

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA EN UNA PLANTA DE EXTRUSIÓN DE ALIMENTO PARA
MASCOTAS**

PRÁCTICA DIRIGIDA DE GRADUACIÓN SOMETIDA A CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
QUÍMICA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
QUÍMICA

KAREN PATRICIA SOLÍS VALLE

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO
SAN JOSÉ, COSTA RICA

2018

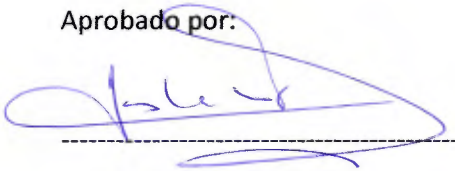
EVALUACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA EN UNA PLANTA DE EXTRUSIÓN DE ALIMENTO PARA MASCOTAS

Práctica dirigida de graduación sometida a consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Sustentante:  _____

Karen Patricia Solís Valle

Aprobado por:



Dr. Esteban Durán Herrera

Presidente



Lic. Natalia Montero Rambla

Directora



Lic. Esteban Gamboa Gamboa

Lector

Lic. Mario Araya Ruiz

Lector



Lic. Allan Mora Vindas

Lector de Objetivos

Agradecimientos

Me gustaría agradecer primeramente a Dios por amarme, darme gracia y propósito en esta vida y, al mismo tiempo, por capacitarme, guiarme y darme fuerza durante esta etapa. A mi familia por estar siempre a mi lado y por apoyarme en cada paso. A Adiel por acompañarme en la parte final de este proceso con sus palabras de ánimo y sus actos de servicio. A mis amigos por ser siempre una fuente de compañía y apoyo incondicional. A mis profesores y al comité asesor por su dirección y ayuda y a Mario Araya por permitirme realizar la práctica en la empresa.

“Encomienda al Señor tu camino; confía en él, y él actuará.”

Salmos 37:5 (NVI)

Resumen

El objetivo principal de esta práctica dirigida fue evaluar las oportunidades de mejora en una planta de extrusión de alimento para mascotas por medio del análisis de los puntos de merma y un estudio de viabilidad de incorporación de agitación en los tanques de almacenamiento de aceite. Se estudió el proceso productivo manejado por la empresa de interés y se creó un diagrama de flujo de proceso correspondiente. Se realizaron los balances de masas asociados a las operaciones unitarias presentes y se analizó su influencia en la merma de los procesos. Además, se evaluó la forma de calcular dicha merma.

Para verificar la posibilidad de incluir agitación en los tanques de almacenamiento de aceite de pollo se realizaron pruebas a escala en donde se expuso el aceite a agitación simple, doble y sin agitación, para luego medir el índice de peróxidos por medio del método de valoración. Se realizó una validación de los resultados y, a causa de esto, se decidió corregir los datos por medio del método de espectrofotometría. A los datos recopilados se les realizó un análisis estadístico para determinar el efecto de la agitación.

A partir del balance de masa, se determinó que existe un problema en la forma en que se calcula la merma actualmente, lo que podría causar una idea errónea en cuanto a la merma real de la empresa. Por otro lado, se tiene un bajo aprovechamiento de la masa en la mezcladora con aspersión debido a una baja absorción en el alimento, causando así pérdidas en el proceso. De la misma forma, existe poco control sobre lo que sucede en el secador, donde existe probablemente la mayor pérdida de masa causada por la evaporación, lo que se traduce en el cambio de los parámetros por el operador, de una forma arbitraria y en algunos casos tardía. Por último, se trabaja con una materia prima bastante húmeda que provoca que se tenga una masa alta al inicio que no se ve reflejada al final del proceso porque mucha de esta se pierde en evaporación.

En cuanto a la posibilidad de agitación en los tanques de almacenamiento se determinó que estadísticamente no se tiene una diferencia significativa en la oxidación al utilizar agitación simple. Por tal razón, se diseñó la agitación necesaria y se analizó, desde el punto de vista económico, su beneficio con respecto al pago actual al operario de limpieza del depósito.

En conclusión, se recomienda a la empresa un nuevo método para calcular la merma que garantice un dato más preciso. Además, se propone la utilización de un vacío leve en la mezcladora y un sistema de control automático en el secador que brinde más seguridad de las características y homogeneidad del producto que sale de dicho equipo. Asimismo, se propone la evaluación de los procesos actuales para obtener la harina, lo que se realiza en otra de las plantas asociadas a la empresa, y el estudio de las implicaciones del manejo y almacenamiento del producto si se redujera la humedad inicial.

En cuanto a la propuesta de la instalación de agitación en los tanques de almacenamiento de aceite de pollo, se determinó por medio de cotización que el agitador a implementar tendría una potencia de 0.5 HP con transmisión por engranaje. Sin embargo, al realizar el análisis financiero se encontró una relación costo-beneficio de 0.438, indicando que no es viable desde ese punto de vista, por lo

que se propone el estudio de otros métodos para eliminar el depósito como la instalación de una tubería externa con bomba para recirculación o la aplicación de mayor temperatura por medio de chaqueta o serpentines.

Índice de Contenido

Resumen	i
Índice de Contenido	iii
Índice de Cuadros	v
Índice de Figuras	ix
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Marco Teórico	3
2.1 Proceso de elaboración de alimento animal.....	3
2.1.1 Molienda y Tamizado	3
2.1.2 Acondicionamiento y Extrusión	4
2.1.3 Secado	5
2.1.4 Revestimiento	7
2.2 Factores de interés en el producto terminado	7
2.3 Oxidación del aceite	9
2.4 Diseño de tanques agitados	11
2.5 Análisis Costo-Beneficio	12
Capítulo 3. Análisis de los puntos de merma	15
3.1 Descripción del Proceso	15
3.2 Cálculo de la Merma	19
3.3 Balances de Masa del Proceso	22
3.3.1 Molino	22
3.3.2 Acondicionador y Extrusor	23
3.3.3 Secador.....	25
3.3.4 Mezcladora con aspersion	27
3.3.5 Enfriador.....	29
3.4 Vista Global del Proceso.....	30
3.5 Propuestas de Mejora	33
3.5.1 Cálculo de la merma.....	33
3.5.2 Reducción de merma	35
Capítulo 4. Análisis de la implementación de agitación en tanques de almacenamiento de aceite de pollo	37

4.1	Caracterización del Aceite	37
4.1.1	Metodología	37
4.1.2	Resultados	40
4.2	Metodología para la medición de Índice de Peróxidos por valoración.....	41
4.3	Resultados para la medición de Índice de Peróxidos por valoración.....	43
4.4	Metodología para la corrección de Índice de Peróxidos	45
4.4.1	Materiales y Reactivos.....	45
4.4.2	Procedimiento	45
4.4.3	Equipo.....	46
4.5	Resultados para la corrección de Índice de Peróxidos	46
4.6	Análisis Estadístico.....	48
4.7	Propuestas de Mejora	52
4.7.1	Análisis Financiero	54
Capítulo 5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	57
Capítulo 6.	Bibliografía.....	59
	Nomenclatura.....	61
	Apéndices	63
	Apéndice A. Datos experimentales	63
	Apéndice B. Datos Intermedios	81
	Apéndice C. Muestra de Cálculo.....	85

Índice de Cuadros

Cuadro 3.1. Datos promedio obtenidos de la muestra antes y después del paso por el molino. ...	22
Cuadro 3.2. Datos del acondicionador/extrusor para la producción de producto A requeridos para la determinación del cambio de humedad.	24
Cuadro 3.3. Resultados obtenidos para el análisis de humedad del acondicionador/extrusor.....	25
Cuadro 3.4. Datos recolectados para el ingreso y salida del secador para el análisis de pérdida de humedad de los pellets en el equipo.	26
Cuadro 3.5. Comparación de los resultados obtenidos para el análisis de humedad en el secador.	26
Cuadro 3.6. Datos asociados al mezclador mezcladora con aspersión para el cálculo de la humedad final del sólido.	27
Cuadro 3.7. Comparación de los resultados obtenidos para el análisis de humedad en el mezclador mezcladora con aspersión.	28
Cuadro 3.8. Comparación de las humedades para el estudio de la pérdida de humedad en un ducto conector.	28
Cuadro 3.9. Datos recolectados para el ingreso y salida del enfriador para el análisis de pérdida de humedad de los pellets en el equipo.	29
Cuadro 3.10. Datos recolectados para el ingreso y salida del secador para el análisis de pérdida de humedad de los pellets en el equipo.	29
Cuadro 3.11. Comparación de datos de humedad reales y teóricos para cada etapa en el proceso productivo.	30
Cuadro 3.12. Comparación de datos de masa reales y teóricos para cada etapa en el proceso productivo.	32
Cuadro 3.13. Masa perdida y merma para el proceso analizado desde el punto de vista teórico y real.	33
Cuadro 4.1. Equipo utilizado en totalidad para la caracterización del aceite.	40
Cuadro 4.2. Resultados obtenidos para la caracterización del aceite nacional utilizado en la empresa.	41
Cuadro 4.3. Dimensiones del tanque real y a escala para pruebas de laboratorio de viabilidad de agitación.	42
Cuadro 4.4. Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para el índice de peróxidos (IP) obtenido por valoración de aceite de pollo sometido a distintas formas de agitación.	44
Cuadro 4.5. Datos obtenidos para índice de peróxidos (IP) en la corrida de validación.	44
Cuadro 4.6. Equipo utilizado en para la medición del índice de peróxidos por espectrofotometría.	46
Cuadro 4.7. Resultados de ambos métodos para concentraciones de peróxidos conocidas.	46
Cuadro 4.8. Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para el índice de peróxidos (IP) corregido de aceite de pollo sometido a distintas formas de agitación.	48
Cuadro 4.9. Análisis de varianza realizado con la herramienta Minitab (Versión de Prueba) para los datos de índice de peróxidos.	51
Cuadro 4.10. Resultados desplegados por Minitab (Versión de Prueba) para la prueba de Tukey.	51
Cuadro 4.11. Resultados obtenidos para la potencia del agitador propuesto.	52

Cuadro 4.12. Resultados de la simulación realizada para la cotización del agitador.	53
Cuadro 4.13. Componentes del beneficio obtenido a partir de la implementación del agitador.	54
Cuadro 4.14. Componentes del costo asociado a la implementación del agitador.....	55
Cuadro 4.15. Resultados del análisis costo-beneficio.....	55
Cuadro A. 1. Datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al acondicionador.	63
Cuadro A. 2. Datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al extrusor y secador.	64
Cuadro A. 3. Datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados a la mezcladora por aspersión y al producto terminado.	66
Cuadro A. 4. Datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.	68
Cuadro A. 5. Datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador.	73
Cuadro A. 6. Datos del muestreo del secador para el caso mínimo y promedio.....	79
Cuadro A. 7. Datos del muestreo de la humedad al ingreso y la salida de la mezcladora.	79
Cuadro A. 8. Datos del muestreo del enfriador para el caso mínimo y máximo.	79
Cuadro A. 9. Datos obtenidos de la estandarización de la disolución de NaOH.....	79
Cuadro A. 10. Datos obtenidos de la estandarización del tiosulfato de sodio	80
Cuadro A. 11. Datos obtenidos de la determinación de la acidez del aceite.....	80
Cuadro A. 12. Datos obtenidos de la determinación del índice de peróxidos del aceite.	80
Cuadro A. 13. Datos obtenidos de la determinación de la humedad del aceite.	80
Cuadro A. 14. Datos obtenidos de la determinación de la densidad del aceite.	80
Cuadro A. 15. Datos obtenidos en la medición de absorbancia y volumen consumido por soluciones de concentración de peróxidos conocida.....	80
Cuadro B. 1. Cálculos intermedios realizados para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso máximo.	81
Cuadro B. 2. Cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso mínimo.	81
Cuadro B. 3. Cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso promedio.....	81
Cuadro B. 4. Cálculos intermedios para el cálculo de la humedad y flujo másico final en la mezcladora por aspersión.....	82
Cuadro B. 5. Cálculos intermedios realizados para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el enfriador para el caso promedio.....	82
Cuadro B. 6. Cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el enfriador para el caso máximo.....	83
Cuadro B. 7. Determinación de masa y humedad final del sólido en el secador para el caso mínimo.	83
Cuadro B. 8. Cálculos realizados para la determinación de la normalidad de la disolución de NaOH.	83
Cuadro B. 9. Cálculos realizados para la determinación de la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio.....	84
Cuadro B. 10. Datos intermedios de las pruebas de laboratorio para el índice de peróxidos corregido de aceite de pollo sometido a distintas formas de agitación.....	84

Cuadro B. 11. Cálculos realizados para la determinación de la potencia del agitador propuesto...	84
Cuadro B. 12. Cálculos realizados para la determinación del costo asociado al consumo energético.	84

Índice de Figuras

Figura 2.1 Diagrama de una extrusora con sus partes (Schmid & Kalpakjan, 2002).	4
Figura 2.2. Diagrama de los tipos de secador directo: a) transversal, b) A través, c) caída del sólido, d) lecho fluidizado, e) transporte neumático (Mccabe, Smith, & Harriott, 2007).....	6
Figura 2.3. Contenido de humedad total y velocidad de secado con condiciones externas constantes (Mccabe, Smith, & Harriott, 2007).....	7
Figura 2.4. Diagrama del isoterma de sorción de un material alimenticio típico (Troller, 1978).....	8
Figura 2.5. Esquema General de la Oxidación de Lípidos (Rojano, 1997).	10
Figura 2.6. Medidas estándar para tanques agitados (Mccabe, Smith, & Harriott, 2007).....	11
Figura 3.1. Extracto del DFP al ingreso de la harina.	15
Figura 3.2. Extracto del DFP del proceso de molienda.	16
Figura 3.3. Extracto del DFP de: a) el proceso de extrusión b) almacenamiento de colorante.	16
Figura 3.4. Extracto del DFP de: a) secador de cinco pisos b) secador de dos pisos.	16
Figura 3.5. Extracto del DFP de: a) ingreso a la mezcladora con aspersión b) sistema de ingreso aceite y saborizante.....	17
Figura 3.6. Extracto del DFP del ingreso a la enfriadora y el proceso de empaçado.	18
Figura 3.7. Diagrama de Flujo de Proceso completo de la planta. Elaborado con respecto al Reglamento para la Confección y Presentación de Planos de Procesos Industriales.	18
Figura 3.8. Datos de merma desglosados para el mes de abril del 2018.	21
Figura 3.9. Datos de merma para el 2017-2018.	21
Figura 3.10. Diagrama de bloques del sistema acondicionador-extrusor.	23
Figura 3.11. Diagrama de bloques del sistema del mezclador mezcladora con aspersión.	27
Figura 3.12. Gráfico del cambio de la humedad para el caso: a) teórico, b) real.....	31
Figura 4.1. Diagrama de tanque con nomenclatura de sus partes.....	42
Figura 4.2. Curva de volumen consumido contra absorbancia.	47
Figura 4.3. Curva de absorbancia contra índice de peróxidos.....	47
Figura 4.4. Residuos obtenidos para el análisis del diseño estadístico aplicado a los valores de índice de peróxidos en el aceite de pollo.	49
Figura 4.5. Prueba de normalidad asociada a los datos de índice de peróxidos de aceite de pollo.	49
Figura 4.6. Prueba de homogeneidad de varianzas para los índices de peróxidos obtenidos de las pruebas en el aceite de pollo.....	50
Figura 4.7. Resultados gráficos desplegados por Minitab (Versión de Prueba) para la prueba de Tukey.....	51
Figura 4.8. Número de Potencia contra Número de Reynolds para distintos impulsores de tipo turbina (Brodkey & Hershey, 1998)	52

Capítulo 1. Introducción

La empresa de interés se encarga de la producción, procesamiento y distribución de alimentos, además de proveer asesoramiento en manejo de riesgo y soluciones financieras. Actualmente cuenta con 16 marcas que incluyen embutidos, pollos y concentrados para animales. Estos productos son procesados en la planta de extrusión donde se cuenta con dos líneas de producción en donde se realiza el mismo proceso de producción para las diferentes marcas manejadas.

Actualmente, dentro del proceso productivo se tienen dos problemas principales. En primer lugar, se tiene una merma considerable la cual provoca una pérdida económica para la empresa por lo que se requiere un análisis del proceso para poder tomar acciones y reducir dichas pérdidas. Por otro lado, se cuenta con tanques de almacenamiento de aceite dentro de la planta los cuales tienen un problema de depósito de aceite en el fondo y requieren limpieza. Esto puede durar hasta medio día de trabajo para un operario y se trata de un trabajo de alta dificultad que conlleva un riesgo para los involucrados, por lo que la empresa busca eliminar dicho problema agregando agitación en los tanques.

Se inició, realizando un estudio del proceso productivo y la construcción del diagrama de flujo de proceso para luego efectuar los balances de masa de cada sección del proceso y de esta forma comparar los datos teóricos con los reales e identificar puntos de mejora. Seguidamente, se realizó un diseño experimental para determinar la viabilidad de la agitación en los tanques midiendo su índice de peróxidos y así verificar que no habrá un aumento en la oxidación del aceite por la presencia de agitación.

Por lo tanto, la presente práctica dirigida tiene como objetivo evaluar las oportunidades de mejora en una planta de extrusión de alimento para mascotas por medio del análisis de los puntos de merma y un estudio de viabilidad de incorporación de agitación en los tanques de almacenamiento de aceite. De la misma forma, se pretenden la aplicación de los conocimientos en operaciones unitarias, diseño de equipos, costos y materiales que son vistos a lo largo de la carrera universitaria de Ingeniería Química.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Proceso de elaboración de alimento animal

La producción de alimento animal es un proceso muy utilizado hoy día y aunque su elaboración puede variar de empresa a empresa, existen pasos esenciales en su producción. En primer lugar, se tiene la obtención de la materia prima que usualmente se trata de subproductos de la producción de alimento para consumo humano que tienen buen contenido nutricional, pero que no son utilizados debido a factores de presentación del producto, estándares para la alimentación humana, entre otros. Esto eventualmente es mezclado en las proporciones dictadas por el departamento de nutrición para garantizar que se proveen los nutrientes necesarios para las mascotas y, a partir de esto, se obtiene la harina que conforma el alimento. Por otro lado, se tiene otros dos elementos importantes, tanto para la contextura como para el sabor del concentrado, que son el aceite y el saborizante. El aceite proporciona conformación del producto y le permite tener la contextura adecuada mientras que el saborizante permite que el alimento sea más apetecible para las mascotas (Joyce & Arcand, 2012).

inicialmente, para el proceso de extrusión se requiere mezclado de la harina, así como acondicionamiento para preparar la materia para ser extruida. Seguidamente, al tener la mezcla con las condiciones de humedad y temperatura necesarias se le agrega colorante, de ser necesario, y se extruye en pellets (Paulino, 2013). Con los pellets de alimento preparados, se puede realizar la adición del aceite junto con el saborizante para luego realizar un proceso de secado y así eliminar la humedad del producto hasta el valor estandarizado. Finalmente, el alimento para a la sección de almacenaje y distribución (Castro, 2017).

Para esto se requiere el uso de diversos equipos y procedimientos apropiados que garanticen la verdadera cocción y la posterior conservación del producto, así como la forma y color deseados. Las partes del proceso se desarrollan con mayor detalle a continuación.

2.1.1 Molienda y Tamizado

En la industria suele requerirse la disminución del tamaño de un sólido para la realización de los distintos procesos productivos. Para realizar esto existen los siguientes métodos para la desintegración del sólido, el primero de ellos es la compresión, ésta se utiliza para tratar los materiales duros de gran tamaño generando material de menor tamaño, pero relativamente grueso. El segundo es el impacto, que genera productos gruesos, medianos o finos. Posteriormente está la frotación que se emplea en materiales blandos no abrasivos para obtener un producto fino y por último está el corte, que genera partículas de un tamaño definido con una cantidad de finos despreciable. En la industria su uso dependerá del tipo de material y producto esperado (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

La molienda es un tipo de frotación y consiste en un proceso de reducción de tamaño de materia sólida por medio del movimiento o rozamiento de esta contra piezas duras. Para estos se usan molinos de diversos tipos como lo son el de bolas, el de barras, el de martillos y el de chorro (Kent, 1994).

Por otro lado, el tamizado es pasar dicha materia por algún tipo de filtro con el propósito de obtener partículas del mismo tamaño. En la industria de alimentos animales se realiza para poder obtener una harina uniforme lo que facilita una cocción total de la muestra, así como una apariencia deseable (Kent, 1994).

2.1.2 Acondicionamiento y Extrusión

Acondicionar la harina es uno de los pasos más importantes para la correcta cocción del alimento, este proceso se encuentra justo antes de la extrusión y se puede considerar como un pretratamiento. En este proceso se agrega agua y vapor a la muestra para realizar un calentamiento de la harina lo cual produce un material más fácil de procesar en el extrusor y que requiere menos energía (Heldman, 2003).

Por otro lado, la extrusión consiste en un procedimiento en el cual una mezcla de ingredientes deseados es pasada a través de un tornillo giratorio y un dado, mientras se le es aplicado calor con el propósito de formar un producto de tamaño y forma deseada. Este procedimiento es ampliamente utilizado en la industria de alimento animal debido a su capacidad de utilizar subproductos de una forma fácil y económica (Tran, 2008).

Para esto se utiliza como equipo un extrusor, el cual consiste en un tornillo que rota dentro de un barril cilíndrico como se aprecia en la Figura 2.1. Los ingredientes entran por medio de una tolva y al encontrarse con el tornillo son empujados hacia delante, creando así una mezcla de textura viscosa. Este movimiento crea presión en el barril y va realizando una cocción del alimento al agregarse vapor y agua, la presión puede estar entre 3 y 6 MPa (Tran, 2008).

