hr} \right]$
--

Ahora utilizando la ecuación de diseño para obtener el volumen de un reactor Batch, se tiene que:

$$Vol_{Batch} = \frac{P_d}{P_v} = \frac{1,50 \left[\frac{mol}{hr} \right]}{5,35 \left[\frac{mol}{m^3 hr} \right]} \quad (16)$$

$Vol_{Batch} = 0,28 [m^3]$

Con este resultado, se tiene que se requiere un reactor Batch de $0,28 [m^3]$, el cual debe operar los 5 días de la semana 1 hora, el cual cuenta el periodo de operación que son $0,45 [hr]$ y se supone un tiempo muerto de $0,55 [hr]$

- *Discusiones*

El supuesto que la composición de la premezcla es de 90% pepa y 10% agua y que esta relación se mantiene hasta llegar al reactor Batch, implicaría que en la planta no pueden haber fugas en los equipos, por muy pequeñas que sean, y que al momento del traspaso de la premezcla de un equipo a otro, el vaciado es total, lo cual en la realidad no ocurre, ya que siempre quedan pequeños restos en los equipos, sin embargo, esta masa que se pierde no es significativa y no altera el proceso de dimensionamiento.

Al tomar la albúmina como la proteína principal de la almendra y asumir que el resto de las proteínas poseen el mismo comportamiento ante la desnaturalización mediante ácido cítrico, tiene el efecto que el la mezcla tendrá un comportamiento homogéneo dentro del reactor, y en la realidad esto no será así, pues habrán proteínas que podrían desnaturalizarse antes o simplemente no se desnaturalicen, sin embargo, dado el gran porcentaje de albúmina, la mezcla tendrá las características físicas producto

de la desnaturalización de la albúmina, por lo cual, este no es un supuesto muy alejado de la realidad.

Finalmente, la composición de la albúmina de almendra puede variar con el respecto encontrado en bibliografía, esto implica que el peso molecular de la proteína varíe y por ende, afecte la cantidad de moles procesados, sin embargo, estas variaciones no son muy grandes [38], y no afectaría al dimensionamiento del equipo. Finalmente, la composición de la albúmina de almendra puede variar con el respecto encontrado en bibliografía, esto implica que el peso molecular de la proteína varíe y por ende, afecte la cantidad de moles procesados, sin embargo, estas variaciones no son muy grandes [38], y no afectaría al dimensionamiento del equipo.

7.7.4. Autoclave

El propósito de este equipo es eliminar los microorganismos que pueden estar presentes en el queso.

7.7.4.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

En la Figura Anexos 17 se presenta un diagrama del equipo con sus flujos de entrada y salida.

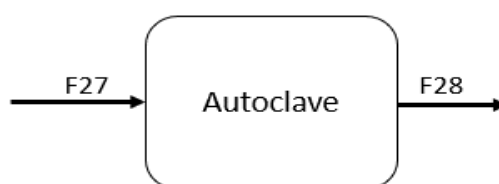


Figura Anexos 18: Diagrama autoclave.

En la siguiente Tabla se aprecia la composición de los flujos.

Tabla Anexos 42: moles obtenidos

Equipo: Autoclave		
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F27	Mezcla	1
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F28	Queso	1

El supuesto principal es que, a pesar de las altas temperaturas dentro del equipo, no se pierde masa en forma de vapor, es decir, que el flujo de entrada y salida serán iguales.

- *Ecuaciones y resultados*

Del balance de masa del equipo anterior se tiene que el flujo de mezcla que sale del reactor es:

Considerando el supuesto mencionado se tiene que:

$$F_{\text{queso}} = F_{\text{mezcla}}$$

$$F_{\text{queso}} = 801,87 \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

Donde:

F_{queso} : Flujo másico de queso que sale de la autoclave [kg/semana]

En la Tabla Anexos 43 se presenta un resumen de los flujos de entrada y salida de la autoclave.

Tabla Anexos 43: Resumen balance de masa autoclave

Equipo: Autoclave					
Nombre corriente	Entrada [kg/semana]	Especie	Fracción másica	Valor	Unidad
F27	800.63	Mezcla	1	800.63	[kg/semana]
Nombre corriente	Salida [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F28	800.63	Bebida 2	1	800.63	[kg/semana]

- *Discusiones*

Se considera que el supuesto utilizado es razonable ya que, si se tienen altas temperaturas en un recipiente a presión, no debería evaporarse agua. Si esto no se cumple, entonces se obtendría un flujo menor de queso.

7.7.4.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos utilizados*

En la Tabla Anexos 44 se presentan los datos utilizados para el dimensionamiento de la autoclave.

Tabla Anexos 44: Datos dimensionamiento autoclave

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Flujo másico de entrada a la autoclave	F27	800.626	[kg/semana]
Flujo másico de salida de la autoclave	F28	800.626	[kg/semana]
Flujo másico de premezcla	$m_{\text{premezcla}}$	560.203	[kg/semana]
Flujo másico de agua	m_{agua}	120.0	[kg/semana]
Flujo másico de aceite	m_{aceite}	120.0	[kg/semana]

Flujo másico de ácido cítrico	m_{ac}	0.34	[kg/semana]
Densidad pepa de almendra	ρ_{pepa}	900	[kg/m ³]
Densidad agua a 25°C	ρ_{agua}	997.13	[kg/m ³]
Densidad aceite de oliva	ρ_{aceite}	916	[kg/m ³]
Densidad ácido cítrico	ρ_{ac}	1660	[kg/m ³]
Número de esterilizaciones	N	5	[esterilizaciones/semana]
Eficiencia	η	80%	-

En este equipo se utilizan los siguientes supuestos:

- La densidad de la premezcla se calcula considerando una composición de 90% pepa y 10% agua, vale decir, no se consideran los aditivos.
- La autoclave tiene geometría cilíndrica y se cumple la relación que el largo es dos veces el diámetro.
- Se realiza solo una esterilización diaria.
- La eficiencia de la soldadura es de un 80%.
- La compresibilidad del queso de almendra es similar a la compresibilidad del queso cheddar.
- Las condiciones de operación son una temperatura de 121°C, y una presión de 103 kPa.

• Ecuaciones y resultados

Por un lado, se calcula la densidad de la premezcla considerando el primer supuesto mencionado:

$$\rho_{premezcla} = 0.1 \cdot \rho_{agua} + 0.9 \cdot \rho_{pepa} \quad (1)$$

$$\rho_{premezcla} = 909.71 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Por otro lado, se debe determinar la compresibilidad del queso en porcentaje de volumen (C), la que se define como:

$$C = \frac{V_i - V_{i+1}}{V_i} \cdot 100\% \quad (2)$$

Para ello se utiliza la siguiente ecuación []:

$$\beta_T = \frac{-1}{V_i} \left(\frac{V_{i+1} - V_i}{P_{i+1} - P_i} \right) \quad (3)$$

Donde:

C: Compresibilidad en % volumen

β_T : Compresibilidad isotérmica [MPa⁻¹]

V_i : Volumen [m³]

P_i : Presión [MPa]

A partir de la Figura Anexos 18, se toman los siguientes valores, correspondientes al queso cheddar:

Tabla Anexos 45: magnitudes del queso cheddar

Parámetro	Magnitud
β_T	0,0006 [MPa ⁻¹]
P_0	0 [MPa]
P_1	50 [MPa]

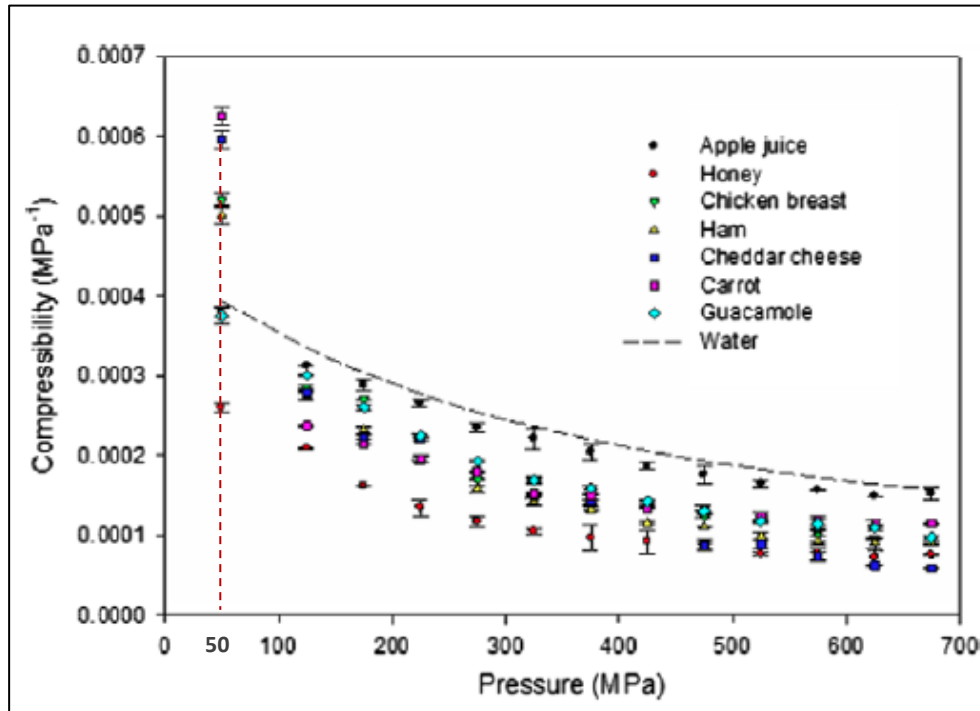


Figura Anexos 19: Compresibilidad de jugo de manzana, miel, pechuga de pollo, jamón, queso cheddar, zanahoria y guacamole en función de la presión a 25C.