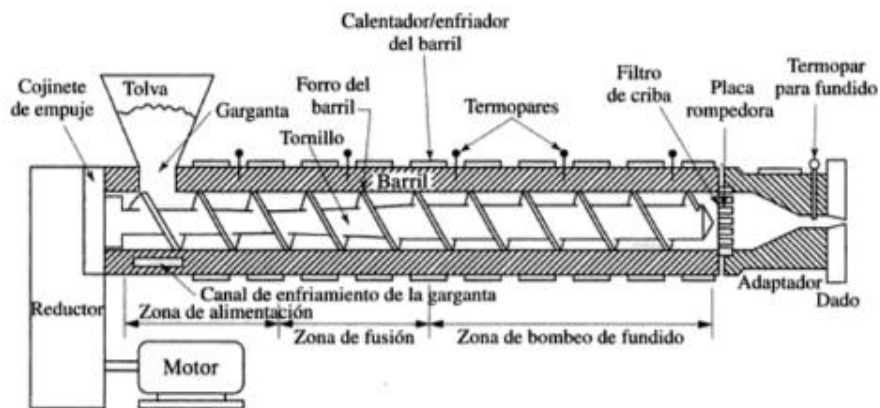


Figura 2.1 Diagrama de una extrusora con sus partes (Schmid & Kalpakjan, 2002).

Existen dos tipos de extrusores, los de tornillo simple y los de tornillo doble. El uso de uno sobre el otro dependerá del tipo de material que se esté utilizando, el producto deseado, la tasa de producción, entre otros. Cada uno presenta sus ventajas ya que el tornillo simple suele ser más económico y con mayor facilidad para el mantenimiento, sin embargo, los de tornillo doble tienen la capacidad de utilizar subproductos con rangos de humedad de 500-900 g/kg y convertirlos en alimento animal (Tran, 2008).

Este proceso es de especial importancia para la calidad del alimento, debido a la gelatinización del almidón que ocurre en esta sección y que permite que la digestión del alimento sea posible. La gelatinización consiste en el proceso en el que, al encontrarse en presencia de calor en un medio acuoso, el almidón se hincha a un punto donde se vuelve irreversible y la estructura del granulo cambia significativamente. Además, del aumento de tamaño también ocurre un cambio en la viscosidad y se forma un tipo de pasta que puede ser cortada y manipulada a como sea deseado. Esto implica que el control de temperatura, de agua adicionada y de tiempo de retención es de gran importancia, ya que determinará si el proceso de gelatinización se realiza de forma completa y correcta (Lund, 2009).

Por otro lado, ocurren otros dos fenómenos de gran importancia que deben ser vigilados para garantizar un buen producto final, los cuales son la desnaturalización de las proteínas y la oxidación de los lípidos. En primer lugar, se conoce que debe ocurrir desnaturalización para que se obtenga la textura deseada, sin embargo, en el proceso de extrusión se pueden desactivar factores nutricionales activos de las proteínas causando así problemas en la digestión, por lo que siempre se debe buscar un balance en la desnaturalización. De la misma forma, el manejo en temperatura y tiempo de retención puede afectar la oxidación de los lípidos incluso después de la extrusión y esto puede causar rancidez, malos olores, problemas en la digestión y que, por consiguiente, deje de ser apto para el consumo tanto humano como animal, por lo que debe ser un parámetro a considerar (Tran, 2008).

2.1.3 *Secado*

El secado consiste en eliminar agua u otro líquido de un material sólido hasta un valor deseado con el propósito de reducir su contenido líquido. Existen diferentes maneras de realizarlo dependiendo del tipo de sólido con el que se esté trabajando, sin embargo, para el caso de alimento animal extruido se suele usar el método de la vaporización térmica. Dentro de esta clasificación se encuentran diferentes métodos de movilizar el sólido y de proveer la transferencia de calor suficiente para evaporar el líquido (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Se puede realizar una clasificación general de los secadores en donde existen tres tipos principales. En primer lugar, se tiene los secadores directos en los que el sólido se encuentra directamente expuesto a un gas caliente; por otro lado, existen los secadores indirectos en los cuales el calor es transferido por medio de una superficie metálica, usualmente, en contacto con vapor de agua condensante. Mientras que, en el último caso, se tienen secadores que utilizan energía dieléctrica, radiante o microondas para realizar la transferencia de calor (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Para los secadores de tipo directo, se tienen diversas formas de poner en el contacto al gas con el sólido. Puede realizarse de forma transversal, donde el gas pasa sobre una lámina de sólidos o puede realizarse de una forma en la que el gas atraviesa el sólido al estar colocado sobre algún tipo de lámina agujereada o tamiz. Por otro lado, el sólido puede hacerse descender a través de una corriente de gas o el gas se hace pasar de forma que se provoque un lecho fluidizado y eleve las partículas sólidas en el espacio estipulado. Finalmente, se puede arrastrar los sólidos con una corriente de gas que lo transporta de un dispositivo de mezcla a un separador, en la Figura 2.2 se aprecian los diagrama de dicho equipos (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

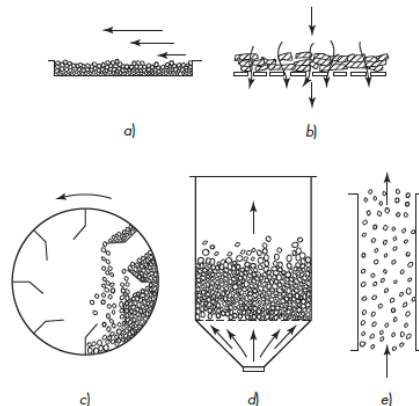


Figura 2.2. Diagrama de los tipos de secador directo: a) transversal, b) A través, c) caída del sólido, d) lecho fluidizado, e) transporte neumático (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

En el proceso de secado la humedad del sólido disminuye con el tiempo, tal y como se observa en la curva A de la Figura 2.3. Luego de un corto periodo de tiempo, donde se calienta la alimentación hasta la temperatura de vaporización, la humedad disminuye linealmente, para luego adquirir paulatinamente un comportamiento asintótico al eje x (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

La velocidad de secado presenta dos partes importantes como se muestra en la Figura 2.3, curva B. La primera es la etapa en la que la velocidad de secado es constante (C), la cual se presenta por un periodo considerable de tiempo. Este comportamiento se debe a que durante esta etapa se da la vaporización de la humedad libre en el sólido. El paso determinante de esta etapa es la difusión de agua a través del sólido hasta la superficie, produciendo una reducción de tamaño en las partículas. En esta etapa la temperatura del sólido debería ser igual que la temperatura de bulbo húmedo, siempre y cuando no haya transferencia de calor radiación o conducción a través del sólido (Mujumdar, 2015).

Luego de la sección de velocidad constante, la curva presenta una caída pronunciada en la pendiente de la curva, dando paso a un periodo de velocidad de secado decreciente (D). En este periodo la velocidad puede decrecer linealmente o generando una curva cóncava hacia arriba o hacia abajo, dependiendo del mecanismo del flujo de humedad interna. Debido a que la capa de líquido sobre el sólido es muy delgada empiezan a aparecer puntos secos, y siendo la velocidad de secado expresada por unidad de superficie, se da un decremento de la tasa de secado, aunque la tasa de secado respecto a superficie húmeda del sólido se mantenga constante (Mujumdar, 2015).

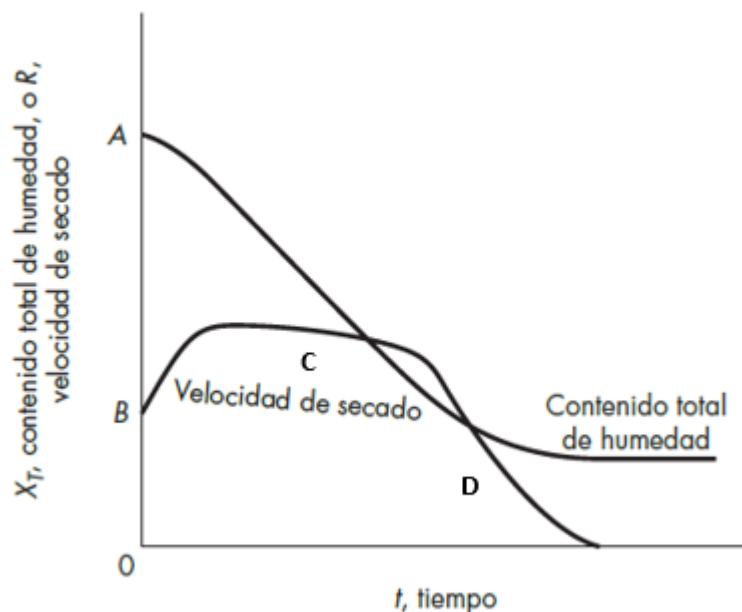


Figura 2.3. Contenido de humedad total y velocidad de secado con condiciones externas constantes (Mccabe, Smith, & Harriott, 2007)

La humedad crítica es la humedad que se alcanza cuando se da un cambio en la velocidad de secado. En el caso de que un sólido posea una humedad menor a este valor, no presenciara la zona de secado a velocidad constante (Mccabe, Smith, & Harriott, 2007).

2.1.4 Revestimiento

En la elaboración de alimento animal extruido suele revestirse el sólido con algún tipo de aceite y saborizante con el propósito de agregar valor nutricional y hacer el producto más atrayente. Esto usualmente se hace por medio de aspersión de la mezcla sobre el sólido para su posterior absorción, lo más rápida y completa posible, antes de que ese enfríe el sólido (Tran, 2008).

El sólido extruido tiende a ser muy poroso por lo que, al agregársele la mezcla líquida, esta puede ingresar al interior del sólido, sin embargo, esta absorción va a depender de factores como la temperatura y la presión. En muchos casos se suele utilizar vacío lo que fuerza al líquido a ingresar por los poros e integrarse de una manera más uniforme a este. Por otro lado, la temperatura permite la apertura de los poros en el sólido y provee más facilidad de absorción, así como mayor fluidez del líquido. De la misma forma, se debe tener un control sobre la cantidad adicionada para evitar el exceso de aceite o la falta de este (Andritz, 2018).

2.2 Factores de interés en el producto terminado

En este tipo de industrias existen diversos factores de interés en el producto terminado que dictan la calidad y capacidad de almacenaje del producto, además del cumplimiento de los requerimientos. Sin embargo, además de la densidad, tamaño y color, hay dos factores que son principales y los

cuales implican el mayor control en la industria. Estos son la humedad del sólido y la actividad de agua (a_w), parámetros que se encuentran directamente relacionados.

La humedad del sólido es un parámetro que se utiliza frecuente en las industrias de alimentos debido a la constante necesidad del uso de agua en los procesos y por el agua intrínseca en las materias primas. Éste cuantifica la cantidad real de agua presente en el sólido, la cual ingresa al sólido por medio de lo que se conoce como sorción y se define como el proceso en el que alimentos sólidos se combinan reversiblemente con moléculas de agua. La sorción se puede analizar a partir de su isoterma en un sistema de alimentos y donde se observan distintos rangos como se aprecia en la Figura 2.4.

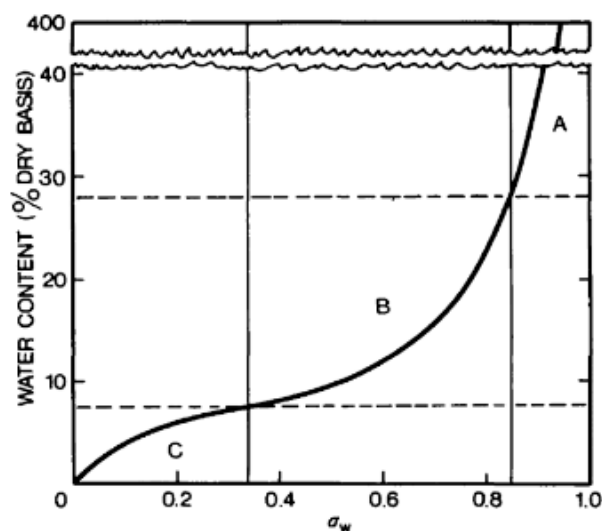


Figura 2.4. Diagrama del isoterma de sorción de un material alimenticio típico (Troller, 1978).

En la sección A se tiene agua ligada, con entalpía de vaporización mucho mayor a la del agua pura y se comporta como una parte del sólido. En esta etapa, el sólido se comporta como un adsorbente rígido que sorbe en sitios activos. Seguidamente, en la sección B se tiene agua menos ligada que en la sección A con entalpía de vaporización todavía un poco superior a la del agua pura. Estas moléculas de agua son sorbidas sobre las primeras moléculas o en huecos nuevos creados por el hinchamiento de las estructuras. Por último, en la sección C se tiene agua libre o no ligada que se encuentra atrapada mecánicamente debido a los espacios vacíos en el sistema. La integración de una gran cantidad de agua en esta etapa indica disolución de los componentes mayoritarios del sistema (Rockland & Stewart, 1981).

De la misma forma, existen dos formas principales de expresar la humedad de un sólido y dependen de la base utilizada para el cálculo. Se puede determinar la humedad en base seca y base húmeda dependiendo de los datos que se poseen y la necesidad. A continuación, se presenta como se realiza el cálculo para cada caso (Mujumdar, 2015).

$$X_s = \frac{m_a}{m_{ss}} \quad (2.1)$$

$$X_h = \frac{m_a}{m_T} \quad (2.2)$$

Donde,

X_s = Humedad en base seca, kg/kg

X_h = Humedad en base húmeda, kg/kg

m_a = Masa de agua, kg

m_{ss} = Masa de sólido seco, kg

m_T = Masa de sólido total, kg

La actividad del agua, por otra parte, consiste en un parámetro intrínseco de las comidas y el equilibrio de la humedad relativa una propiedad de la atmosfera circundante en equilibrio con la comida en consideración. Se trata del parámetro más importante para determinar la posibilidad del crecimiento microbiano, sin embargo, conlleva una gran dificultad debido a las características complejas del alimento de interés y su capacidad de encontrarse un pseudo equilibrio termodinámico. Por otro lado, existe otro tipo de definición para la actividad de agua que tiene un acercamiento cinético ya que ésta refleja la capacidad del agua de ser usada en reacciones químicas y biológicas, lo cual complica su estudio y comprensión. No obstante, actualmente existen una variedad de métodos para poder determinarlo y de esta forma utilizar la actividad de agua en la industria. En el sistema típico se coloca la muestra en una cámara sellada a temperatura controlada donde se permite que el agua libre se escape al aire dentro de la cámara donde se le calcula la humedad relativa en el equilibrio y se compara con el agua pura (Rockland & Stewart, 1981) (Fontana, Barbosa-Cánovas, Schmidt, & Labuza, 2007).

2.3 Oxidación del aceite

Los aceites experimentan, como parte de su ciclo de vida natural, un proceso de oxidación causado por la reacción de los ácidos grasos insaturados y el oxígeno. Es un proceso que sucede por el contacto del aceite con el aire a temperatura ambiente y se caracteriza por tener dos fases importantes. En primer lugar, se tiene una fase conocida como el periodo de inducción, en la que ocurre una oxidación lenta y uniforme que ocurre hasta llegar a un punto de oxidación crítico. Seguidamente, se tiene la segunda fase en donde se tiene un ritmo acelerado de oxidación y donde ocurre el inicio del mal olor característico del proceso de enranciamiento de las grasas (Bailey, 1984).

La oxidación de los lípidos sucede a través de la iniciación, propagación y terminación, en donde la iniciación puede ocurrir por la presencia de metales, calor o luz ultravioleta. En la iniciación hay una abstracción del hidrógeno para la formación de un radical lipídico lo cual puede realizarse por medio de la fotooxigenación, la interacción con compuestos metálicos o hemocompuestos. En la fotooxigenación es necesario que el oxígeno, que se encuentra en su estado fundamental (3O_2), sea activado a 1O_2 por radicales libres formados por el sustrato y sensibilizadores como la clorofila a y b

y la feosfitina a y b. De esta forma, el oxígeno puede reaccionar con el ácido graso y continuar el proceso (Rojano, 1997).

Por otro lado, la interacción con los metales se debe a las trazas encontradas en los alimentos que quedan debido al proceso productivo, entre los que más aceleran la oxidación se encuentra el hierro, el cobre y el magnesio, la concentración de estos determinará la estabilidad del alimento. Para que los iones metálicos puedan realizar la iniciación debe haber presencia de hidroperóxidos, los cuales son descompuestos en radicales para luego continuar el proceso de oxidación (Rojano, 1997).

El último tipo de iniciación ocurre debidos a las hemoproteínas y heminas que están en los vegetales y son las causantes de los malos olores en los alimentos almacenados. En esta iniciación, el hemocompuesto con hierro pasa de Fe^{+2} a Fe^{+3} . Al cumplirse con la iniciación, sin importar el medio, se prosigue con la propagación y la terminación en donde se puede tener la formación de ésteres, cetona, aldehídos, hidrocarburos, productos de polimerización, entre otros, al ocurrir reacciones laterales. En la Figura 2.5. se puede observar el proceso completo con sus posibles ramificaciones (Rojano, 1997).

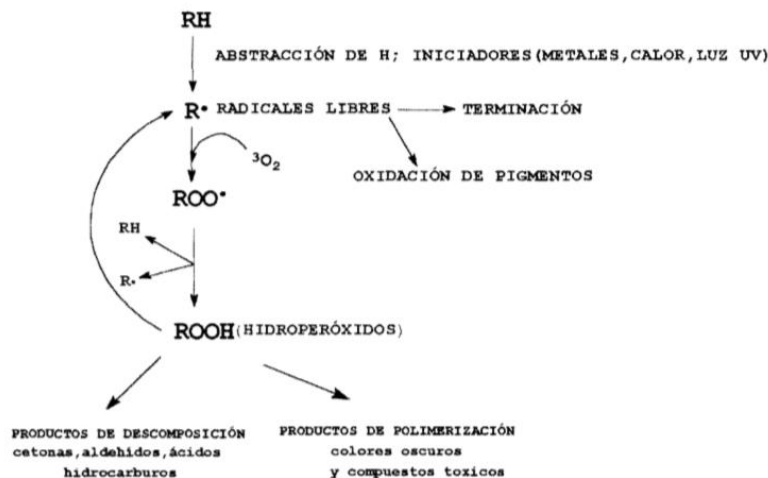


Figura 2.5. Esquema General de la Oxidación de Lípidos (Rojano, 1997).

Las grasas animales más saturadas y los aceites hidrogenados no muestran mucha alteración en el proceso de inducción, pero tienen un enranciamiento súbito y definido. Por otro lado, los aceites relativamente insaturados tienen un proceso de oxidación más paulatino y suelen desarrollar sabores desagradables distintos del rancio. La cantidad de oxígeno que deben absorber dependerá de la composición, antioxidantes y condiciones de operación. Sin embargo, se puede estimar que requerirían del 0.02% al 0.2% en peso del aceite (Bailey, 1984).

Existen diversas formas de cuantificar la oxidación de los aceites, sin embargo, una de las más importantes es el índice de peróxidos. Se define como los miliequivalentes de peróxido por kilogramo de muestra. El índice de peróxidos aumentará conforme ocurre la oxidación hasta alcanzar un máximo en la fase avanzada de oxidación y luego procederá a disminuir al

descomponerse los peróxidos y polimerizar. Éste se puede determinar por medio de diversas técnicas de las cuales las más comunes son: una valoración con tiosulfato de sodio y almidón como indicador para determinar las sustancias que oxidan el yoduro de potasio y por medio de la técnica de análisis NIR (Bailey, 1984).

2.4 Diseño de tanques agitados

Por otro lado, en la industria de producción de alimento animal es común el uso de tanques agitados de almacenamiento para las materias primas como el colorante, saborizante y aceite. La agitación se puede definir como una operación en la que se realizan movimientos de forma irregular en el seno del fluido para obtener un fin deseado en la menor cantidad de tiempo y energía. Es un proceso que realiza cambios físicos, químicos y/o aumenta las tasas de transporte por lo que dichas operaciones se realizan en la industria para diversos propósitos, alguno de ellos corresponden a la suspensión de partículas sólidas, agitación de líquidos miscibles, dispersión de gas en un líquido en forma de burbujas, la dispersión de un líquido en otro para formar una emulsión, el mejoramiento de la transferencia de calor entre un líquido y un serpentín o camisa y evitar la deposición de componentes en una sustancia (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Al realizar la agitación se requiere de diversos equipos que permiten que la operación ocurra de la mejor forma posible. Usualmente se cuenta con un tanque que contiene el fluido, algún tipo de agitador que lo mueva y un motor que permita el funcionamiento de agitador. Además de los componentes básicos se pueden agregar accesorios que garanticen un mejor cumplimiento de los objetivos como las mamparas, chaquetas, entre otros (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Para el diseño del equipo y para garantizar el mejor funcionamiento existen medidas estándar que deben cumplir los tanques en cuanto a longitud y acomodo de los componentes. En la Figura 2.6 se puede observar las relaciones que deben existir entre cada una de las partes del equipo. De la misma forma, existen diversos tipos de agitadores y se pueden clasificar con respecto al tipo de flujo que provocan. De acuerdo con esta clasificación, se pueden dividir en agitadores de flujo axial, flujo radial y de paso cerrado (Uribe, Rivera, Aguilera, & Murrieta, 2012).