Luego se reemplazan los valores en la ecuación 3, y se determina la diferencia relativa de volumen:

$$\frac{V_0 - V_1}{V_0} = \beta_T \cdot (P_1 - P_0) \quad (4)$$

$$\frac{V_0 - V_1}{V_0} = 0.03$$

Y por último se calcula la compresibilidad en porcentaje de volumen, reemplazando en la ecuación 2:

$$C = 3\%$$

Para determinar el volumen de queso a tratar por esterilización, se calcula el flujo volumétrico de cada componente del flujo de entrada, es decir, premezcla, agua, aceite y ácido cítrico:

$$V_q = \left(\frac{m_{premezcla}}{\rho_{premezcla}} + \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}} + \frac{m_{aceite}}{\rho_{aceite}} + \frac{m_{ac}}{\rho_{ac}} \right) \cdot \frac{1}{N} \quad (5)$$

$$V_q = 0.173 \left[\frac{m^3}{\text{esterilización}} \right]$$

Donde:

V_q : Volumen de queso a tratar [m^3 /]

Ahora es necesario calcular el volumen de la autoclave, el cual está determinado por la siguiente ecuación []:

$$V_a = \frac{V_q}{\eta} - V_q \cdot C \quad (6)$$

Donde:

V_a : Volumen de la autoclave [m^3]

Reemplazando los valores obtenidos previamente, se tiene que:

$$V_a = 0.212 [m^3]$$

Una vez obtenido el volumen, se puede determinar el largo y el diámetro de la autoclave. Para ello se utiliza el segundo supuesto y la ecuación del volumen de un cilindro, esto es:

$$\frac{L}{D} = 2 \quad (7)$$

$$V_c = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot L \quad (8)$$

Donde:

L : Largo del cilindro [m]

D : Diámetro del cilindro [m]

V_c : Volumen del cilindro [m^3]

Reemplazando la ecuación 7 en la 8, y despejando el diámetro se obtiene una ecuación que solo depende del volumen de la autoclave:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V}{\pi}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Luego el diámetro de la autoclave es el siguiente:

$$D = 0.513[m]$$

Para terminar con el dimensionamiento es necesario obtener el largo del equipo, el cual está dado por la ecuación 7:

$$L = 1.025 \text{ [m]}$$

En la Tabla Anexos 46 se presenta un resumen con todos los parámetros calculados para el dimensionamiento.

Tabla Anexos 46: Parámetros calculados para la autoclave.

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Densidad premezcla	$\rho_{\text{premezcla}}$	909.71	[kg/m ³]
Compresibilidad del queso	C	3%	-
Volumen de queso a tratar	V _q	0.173	[m ³ /esterilización]
Volumen autoclave	V _a	0.212	[m ³]
Diámetro autoclave	D	0.513	[m]
Largo autoclave	L	1.025	[m]

- *Discusiones*

La compresibilidad calculada corresponde a la de queso cheddar, ya que es lo más cercano al queso de almendra que se encontró. Esta fue calculada para una presión de 50 MPa, sin embargo, la presión de operación sería de 103 kPa, por lo tanto, este valor estaría sobredimensionado. Al disminuir la compresibilidad, aumenta el volumen de la autoclave, pero no tiene gran efecto en el dimensionamiento.

La eficiencia de soldadura define la capacidad o confiabilidad que tiene la soldadura para resistir los efectos de las cargas bajo las cuales estará sometida. Esta dependerá del tipo de soldadura y de la localización de dicha soldadura en la estructura del recipiente; y su valor puede estar entre 100% y 45%. El valor utilizado se considera adecuado ya que es un valor intermedio, pero al disminuirla, aumenta el volumen de la autoclave.

7.8. Anexo 8: Memoria de cálculo línea pellet

Está línea se construye a partir de la cáscara obtenida en una de las salidas del ciclón. Los equipos son los siguientes: ciclón, molidor 2 y prensado.

7.8.1. Ciclón

Los balances de masa y dimensionamiento de este equipo se encuentran en el Anexo 7.6.10.

7.8.2. Molino

7.7.2.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

En la siguiente figura se muestra un bosquejo del equipo con sus entradas y salidas.

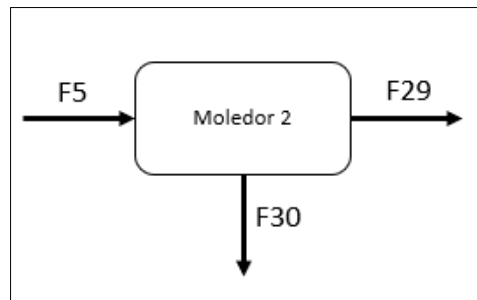


Figura Anexos 20: moles obtenidos

En este equipo entra la cáscara, la cual es molida para reducir su tamaño, las entradas y salidas de este equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla Anexos 47: datos para el balance del molino

Equipo: Molidor 2		
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F5	Cáscara	1,00
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F29	Cáscara molida	1,00
F30	Cáscara Perdida	1,00

Se tiene que los moledores para realizar pellet tienen una eficiencia del 80%[40]. Se utiliza el supuesto que toda la cáscara es apta para ser utilizada como pellet.

- *Ecuaciones y resultados*

El balance de masa es el siguiente:

$$F_c = F_{cm} + F_{cp} \quad (1)$$

Donde:

$$F_c = \text{flujo de cáscara que entra al molidor} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{cm} = \text{flujo de cáscara molida} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{cp} = \text{flujo de cáscara perdida por la eficiencia del molidor} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Del balance en el ciclón se tiene que las cáscaras que son separadas en él y que entran al molidor son:

$$F_c = 1.749,97 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Como se tiene que la prensadora trabaja al 80%[40], se tiene que la cáscara molida será la siguiente:

$$F_{cm} = F_c \cdot 0,8 \quad (2)$$

$$F_{cm} = 1.399,98 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Utilizando la ecuación 1, y el valor de cáscara molida, se tiene el flujo de cáscaras que quedan retenidas en el equipo y por lo cual salen del proceso como desperdicio.

$$F_{cp} = 349,99 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

En la siguiente Tabla Anexos 48 se tiene un resumen de todos los flujos del equipo.

Tabla Anexos 48: resumen del balance de masa en el molino

Equipo: Molino					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F5	1.749,97	Cáscara	1,00	1.749,97	[kg/semana]
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F29	1.399,98	Cáscara molida	1,00	1.399,98	[kg/semana]
F30	349,99	Cáscara Perdida	1,00	349,99	[kg/semana]

- *Discusiones*

Al asumir que toda la cáscara sirve para ser pellet, significa que es necesario tener un control de calidad en la planta que mida la humedad del pellet, pues esta debe tener una humedad no superior al 7%[41], y acá se asume que toda la cáscara posee una humedad menor. Al asumir que toda la cáscara sirve para ser pellet, significa que es necesario tener un control de calidad en la planta que mida la humedad del pellet, pues esta debe tener una humedad no superior al 7%[41], y acá se asume que toda la cáscara posee una humedad menor. Ahora bien, con respecto a la eficiencia del molidor, se tiene que es necesario buscar un equipo con una mayor eficiencia, pues de este modo se tiene una mayor producción de este producto y se disminuyen los residuos a la semana.

7.8.3. Peletizadora

7.7.3.1 Balance de masa

- *Datos y supuestos utilizados*

En la siguiente figura, se muestra un diagrama del equipo, las entradas y salidas del equipo se presentan en la Tabla siguiente.



Figura Anexos 21: diagrama peletizadora

Tabla Anexos 49: datos balance peletizadora

Equipo: Peletizadora		
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F29	Cáscara molida	1,00
Nombre corriente	Especie	Fracción másica
F31	Pellet de almendra	1,00

El supuesto utilizado para este equipo es que la peletizadora es capaz de transformar toda la cáscara molida en pellet y que la lignina que contiene la almendra funciona como aglomerante natural [42], por lo cual no se necesitan aditivos. El supuesto utilizado para este equipo es que la peletizadora es capaz de transformar toda la cáscara molida en pellet y que la lignina que contiene la almendra funciona como aglomerante natural [42], por lo cual no se necesitan aditivos.

- *Ecuaciones y resultados*

El balance de masa de este equipo es el siguiente

$$F_{cm} = F_{pellet} \quad (1)$$

Donde

$$F_{pellet} = \text{Flujo másico de pellet} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Por consiguiente, el flujo másico de pellet es:

$$F_{pellet} = 1.399,98 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

- *Discusiones*

Al asumir que la peletizadora tiene una eficiencia del 100%, tiene como consecuencia que toda la cáscara molida se transforma en pellet, por lo cual, esto disminuye los residuos, sin embargo, esto está alejado de la realidad, pues eventualmente la peletizadora puede fallar y así disminuir la producción de pellet. También, al no tener que añadir un aglomerante, el resultado es un pellet más amigable con el medioambiente, pues cuando se combustione no se combustionará un compuesto químico extra, y será un biocombustible totalmente natural.

7.9. Anexo 9: Memoria de cálculo línea agua purificada

Está línea se construye a partir de agua cruda obtenida desde el río Peuco para ser utilizada en las líneas de: bebida de almendras y queso de almendra Los equipos son los siguientes: sedimentador y reactor PFR.

7.9.1 Reactor PFR

7.9.1.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos*

A continuación, se adjunta un bosquejo del equipo con sus entradas y salidas correspondientes.

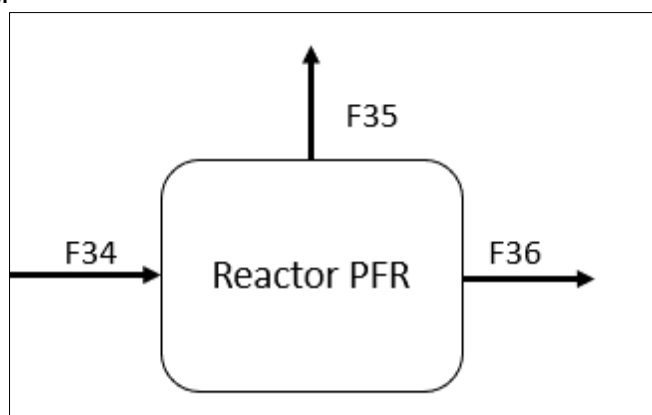


Figura Anexos 22: diagrama reactor PFR

En la siguiente tabla se detalla la composición de los flujos.

Tabla Anexos 50: datos para el balance del reactor PFR

Descripción	Símbolo
Flujo de agua sin sedimentos	F34
Flujo de ácido hipocloroso	F35
Flujo de agua potabilizada	F36

Los datos bibliográficos que se utilizan se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla Anexos 51: datos bibliográficos utilizados

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Densidad del agua [17]	ρ	997.14	[kg/m ³]
Masa molar del HOCl [17]	M_{HOCl}	52.46	[g/mol]

Los supuestos a utilizar son:

-El flujo másico a la salida del reactor es igual a los requerimientos de agua de los demás procesos.

-La concentración de materia orgánica en el flujo de entrada es de 0,20[g/l][43].