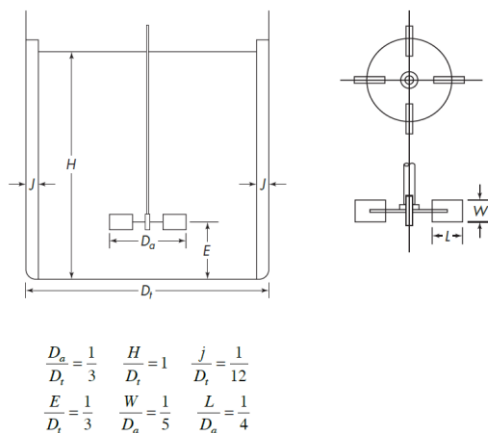


Figura 2.6. Medidas estándar para tanques agitados (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

En ocasiones se requiere realizar un proceso de escalado con el propósito de determinar las condiciones y dimensiones que se tienen que utilizar en el caso de tener un tanque de tamaño mayor y obteniendo los mismos resultados. Para esto se utiliza el valor R que consiste en una razón entre cualquiera de las dimensiones del tanque la cual se aplica a cada una de las nuevas dimensiones para encontrar las nuevas. En el caso de flujo turbulento se tiene cinco consideraciones comunes a la hora de realizar un escalamiento geométrico (Brodkey & Hershey, Transport Phenomena: A Unified Approach, 2003):

- Mismo movimiento líquido: Las velocidades a grande escala serán iguales a las correspondientes a la pequeña escala y el torque por unidad de volumen se mantiene.
- Misma suspensión de sólidos: El nivel de suspensión de sólidos será constante a pesar del cambio de escala.
- Misma transferencia de masa: La tasa de transferencia de masa se mantiene.
- Mismo comportamiento de superficie: La superficie del líquido durante la agitación se mantiene la misma.
- Mismo tiempo de mezclado: el tiempo de mezclado se mantiene a pesar del cambio de escala.

2.5 *Análisis Costo-Beneficio*

El análisis de costo-beneficio es una herramienta que se utiliza para la toma de decisiones que afectan el uso de recursos limitados para promover eficiencia. Conlleva una identificación sistemática de las consecuencias, así como, la evaluación de beneficios y costos lo que al ser analizado lleva a la toma de la decisión y la ejecución de esta (Fuguitt & Wilcox, 1999).

Se pueden encontrar cuatro etapas principales en un análisis de costo-beneficio entre las cuales se encuentra como primera etapa la identificación de los costos y beneficios. Durante esta etapa se analizan los factores mencionados y se justifica su relevancia para el proyecto, se puede tener un enfoque de *con o sin* y un enfoque de *antes y después*. El primero determina los costos y beneficios en términos de ganancias netas que podrían suceder de ocurrir o no el proyecto mientras que el segundo se basa en los datos históricos antes del proyecto y lo que podrían ser después de finalizado el mismo (Nas, 2016).

Seguidamente, se tiene la etapa de valoración de costos y beneficios en donde se debe generar valores para los elementos intangibles y tomar en cuenta el precio de los tangibles. Se obtienen datos de los precios de mercado, sin embargo, estos deben ser corregidos y se puede obtener un precio conocido como precio sombra que permite medir los costos y beneficios del proyecto (Nas, 2016).

Como tercera etapa se tiene la comparación de los costos y beneficios, en esta etapa se debe calcular el valor presente de futuros beneficios y costos del proyecto y compararlos con el valor presente del costo de inversión. Para esto se utiliza una tasa de descuento para los beneficios futuros netos la cual es determinante para la correcta evaluación de los parámetros (Nas, 2016).

Por último, se tiene la selección del proyecto en donde, de tenerse varias posibilidades, se ordenan las opciones en cuanto a los criterios de selección como las tasas de costo-beneficio, valor presente neto y la tasa interna de retorno. Con base en esto se selecciona un proyecto cuando la tasa de costo-beneficio es mayor a uno, el valor presente neto es mayor a cero y la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de mercado (Nas, 2016).

Capítulo 3. Análisis de los puntos de merma

Para poder analizar las propuestas de mejora para la empresa es de gran importancia conocer el estado actual de la planta y cómo funciona su proceso productivo. Para esto se realizó un estudio del funcionamiento general de la planta y una descripción del proceso mediante un DFP y seguidamente, se realizaron los balances de masa del proceso para determinar puntos claves en cuanto a la merma y obtener así, las correspondientes propuestas.

3.1 Descripción del Proceso

La producción de las diferentes marcas de concentrado animal que se trabajan en la planta de extrusión inicia con la descarga de la harina. Ésta proviene de otra de sus plantas y es transportada por camiones que deben ser pesados al ingreso y a la salida con el propósito de verificar que contengan la cantidad de materia prima esperada. En caso de no ser así, se notifica al departamento de inventarios para que dicha diferencia sea registrada y discutida con los responsables.

Estos camiones proceden a descargar la materia prima en la fosa (M-107) en donde es transportada por medio de un tornillo sin fin (M-108) a un elevador (M-109). En este punto existen dos detectores de metales, uno para metales ferrosos (O-110) y otro para metales no ferrosos (O-111), como se muestra en la Figura 3.1. El material aceptado es transportado a las tolvas de materia prima, mientras que el rechazado es llevado a un tamiz (S-112) donde ocurre una separación de los agentes indeseados y se reingresa la harina separada a la fosa.

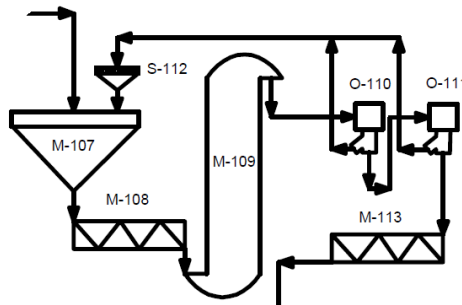


Figura 3.1. Extracto del DFP al ingreso de la harina.

Existen dos líneas de producción en las cuales se realiza el mismo procedimiento variando únicamente en el tamaño del secador y en las tolvas y empacadoras utilizadas. Cada una de esas líneas posee cuatro tolvas de materia prima (M-138-M-141) por lo que, al ingresar el producto, el operario a cargo toma la decisión del número de tolva al que será dirigido el material. Seguidamente, por medio de un distribuidor, se coloca la harina en el molino (Q-142) donde es homogenizada y llevada, utilizando un elevador (M-144), a una tolva de material molido (M-145) que guía el producto hacia un tornillo sin fin (M-146) que descarga en el *bin* (recipiente de almacenamiento - V-147), como se muestra en la Figura 3.2.

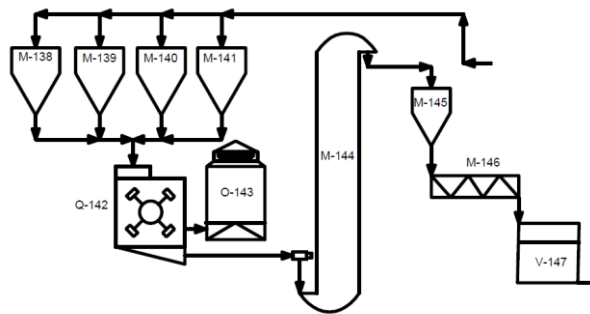


Figura 3.2. Extracto del DFP del proceso de molienda.

Luego, la harina pasa al acondicionador (O-148) donde se le agrega vapor de forma que se cocine la masa. Acto seguido, es pasada a la extrusora (W-149) donde se moldea a la figura deseada y se le inyecta el colorante correspondiente. El colorante se obtiene en forma sólida y es mezclado con agua en tanques agitados (V-101-V-106), como los mostrados en las Figura 3.3, que por medio de tuberías se conectan con la extrusora.

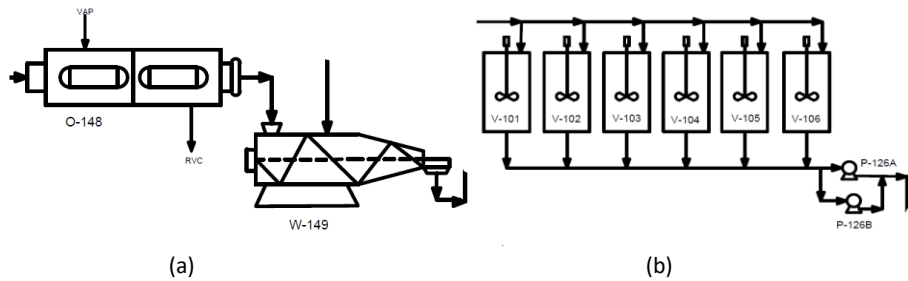


Figura 3.3. Extracto del DFP de: a) el proceso de extrusión b) almacenamiento de colorante.

Seguidamente, el material es succionado hasta un ciclón (M-150, M-127) y, al pasar por una esclusa, ingresa al secador. En este punto, se elimina gran cantidad de humedad del producto por medio del paso de aire y los diferentes platos del equipo. En la línea uno se cuenta con un secador de dos pisos (D-128) mientras que en la línea dos se cuenta con un secador de cinco pisos (D-151), como se observa en la Figura 3.4. Se utiliza la línea que sea más compatible con el flujo a trabajar y la producción necesaria.

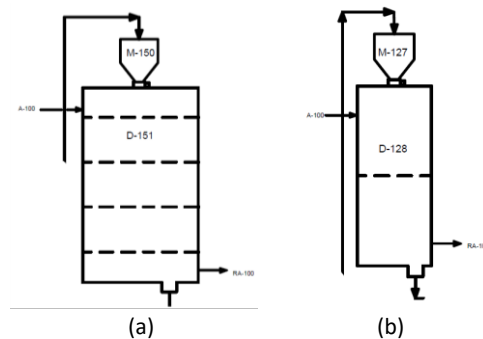


Figura 3.4. Extracto del DFP de: a) secador de cinco pisos b) secador de dos pisos.

A su salida, el material, es arrastrado por medio de un tornillo sin fin (M-152) a un elevador (M-153) que lleva a un tamiz (S-154) para separar cualquier partícula de tamaño no deseado y el material aceptado es llevado a la pre-tolva (M-155). En este punto, el material ingresa a la mezcladora con aspersión (O-156) donde se mezcla con el resto de materia prima: el aceite y el saborizante. En el caso del aceite, éste proviene de la planta de pollo y debe pasar por el mismo pesaje antes mencionado, sin embargo, en este caso es descargado directamente a los tanques de aceite (J-157-J-160) donde se tiene un sistema de calentamiento con vapor. Para el saborizante, se pesan los camiones y luego se colocan las tanquetas en el almacén para que su contenido sea llevado posteriormente a los tanques agitados de almacenamiento (A-162-A-164), según se muestra en la Figura 3.5. Además, se toman muestras de dichos materiales y se llevan al laboratorio para realizarles pruebas de calidad.

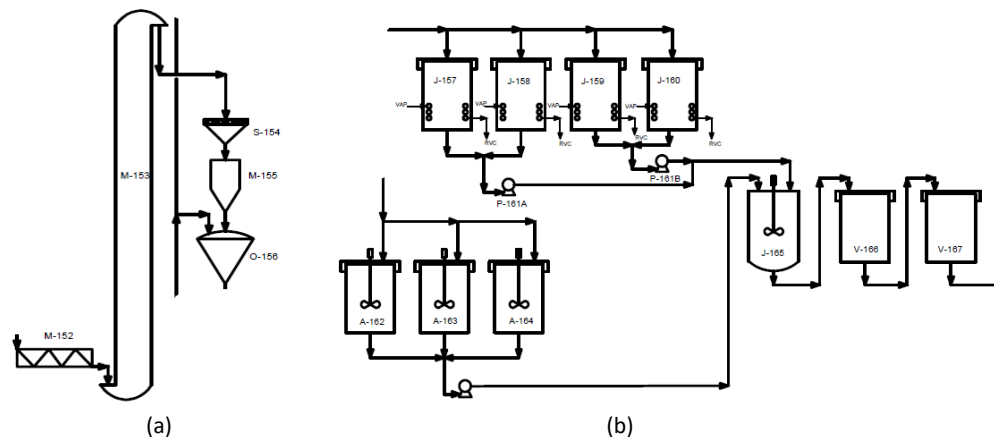


Figura 3.5. Extracto del DFP de: a) ingreso a la mezcladora con aspersión b) sistema de ingreso aceite y saborizante.

Estas materias primas, después de ser extraídas de sus respectivos recipientes de almacenamiento, son mezcladas en un tanque (J-165) para posteriormente ser pesadas y, por medio de una bomba, ser enviadas a la mezcladora con aspersión. Seguidamente, se coloca el producto en la post-tolva (M-168) para luego ingresar al enfriador (O-169) donde se reduce la temperatura del alimento con el propósito de prepararlo para ser empaquetado. De este equipo pasa a un tornillo sin fin (M-170) que guía el material a un elevador (M-171) que lo deposita en alguna de las seis tolvas de producto terminado (M-172-M-177), en donde se unen la línea uno y la dos. Es trabajo del operario seleccionar la tolva a la que ingresa el producto dependiendo de la empacadora que se requiera, como se ilustra en la Figura 3.6, basado en el peso de la presentación deseada. Las tolvas uno y seis pueden enviar producto a la empacadora Macoy sencilla (L-178) y a la empacadora Neta GSE (L-179); la dos y la cinco envían a la empacadora Macoy doble (L-180); y la tres y la cuatro envían a la tolva que guía el producto a la empacadora Thiele (L-183) y a la empacadora Hayssen (L-181). De la empacadora doble se pasa a la empacadora Remak (L-184) que agrupa los paquetes en una cantidad determinada.

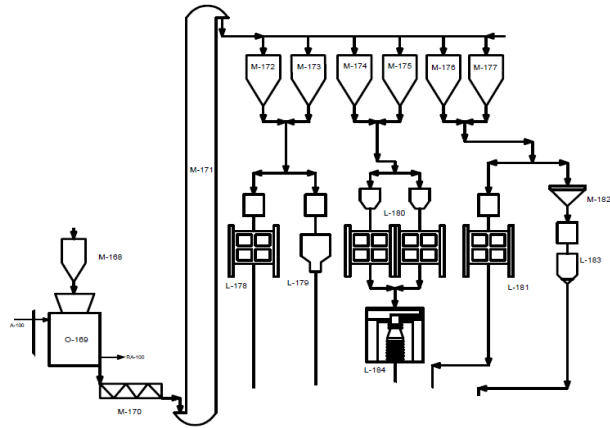


Figura 3.6. Extracto del DFP del ingreso a la enfriadora y el proceso de empaclado.

El tamaño y tipo de empaque se define con base en el plan de producción y posteriormente, se define la carga tomando en cuenta lo disponible en bodega y el pedido de la semana. Finalmente, es colocado en tarimas para luego ser transportado al CEDI Metropolitano. El proceso en su totalidad se puede apreciar en la Figura 3.7.

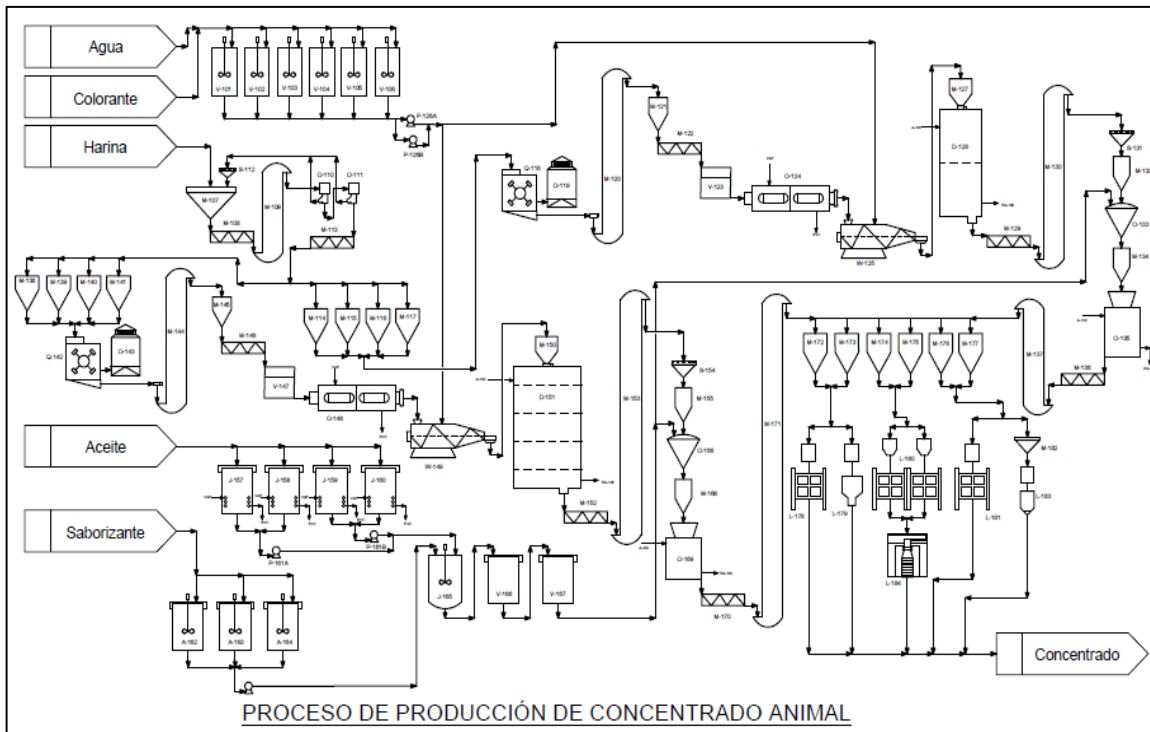


Figura 3.7. Diagrama de Flujo de Proceso completo de la planta. Elaborado con respecto al Reglamento para la Confección y Presentación de Planos de Procesos Industriales.

3.2 Cálculo de la Merma

A lo largo del proceso anteriormente presentado, la empresa cuenta con un problema de merma debido a que el valor de ésta es superior a lo que se desearía y, además, hay parte de ella que no está identificada. Actualmente, para realizar el cálculo de la merma se efectúa una resta de las entradas de materia prima e inventario con respecto a las salidas, que incluyen al producto terminado, las devoluciones y los desechos. Esta resta brinda el valor de inventario final teórico y al restarse con el inventario real reportado se puede comparar con la producción y de esta forma se obtiene la merma como se muestra en la ecuación (3.2).

$$\text{Inventario}_{f\text{Teórico}} = (\text{Inventario}_i + \text{Entrada}_{MP}) - \text{Salidas} \quad (3.1)$$

$$\%MR = \frac{(\text{Inventario}_{f\text{Teórico}} - \text{Inventario}_{f\text{real}})}{\text{Producción}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Esa diferencia con respecto a lo esperado lo denominan merma y se justifica con los siguientes componentes: pérdidas por la harina, que se refiere a las pérdidas por humedad; las pérdidas por la humedad de los saborizantes; las causadas por las diferencias en el peso del producto terminado al ser ensacado; pérdidas asociadas al producto que sale con una humedad diferente a la establecida; los desechos de las trampas de grasa y las diferencias con la romana camionera. Sin embargo, también existe un faltante al cual no se le tiene una causa asociada.

En el caso de las pérdidas por humedad en las harinas, se calcula sacando la diferencia entre la humedad inicial de la harina y final del producto terminado y multiplicando ese valor por la cantidad total de kilogramos de harina procesados como se muestra en la ecuación (3.3). Esto está directamente asociado con la humedad inicial de la harina y muestra la masa perdida al eliminarse ese excedente de agua inicial.

$$(X_{\text{Harina}} - X_{PT}) \cdot m_{\text{Harina}} = MR_{\text{Harina}} \quad (3.3)$$

Donde,

X_{Harina} = Humedad de la harina inicial, kg/kg

X_{PT} = Humedad del producto terminado, kg/kg

m_{Harina} = masa de harina procesada, kg

MR_{harina} = Merma asociada a la harina, kg

Seguidamente, en la planta se utilizan dos saborizantes los cuales tienen cierto porcentaje de humedad el cual es tomado en cuenta como una merma porque ésta se pierde en el proceso y su peso final es únicamente el saborizante seco. Para su cálculo se multiplica la humedad de cada uno por los kilogramos de saborizante utilizados para el proceso como se muestra en la ecuación (3.4).

$$X_{sab} \cdot m_{sab} = MR_{sab} \quad (3.4)$$

Donde,

X_{sab} = Humedad del saborizante, kg/kg

m_{sab} = Masa de saborizante utilizada, kg

MR_{sab} = Merma asociada al saborizante, kg

Por otro lado, el siguiente valor de merma se calcula al realizar la resta entre los límites de peso de cada una de las presentaciones y se multiplica por la cantidad de unidades realizadas. Este cálculo que se muestra en la ecuación (3.5) permite tomar en cuenta las pérdidas por la imprecisión en el pesaje a la hora de empaquetar.

$$(P_{ideal} - P_{m\acute{a}x}) \cdot n = MR_{empaque} \quad (3.5)$$

Donde,

P_{ideal} = Peso ideal, kg

$P_{m\acute{a}x}$ = Peso máximo, kg

n = Unidades empacadas, adim

$MR_{empaque}$ = Merma asociada al empaque, kg

De la misma forma, se calcula la merma a causa del producto que sale a un valor de humedad diferente al estipulado. Este se realiza al determinar la diferencia entre la humedad final real y la teórica y se multiplica por la cantidad de kilogramos procesados.

$$(X_{pT} - 9.30) \cdot m_{Harina} = MR_{pT} \quad (3.6)$$

Donde,

MR_{pT} = Merma asociada a la humedad del producto terminado, kg

Por último, se toman en cuenta las pérdidas por los desechos de las trampas de grasa, para lo cual se hace una medición de la cantidad de desechos, y las diferencias entre los kilogramos despachados y lo medidos por la romana, para lo que se restan los valores y se tiene la masa perdida en la medición.

$$P_{salida} - P_{romana} = MR_{romana} \quad (3.7)$$

Donde,

P_{salida} = Peso que sale de la planta, kg

P_{romana} = Peso según romana camionera, kg

MR_{romana} = Merma asociada al pesaje de la romana camionera, kg

Para el caso de abril del 2018, que corresponde al dato más reciente al momento del estudio, se puede observar en la Figura 3.8 que el valor que más afecta el proceso corresponde a la materia prima ya que esa humedad se debe perder, sin importar lo que suceda en el proceso, para tener el valor estipulado de producto terminado. También se puede destacar que el valor que tiene una procedencia desconocida no es despreciable ya que es mayor que algunos de los otros efectos conocidos.

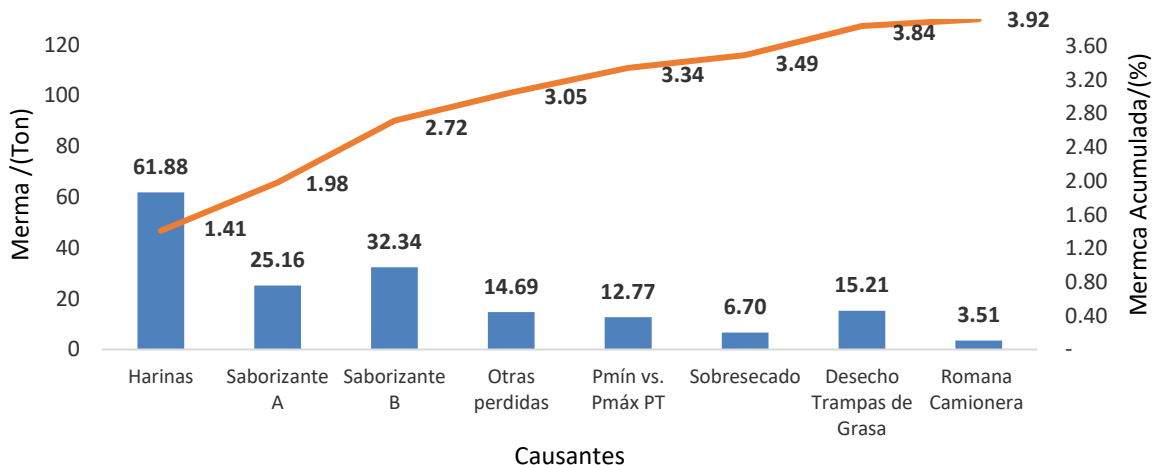


Figura 3.8. Datos de merma desglosados para el mes de abril del 2018.

Además, se puede apreciar en la Figura 3.9 los datos de merma de julio del 2017 a abril del 2018, plazo seleccionado debido a que fueron los datos actualizados más recientes al momento del estudio, se puede observar que su tendencia ha sido al descenso debido a la labor del encargado de inventario y esfuerzos de la empresa, sin embargo, se encuentra en una etapa de crecimiento en los últimos dos meses por razones que ellos desconocen. Los valores presentes de merma son mayores a los que se desearía y es lo que la empresa ha buscado reducir por medio de la implementación de mecanismos como el pesaje manual del alimento a la hora de empaquetar y la revisión de alimento perdido al final las corridas para encontrar justificación a las pérdidas desconocidas.

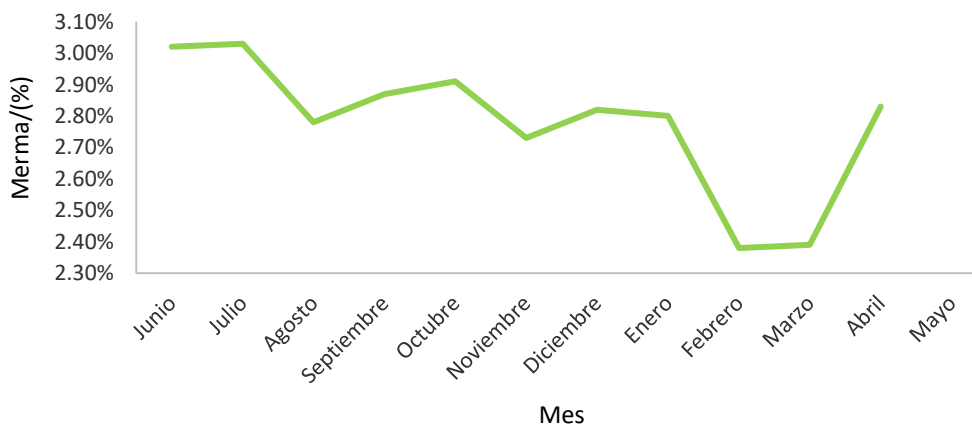


Figura 3.9. Datos de merma para el 2017-2018.

3.3 Balances de Masa del Proceso

Para identificar los puntos críticos del proceso se realizaron los balances de masa para cada sección y se compararon con los datos reales que se obtienen en el día a día y que son registrados en las hojas de control, cabe destacar que se realizó para la línea del producto A, que se trata de unos de los productos de mayor importancia para la empresa. Esto permitió obtener un panorama completo del proceso y conocer las secciones que presentan una mayor diferencia con lo teórico para poder proponer mejoras en las mismas. El estudio por sección se muestra a continuación.

3.3.1 Molino

Parte del proceso en la obtención del concentrado animal consiste en la molienda de la harina, lo cual se realiza para poder tener un tamaño de partícula uniforme. Durante este proceso, debido al movimiento de la materia prima y al paso que debe hacer ésta por las rejillas, ocurre un calentamiento de la harina lo que se traduce en una pérdida de humedad. Ya que esto no puede ser cuantificado teóricamente de una manera efectiva, práctica y sin tener que realizar demasiadas aproximaciones, porque requeriría de alguna expresión para el aumento de temperatura que se ajustara a las características de la harina y del proceso y que también pudiera determinar la pérdida de humedad, se tomaron mediciones a la salida del molino para obtener un valor promedio de humedad en este punto. El valor promedio anterior y posterior al paso en el molino se encuentran en el Cuadro 3.1 que se muestra a continuación.

Cuadro 3.1. Datos promedio obtenidos de la muestra antes y después del paso por el molino.

Variables	Valor Promedio
<i>Flujo Másico Inicial/(kg/h)</i>	4273.47
<i>Humedad Inicial/(%)</i>	10.41
<i>Flujo Másico sólido seco/(kg/h)</i>	3828.60
<i>Flujo Másico Final/(kg/h)</i>	4269.18
<i>Humedad Final/(%)</i>	10.32
<i>Cambio de Humedad/(%)</i>	0.09

Se puede observar que el cambio de humedad en esta sección del proceso es muy leve, sin embargo, es de importante consideración para el análisis completo de la transformación de la materia prima. Esta pérdida de humedad y, por lo tanto, de masa, consiste en una pérdida necesaria en el proceso, ya que la molienda es requerida y el calentamiento por fricción es inevitable. Además, en esta sección la humedad que se pierde consiste en humedad ligada la cual afecta directamente el valor del agua disponible (A_w) y, por lo tanto, de no existir este paso, el valor final de este parámetro sería mucho mayor y el alimento no sería apropiado para ensacar. Por esta razón, no existen modificaciones en esta sección que puedan generar un cambio de peso en la merma general. Además, seguido a este proceso hay una adición de vapor y agua que generan un aumento significativo de humedad, lo que en cuanto al análisis global causaría que el cambio de ésta para el molino sea despreciable y realizar algún tipo de esfuerzo por evitar que haya pérdidas de masa en esta etapa sería de poca utilidad.

3.3.2 Acondicionador y Extrusor

El siguiente paso en el proceso consiste en el ingreso de la harina molida al acondicionador y extrusor en donde se agrega agua, vapor y calor para realizar una cocción del alimento y seguidamente, darle la geometría deseada al mismo. Esta es una de las etapas más cruciales para el éxito en la producción de alimentos para mascotas y resulta de gran importancia para el análisis del cambio de masa durante todo el proceso. Por lo tanto, al realizar el balance de masa como se muestra a continuación se puede determinar las condiciones del alimento al finalizar esta etapa.

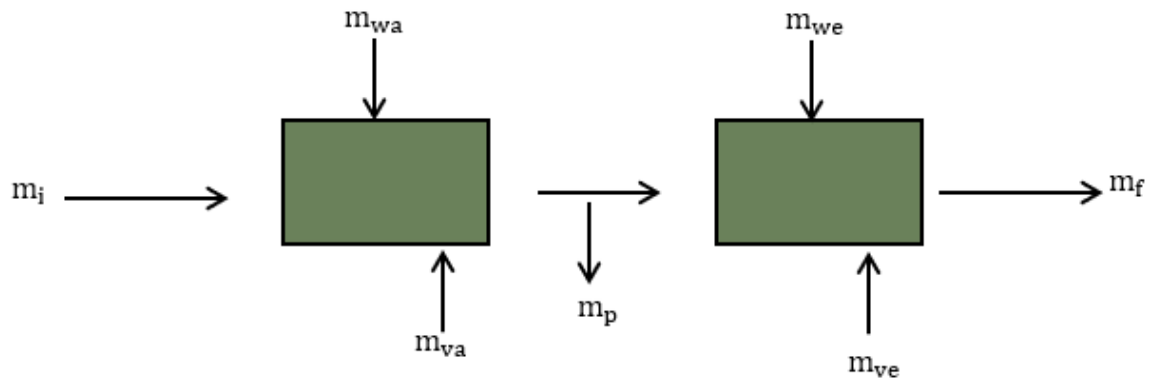


Figura 3.10. Diagrama de bloques del sistema acondicionador-extrusor.

$$m_i + (m_{wa} + m_{va} + m_{we} + m_{ve} - m_p) \cdot 0.95 = m_f \quad (3.8)$$

Donde,

m_i = Masa inicial del sólido, kg/h

m_{wa} = Masa de agua agregada en el acondicionador, kg/h

m_{va} = Masa de vapor agregado en el acondicionador, kg/h

m_{we} = Masa de agua agregada en el extrusor, kg/h

m_{ve} = Masa de vapor agregado en el extrusor, kg/h

m_p = Masa de agua perdida en transición, kg/h

m_f = Masa final del sólido, kg/h

Se determina el valor de masa final como la suma de todos los ingresos de masa al equipo adicionado a la masa inicial, pero se toma un 95% de la integración debido a la posibilidad de pérdida en el proceso. Se utiliza dicho valor ya que se conoce que existe una pérdida, sin embargo, no se puede

obtener el valor con certeza y se considera que el 95% puede ser representativo aun considerando que es un cálculo teórico que toma en cuenta cierto grado de idealidad. Por otro lado, se considera que todo el vapor se condensa y pasa a formar parte de la masa total.

Realizando un balance de agua en los dos equipos se puede obtener el valor de humedad final del sólido.

$$m_i \cdot X_i + (m_{wa} + m_{va} + m_{we} + m_{ve} - m_p) \cdot 0.95 = m_f \cdot X_f \quad (3.9)$$

Donde,

X_{ih} = Humedad inicial del sólido en base húmeda, kg/kg

X_{fh} = Humedad final del sólido en base húmeda, kg/kg

Para el análisis se utilizaron los datos obtenidos de la producción del producto A realizada del 12 al 15 de marzo de 2018, datos utilizados debido al momento de producción y por ser representativos del proceso de elaboración de dicho producto. De estos se obtienen los promedios para los valores iniciales necesarios para el cálculo de la masa y humedad a la salida de ambos equipos como se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Datos del acondicionador/extrusor para la producción de producto A requeridos para la determinación del cambio de humedad.

Variables	Valor Promedio
<i>Flujo Másico Inicial/(kg/h)</i>	4269.18
<i>Flujo Másico de Agua Acondicionador/(kg/h)</i>	197.06
<i>Flujo Másico de Vapor Acondicionador/(kg/h)</i>	269.95
<i>Flujo Másico de Agua Extrusor/(kg/h)</i>	184.71
<i>Flujo Másico de Vapor Extrusor/(kg/h)</i>	176.91
<i>Humedad Inicial/ (%)</i>	10.32

Al realizar el cálculo se obtienen los valores presentados en el Cuadro 3.3, en donde se puede apreciar el aumento de un 14.0% de humedad debido a la adición de agua y vapor requerido para efectuar una cocción del alimento. Sin embargo, al compararse con los datos reales, el valor teórico es mucho mayor en cuanto a humedad lo que se ve reflejado también en la masa final. En este caso, esa diferencia observada refleja que existe una eficiencia pobre en el proceso de absorción del agua en el alimento a la hora de pasar por el acondicionador y extrusor, además de que existe una pérdida aproximada del 4% del agua y vapor inyectados. Esto implica que se está utilizando una cantidad de agua y vapor mayor a la que se requeriría si el aprovechamiento fuera mayor lo cual está directamente relacionado con una inversión mayor. Sin embargo, es importante considerar que los cálculos teóricos realizados suponen una idealidad en donde existen mínimas pérdidas por evaporación en el paso entre el acondicionador y el extrusor o a la salida, lo cual se conoce que ocurrirá inevitablemente en mayor grado. De la misma forma, se considera que habrá una casi total

absorción del agua y vapor en el alimento, lo cual no siempre se cumple. Por estas razones, se conoce que el proceso real no podría llegar a los valores calculados, no obstante, podría acercarse más y de esta forma aprovechar de mejor forma los recursos. En términos numéricos la masa que debería ser adicionada al alimento se trata de 787.20 kg, sin embargo, lo que realmente se incorpora al alimento son 536.12 kg lo que indica una pérdida de 251.08 kg. Esto corresponde a un 31.9% de la masa adicionada, lo cual refleja una gran cantidad de masa que no se aprovecha, no obstante, esta cifra no es cuantificada en la merma de la empresa. Lo cual se debe a que el consumo de agua y vapor no es un aspecto que se considere directamente en el cálculo de la merma de la empresa, sin embargo, el uso de estos recursos tiene un costo asociado que podría ser reducido y, por lo tanto, beneficiar a la economía de la empresa.

Cuadro 3.3. Resultados obtenidos para el análisis de humedad del acondicionador/extrusor.

Variables	Valor Teórico	Valor Real
<i>Flujo Másico Inicial/(kg/h)</i>	4269.18	4269.18
<i>Flujo Másico Final/(kg/h)</i>	5056.38	4805.302
<i>Humedad Inicial/(%)</i>	10.32	10.32
<i>Humedad Final/(%)</i>	24.30	20.30
<i>Cambio en Humedad/(%)</i>	14.0	10.0

3.3.3 Secador

La siguiente etapa en el sistema consiste en el proceso de secado que, al igual que el proceso anterior, se considera de gran importancia, sin embargo, en este caso consiste en un punto relevante no solo para el aspecto de calidad sino también para el aspecto económico del proceso ya que determina en gran parte la humedad en el alimento que al ser mayor resulta más barato para la empresa, manteniendo siempre un equilibrio con los requerimientos para la duración y conservación del producto. El balance de masa para este equipo se muestra a continuación.

$$m_{as} \cdot Y_i + m_{ss} \cdot X_{is} = m_{as} \cdot Y_f + m_{ss} \cdot X_{fs} \quad (3.10)$$

Donde,

m_{as} = Masa de aire seco, kg/h

m_{ss} = Masa de sólido seco, kg/h

Y_i = Razón de humedad inicial del aire, kg/kg

Y_f = Razón de humedad final del aire, kg/kg

X_{is} =Humedad inicial del sólido en base seca, kg/kg

X_{fs} =Humedad final del sólido en base seca, kg/kg

Para el cálculo del cambio de humedad en el sólido se realizaron mediciones del flujo, humedad y temperatura del aire a la salida del equipo. Además, por medio de los datos de las condiciones

atmosféricas se pudo determinar las condiciones al ingreso del equipo ya que el aire utilizado para el secador se toma directamente del ambiente. Es importante destacar que debido a la fluctuación constante de las condiciones del aire medido se realizó el estudio para el valor mínimo, promedio y máximo, ya que se conoce que, por el funcionamiento del equipo, éste libera el aire húmedo conforme se cumple con el tiempo de retención del sólido en el equipo. Por esta razón se realizó la medición buscando obtener el momento justo cuando el sólido es expulsado del equipo y, por lo tanto, el aire húmedo también. Por consiguiente, los datos finales utilizados corresponden a la condición máxima y se presentan en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Datos recolectados para el ingreso y salida del secador para el análisis de pérdida de humedad de los pellets en el equipo.

Variables	Datos de Entrada	Datos de Salida
<i>Humedad Relativa/(%)</i>	51	100.00
<i>Temperatura/(°C)</i>	29.3	50.10
<i>Velocidad /(m/s)</i>	-	5.71
<i>Flujo /(m³/h)</i>	-	11152.39
<i>Punto de Rocío/(°C)</i>	18.1	46.75
<i>Razón de Humedad/(kg/kg)</i>	0.014	0.093
<i>Presión Atmosférica/(hPa)</i>	948.8	-

A partir de estos datos, conociendo las características del aire y asumiendo que todo lo que pierde el sólido es transferido al aire, se puede determinar la humedad final del sólido y se puede comparar con los datos reales recolectados por las hojas de control como se muestra en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Comparación de los resultados obtenidos para el análisis de humedad en el secador.

Variables	Valor Teórico	Valor Real
<i>Masa Inicial/(kg/h)</i>	5056.4	4805.3
<i>Masa Final/(kg/h)</i>	4252.9	4230.8
<i>Humedad Inicial del sólido en base húmeda/(%)</i>	24.3	20.3
<i>Humedad Final del sólido en base húmeda/(%)</i>	10.0	9.5
<i>Cambio en Humedad/(%)</i>	14.3	10.8

Se puede observar que en los datos teóricos se tiene un mayor cambio de la humedad como es esperado ya que el análisis supone que no hay pérdidas de masa en la transferencia. Por tal razón, se conoce que el equipo no podrá llegar a esos valores exactamente bajo esas condiciones, sin embargo, puede aprovecharse más el aire ingresado al tener un mayor monitoreo de lo que ocurre con el mismo para así determinar si se está obteniendo la remoción de deseada y mantener condiciones más estables. Esto permitiría un mejor uso de los recursos y se podría garantizar la humedad deseada sin tener que hacer cambios hasta que el producto ya ha salido del equipo. Actualmente, las correcciones en esta parte del proceso se realizan cuando el operario, que toma muestras cada 40 minutos, al ver que el producto está saliendo del equipo con una humedad que no coincide con lo estipulado, ajusta la temperatura del secador, según sea el caso, sin ningún tipo de protocolo o parámetro más que su experiencia.

3.3.4 Mezcladora con aspersión

La siguiente etapa en el proceso consiste en la adición de saborizante y aceite al alimento con el propósito de hacer el producto más atractivo para el consumidor y finalizar su conformación. Esta etapa es importante para el análisis de variación de masa debido a que el saborizante posee apropiadamente un 76% de humedad que es incorporado en el alimento además de la masa de aceite, lo que afecta las características del producto final. Las proporciones de aceite y saborizante se agregan con respecto a la fórmula dictada para cada tipo de alimento y se realiza con respecto al peso del sólido en el equipo de una forma automática.

Para determinar el cambio de humedad en este punto, se realiza un balance de masa total para determinar la masa final del producto y un balance de masa del agua para la humedad como se muestra a continuación en la Figura 3.11 y las ecuaciones (3.11) y (3.12).

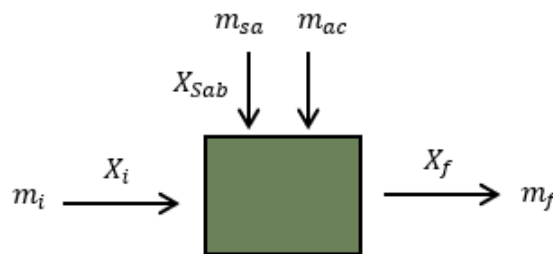


Figura 3.11. Diagrama de bloques del sistema del mezclador mezcladora con aspersión.

$$m_i + m_{sab} + m_{ac} = m_f \quad (3.11)$$

$$m_i \cdot X_i + m_{sab} \cdot X_{sab} = m_f \cdot X_f \quad (3.12)$$

Donde,

m_{sab} = Masa de saborizante, kg/h

m_{ac} = Masa de aceite, kg/h

X_{sab} = Humedad del saborizante, kg/kg

De acuerdo con los datos calculados anteriormente y considerando la capacidad del equipo por tanda seleccionado por el operador y la proporción de saborizante y aceite utilizada durante la producción de Producto A realizada del 12 al 15 de marzo de 2018, se determinaron las variables requeridas para conocer la humedad final de la mezcla como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 3.6. Datos asociados al mezclador mezcladora con aspersión para el cálculo de la humedad final del sólido.

Variables	Valor Promedio
Masa saborizante/(kg/h)	105.25
Masa aceite/(kg/h)	231.15
Humedad del saborizante /(%)	75.2

Al determinar el valor de la humedad final se obtienen los resultados que se muestran en el Cuadro 3.7 en donde se puede ver una variación de la humedad mayor debido a la adición del aceite y saborizante. Al comparar los resultados teóricos con los reales se puede observar una menor incorporación de los ingredientes agregados en el producto. Esto nuevamente refleja la idealidad del cálculo, pero también muestra que hay posibilidad de un incremento en el aumento de la humedad en el sólido. Es importante destacar que, para este caso, hay un cambio en la cantidad de sólido seco ya que la parte del saborizante que no es agua y el aceite se vuelven parte del sólido seco. En términos numéricos se adiciona una masa de 339.83 kg, sin embargo, lo que se incorpora al alimento son 308.62 kg lo que implica una pérdida de 31.21 kg. Esto se trata del 9.18% de la masa adicionada y, por lo tanto, es una pérdida por considerar que actualmente no se toma en cuenta directamente en el cálculo de la merma.

Cuadro 3.7. Comparación de los resultados obtenidos para el análisis de humedad en el mezclador mezcladora con aspersión.

Variables	Valor Teórico	Valor Real
<i>Masa Inicial/(kg/h)</i>	4252.9	4209.9
<i>Masa Final/(kg/h)</i>	4592.7	4518.5
<i>Humedad Inicial del sólido/(%)</i>	10.0	9.1
<i>Humedad Final del sólido/(%)</i>	11.0	9.6
<i>Masa Sólido Seco Final/(kg/h)</i>	4088.5	4085.8

Cabe destacar que la comparación está hecha con respecto a un dato real de 9.1 % el cual corresponde a un cálculo realizado posteriormente en el que se analizó la pérdida de humedad en el ducto que conecta el secador y la mezcladora con aspersión. Esto se llevó a cabo ya que se conoce que el sólido sale del secador a una alta temperatura y es posible que haya una pérdida de humedad en este punto. Esto se pudo comprobar al tomar mediciones del ingreso del sólido a la mezcladora con aspersión de los cuales se obtuvo un promedio y se determinó que efectivamente es menor al promedio de la salida del secador reportada como se muestra en el Cuadro 3.8.