-La concentración inicial de ácido hipocloroso, HOCl, es 1[M], en la entrada del reactor, esto para que esté en excesos en relación con la materia orgánica.

-La añadir HOCl no genera cambios en la densidad del agua.

- *Ecuaciones y resultados*

Para el cálculo de OHCl en la entrada se sigue el siguiente procedimiento

$$F_{HOCl} + F_e = F_{agua} \quad 1$$

Donde:

$$F_{agua} = \text{Flujo de agua que requiere la planta} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_{HOCl} = \text{Flujode ácido hipocloroso} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_e = \text{Flujo de agua a la entrada} \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Para conocer el flujo de agua potable que se necesita, se debe sumar el requerimiento de agua de la línea de Bebida de almendra y de Queso de almendra.

$$F_{agua} = F_{línea alemndra} + F_{Queso de almendra} \quad 2$$

$$F_{agua} = 17.650,05 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Debido a que las densidades son iguales es equivalente a decir que

$$V_{HOCl} + V_e = V_s \quad 3$$

Donde:

$$V_s = \text{volumen de agua a la salida} \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

$$V_{HOCl} = \text{volumen de ácido hipocloroso} \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

$$V_e = \text{volumen de agua a la entrada} \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Luego con el supuesto de la concentración se tiene que

$$\frac{mol_{HOCl}}{V_s} = 1[M] \quad 4$$

Donde:

$$mol_{HOCl} = \text{mol dede ácido hipocloroso} [mol]$$

Esto implica que

$$mol_{HOCl} = V_s \quad 5$$

Por lo tanto

$$mol_{HOCl} = 17.650,05 \left[\frac{mol}{semana} \right] \quad 6$$

Luego la masa en kg será

$$F_{HOCl} = mol_{HOCl} \cdot M_{HOCl} \quad 7$$

Donde:

$$M_{HOCl} = \text{peso molecular del ácido hipocloroso} \left[\frac{g}{mol} \right]$$

Por lo tanto, la masa de HOCl es

$$F_{HOCl} = 17.650,05 \left[\frac{mol}{semana} \right] \cdot 52,46 \left[\frac{g}{mol} \right] \cdot \left[\frac{kg}{1000g} \right] \quad 8$$

$$F_{HOCl} = 925,92 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Una vez calculada la masa de HOCl podemos despejar de la primera ecuación la masa de agua que entra al reactor PFR

$$F_e = F_{agua} - F_{HOCl} \quad 9$$

$$F_e = 17.233,81 \left[\frac{kg}{semana} \right] - 925,92 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

$$F_e = 16.724,13 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

A modo de resumen se tiene la siguiente tabla con los flujos de entrada y salida del equipo.

Tabla Anexos 52: moles obtenidos

Equipo: PFR					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F34	16.724,13	Agua sin sedimentos	1,00	16.724,13	[kg/semana]
F35	925,92	Ácido Hipocloroso	1,00	925,92	[kg/semana]
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F36	17.650,05	Agua Potabilizada	1,00	17.650,05	[kg/semana]

- Discusiones

Se utiliza un reactor PFR, pues dada las altas turbulencias que se generan dentro del reactor[44], lo hace ideal para que el ácido hipocloroso entre en contacto con el agua y así poder eliminar la cantidad carga biológica que contiene el agua, y de esta manera hacerla inocua para su consumo. Se utiliza un reactor PFR, pues dada las altas turbulencias que se generan dentro del reactor[44], lo hace ideal para que el ácido hipocloroso entre en contacto con el agua y así poder eliminar la cantidad carga biológica que contiene el agua, y de esta manera hacerla inocua para su consumo.

El hecho de asumir que el ácido hipocloroso entra en exceso con respecto a la cantidad de orgánicos es que esto permite eliminar la mayor cantidad de estos agentes que hacen daño a la salud de las personas, además se asume una concentración molar de 1, pues un excesos podría ser perjudicial para el proceso, ya que se entregaría agua muy clorada que perjudicaría los productos.

Finalmente, el agua tratada en el reactor es lo suficiente para poder alimentar todas las operaciones unitarias de la planta, sin embargo, no contempla que esta agua también pueda ser usada por los y las trabajadores, de ser así se debe utilizar un flujo mayor de agua.

7.9.1.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos*

Los datos bibliográficos utilizados para el dimensionamiento se presentan a continuación:

Tabla Anexos 53: datos bibliográficos para el dimensionamiento

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Flujo másico de salida	F	17.233,81	[kg/semana]
Concentración de materia orgánica [45]	C_{or}	20	[g/l]
Peso molar de la acetamida [17]	M_a	59.07	[g/mol]
Concentración molar de materia orgánica [45]	C_o	0.33	[mol/l]
Concentración de HOCl	C_{OHCl}	1	[mol/l]
Constante cinética [46]	k	$1.4 \cdot 10^3$	[1/(mol s)]
Densidad del agua [17]	P	997.14	[kg/m ³]
Ecuación cinética [46]	$-r_a$	$k * C_o * C_{OHCl}$	[mol/s]
Proporción molar para la reacción	C_o/C_{OHCl}	1/2	-

Los supuestos utilizados para el dimensionamiento de este equipo son los siguientes:

- La materia orgánica presente en el agua de entrada es toda acetamida
- La densidad del agua y del HOCl son iguales
- La conversión final es del 99%
- HOCl se encuentra en exceso en el reactor
- El reactor opera dos horas diariamente y se opera cinco días a la semana
- Para la ecuación cinética se asume de primer orden con respecto a los reactantes

- *Ecuaciones y Resultados*

Para el diseño de un reactor PFR, se tiene la siguiente ecuación

$$\frac{V}{F_a} = \int_0^x \frac{dx}{(-r_a)} \quad (10)$$

Donde:

$V = \text{volumen del reactor } [m^3]$

$F_a = \text{flujo molar de agua } [\frac{mol}{semana}]$

$x = \text{conversión deseada de la reacción}$

$r_a = \text{Ecuación cinética } [\frac{mol}{m^3 \cdot s}]$

Para utilizar la ecuación y lograr calcular el volumen es necesario saber el F_a , $-r_a$ y x , esta última variable se establece en 0.99 por supuesto.

Para calcular el valor de F_a , se realiza el siguiente procedimiento

$$F_a = F_v * C_o \quad (11)$$

$$F_v = \frac{F}{\rho} \quad (12)$$

Donde:

$F_v = \text{flujo volumétrico de agua a tratar } [\frac{m^3}{semana}]$

$\rho = \text{densidad del agua } [\frac{kg}{m^3}]$

$C_o = \text{concentración mola de materia orgánica } [\frac{mol}{l}]$

De esta manera se tiene que:

$$F_v = \frac{17.650,05}{997.14} \left[\frac{kg}{semana} \right] \left[\frac{m^3}{kg} \right] = 17,70 \left[\frac{m^3}{semana} \right] = 17.700 \left[\frac{l}{semana} \right] \quad (13)$$

Luego

$$F_a = 16.724,13 \cdot 0.33 \frac{l}{semana} \cdot \frac{mol}{l} \quad (14)$$

$$F_a = 5518,96 \left[\frac{mol}{semana} \right] \quad (15)$$

Las unidades de la constante cinética, están en mol y segundos, es por eso por lo que al flujo hay que modificarlo para que quede en unidades iguales, para esto tenemos lo siguiente

$$1 [semana] = 5[dia] \cdot \frac{2}{1} \left[\frac{h}{dia} \right] \cdot \frac{60}{1} \left[\frac{min}{h} \right] \cdot \frac{60}{1} \left[\frac{s}{min} \right] \quad (16)$$

$$1 [semana] = 36000 [s] \quad (17)$$

Luego reemplazando en el valor de F_a

$$F_a = 0.15 \left[\frac{mol}{s} \right]$$

Luego para la ecuación de $-r_a$, asumimos que C_{HOCl} está en exceso e incorporando el factor de la conversión la expresión queda como sigue

$$-r_a = k \cdot C_o(1 - x) \cdot (C_{HOCl} - 2 \cdot C_o \cdot x) \quad (18)$$

Finalmente tenemos todas las expresiones para reemplazarlo en nuestra ecuación de diseño

$$V = 0.15 \cdot \int_0^{0.99} \frac{dx}{1.4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.33 \cdot (1 - x) \cdot (1 - 2 \cdot 0.33 \cdot x)} \quad (19)$$

$$V = 3390 [l] \quad (20)$$

$$V = 3,47 [m^3]$$

- *Discusiones*

Se tiene que el dimensionamiento del equipo está sujeto a las horas de operación, como también a la concentración de los orgánicos que se tiene en el agua, por lo cual si se quiere que el reactor funcione menos tiempo el volumen de este debe ser mayor, como también la concentración de orgánicos que se tiene el río, por lo cual si la concentración de la materia orgánica aumenta, se tendrá que usar un reactor de mayor volumen, como esto no es posible, se debe construir uno con un margen de seguridad mayor para que el agua tenga un mayor tiempo de retención en el equipo y así asegurar la calidad del agua tratada.

7.9.2. Sedimentador

7.9.2.1. Balance de masa

- *Datos y supuestos*

En el siguiente bosquejo se muestra las entradas y salidas del equipo.

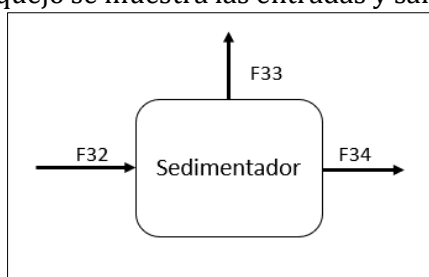


Figura Anexos 23: diagrama sedimentador

En la Tabla Anexos 54, que se muestra a continuación, se presentan el detalle de los flujos de entrada y salida.

Tabla Anexos 54: datos balance de masa sedimentador

Descripción	Símbolo
Agua cruda	F32
Salida de lodos	F33

Se utilizan los siguientes datos para realizar el balance de masa del sedimentador

-La densidad del agua cruda, que es la que se toma directamente del río, con la del agua al final del equipo se mantiene.

-La composición de sólidos en el agua cruda es de 14.444 ppm, el cálculo se puede encontrar en el Anexo Cálculo de PPM.

-El flujo de agua que sale del sedimentador es el mismo a la salida del equipo es el mismo que a la entrada del reactor PFR.