Cuadro 3.8. Comparación de las humedades para el estudio de la pérdida de humedad en un ducto conector.

Sección	Humedad/(%)
<i>Salida del secador/(%)</i>	9.51
<i>Ingreso a la mezcladora con aspersión/(%)</i>	9.06

Se realizó la comparación con respecto al valor medido justo a la entrada de la mezcladora con aspersión debido a que el cálculo teórico provee resultados a partir de que ingresa el producto a la mezcladora con aspersión y si se utiliza el valor a la salida del secador no sería del todo comparable. Por otro lado, el dato final real se determinó mediante la medición de la humedad del alimento justo antes de salir de la mezcladora en donde el promedio fue de 9.6%, lo cual da un cambio de humedad bastante reducido debido a que la adición de agua es baja y el exceso con respecto al estándar es removido en el enfriador. Para el caso teórico no se realizó debido a que no existe una forma de aproximar la pérdida en ese caso, por lo que se asume idealidad y que, por lo tanto, no existe pérdida en el transporte.

3.3.5 Enfriador

La última etapa del proceso consiste en el enfriamiento del producto con el propósito de evitar que haya una evaporación en el interior del empaque que provoque la formación de hongos u otro tipo de problemas en la duración del producto. Esto resulta de gran importancia para el cumplimiento con la fecha de vencimiento del alimento y la garantía de un producto en buen estado. Para esto se utiliza el parámetro de agua disponible (A_w) y, asociado al mismo, se encuentra un valor máximo de 9.30% de humedad en el producto terminado ya que, a pesar de que no existe una directa relación, si este valor es superior el A_w será superior a 0.63, valor estipulado como límite para la formación microbiana. Para el análisis de masas en el proceso, esto es relevante ya que durante ese proceso también existe una pequeña pérdida de humedad debido al aire que recorre el alimento y, por lo tanto, afecta las características finales del producto. Para el balance de masa se realiza el utilizado para el secador que se muestra en la ecuación (3.10), ya que se trata del mismo principio de transferencia de masa del alimento al aire.

Por otro lado, para realizar los cálculos se tomaron mediciones del aire a la salida del equipo y se determinó las características del aire al ingreso al igual que como se realizó para el secador. De la misma forma, se obtuvo el análisis para el mínimo, el promedio y el máximo de los cuales se seleccionó el promedio ya que este equipo se encuentra expulsando el aire que se ha humedecido constantemente. Los datos asociados a esta corrida se muestran en el Cuadro 3.9.

Cuadro 3.9. Datos recolectados para el ingreso y salida del enfriador para el análisis de pérdida de humedad de los pellets en el equipo.

Variables	Datos de Entrada	Datos de Salida
<i>Humedad Relativa/(%)</i>	27.9	15.40
<i>Temperatura/(°C)</i>	39.1	55.70
<i>Velocidad /(m/s)</i>	-	16.29
<i>Flujo /(m³/h)</i>	-	23267.31
<i>Punto de Rocío/(°C)</i>	17.2	20.80
<i>Razón de Humedad/(kg/kg)</i>	0.013	0.017
<i>Presión Atmosférica/(hPa)</i>	948.8	-

A partir de estos resultados se realizó el análisis de la humedad en el sólido en el equipo y se puede comparar con el valor real reportado en las hojas de control, como se observa en el Cuadro 3.10.

Cuadro 3.10. Datos recolectados para el ingreso y salida del secador para el análisis de pérdida de humedad de los pellets en el equipo.

Variables	Valor Teórico	Valor Real
<i>Masa Inicial/(kg/h)</i>	4592.7	4518.5
<i>Masa Final/(kg/h)</i>	4507.0	4499.7
<i>Humedad Inicial del sólido en base húmeda/(%)</i>	11.0	9.6
<i>Humedad Final del sólido en base húmeda/(%)</i>	9.28	9.20
<i>Cambio en Humedad/(%)</i>	1.72	0.38

Se puede observar que el cambio de humedad es menor en el caso real, como es esperado, por las mismas razones antes mencionadas, sin embargo, se conoce que este proceso no busca realmente eliminar humedad el sólido sino enfriarlo para el empaque, por lo que no se debería buscar aumentar la capacidad de remoción de líquido. Únicamente, se debe conocer la capacidad actual de remoción para ser considerada y asegurarse que en los procesos anteriores se reduzca la humedad a la cantidad necesaria para mantener el producto con las características requeridas.

3.4 Vista Global del Proceso

Al recopilar los datos de cada sección se puede analizar el proceso de forma general y observar los puntos en donde hay una mayor pérdida o ganancia de humedad. Además, se puede apreciar los puntos en donde hay una mayor diferencia con los datos teóricos.

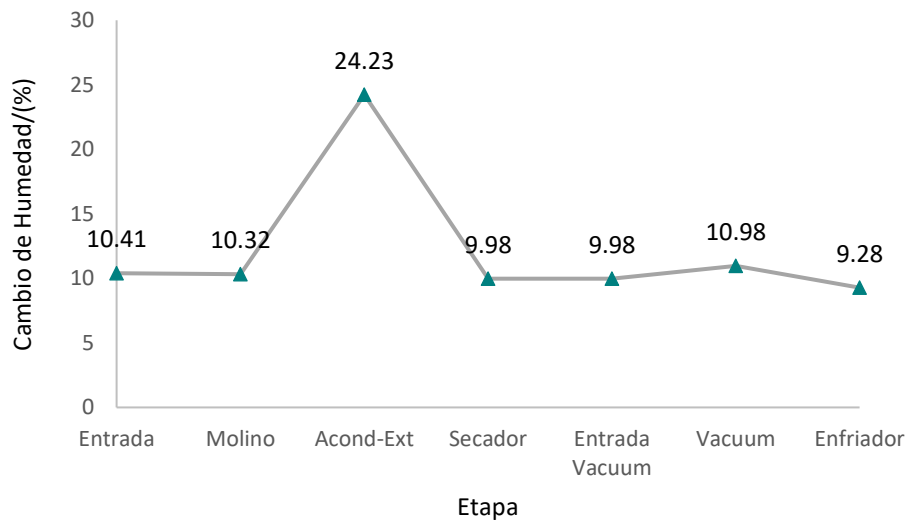
En el Cuadro 3.11. se muestran los datos de humedad para cada una de las etapas del proceso donde se puede apreciar claramente que la sección con un mayor aumento de la humedad corresponde al proceso de acondicionado y extrusión, mientras que en el secador se muestra la mayor reducción de esta. Este aumento importante sucede debido a que es el punto en donde más líquido es agregado a la mezcla y, por lo tanto, su humedad incrementa pronunciadamente, este se puede observar gráficamente en la Figura 3.12. Por otro lado, es importante destacar que al final del proceso la humedad teórica debería ser mucho mayor a la real debido a que se asume idealidad y, por lo tanto, no se consideran las pérdidas en la transición del secador a la mezcladora con aspersión y las otras antes mencionadas. Esto se ve claramente reflejado en la masa final esperada ya que al tener una mejor humedad su peso es menor, además de que al haber distintas partes del proceso que no aprovechan suficientemente las materias primas agregadas hay un exceso de producto agregado, como lo es el caso del acondicionador-extrusor y la mezcladora con aspersión.

Cuadro 3.11. Comparación de datos de humedad reales y teóricos para cada etapa en el proceso productivo.

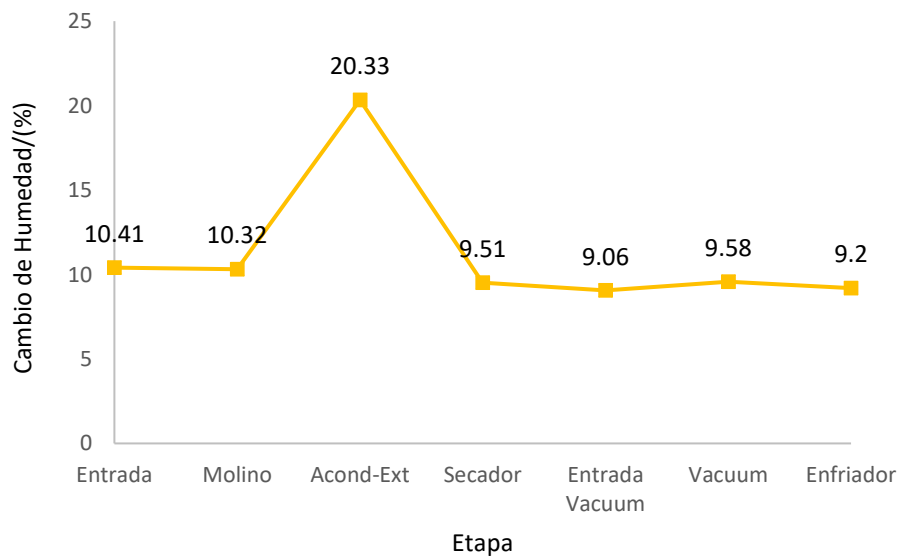
Etapa	Humedad/(%)	
	Datos Teóricos	Datos Reales
<i>Entrada</i>	10.41	10.41
<i>Molino</i>	10.32	10.32
<i>Acondicionador-Extrusor</i>	24.23	20.33
<i>Secador</i>	9.98	9.51
<i>Entrada Mezcladora con aspersión</i>	9.98	9.06
<i>Mezcladora con aspersión</i>	10.98	9.58
<i>Enfriador</i>	9.28	9.20

Al observar la Figura 3.12.a se puede ver más gráficamente lo que debería ocurrir teóricamente en el proceso y en la Figura 3.12.b se puede ver el caso actual. Como se mencionó anteriormente, se puede notar que el proceso actual tiene poco aprovechamiento en los sectores del acondicionador y la mezcladora con aspersión, así como una baja remoción en el secador y el enfriador provocando una menor cantidad de masa final. Esto puede estar causado por una falta del correcto monitoreo,

en el caso del secador y el enfriador, o que los equipos no se encuentran trabajando de la manera óptima, como la mezcladora con aspersión al no tener vacío y el acondicionador al no lograr la correcta absorción del líquido en la harina.



(a)



(b)

Figura 3.12. Gráfico del cambio de la humedad para el caso: a) teórico, b) real.

Para observar más claramente como esto afecta la masa, en el Cuadro 3.12 se muestra la masa total en cada una de las etapas. Cabe destacar que en este caso se tiene una masa mayor al finalizar el proceso ya que se está utilizando como punto de partida únicamente la masa de harina, de tomarse

en cuenta al inicio toda la materia prima utilizada como aceite, saborizante, etc. se tendría un valor inferior. Sin embargo, como estas materias primas se agregan a lo largo del proceso, no se consideran en el valor inicial y, por lo tanto, el valor final es mayor.

Cuadro 3.12. Comparación de datos de masa reales y teóricos para cada etapa en el proceso productivo.

Etapa	Datos Teóricos	Datos Reales
<i>Entrada</i>	4273.5	4273.5
<i>Molino</i>	4269.2	4269.2
<i>Acondicionador-Extrusor</i>	5056.4	4805.3
<i>Secador</i>	4252.9	4230.8
<i>Mezcladora con aspersión</i>	4592.7	4518.5
<i>Enfriador</i>	4507.0	4499.7

A partir de estos datos se puede obtener la merma mínima teórica para el proceso y obtener la merma del proceso actual, ejemplificado por la corrida escogida. Esto se calcula al realizar un balance de masa total del proceso, en donde se considera la masa de harina, aceite y saborizante en comparación con la masa total final como se muestra en la ecuación (3.13). Para esto se toma en cuenta que la masa de esas materias primas se calcula con respecto a la masa de harina inicial, por lo que se expresan como porcentajes de esta, 2.5 % para el aceite y 5.5% para el saborizante, los cuales se encuentran asociados a cada producto en este caso, el producto A.

$$m_{Harina}(1 + \%aceite + \%saborizante) = m_{pT} + Pe_T \quad (3.13)$$

$$MR_T = \frac{Pe_T}{m_{pT}} \cdot 100 \quad (3.14)$$

Donde,

m_{pT} = Producto terminado, kg

Pe_T = Pérdida total del proceso, kg

MR_T = Merma total, %

Al realizar este cálculo utilizando las masas iniciales de harina y de producto terminado, para los datos teóricos como para los reales se obtuvo las masas de pérdida que se muestran en el Cuadro 3.13 y a partir de las mismas, se calculó la merma. La cual se determina, de acuerdo con la definición manejada por la empresa, como la masa perdida entre la masa final obtenida como se muestra en la ecuación (3.14).

Cuadro 3.13. Masa perdida y merma para el proceso analizado desde el punto de vista teórico y real.

	Datos Teóricos	Datos Reales
<i>Masa Perdida/(kg)</i>	108.38	115.68
<i>Merma/(%)</i>	2.40	2.57

Al analizar estos resultados, se puede concluir que la merma mínima para el proceso corresponde a un 2.40% suponiendo un casi completo aprovechamiento de los recursos, el máximo funcionamiento de los equipos y que no hay pérdidas en el trasiego ni de ningún otro tipo además de lo perdido a causa del exceso de humedad. Esto explica que este valor sea reducido y, por lo tanto, no habría posibilidad de que el proceso llegara a este punto, sin embargo, conociendo este valor se tiene un punto de referencia para tratar de llevar al proceso lo más cercano a él. De la misma forma, se puede ver que existe una mayor pérdida en la realidad que se debe a los puntos de pérdida ya mencionados, tanto en la mezcladora como en la extrusora y los trasiegos. La diferencia entre los datos reales y teóricos se pueden traducir monetariamente a una pérdida de \$2 200 por hora de producción al tomar en cuenta el precio de materia prima como \$277 000 por tonelada lo cual debe buscar ser reducido.

3.5 Propuestas de Mejora

Basado en el análisis realizado en el área de merma del proceso se pudo llegar a diversas propuestas que buscan como fin proveer a la empresa posibles soluciones para los problemas que manejan actualmente, lo que podría significar una mejora financiera para la misma. A continuación, se discuten dichas propuestas, sin embargo, es importante destacar que la empresa durante el análisis se vio envuelta en proceso de traslado por lo que ciertos puntos propuestos se encuentran afectados por dicho movimiento y podrían no ser implementados.

3.5.1 Cálculo de la merma

La empresa, al obtener un valor de la merma a partir de su producción, realiza una justificación de esta según se discutió en la sección 3.2. Se considera que existe un problema a la hora de dicha justificación, esto debido a que se realiza una resta que no es posible realizar debido a las unidades de los términos considerados. Como se explicó en la sección 3.2 el método para determinar la merma asociada a la harina se realiza al restar la humedad de la harina menos la humedad del producto terminado y luego, dicho valor se multiplica por los kilogramos procesados de harina. Sin embargo, en este caso el valor de la humedad, a pesar de ser un porcentaje, contiene unidades asociadas a distintas bases. Para el caso del valor de humedad inicial, esta está calculada con respecto a la masa de harina inicial, mientras que la humedad del producto terminado está asociada a la masa de producto terminado que ya incluye aceite y saborizante. Esto provoca que dichas cantidades no puedan ser restadas, ya que no se está tomando en cuenta que dentro del proceso existe una adición de masa que cambia el valor del sólido seco y, por lo tanto, la base para los cálculos es diferente.

El problema de calcularlo de esta forma consiste que se está omitiendo parte de la pérdida causada por los cambios de humedad de la harina y puede crear la idea de que existe una merma que no está justificada, que en realidad sí es causada por el proceso y necesaria en el mismo.

Por otro lado, se considera que en la justificación de la merma se toman en cuenta factores que ya están considerados en otros componentes de dicha justificación. Esto sucede con el de la humedad del saborizante que se toma en cuenta como una pérdida en su totalidad, aparte del cálculo en la humedad. A como se tiene planteado, se estaría considerando de forma doble la humedad del saborizante ya que el aumento o disminución de la humedad del alimento después de la mezcladora tomarán en cuenta la presencia del saborizante., y por consecuente, la pérdida de agua asociada al mismo. Esto provoca que se justifique una mayor cantidad de a merma que, de calcularse de una forma más apropiada la pérdida asociada a la harina, ya estaría justificada.

De la misma manera, se está tomando en cuenta una diferencia que existe entre la humedad final del producto y la humedad deseada que es de 9.30%, este valor está siendo considerado por duplicado. Esto proviene de que al realizar la consideración de pérdida de humedad hasta el valor real ya se está incluyendo la pérdida que hay entre el 9.30% y la humedad del producto terminado.

Los problemas en la justificación ya mencionados podrían ser solucionados al realizar una determinación efectiva de la masa que se pierde a lo largo del proceso y tomando en cuenta las otras pérdidas encontradas a través del análisis. Por tal razón, se propone el método que se explica a continuación y que fue utilizado para determinar la pérdida de masa en la corrida del proceso analizado en los capítulos anteriores.

En primer lugar, se propone utilizar la ecuación (3.13) con el propósito de obtener un valor de merma más completo y preciso. A partir de dicha ecuación se determina el valor total de masa que se debería obtener del proceso a partir de lo adicionado y se compara con el valor de masa de producto terminado real y se conoce que la diferencia corresponde a la pérdida que consiste exclusivamente de agua ya que no existe forma de perder una cantidad importante de sólido en el proceso que no sea por medio de la pérdida de humedad, al no haber residuos sólidos en ninguna sección de los equipos al finalizar la producción. Seguidamente, utilizando la ecuación (3.14) se puede obtener un porcentaje de merma, el cual sería más exacto ya que se toma en cuenta las pérdidas extras que existen en el proceso por la falta de aprovechamiento de los recursos en equipos como la mezcladora.

También se puede realizar este mismo análisis considerando la cantidad de agua y vapor que se agrega en el acondicionador y la extrusora; 4.5 % y 6.4 % de la masa de harina, respectivamente. Esto sería válido debido a que, como se mencionó anteriormente en la sección 3.3.2, se tiene una pérdida de 31.9% y aunque no se trata de una materia prima de gran costo para la empresa, siempre es una pérdida importante del proceso debido a que es materia agregada que no se aprovecha. De tomarse en cuenta se obtendría porcentajes de merma superiores, pero que brindaría un panorama más completo del proceso al tomar en cuenta todas sus entradas de masa. A continuación, se muestra en la ecuación (3.15) la forma de calcularse tomando en cuenta los porcentajes de vapor y agua adicionados para el producto A, que son de 6.4% y 4.5% respectivamente. Además, se toman en cuenta el porcentaje de aceite y saborizante al igual que en la ecuación (3.13). Para poder realizar este cálculo sería necesario tomar en cuenta el agua y vapor en el inventario utilizado para el cálculo de la merma general.

$$m_{Harina}(1 + \%agua + \%vapor + \%aceite + \%saborizante) = m_{pT} + Pe_T \quad (3.15)$$

Esta manera de obtener la merma facilita el proceso debido a que no se debe trabajar directamente con las humedades, que puede ser un valor de mayor dificultad para manejar debido a que depende de la base utilizada. Más bien este valor se encuentra integrado en la masa de la harina y el producto, los cuales que son fáciles de cuantificar y que son de mayor manejo para la empresa, lo que hace que el proceso de cálculo sea más práctico considerando que para realizarlo se debe tomar en cuenta la producción mensual para cada una de las líneas trabajadas. Además, evita realizar cálculos de merma adicionales ya que incluye la humedad del saborizante y la diferencia entre el valor de humedad final real y la humedad ideal.

3.5.2 Reducción de merma

Para la reducción de la merma que presenta actualmente la empresa se pueden analizar distintos puntos de mejora considerando que a lo largo del proceso se tiene una pérdida de agua necesaria que, por lo tanto, no podrá ser corregida y que se debe a la naturaleza del proceso y a la humedad inicial de la materia prima. Sin embargo, como se discutió en la sección 3.4, además de la merma mínima, existen partes en las que se tiene una pérdida adicional que se debe a diversos factores los cuales sí pueden ser cambiados o eliminados.

En primer lugar, se busca reducir la falta de aprovechamiento del aceite y saborizante adicionado en la mezcladora con aspersión. Se conoce que la absorción de la materia en el alimento va a depender de factores como el tamaño de poro, la presión y la temperatura. En el caso del proceso actual, el alimento ingresa caliente todavía del secado y, por lo tanto, el poro se encuentra abierto y la absorción se realiza con mayor facilidad. De la misma forma, al encontrarse caliente existe una continua evaporación que permite que el alimento no se encuentre por arriba de las especificaciones de humedad. Sin embargo, la absorción de la sustancia actualmente se encuentra en un 7.3% mientras que se podría obtener un porcentaje de 8% o mayor al utilizarse en vacío, valor que se calcula como se muestra en la ecuación (3.16). El primer valor se obtiene de los datos reales mientras que el 8% se obtiene de los datos teóricos. Por otra parte, en el uso de mezcladora con vacío se conoce que se puede tener hasta un 15% de absorción (Lamichhane, 2015). El uso de vacío se da usualmente cuando la cantidad de sustancia adicionada es mayor que el porcentaje que actualmente se maneja, que es de un 2.5-5.5%. No obstante, el utilizar un vacío leve que no implique mayor costo podría significar un aumento importante en la integración de dichas sustancias en el alimento y, por lo tanto, reducir el grado de pérdida, siempre considerando que se realiza un estudio que verifique la viabilidad económica de su implementación.

$$A_{ac} = \frac{m_f - m_i}{m_i} \cdot 100 \quad (3.16)$$

Donde,

A_{ac} = Absorción del aceite, %

En segundo lugar, se considera que un mayor monitoreo del funcionamiento del secador podría ser de gran utilidad para minimizar pérdidas y/o ahorrar gas lo cual se vería reflejado en un ahorro económico para la empresa, ya que actualmente el operario a cargo realiza cambios en el funcionamiento del secador al observar que el alimento sale con condiciones que no son favorables. Sin embargo, al realizar esto, el problema se detecta tarde por lo que parte del alimento puede salir más seco de lo deseado, implicando una pérdida para la empresa por tener que agregar más producto para llegar al peso deseado, o más húmedo pudiendo salirse del rango necesario para ser empacado y, por lo tanto, tendría que haber reproceso o se tendría que desechar el producto. Por tal razón, se ve reflejada la necesidad de un mayor control del proceso de secado para lo que se propone un sistema de monitoreo del aire que ingresa y que sale, tanto para el flujo como la humedad y temperatura. Realizando un estudio específico del equipo y del alimento, con respecto a su capacidad de remoción de agua y sus curvas de secado, respectivamente, se podría determinar un rango apropiado de flujo de aire y humedad requerida para efectuar el secado necesario. A partir de estos parámetros, las acciones del operario serían guiadas de mejor forma y podrían realizarse antes de que el proceso haya concluido.

Por otro lado, se podría realizar la implementación de un sistema de control automático que utilice los datos tomados del aire y que de esta forma regule el flujo de entrada. Esto podría resultar más costoso, no obstante, eliminaría el tiempo perdido mientras el operario recibe los datos, los analiza y actúa, ya que en caso de utilizar el control automático se haría de inmediato y de forma constante. Además, disminuiría la cantidad de producto más seco de lo deseado y los reprocesos por exceso de humedad. Esta implementación podría ser de mucho beneficio ya que el secado es la parte más importante del proceso en cuanto a finanzas ya que determinará gran parte de la pérdida de masa que se traduce en dinero. De la misma forma, implicaría ahorro en cuanto al gas utilizado ya que implicaría el uso más regulado del mismo.

De esta propuesta no se realiza un análisis económico debido a que este tiempo de implementación requiere del conocimiento profundo del proceso por el proveedor del servicio y se encuentra directamente relacionado al tipo, estado y acomodo de los equipos, por lo que, al considerar que la empresa ya no se encontrará en la misma locación, el análisis no sería apropiado. Sin embargo, se recomienda que, de quererse implementar, se realice el análisis cuando la locación y las condiciones se encuentren completamente definidas.

Seguidamente, se puede considerar la modificación o búsqueda de una materia prima para que sea menos húmeda, esto permitiría que la pérdida de masa mínima disminuya y se tenga que perder una menor cantidad de masa para llegar a un punto de humedad apropiado para el ensacado. Esto podría implicar problemas en el área operativa y en el almacenamiento debido a la capacidad explosiva del polvo, además, implicaría un cambio en el proceso de producción que ocurre en la planta, de la misma empresa, encargada de la realización de la harina por lo que se recomienda un estudio de las implicaciones de una forma más detallada y verificar su viabilidad.

Capítulo 4. Análisis de la implementación de agitación en tanques de almacenamiento de aceite de pollo

El segundo problema por estudiar, y que se relaciona con el primero, es el depósito que se forma en el fondo de los tanques de almacenamiento de aceite de pollo. Éste como se ha mencionado anteriormente requiere del pago a trabajadores para su limpieza, la cual puede ser peligrosa y complicada por lo que se busca eliminar o reducir lo más posible dicho depósito. Para esto se propone el uso de agitación en los tanques, sin embargo, esto podría causar un aumento en la velocidad de la oxidación del aceite causando rancidez en el aceite y volviéndolo perjudicial para la salud. Por dicha razón se debe verificar este supuesto y, en caso de que sea viable, se debe diseñar la agitación para dichos tanques.

4.1 Caracterización del Aceite

Con el propósito de conocer el estado inicial del aceite para su posterior análisis de factibilidad de agitación se realizó la medición de cuatro características de interés: acidez, índice de peróxidos, humedad y densidad. A continuación, se desarrolla la metodología para la obtención de dichos valores.

4.1.1 Metodología

4.1.1.1 Acidez

Para la obtención de la acidez del aceite se realiza una valoración con hidróxido de sodio utilizando fenolftaleína como indicador, procedimiento basado en la Norma Mexicana (NMX-F-101-SCFI-2012). Para esto se utilizaron los siguientes materiales y reactivos (Turégano, 2012):

Materiales y Reactivos

- Solución de hidróxido de sodio a 0.25 N, estandarizada.
- 75 ml de alcohol etílico 95% (v/v)
- Gotas de una solución indicadora de fenolftaleína al 1.0 %
- 7.05 g de la muestra de aceite.
- 1.03 L de agua destilada
- 0.7 g de ftalato ácido de potasio

Procedimiento

Para iniciar se realizó la estandarización de la solución de hidróxido de potasio para lo que se agregó el ftalato ácido de potasio a 30 mL de agua destilada y se le agregaron 3-4 gotas de fenolftaleína. Seguidamente, se preparó una disolución con 10 g de NaOH y 1 L de agua destilada, la cual fue colocada en una bureta. Se valoró hasta observar el cambio de coloración y se determinó la normalidad de la solución por medio de la ecuación (4.1). Posteriormente, se realizó el pesaje de la

muestra de aceite y se le agregó el alcohol etílico y se agitó. Se adicionó fenolftaleína y se valoró con la disolución de hidróxido de sodio ya estandarizada hasta observar el cambio de coloración y se determinó la acidez por medio de la ecuación (4.2).

$$N_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{V_c} \quad (4.1)$$

$$AV = \frac{56.1 \cdot N_{NaOH}}{m_{ac}} \quad (4.2)$$

Donde,

N_{NaOH} = normalidad del NaOH, N

n_{NaOH} = moles de NaOH, mol

V_c = volumen consumido, L

AV = valor ácido o acidez, mg KOH/g

4.1.1.2 Índice de Peróxidos

La medición del índice de peróxidos fue realizada por medio de la valoración con tiosulfato de sodio utilizando almidón como indicador basado en el método AOAC 965.33 (A.O.A.C., 2000). y se corrigió el resultado al igual que en resto de índices de peróxidos según lo que se explica posteriormente en la sección 4.4. Para esto se utilizaron los siguientes materiales y reactivos:

Materiales y Reactivos

- Agua destilada
- Tiosulfato de sodio
- Almidón 1%
- Disolución cloroformo-ácido acético 6:4
- Yoduro de potasio, solución concentrada
- Carbonato de sodio
- Permanganato, 0.02 M
- Ácido sulfúrico, 1 M
- Yoduro de Potasio, 0.5 M
- Muestra de aceite

Procedimiento

Para dicha valoración se tomaron de 4-6 g de la muestra de aceite y se le agregó 30 mL de una mezcla 6:4 de cloroformo-ácido acético y 1 mL de solución concentrada de yoduro de potasio. Se agitó por un minuto en oscuridad y se le agregó 30 mL de agua destilada. Seguidamente, la mezcla fue valorada con una disolución de tiosulfato de sodio al 0.12 N que fue previamente estandarizada y se determinó el volumen consumido para luego calcular el índice de peróxidos de acuerdo con la ecuación (4.3).

$$IP = \frac{(V_{tio} - V_B) \cdot N_{tio} \cdot 1000}{m_{ac}} \quad (4.3)$$

Donde,

IP= índice de peróxidos, meq/kg

V_{tio} = Volumen consumido de tiosulfato de sodio, mL

V_B = Volumen consumido por el blanco, mL

N_{tio} = Normalidad del tiosulfato de sodio, meq/mL

4.1.1.3 Humedad

La humedad del aceite se determinó por medio de la diferencia de pesos al exponer la muestra a calentamiento por el tiempo requerido para la eliminación del agua presente procedimiento basado en la Norma Mexicana (NMX-F-211-SCFI-2012). Para esto se utilizaron los siguientes materiales y reactivos (Turégano, 2012):

Materiales y Reactivos

- 10 g de la muestra de aceite

Procedimiento

En primer lugar, se pesó la muestra en la balanza analítica en un beaker seco, frio y tarado. Seguidamente, se calentó la muestra en la plantilla de calentamiento, girando el beaker lentamente. Al acercarse al punto final se colocó un vidrio reloj en la parte superior para observar el punto de interés y no se permitió que la temperatura superara los 130 °C. Cuando se llegó al punto final aparente se calentó el aceite al punto de humeo, cuidando que no se sobrecalentara y se retiró la muestra para ser llevada al desecador y fue, finalmente, pesada. Para realizar el cálculo de la humedad se utilizó la ecuación (4.4).

$$X_{ac} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (4.4)$$

Donde,

X_{ac} = humedad del aceite, %

m_i = masa inicial de aceite, kg

m_f = masa final de aceite, kg

4.1.1.4 Densidad

La densidad se determinó por medio del uso de un picnómetro de acuerdo con la Norma Mexicana (NMX-F-075-SCFI-2012). Para esto se utilizaron los siguientes materiales y reactivos (Turégano, 2012):

Materiales y Reactivos

- Agua destilada
- Muestra de aceite
- Alcohol Etílico al 96% (v/v)
- Éter etílico

Procedimiento

Primeramente, se determinó la masa del picnómetro y se llenó con agua destilada cuidando la formación de burbujas de aire. Se pesó el picnómetro nuevamente y se registró el dato. Seguidamente, se limpió el picnómetro con etanol y éter etílico y se dejó secar. Finalmente, se agregó el aceite y se registró el dato. Para determinar la densidad se utilizó la ecuación (4.5).

$$\rho_{ac} = \frac{m_{ac} - m_p}{m_w - m_p} \quad (4.5)$$

Donde,

ρ_{ac} = densidad relativa del aceite, adim

m_{ac} = masa del picnómetro con aceite, g

m_{pic} = masa del picnómetro, g

m_w = masa del picnómetro con agua, g

4.1.1.5 Equipo

Para la realización de estas pruebas fue requerido el uso del equipo del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica. Dichos equipos se citan a continuación, en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Equipo utilizado en totalidad para la caracterización del aceite.

Equipo	Fabricante	Ámbito/Tolerancia
<i>Balanza analítica</i>	ADAM	±0,001
<i>Plantilla de calentamiento</i>	Corning	±1
<i>Picnómetro</i>	-	-

4.1.2 Resultados

De acuerdo con las pruebas realizadas se obtuvo los valores que presenta el aceite nacional utilizado por la empresa en la actualidad. La muestra fue tomada directamente de los tanques de almacenamiento y su tiempo de permanencia en el mismo es desconocida debido a que una vez

ingresado en el tanque se mezcla con aceite con mayor tiempo de residencia, sin embargo, basado en el tiempo de recepción de aceite se estima que es de una semana.

La empresa cuenta con un estándar a seguir para determinar que el aceite es apto para ser utilizado por lo que se comparan los valores obtenidos con dicho estándar como se aprecia en el Cuadro 4.2. A partir de esos datos se pueden observar que la empresa se encuentra cumpliendo con los límites permitidos, sin embargo, para el caso del índice de peróxidos se tiene un valor cercano al límite máximo lo cual podría ser perjudicial si su permanencia en el tanque de almacenamiento fuera prolongada. Actualmente, la empresa toma mediciones del índice de peróxidos del aceite al ingresar y para el periodo de enero a agosto del 2018 se obtuvo un promedio de 0.627 meq_{O₂}/kg. Para estas mediciones se utilizó NIR (Espectrometría de infrarrojo cercano), sin embargo, debido a su costo asociado, en este análisis se realizó por lo métodos alternos discutidos. Por consiguiente, el dato obtenido se diferencia en 2.12 meq_{O₂}/kg al que posee la empresa, no obstante, esto puede estar asociado al tiempo en el que se realizaron las mediciones y el método, aunque su permanencia por debajo del límite máximo se mantiene en ambos casos.

Por otro lado, se puede destacar que la acidez se encuentra bastante baja con respecto al estándar lo cual es beneficioso ya que, al haber pocos ácidos grasos libres, no hay rancidez y se conoce que el aceite no ha llegado a un punto en el que podría causar daño a la salud. No obstante, es un parámetro que debe someterse a revisión ya que su aumento suele ser exponencial y al haber un alto índice de peróxidos puede haber cercanía a la rancidez, momento en el que el alimento tendría un mal olor y podría causar vómitos y malestar estomacal al animal que lo consuma.

Cuadro 4.2. Resultados obtenidos para la caracterización del aceite nacional utilizado en la empresa.

Parámetro	Resultado Experimental	Dato de Empresa	Límite Máximo
Acidez o Valor Ácido/(mg KOH/g)	3.06	6.10	11.94
Índice de Peróxidos/(meq O ₂ /kg)	2.75	0.63	5.00
Humedad/(%)	0.888	0.410	1.000
Densidad Relativa/(adim)	0.962	0.960	0.865-0.990*

*En el caso de la densidad no se da un valor máximo, únicamente un rango.

4.2 Metodología para la medición de Índice de Peróxidos por valoración

Para el análisis de la viabilidad de la agitación en el tanque de aceite se realizaron pruebas de laboratorio en donde se analizó el efecto de la agitación en la oxidación del aceite por medio de la medición del índice de peróxidos. Para esto se realizaron tres corridas con una duración de seis días en donde se tomó una medición de índice de peróxidos cada dos días. Cada una de estas corridas tuvo una variación en la agitación; una fue realizada sin agitación, otra con agitador simple y otra con un agitador doble. Para todos los casos se fijó la velocidad de giro, para lo que se utilizó 185 rpm, siendo esta una velocidad baja para evitar la oxigenación del aceite, pero logrando de igual manera la agitación necesaria. De la misma forma, se seleccionó el agitador de aspas planas debido

a su aplicabilidad para fluidos viscosos y su posibilidad de ser utilizado a distintas velocidades. Para realizar las pruebas se agregaron 5 L de aceite al tanque y se posicionó el agitador dentro del mismo, para los casos agitados, donde se dejó en funcionamiento por el tiempo requerido hasta cada una de las pruebas.

Para obtener el tamaño de tanque a utilizar se realizó un escalamiento geométrico para el cual se partió de un diámetro de agitador apropiado para las pruebas y de ahí se determinó el diámetro del tanque con el cual, al compararse con el diámetro del tanque real, se obtuvo la relación de escalamiento (R) para el resto de los cálculos. Dicha relación fue de 14.9, tomando en cuenta las dimensiones estándar. Esto permitió obtener todas las dimensiones del tanque el cual fue confeccionado por la empresa, utilizando el mismo material, pintura y diseño que los originales. Los agitadores y el resto del equipo requerido fueron obtenidos del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica. Las dimensiones de ambos tanques se muestran a continuación en el Cuadro 4.3 según la nomenclatura mostrada en la Figura 4.1.

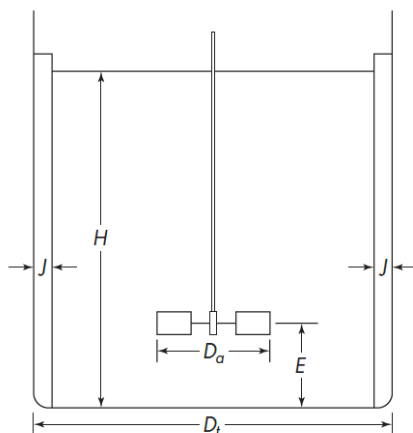


Figura 4.1. Diagrama de tanque con nomenclatura de sus partes

Cuadro 4.3. Dimensiones del tanque real y a escala para pruebas de laboratorio de viabilidad de agitación.

	Tanque Real	Tanque a Escala
$H/(m)$	4.30	0.288
$D_t/(m)$	2.51	0.168
$D_a/(m)$	0.84	0.056
$E/(m)$	0.84	0.056
$H_{cono}/(m)$	0.30	0.020
$n/(rpm)$	12	185

La valoración realizada se llevó a cabo bajo el procedimiento explicado en la sección 4.1.1.2. Para la preparación y estandarización de tiosulfato de sodio se utilizaron 25 g de tiosulfato de sodio, 1 L de agua de destilada y 0.1 g de carbonato de sodio como preservante. Esta mezcla se dejó reposar en

oscuridad por un tiempo de 24 horas para luego ser estandarizada. Para esto se utilizó 25 mL de permanganato de potasio al 0.02 M al cual se le agregó 25 mL de ácido sulfúrico al 1M y 10 mL de yoduro de potasio al 0.5 M. Se valoró con la disolución de tiosulfato de sodio antes preparada hasta que el color café cambiara a amarillo, momento en el cual se le agregó almidón hasta que la mezcla se tornara azul oscuro. Se continuó la valoración hasta que el color azul desapareciera y se registró el valor de volumen consumido. Por medio de las relaciones estequiométricas se obtuvo la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio.

En el caso de la medición del índice de peróxidos es importante recalcar que se debe realizar un blanco para determinar el volumen consumido por la mezcla sin el aceite, volumen que se le restó a cada una de las mediciones para que el índice de peróxidos calculado se deba únicamente a la muestra de aceite. Por otro lado, debido a que el aceite utilizado para cada corrida fue colectado de la empresa a diferentes tiempos y se desconocía el tiempo de residencia de este en los tanques de almacenamiento, se tomó una medición inicial a la muestra y al índice de peróxidos medido cada dos días se le restó el inicial. Esto permitió obtener una diferencia de índice de peróxidos y, por lo tanto, las corridas son comparables entre sí.

4.3 Resultados para la medición de Índice de Peróxidos por valoración

Al realizar la medición del índice de peróxidos a las muestras sometidas a los distintos tratamientos antes discutidos se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación en el Cuadro 4.4. En este se puede observar los distintos tiempos utilizados para cada modalidad, siempre manteniendo la velocidad de 185 rpm para los casos agitados, como se mencionó anteriormente, para evitar que se forme el depósito, pero sin oxigenar mucho la muestra. Además, se observa el volumen consumido en cada una de las pruebas para el índice de peróxido anteriormente explicadas, juntos con sus respectivos resultados.

A partir de este cuadro se puede destacar, en primer lugar, el alto valor inicial que presentaron cada una de las muestras. Se conoce que el límite estipulado por la empresa para la recepción de dicho aceite corresponde 5 meq/kg, por lo que estos valores se encuentran muy cercanos a dicho límite y en uno de los casos, se encuentra sobre el mismo. Se debe considerar que las mediciones que se realizan para determinar la recepción se hacen justo al ingreso y las realizadas en este estudio tienen un tiempo de retención en los tanques, el cual es desconocido. No obstante, es importante observar que podría haber aceite dentro del tanque que se encuentra fuera de especificación y que se está utilizando, disminuyendo la calidad del alimento producido y pudiendo causar malestar estomacal en los animales. Esto requeriría una mayor cantidad de pruebas al aceite a diferentes tiempos de permanencia en el tanque para garantizar su estado y su posibilidad de ser utilizado.

Por otro lado, es importante notar como la diferencia de índice de peróxidos es bastante alta para todos los casos mostrando que el parámetro aumenta rápidamente a lo largo del tiempo. Se tienen los datos de menor aumento para el caso en el que no hubo agitación como era de esperarse y el mayor aumento, en todos los intervalos, para el caso del agitador doble como se observa en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para el índice de peróxidos (IP) obtenido por valoración de aceite de pollo sometido a distintas formas de agitación.

Agitación	Tiempo/(días)	Volumen Consumido/(mL)	Masa Muestra/(g)	IP/(meqO ₂ /kg)
	0	0.1	4.61	2.55
<i>Agitador Simple</i>	2	0.3	5.09	4.37*
	4	0.4	5.47	6.03*
	6	0.6	4.99	11.56*
<i>Agitador Doble</i>	0	0.2	4.80	4.89
	2	0.7	6.00	8.80*
	4	0.6	4.50	10.76*
<i>Sin Agitador</i>	6	0.9	4.99	16.27*
	0	0.3	5.57	6.32
	2	0.5	4.90	5.66*
<i>Agitador</i>	4	0.5	4.80	5.90*
	6	0.6	4.80	8.35*

*Diferencia basada en el valor inicial correspondiente

Sin embargo, fue necesario realizar una validación del método en donde se efectuó nuevamente una de las corridas con el propósito de verificar su cercanía al dato original, considerando que las mediciones se realizaron una única vez debido a la poca cantidad de reactivos y su dificultad para ser tratados posteriormente.

Para realizar dicha corrida, se siguieron los mismos pasos antes mencionados, sin embargo, se realizó únicamente por una duración de dos días con el agitador simple. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Datos obtenidos para índice de peróxidos (IP) en la corrida de validación.

Tiempo/(días)	Volumen Consumido/(mL)	Masa Muestra/(g)	IP/(meqO ₂ /kg)
0	0.3	4.522	7.79
2	0.6	5.079	6.08*

*Diferencia basada en el valor inicial correspondiente

Al analizar los resultados obtenidos se puede ver que el valor de índice de peróxidos es menor para el dato de los dos días en comparación al dato inicial, lo que podría verse como un dato incorrecto. Sin embargo, esto se debe a que el primer valor es un resultado neto real, mientras que el segundo dato corresponde a la resta entre el valor obtenido a los cero días y el tomado a los dos días. Esto, como se mencionó anteriormente, se realiza con el propósito de que los datos sean comparables.

En este caso el aumento del índice de peróxidos es de 6.08 meq/kg lo que difiere del resultado obtenido en la primera prueba que fue de 4.37 meq/kg, indicando que existe un cambio considerable en los datos. Esto se cree que puede deberse a la imprecisión del método, ya que al ser una valoración depende mucho de la interpretación del experimentador en cuanto al rango de

viraje, sobre todo para este caso, debido a que el indicador es almidón y el cambio puede ser difícil de percibir en ciertas situaciones. Además, se conoce que varios de los reactivos utilizados, sobre todo el tiosulfato de sodio y el almidón, son sensibles a la luz. Esto, a pesar de haberse tomado las precauciones necesarias, podría haber causado problemas ya que durante la realización de la prueba se encuentran expuestos a la luz.

Por dicha razón, se procedió a realizar una medición de índice de peróxidos por otro método con el propósito de realizar una corrección de los datos. Este está basado en la co-oxidación del Fe(II) al Fe(III) debido a la presencia de peróxidos de hidrógeno y que forma un complejo Fe(III)-tiocianato que puede ser leído por medio de espectrofotometría. La metodología de este se detalla a continuación.