-Se asume que los lodos poseen un 20% de agua [47].

-El flujo de salida del equipo es el mismo que entra al reactor PFR, calculado en el anexo anterior.

• Ecuaciones y resultados

Debido a la concentración en ppm de cloro disuelto en agua, se tiene la siguiente igualdad [48]: Debido a la concentración en ppm de cloro disuelto en agua, se tiene la siguiente igualdad [48]:

$$1 \text{ [ppm]} = 1 \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right]$$

Por lo tanto, en el flujo de agua cruda tenemos que existen

$$\frac{F_s}{V_{ac}} = z = 1444 \text{ [ppm]} = 1444 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 1.444 \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \right] = 0.00144 \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right] \quad (1)$$

Donde:

$$F_s = \text{flujo de sólidos en suspensión} \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

$$V_{ac} = \text{flujo volumétrico de agua cruda} \left[\frac{\text{l}}{\text{semana}} \right]$$

$$Z = \text{concentración de sólidos en agua cruda} \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right]$$

Luego haciendo un balance de masa tenemos lo siguiente

$$F_{ac} = F_l + F_{ass} \quad (2)$$

Donde:

$$F_{ac} = \text{flujo de agua cruda} \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

$$F_l = \text{flujo de lodos} \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

$$F_{ass} = \text{flujo de agua sin sedimentos} \left[\frac{\text{kg}}{\text{semana}} \right]$$

Con el supuesto de que los lodos poseen un 20% de humedad en peso [47] se tiene la siguiente relación, por lo cual el 80% de los sólidos corresponde al flujo másico de sólidos.

$$F_l \cdot 0.8 = F_s \quad (3)$$

Finalmente utilizando la densidad del agua cruda, que es igual a la del agua purificada se tiene lo siguiente

$$1000 \text{ l} = 997.14 \text{ kg} \rightarrow 1 \text{ l} = 0.997 \text{ kg} \quad (4)$$

Reemplazando en la Ecuación 1:

$$\frac{F_s}{V_{ac}} = 0.00144 \left[\frac{kg}{l} \right] \rightarrow \frac{F_s}{V_{ac}} = 0.00144 \cdot 0.997 \left[\frac{kg_s}{kg_{ac}} \right] \quad (5)$$

Luego reemplazando F_s con la relación que se tiene en la Ec. (3) y despejando F_{ac}

$$F_l \cdot \frac{0.8}{F_{ac}} = 0.00144 \cdot 0.997 \left[\frac{kg_s}{kg_{ac}} \right] \quad (6)$$

$$F_{ac} = \frac{F_l \cdot 0.8}{0.00144 \cdot 0.997 \left[\frac{kg_s}{kg_{ac}} \right]} \quad (7)$$

Ahora reemplazando Ec. 7 en la Ec. 2 es posible calcular el valor de m_l

$$\frac{F_l \cdot 0.8}{0.00144 \cdot 0.997} = F_l + F_{ass} \quad (8)$$

Donde se tiene que $F_{ass} = 16.724,13 \left[\frac{kg}{semana} \right]$, el cual fue calculado en el Anexo 7.9.1.1

$$F_l = 29,94 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

Lo que implica que utilizando la Ec. 1

$$F_{ac} = 16.754,07 \left[\frac{kg}{semana} \right]$$

A continuación, se tiene una tabla resumen de los flujos del equipo.

Tabla Anexos 55: resumen balances de masa sedimentador

Equipo: Sedimentador					
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F32	16.754,07	Agua Cruda	1,00	16.754,07	[kg/semana]
Nombre corriente	Entrada [Kg/semana]	Especie	Fracción másica	Masa en corriente	Unidad
F33	29,94	Lodos	1,00	29,94	[kg/semana]
F34	16.724,13	Agua sin sedimentos	1,00	16.724,13	[kg/semana]

- Discusiones**

Al asumir que las densidades del agua cruda como el agua sin sedimentos se mantiene, implica que se puede multiplicar la concentración del agua con sólidos con la densidad del agua a 25°C, lo cual Tiene Directa relación con los flujos de agua cruda que se debe obtener del río, como la cantidad de lodos que sale del equipo. Este supuesto no está tan alejado de la realidad, pues la concentración de los sólidos en suspensión es pequeña.

En relación con la cantidad de agua que tienen los lodos, implica que, si se generan lodos con mayor contenido de agua, la cantidad que se debe tomar del río debe ser mayor para

poder satisfacer las necesidades de la planta, por lo cual, se debe controlar el porcentaje de humedad de los lodos, para sacar el agua necesaria del río y así no incumplir con los derechos de agua que tendrá la organización.

7.9.2.2. Dimensionamiento

- *Datos y supuestos*

Los datos bibliográficos que se necesitan para el dimensionamiento de este equipo son los siguientes:

Tabla Anexos 56: datos para dimensionar el sedimentador

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Diámetro de partícula[45]Diámetro de partícula[45] ¹	d	0,00001	[m]
Densidad de partícula [45] [49]Densidad de partícula [45] [49]	ρ_a	2260	[kg/m ³]
Densidad del agua [17]	ρ	997,14	[kg/m ³]
Viscosidad del agua[17]	μ	0,001	[kg/(m s)]
ppm de sólidos	Z	1444	[ppm]
Gravedad [50]Gravedad [50]	g	9,8	[m/s]

Los supuestos que se toman para el dimensionamiento del equipo son los siguientes:

- La densidad utilizada para los cálculos es la menor de las densidades encontradas.
- El diámetro utilizado es el menor de los diámetros encontrados.
- El sedimentador opera dos horas diariamente cinco días a la semana.
- Se asume régimen de Stokes.