4.4 Metodología para la corrección de Índice de Peróxidos

El procedimiento realizado fue el estipulado para la determinación del índice de peróxidos de la leche (International Standard ISO 3976 , IDF 74:2006), pero que posteriormente fue adaptado a aceites (Muresan, et al., 2010). Paralelamente, se tomaron mediciones por medio del método de valoración para poder realizar una asociación entre ambos métodos.

4.4.1 Materiales y Reactivos

- Agua destilada
- Cloruro de Bario dihidratado
- Sulfato de Hierro (II) heptahidratado
- Ácido Clorhídrico, 10 N
- Tiocianato de Amonio
- Disolución Cloroformo-Metanol 7:3
- Polvo de Hierro
- Peróxido de Hidrógeno 30%

4.4.2 Procedimiento

En primer lugar, para realizar las mediciones se debió elaborar las disoluciones de tiocianato de amonio y de hierro (II). Para esto se pesaron 0.4 g de cloruro de bario dihidratado y se disolvió en 50 mL de agua destilada. Seguidamente, se pesaron 0.5 g de sulfato de hierro heptahidratado y se disolvieron en 50 mL de agua destilada. La primera disolución fue agregada lentamente a la segunda y el precipitado formado fue filtrado hasta obtenerse un líquido completamente transparente. La disolución fue almacenada en oscuridad. Por otro lado, la disolución de tiocianato de amonio se realizó al pesar 30 g de dicho reactivo y disolverlo en agua hasta un volumen de 100 mL.

Para la ejecución de la prueba se realizaron soluciones conocidas de hidróxido de peróxido para lo que se tomó una cantidad determinada de dicho reactivo y se agregó a una cantidad de agua destilada necesaria para llegar a 50 mL. Se agregó 10 µL de la sustancia con la concentración a estudiar y 9.8 mL de la mezcla cloroformo-metanol a un vial y se agitó la muestra. Seguidamente, se adicionaron 50 µL de la disolución de tiocianato de amonio y 50 µL de la de sulfato de hierro, se

agitó nuevamente. Después de 10 minutos en reposo se tomó la medición en el espectrofotómetro a 500 nm contra un blanco conteniendo todo menos la disolución de peróxidos.

Al obtener los datos de absorbancia asociada a cada concentración conocida de peróxidos y al tener lo mismo para el caso de valoración, se pudo realizar una curva de absorbancia contra el volumen consumido por gramo de grasa. A partir de esta curva se pudo asociar los datos anteriormente obtenidos del volumen consumido y la masa utilizada, a un valor de absorbancia. El cual, por medio de la expresión obtenida a partir de la curva de absorbancia contra índice de peróxidos, pudo ser asociado a un índice de peróxidos específico.

4.4.3 Equipo

Cuadro 4.6. Equipo utilizado en para la medición del índice de peróxidos por espectrofotometría.

Equipo	Fabricante	Ámbito/Tolerancia
Espectrofotómetro	HACH	±2 nm

4.5 Resultados para la corrección de Índice de Peróxidos

Al realizar las corridas requeridas para la corrección de los datos se obtuvo los resultados que se despliegan en el Cuadro 4.7. En este se pueden observar los valores promedio como resultado de ambos métodos. Para este caso se realizaron disoluciones de índices de peróxidos muy bajas hasta valores muy altos, sin embargo, para los datos obtenidos se utilizó principalmente la región con valores de índice de peróxidos menores a 20.

Cuadro 4.7. Resultados de ambos métodos para concentraciones de peróxidos conocidas.

Concentración Peróxidos/ (mol/L)	Índice de Peróxidos/ (meqO ₂ /kg)	Absorbancia/ (Adim)	Volumen Consumido/(mL/g)
0.075	74.93	0.550	0.53
0.050	49.95	0.469	0.46
0.025	24.95	0.359	0.39
0.019	19.28	0.259	0.32
0.014	13.61	0.229	0.19
0.008	7.94	0.207	0.15
0.002	2.27	0.138	0.09

Por otro lado, cabe destacar que el volumen consumido se encuentra expresado con respecto a la masa en la que se encuentran los peróxidos debido a que, en los datos de valoración realizados inicialmente, la masa utilizada no es exactamente igual para todos los casos debido al tipo de sustancia de trabajo, además, de que la prueba permite un rango de masa a utilizar de 4 g a 6 g. A partir de estos se realizó la curva mostrada en la Figura 4.2. donde se aprecia la relación entre ambos, absorbancia y volumen consumido, donde se puede apreciar un comportamiento creciente hasta el tercer punto, donde luego el comportamiento varía y sigue creciente, pero de una forma más lineal.

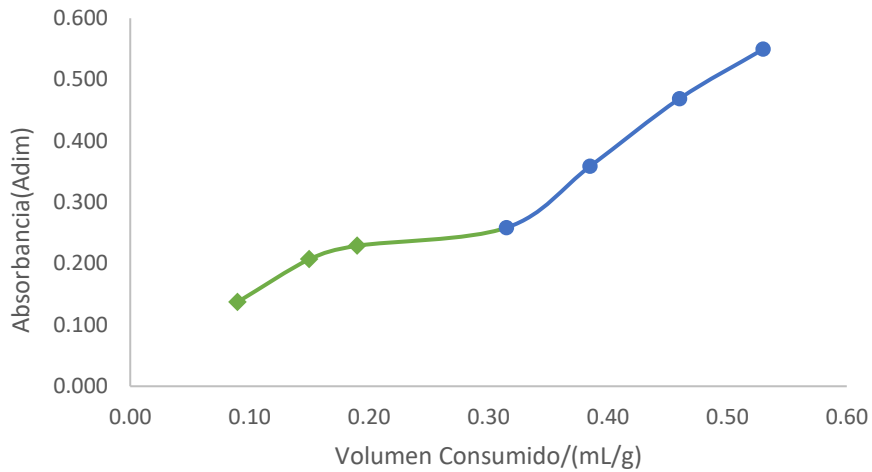


Figura 4.2. Curva de volumen consumido contra absorbancia.

De estos resultados se pudo obtener una expresión que describiera el comportamiento de cada sección de la curva por medio del programa *CurveExpert*. Para los datos de interés se utilizó la sección inferior (demarcada de color verde y con diamantes) ya que, en los resultados, el volumen consumido nunca es mayor a 0.30 mL/g y su expresión se muestra en la ecuación (4.6). Para lo cual se obtuvo un coeficiente de correlación de 1.

$$-6.00x^2 + 2.59x - 4.65x10^{-2} \quad (4.6)$$

Por otro lado, se construyó la curva de absorbancia contra índice de peróxidos a partir de las concentraciones ya conocidas y se obtuvo lo que se observa en la Figura 4.3. Cabe destacar que en este caso también existe una diferencia de tendencias a lo largo de la curva por lo que para la línea de ajuste se divide en dos secciones.

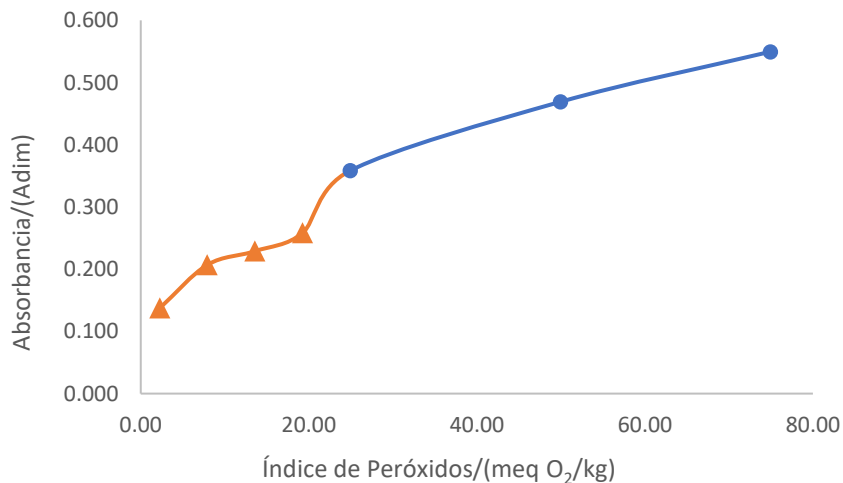


Figura 4.3. Curva de absorbancia contra índice de peróxidos.

A partir de esta curva se obtuvo la expresión que se observa en la ecuación (4.7) que describe el comportamiento de la parte inferior (demarcada de color naranja y con triángulos) con un coeficiente de correlación 0.996. Se utilizó esta sección debido a que en los resultados ninguno superó un índice de peróxidos de 20.00 meq O₂/kg. Por medio de esta se puede pasar de un valor de absorbancia, asociado con anterioridad a un volumen consumido, a un valor de índice de peróxidos. Lo cual permite obtener los resultados de índice de peróxidos corregidos que se muestran en el Cuadro 4.8.

$$5.47 \times 10^{-2} \ln x + 9.26 \times 10^{-2} \quad (4.7)$$

Cuadro 4.8. Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para el índice de peróxidos (IP) corregido de aceite de pollo sometido a distintas formas de agitación.

Agitación	Tiempo /(días)	IP /(meqO ₂ /kg)	ΔIP* /(meqO ₂ /kg)
	0	0.211	
<i>Agitador Simple</i>	2	0.868	0.657
	4	1.390	1.179
	6	4.743	4.532
<i>Agitador Doble</i>	0	0.469	
	2	4.451	3.982
	4	6.122	5.653
<i>Sin Agitador</i>	6	11.246	10.777
	0	0.740	
	2	3.114	2.374
<i>Agitador</i>	4	3.279	2.539
	6	5.274	4.534

*Diferencia basada en el valor inicial correspondiente

Al analizar estos resultados se puede observar que se tienen valores considerablemente inferiores a los iniciales en especial para las mediciones iniciales del aceite. Dichos valores se aproximan más a los obtenidos por la empresa en sus controles de calidad para el aceite. Sin embargo, cabe destacar que de igual forma se tienen cifras que superan el límite máximo permitido por la empresa lo cual indica que podría haber aceite fuera de especificación dentro de los tanques y esto debe evitarse como se mencionó anteriormente. Además, se puede ver que para el agitador doble se tienen índices de peróxidos bastante altos y su aumento es bastante pronunciado. Para verificar estas observaciones se realizó un análisis estadístico que se discute ampliamente en la siguiente sección.

4.6 Análisis Estadístico

Se realizó un diseño estadístico por bloques completamente al azar para el cual se verificó, en primer lugar, la normalidad de los datos y que hubiera homogeneidad de varianzas utilizando el software *Minitab (Versión de Prueba)*. Para esto se introdujeron los datos en el programa y por medio del modelo lineal general se obtuvieron los residuos como se muestra en la Figura 4.4.

Tiempo	Agitador	IP	Residuos
2	Sin	2.37	0.91243
2	Simple	0.66	0.22207
2	Doble	3.98	-1.13450
4	Sin	2.54	0.29153
4	Simple	1.18	-0.04229
4	Doble	5.65	-0.24924
6	Sin	4.53	-1.20395
6	Simple	4.53	-0.17978
6	Doble	10.78	1.38373

Figura 4.4. Residuos obtenidos para el análisis del diseño estadístico aplicado a los valores de índice de peróxidos en el aceite de pollo.

A partir de estos datos se pudo realizar el análisis de normalidad que se efectuó bajo las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ los errores se distribuyen normalmente

$H_1 =$ los errores no se distribuyen normalmente.

Se obtuvo como resultado lo presentado en la Figura 4.5, donde se puede observar que los datos se distribuyen en su mayoría alrededor de la línea recta y se tiene un p-valor de 0.672 el cual es mayor al $\alpha = 0.05$. Esto indica que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) con un 95% de confianza, por lo tanto, se cumple con el supuesto de normalidad.

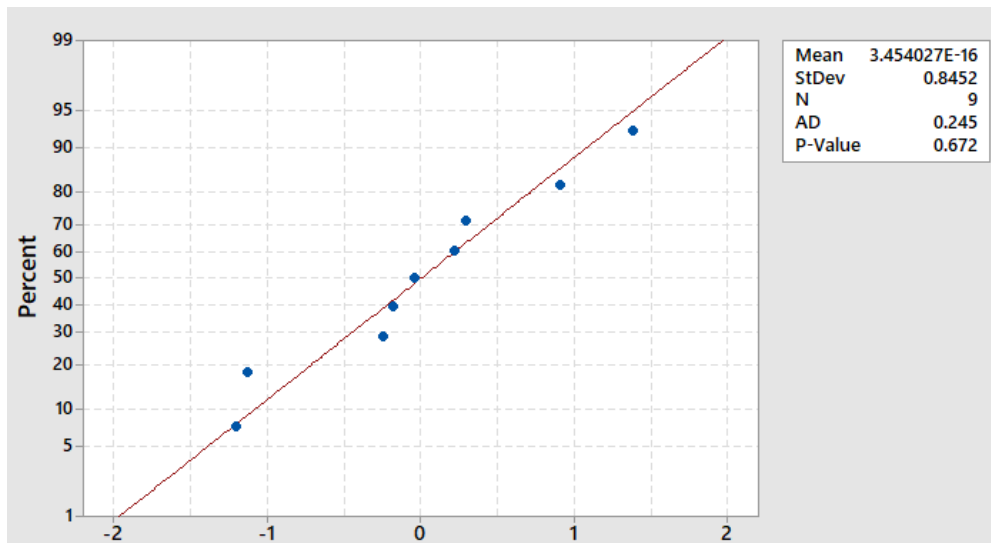


Figura 4.5. Prueba de normalidad asociada a los datos de índice de peróxidos de aceite de pollo.

Para el caso del segundo supuesto el cual consiste en la homogeneidad de varianzas se realiza la prueba de Bartlett en donde se tienen como hipótesis las siguientes expresiones:

$$H_0 = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$$

$$H_1 = \text{al menos una de las varianzas es diferente}$$

Teniendo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y obteniendo un p-valor de 0.144 se puede afirmar que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) con un 95% de confianza. Por lo tanto, se puede afirmar que se cumple también con el supuesto de que las varianzas con iguales entre sí, resultado que se encuentra reflejado en la Figura 4.6.

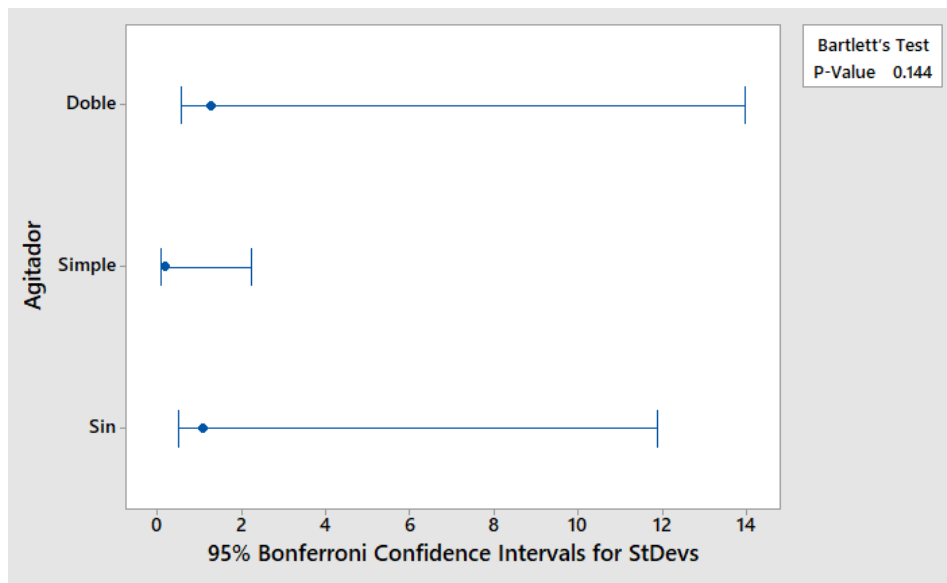


Figura 4.6. Prueba de homogeneidad de varianzas para los índices de peróxidos obtenidos de las pruebas en el aceite de pollo.

Para determinar la existencia de alguna diferencia entre los métodos utilizados se realizó el análisis de varianza que obtuvo los resultados desplegados por *Minitab (Versión de Prueba)* que se encuentran en el Cuadro 4.9. Para dicho análisis se tomaron en cuenta dos hipótesis en donde una considera que las medias de los tratamientos son iguales mientras que la otra contempla que al menos alguna de ellas es diferente, como se muestra a continuación:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 = \text{al menos una de las medias es diferente}$$

Se puede observar que se obtiene un valor de p-valor de 0.018 y con valor de significancia de $\alpha = 0.05$ lo que indica que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y, por lo tanto, existe alguna de las medias que no es estadísticamente igual a la otras.

Cuadro 4.9. Análisis de varianza realizado con la herramienta *Minitab (Versión de Prueba)* para los datos de índice de peróxidos.

Fuente	Grado de Libertad	Adj SS	Adj MS	F-Valor	P-Valor
Tiempo	2	31.090	15.545	10.88	0.024
Agitador	2	36.333	18.167	12.72	0.018
Error	4	5.714	1.429		
Total	8	73.138			

Para determinar cuál de los tratamientos o métodos de agitación tuvo un efecto estadísticamente significativo en el índice de peróxidos se realizó una prueba de Tukey. Por medio de ésta, se pudo encontrar que al utilizar el agitador doble se obtiene una media significativamente mayor, según lo observado en el Cuadro 4.10, donde se conoce que el tratamiento que posee la letra diferente contiene la diferencia significativa.

Cuadro 4.10. Resultados desplegados por *Minitab (Versión de Prueba)* para la prueba de Tukey.

Agitador	N	Media	Agrupación
Doble	3	6.80409	A
Sin	3	3.14862	B
Simple	3	2.12245	B

De la misma forma se puede observar en la Figura 4.7. que las diferencias de medias no presentan un cero para los casos que incluyen el agitador doble mostrando así su separación de la relación sin agitador y agitador simple.

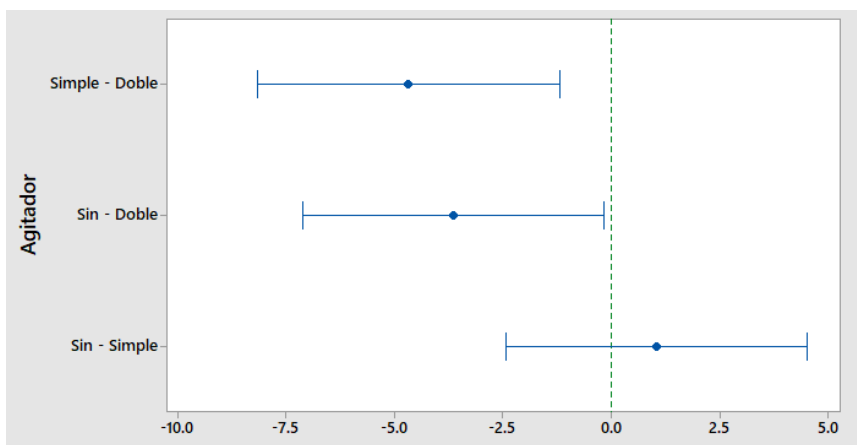


Figura 4.7. Resultados gráficos desplegados por *Minitab (Versión de Prueba)* para la prueba de Tukey.

Estos resultados indican que no existe evidencia estadística que demuestre que habría una diferencia significativa en el índice de peróxidos al utilizar el agitador simple en comparación con el sistema sin agitación, lo cual permitiría el uso del agitador simple para evitar el depósito de aceite.

4.7 Propuestas de Mejora

Para la problemática del depósito en los tanques de aceite se propone la implementación de agitación en dichos tanques. Para esto se realizó el estudio pertinente, como se discutió anteriormente, para verificar que no existe oxidación del aceite debido a la oxigenación de la sustancia al agitarlo. Sin embargo, se pudo comprobar estadísticamente, a partir de los resultados obtenidos, que es posible implementar una agitación simple (con un agitador) sin que ocurra un cambio significativo en la oxidación del aceite en comparación a la que habría sin la presencia de un agitador.

Por tal razón, se procedió a realizar el diseño de dicha agitación en los tanques ya existentes para un agitador simple. En primer lugar, se consideraron las dimensiones existentes de los tanques, los cuales tienen pequeñas variaciones entre ellos, por lo que el diseño se realizó para el de mayor capacidad. Estas dimensiones, que están desplegadas en el Cuadro 4.3, muestran el tamaño real del tanque junto con lo obtenido para el diámetro del agitador a implementar, basado en los tanques estándar. De la misma forma, se obtuvo el valor de la velocidad del agitador a partir de la relación entre tanques y los 185 rpm utilizadas en el tanque a escala seleccionados para evitar la demasiada oxigenación.

A partir de estos datos se obtuvo la potencia requerida para operar dicho equipo obteniendo los datos que se muestran en el Cuadro 4.11. Para esto se utilizaron las características del fluido y de operación para obtener el número de Reynolds y por medio de la Figura 4.8 se obtuvo el número de potencia. El impulsor utilizado para el diseño experimental fue una turbina de 6 paletas rectas debido a las bajas velocidades y la viscosidad del líquido, por lo tanto, se utilizó la curva número 2.

Cuadro 4.11. Resultados obtenidos para la potencia del agitador propuesto.