- *Ecuaciones y resultados*

Para calcular el área del sedimentador se establece la siguiente ecuación

$$A = \frac{Q}{v_s} \quad (9)$$

Donde:

$Q = \text{flujo volumétrico de agua cruda} \left[\frac{m^3}{s}\right]$

$v_s = \text{velocidad de sedimentación} \left[\frac{m}{s}\right]$

El valor de Q viene dado por el flujo F , este debe quedar en unidades de m^3/s , para esto tenemos lo siguiente

$$Q = \frac{F \left[\frac{kg}{semana}\right] \cdot \left[\frac{semana}{5 \text{ días}}\right] \cdot \left[\frac{día}{2 \text{ hora}}\right] \cdot \left[\frac{hora}{60 \text{ min}}\right] \cdot \left[\frac{min}{60 \text{ s}}\right]}{\rho \left[\frac{kg}{m^3}\right]} \quad (10)$$

$$Q = \frac{16.754,07 \left[\frac{kg}{semana} \right]}{997.13 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 36.000 \left[\frac{s}{semana} \right]} \quad (11)$$

$$Q = 4,67 \cdot 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (12)$$

Luego para calcular el valor de v_s se tiene la siguiente ecuación

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} \cdot d^2 \quad (13)$$

Donde:

g = aceleración de gravedad $\left[\frac{m}{s^2} \right]$

ρ_s = densidad del sólido $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

ρ = densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

d = diámetro de la partícula $[m]$

Luego reemplazando

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot \frac{(2240 - 997.14) \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{0.001 [m]} \cdot (0.00001)^2 [m^2] \quad (14)$$

$$v_s = 6,88 \cdot 10^{-5} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Finalmente reemplazando los términos en la ecuación

$$A = \frac{4,66 \cdot 10^{-4}}{6.88 \cdot 10^{-5}} \quad (15)$$

$$A = 6,78 [m^2]$$

- *Discusiones*

Al elegir la densidad y el diámetro de partícula más pequeña, se asegura que la velocidad de sedimentación sea la menor posible, esto implica que las partículas bajan lo más lento posible, y por lo cual el volumen del equipo aumenta, lo que repercute en que el área del sedimentador es mucho mayor, por lo cual se tiene que el diseño de este equipo es conservativo.

Como el sedimentador opera dos horas diarias, cinco días a la semana, el área del sedimentador aumentador, por lo cual si se quiere operar más horas a la semana el sedimentador será más pequeño.

El régimen de Stoke, implica que la velocidad a la entrada del sedimentador es en estado cuasi estacionario, es decir, que la velocidad en la superficie del equipo es cero, por ende, las partículas no se mueven, para poder cumplir esto el diseño del sedimentador tiene que ser tal que permita que la velocidad en la superficie sea prácticamente nula, si no se logra el sedimentador no funcionará en su óptimo.

7.10. Anexo 10: Dimensionamiento de equipos por catálogo

En el presente anexo, se señalan los equipos requerido por búsqueda de catálogo. Se tiene que estos equipos operan de forma Batch una vez al día, por ende, solo funcionan una hora, ya que como se muestran en la tabla, poseen la capacidad para cumplir los requerimientos del caso base.

Tabla Anexos 57: equipos dimensionados por catálogo

Línea	Equipo	Parámetro		
		Requerido		Ofrecido
Bebida de almendra				
	Descascaradora [51]	Flujo	516[kg/día]	500 [kg/hr]
	Blanqueador[52]	Flujo	240[kg/día]	300[kg/hr]
	Molador[51]	Flujo	2400[kg/día]	400-600 [kg/hr]
	Mezclador[53]	Flujo	2600[kg/día]	450-2700[kg/hr]
	Homogeneizado[54]	Flujo	2600[kg/día]	5400[kg/hr]
	Pasteurizador[55]	Flujo	2600[kg/día]	2700[kg/hr]
Pellet de almendra	Molador[51]	Flujo	300 [kg/día]	300[kg/hr]
	Prensador[56]	Flujo	300[kg/día]	500-800 [kg/hr]
Queso de almendra	Mezclador[53]	Flujo	800 [kg/día]	450-2700[kg/hr]

7.11. Anexo 11: Carta Gantt tiempos de operación de equipos

En la Figura Anexos 24 se muestra la carta Gantt que incluye los tiempos de operación de cada línea, el color verde indica lo procesado el día anterior y el amarillo el mismo día, en jornadas de 10 horas 5 veces a la semana.

Equipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Triturador de cáscara										
Ciclón										
Tanque de remojo										
Blanqueador										
Intercambiador de calor										
Moedor										
Filtro prensa										
Mezclador										
Homogeneizador										
Pasteurizador										
Mezclador										
Reactor Batch										
Autoclave										
Moedor 2										
Pelletizadora										
Sedimentador										
Reactor PFR										

Figura Anexos 24: carta gantt de la planta completa.