Parámetro	Resultado
Potencia ideal/(kW)	0.01
Potencia ideal/(HP)	0.02
Potencia Real/(kW)	0.04
Potencia Real/(HP)	0.03

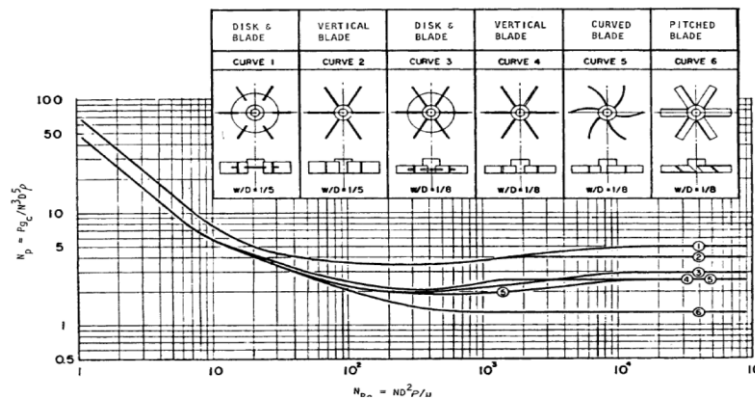


Figura 4.8. Número de Potencia contra Número de Reynolds para distintos impulsores de tipo turbina (Brodkey & Hershey, 1998)

Conociendo que el número de potencia está asociado a la expresión mostrada en la ecuación (4.8) se obtuvo la potencia ideal del sistema. Por último, se tomó en cuenta un 35% de fricción y un 70% de eficiencia, ya que son los datos usualmente utilizados cuando no hay certeza de la influencia real de estos parámetros, conociendo que estas condiciones podrían adecuarse más a la realidad y brindaría una potencia apropiada para el motor del agitador. De esta forma se determinó que se requiere un motor que sea capaz de otorgar una potencia de 0.03 HP como mínimo.

$$N_p = \frac{P_i}{v^3 d^5 \rho} \quad (4.8)$$

Donde,

N_p = número de potencia, adim

P_i = potencia ideal, kW

ρ = densidad, kg/m³

D_a =diámetro de agitador, m

v = velocidad del agitador, rev/s

Se procedió a realizar una cotización del agitador a implementar tomando en cuenta las características del tanque, el fluido y la velocidad requerida. LABS de Costa Rica, la empresa consultada, realizó una simulación pertinente que permitió obtener las características del agitador y motor apropiado según se muestra en el Cuadro 4.12. De dicha simulación se determinó se debe utilizar un agitador con una potencia del motor de hasta 0.5 HP siendo posible el control de la velocidad del agitador y una velocidad nominal recomendada de 45 rpm, lo cual es mayor a lo escalado ya que solo se considera una buena mezcla de la sustancia, sin embargo, debido a que se puede variar, quedaría a criterio de la empresa cuál seleccionar. Para tal elección se debe considerar que aumentar la velocidad de la agitación podría influir en la oxidación del aceite. Además, bajo dichas condiciones se tiene que en un tiempo de 52 s se obtiene una homogenización completa del tanque y esto evitaría por completo la formación del depósito. De utilizarse una menor velocidad, el tiempo será mayor.

Cuadro 4.12. Resultados de la simulación realizada para la cotización del agitador.

Parámetro	Resultado
<i>Tipo</i>	Transmisión por engranaje
<i>Potencia del motor/(HP)</i>	0.5
<i>Velocidad Nominal/(rpm)</i>	45
<i>Voltaje/(V)</i>	230/460
<i>Frecuencia/(Hz)</i>	60
<i>Tiempo para mezcla completa/(s)</i>	52
<i>Tipo de Junta del Eje</i>	Sello Mecánico
<i>Estilo de Junta del Eje</i>	Flowserve MCRO
<i>Material</i>	DurChrome vs Carbón/Elastómeros Viton/316SS Solid

A partir de los resultados obtenidos para el diseño del tanque y el agitador se realizó un análisis del costo asociado a la implementación de este y se comparó con el costo actual asociado a la limpieza del depósito en el tanque para verificar su conveniencia para la empresa a largo plazo. Los detalles de dicho análisis se discuten en la siguiente sección.

4.7.1 Análisis Financiero

Para el análisis costo-beneficio de incluir agitación en los tanques de almacenamiento de aceite de pollo se realizó el desglose de costos asociados a la limpieza del depósito generado, tomándose como el beneficio a obtener, y se compararon con el costo asociado a la compra del equipo y su mantenimiento para un periodo de 10 años, según se estima la depreciación total del mismo.

Para los costos actuales de limpieza se solicitó a la empresa datos del precio de todo lo involucrado. Por tal razón los valores asociados son: el precio del desinfectante utilizado, el pago al operario encargado de la tarea, así como el costo que tiene el tratamiento de los desechos obtenidos. En el caso del pago al operario, este es de ₡2 184 por hora, incluyendo cargas sociales, y se considera que la tarea corresponde a un tiempo total de 48 horas por mes. Por lo tanto, realizando la conversión a dólares para el día 10 de diciembre del 2018 a ₡603.22 el dólar, se paga \$2,259.2 al año, como se muestra en el Cuadro 4.13, únicamente por el trabajo asociado a esta limpieza. Para el caso del desinfectante se estima el precio con base al consumo mensual de la empresa y se considera, además, el costo asociado a la compañía contratada para el tratamiento de los desechos extraídos, ya que son sustancias de difícil manejo y por ley no pueden ser desechados como residuos comunes.

Estos valores se encuentran asociados a este año, sin embargo, para los años posteriores se debe considerar la inflación que, a diciembre del 2008 según el Banco Central de Costa Rica corresponde a 3% como mínimo, por lo que el valor aumenta para cada año. Esta misma consideración se hizo también para el precio del desinfectante y el tratamiento de desechos.

Cuadro 4.13. Componentes del beneficio obtenido a partir de la implementación del agitador.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Desinfectante</i>	\$497.3	\$512.3	\$527.6	\$543.5	\$559.8	\$576.5	\$593.8	\$611.7	\$630.0	\$648.9
<i>Empresa de tratamiento Desechos</i>	\$1,989.3	\$2,049.0	\$2,110.5	\$2,173.8	\$2,239.0	\$2,306.2	\$2,375.4	\$2,446.6	\$2,520.0	\$2,595.6
<i>Pago Operario</i>	\$2,259.2	\$2,327.0	\$2,396.8	\$2,468.7	\$2,542.8	\$2,619.1	\$2,697.7	\$2,778.6	\$2,861.9	\$2,947.8
<i>Total Por Año</i>	\$4,745.8	\$4,888.2	\$5,034.9	\$5,186.0	\$5,341.5	\$5,501.8	\$5,666.8	\$5,836.9	\$6,012.0	\$6,192.3
Beneficio Total	\$54,406.3									

Para el caso de los costos asociados a la implementación del agitador se tiene, en primer lugar, el obtenido por parte de la cotización, valor que considera la puesta en Costa Rica. De la misma forma, se obtuvo un aproximado del posible costo de instalación como se muestra en el Cuadro 4.14. Estos valores se toman en cuenta únicamente en el primer año ya que se hace la inversión una única vez.

Cuadro 4.14. Componentes del costo asociado a la implementación del agitador.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Costo Agitador</i>	\$75,710.0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<i>Instalación</i>	\$9,500.0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<i>Consumo Energético</i>	\$430.7	\$443.6	\$456.9	\$470.6	\$484.8	\$499.3	\$514.3	\$529.7	\$545.6	\$562.0
<i>Mantenimiento</i>	\$0	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5	\$3,785.5
<i>Total Por Año</i>	\$85,640	\$4,229.1	\$4,242.4	\$4,256.1	\$4,270.3	\$4,284.8	\$4,299.8	\$4,315.2	\$4,331.1	\$4,347.5
Costo Total	\$124,217.1									

Seguidamente, se tiene el consumo eléctrico que se basa en las tarifas de media tensión proporcionadas por el ICE y la potencia requerida por el agitador cotizado, considerando el periodo de mayor costo que corresponde al periodo punta (Instituto Costarricense de Electricidad, 2018). A este se le agrega la inflación en los años siguientes como se realizó para el caso de los beneficios.

En el caso del mantenimiento, este se decide mantener fijo al paso de los años y se determina con respecto al costo del equipo. Se considera un 5% de este valor debido a que los agitadores requieren mantenimiento periódico, pero de bajo costo y se estaría utilizando una velocidad muy baja que provoca menor desgaste.

Al tener los dos valores de costo y beneficio se determinó la relación entre ellos (B/C) y se obtuvo un valor de 0.438 como se muestra en el Cuadro 4.15 indicando que no existe una buena relación entre la cantidad de dinero a invertir con relación a la ganancia obtenida. La inversión de los 4 agitadores es demasiado alta y no se compara a los gastos de limpieza que se tiene actualmente y por eso se muestra un valor de B/C tan bajo, cuando se conoce que para ser viable de estar arriba de la unidad.

Cuadro 4.15. Resultados del análisis costo-beneficio

Parámetro	Resultado
<i>Beneficio/(\$)</i>	54,406.3
<i>Costo/(\$)</i>	124,217.1
<i>B/C/(Adim)</i>	0.438

Por lo tanto, al ser el valor B/C menor a 1 la implementación de agitación desde el punto de vista financiero no se considera una buena opción. Aunque no se elimina la posibilidad de que la empresa pueda encontrar agitadores de menor costo u obtener algún tipo de descuento por la compra de 4 agitadores, sin embargo, estos casos tendrían sus propios análisis para determinar la conveniencia para la empresa.

De esta forma, tomando en cuenta los datos recolectados y los resultados obtenidos, se concluye que esta opción para eliminar el depósito no resulta rentable para la empresa y se deberían de considerar otras opciones. Una de ellas serían la implementación de una recirculación del aceite dentro del tanque por medio de una tubería añadida y una bomba, esto evitaría que ocurriera una deposición del aceite por su frecuente movimiento al estar siendo succionado por la bomba hacia la tubería y reingresando al tanque. Otra opción sería la implementación de un mayor calentamiento del aceite por medio de más serpentines o una chaqueta que evite el enfriamiento y, por lo tanto, el depósito. No obstante, se recomienda el estudio de la oxidación del aceite para cada una de ellas, acompañado por el análisis financiero para la toma de decisiones.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El método actual de justificación de la merma de la empresa tiene problemas de unidades ya que la humedad inicial se calcula con respecto a la masa de harina inicial, mientras que la humedad del producto terminado está asociada a la masa de producto terminado, la cual incluye aceite y saborizante y, por lo tanto, no pueden ser restadas para el cálculo. Esto evita obtener un número real sobre la merma actual que se encuentra justificada por el proceso.
- En la justificación de la merma se toman en cuenta términos de manera doble, como la humedad del aceite y la diferencia de humedad con el valor ideal (9.30%), lo que causa un valor total inflado y, por lo tanto, una incorrecta justificación de la procedencia de dichas pérdidas.
- En el análisis de merma no se toma en cuenta el porcentaje de agua y vapor adicionado debido a que para la empresa no tiene un costo asociado. Sin embargo, se considera que debería de tomarse como relevante ya que corresponde a una cantidad importante de masa que se pierde en el proceso.
- Por medio de los balances de masa realizados y el método propuesto para la determinación de la merma se obtiene que el valor mínimo para el proceso corresponde a un 2.40%. Este valor corresponde a las pérdidas que la empresa siempre deberá contemplar y, por consiguiente, deberá buscar que la merma no supere dicha cifra.
- Para la mezcladora con aspersión se tiene una absorción de 7.3%, según los datos actuales, mientras que según los datos teóricos se podría estar obteniendo un 8% o más, indicando que existe un bajo aprovechamiento de la masa en esta sección del proceso y que, por lo tanto, es un punto del proceso que requiere acción.
- Se tiene poco control sobre lo que sucede en el secador por lo que el operario decide arbitrariamente los parámetros basándose en el producto que ya ha salido, causando que el producto sea poco homogéneo y en algunos casos esté fuera de la humedad deseada. Esto provoca pérdidas para la empresa ya que, si el producto sale más seco, habrá que agregar más de este para cumplir con el peso de ensacado, mientras que, si sale más húmedo, podría requerir reproceso.
- La harina utilizada para materia prima tiene una humedad bastante alta que causa que la masa inicial de la misma no se vea reflejada en el producto final debido a pérdidas por evaporación a lo largo del proceso.

- El aceite caracterizado presenta una acidez de 3.06 mg_{KOH}/g, un índice de peróxidos de 2.75 meqO₂/kg, una humedad de 0.888% y una densidad relativa de 0.962. Este se encuentra dentro de los parámetros de la empresa, sin embargo, para el caso del índice de peróxidos y la acidez su cercanía al límite podría requerir mayor monitoreo para evitar la rancidez y, por lo tanto, daños a la salud del animal.
- Con un 95% de confianza, no existe diferencia estadística en cuanto a la oxidación del aceite al utilizar agitación simple en comparación con la ausencia de agitación. Por lo que la empresa puede considerar la opción de implementar agitación simple sin que haya una mayor oxidación del aceite.
- Al realizar el cálculo de la potencia del agitador, considerando sus características, las del tanque y fluido a agitar, se determinó que se requieren mínimo 0.03 HP.
- A partir de una cotización con LABS de Costa Rica se propone la agitación simple con un agitador de potencia de 0.5 HP de transmisión por engranaje.
- Al realizar el análisis costo-beneficio se determina la inversión que requeriría comprar, instalar y mantener agitación en los tanques y se compara con el beneficio que traería al eliminar el costo de limpieza del depósito y su tratamiento. Se concluye que la propuesta al obtener una relación de 0.438 entre dichos valores, siendo este menor a 1, no resulta viable desde el punto de vista financiero.

Recomendaciones

- Utilizar otro método de cálculo para la merma de una forma que se incluyan todas las pérdidas asociadas a los equipos y se pueda justificar completamente, como el método propuesto anteriormente.
- Agregar un vacío leve a la mezcladora con aspersión para garantizar un mayor aprovechamiento de la masa adicionada.
- Instalar un sistema de control automático para el secador que brinde más seguridad de las características y homogeneidad del producto que sale de dicho equipo.
- Evaluar los procesos actuales para obtener la harina con el propósito de reducir la humedad inicial y estudiar las implicaciones operativas, considerando la capacidad explosiva del polvo, para determinar si resulta viable.
- Estudiar la posibilidad de implementar otro método de evitar que haya depósito de aceite como la instalación de una tubería externa y una bomba para recirculación o aplicar mayor calentamiento por medio de una chaqueta o serpentines.

Capítulo 6. Bibliografía

- A.O.A.C. (2000). *Official Method 965.33 Peroxide Value in oils and fats*. Pearson's Composition and analysis of food.
- Andritz. (2018). *Feed and Biofuel, Exceptional Product Quality*. Austria.
- Bailey, A. (1984). *Aceites y Grasas Industriales*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Brodkey, R., & Hershey, H. (1998). *Transport Phenomena*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Brodkey, R., & Hershey, H. (2003). *Transport Phenomena: A Unified Approach*. Ohio: Brodkey Publishing.
- Cargill, Inc. (agosto de 2017). *Productos y Servicios*. Obtenido de Cargill Centroamérica: <http://www.cargill.com.hn/es/productos-y-servicios/index.jsp>
- Castro, G. (2017). Proceso de la planta extrusora de PIPASA. (K. Solís, Entrevistador)
- Costa, J. (1984). *Curso de ingeniería química: introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Barcelona: Reverté.
- Fontana, A., Barbosa-Cánovas, G., Schmidt, S., & Labuza, T. (2007). *Water Activity in Food*. Iowa: Blackwell Publishing and the Insititute of Food Technologists.
- Fuguitt, D., & Wilcox, S. (1999). *Cost-Benefit Analysis for Public Sector Decision Makers*. Wesport.
- Heldman, D. (2003). *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Instituto Costarricense de Electricidad. (6 de diciembre de 2018). *Grupo ICE*. Obtenido de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/Tarifas+actuales.pdf?MOD=AJPERES>
- International Standard ISO 3976 . (IDF 74:2006). Milk Fat-Determination of peroxide valor.
- Joyce, B., & Arcand, Y. (2012). *Green Technologies in Food Production and Processing*. New York: Springer Science+Business Media.
- Kent, N. (1994). *Technology of Cereals: An introduction for students of food science and agriculture*. New York: Elsevier Science.
- Lamichhane, S. (2015). *EVALUATION OF VACUUM POST-PELLET APPLICATIONS OF BIOACTIVES TO BROILER FEED ON EFFICACY AND PROTECTED DELIVERY*. Saskatchewan: University of Saskatchewan.
- Lund, D. (2009). Influence of time, temperatura, moisture, ingredients, and porcessing conditions on starch gelatinization. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.

- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2003). *Operaciones básicas de Ingeniería Química*. Barcelona: Reverté.
- Mccabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Mujumdar, A. (2015). *Handbook of Industrial Drying*. Boca Ratón: CRC Press.
- Muresan, V., Muste, S., Racolta, E., Semenuic, C., Man, S., Birou, A., & Chircu, C. (2010). Determination of Peroxide Valor in Sunflower Halva using a Spectrophotometric Method. *UASVM Agriculture*.
- Nas, T. (2016). *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*. Maryland: Lexington Books.
- Paulino, J. (2013). Peletización y Calidad del Pellet. *El Sitio Avícola*.
- Rockland, L., & Stewart, G. (1981). *Water Activity: Influences on Food Quality*. New York: Academic Press, Inc.
- Rojano, B. (1997). *Oxidación de Lípidos y Antioxidantes*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Schmid, S., & Kalpakjan, S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación.
- Tran, Q. (2008). *Extrusion Processing: Effects on Dry Canine Diets*. Wageningen: Wageningen Insititue of Animal Sciences.
- Troller, J. (1978). *Water Activity and Food*. New York: Academic Press.
- Turégano, C. (2012). *Norma Mexicana: ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES – DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES - MÉTODO DE PRUEBA*. México D.F.: Secretaría de Economía.
- Turégano, C. (2012). *Norma Mexicana: ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES – DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIA VOLATIL POR EL MÉTODO DE PLACA CALIENTE - MÉTODO DE PRUEBA*. México D.F.: Secretaría de Economía.
- Turégano, C. (2012). *Norma Mexicana: ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA – MÉTODO DE PRUEBA*. México D.F.: Secretaría de Economía.
- Uribe, A., Rivera, R., Aguilera, A., & Murrieta, E. (2012). Agitación y Mezclado. *Enlace Químico*.

Nomenclatura

Mayúsculas

<i>A</i>	Absorción del aceite, %
<i>AV</i>	Valor ácido, mg _{KOH} /g
<i>C</i>	Concentración, mol/L
<i>D</i>	Diámetro, m
<i>H</i>	Altura, m
<i>IP</i>	Índice de Peróxidos, meq _{O₂} /kg
<i>M</i>	Molaridad, mol/L
<i>MM</i>	Masa Molar, g/mol
<i>MR</i>	Merma, %
<i>N</i>	Normalidad, meq/mL
<i>N_p</i>	Número de Potencia, adim
<i>N_R</i>	Número de Reynolds, adim
<i>P</i>	Peso, kg
<i>Pe</i>	Pérdida, kg
<i>Pot</i>	Potencia, kW - HP
<i>R</i>	Relación de Geométrica, adim
<i>TC</i>	Tipo de cambio, ¢/\$
<i>V</i>	Volumen, L - mL
<i>X</i>	Humedad, %
<i>Y</i>	Razón de humedad del aire, kg/kg

Minúsculas

<i>c</i>	Costo, \$
<i>f</i>	Factor, adim
<i>fi</i>	Factor de Fricción, adim
<i>m</i>	Masa, kg
<i>n</i>	Unidades empacadas, adim
<i>n_m</i>	Número de moles, mol
<i>n_t</i>	Número de tandas, adim
<i>t</i>	Tarifa, ¢
<i>v</i>	Velocidad, rpm - rev/s

Letras Griegas

ρ	Densidad, kg/m ³ – g/L
η	Eficiencia, %

Subíndices

1	Referente a tarifa 1
2	Referente a tarifa 2
<i>a</i>	Referente a agitador

<i>ac</i>	Referente a aceite
<i>ae</i>	Referente a agitador a escala
<i>aire</i>	Referente al aire
<i>as</i>	Referente a aire seco
<i>B</i>	Referente al blanco
<i>c</i>	Referente a lo consumido
<i>d</i>	Referente a la depreciación
<i>e</i>	Referente a escala
<i>elec</i>	Referente a electricidad
<i>empaque</i>	Referente al empaque
<i>f</i>	Referente a final
<i>h</i>	Referente a húmedo
<i>harina</i>	Referente a haría
<i>i</i>	Referente a inicial
<i>ideal</i>	Referente a ideal
<i>inf</i>	Referente a inflación
<i>KHP</i>	Referente a ftalato ácido de potasio
<i>KMnO4</i>	Referente a Permanganato
<i>mant</i>	Referente al mantenimiento
<i>máx</i>	Referente al valor máximo
<i>NaOH</i>	Referente al Hidróxido de Sodio
<i>p</i>	Referente a masa perdida
<i>pic</i>	Referente al picnómetro
<i>PT</i>	Referente al producto terminado
<i>r</i>	Referente al equipo real
<i>romana</i>	Referente al dato obtenido de la pesa romana
<i>s</i>	Referente a en base seca
<i>sab</i>	Referente al saborizante
<i>salida</i>	Referente a la salida del proceso
<i>ss</i>	Referente al sólido seco
<i>ssn</i>	Referente al sólido seco nuevo
<i>T</i>	Referente a total
<i>tanda</i>	Referente a la tanda
<i>te</i>	Referente al tanque a escala
<i>tio</i>	Referente al tiosulfato de sodio
<i>v</i>	Referente al vapor
<i>va</i>	Referente al vapor en el acondicionador
<i>ve</i>	Referente al vapor en el extrusor
<i>w</i>	Referente al agua
<i>wa</i>	Referente al agua en el acondicionador
<i>we</i>	Referente al agua en el extrusor

Apéndices

Apéndice A. Datos experimentales

Cuadro A. 1. Datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al acondicionador.

Densidad /(g/L)	Temperatura /(°C)	Humedad /(%)	Temperatura Pellet /(°C)	Flujo másico /(kg/h)	Flujo Agua /(%)	Flujo Vapor /(%)
400	95	20.25	84.9	4300	4.5	6.4
397	96	20.30	84.3	4300	4.5	6.4
384	97	19.77	84.1	4300	4.5	6.4
380	96	20.00	84.0	4300	4.5	6.4
387	96	19.90	84.1	4300	4.5	6.4
382	97	19.95	85.2	4300	4.5	6.4
389	97	20.00	86.8	4300	4.5	6.4
378	97	20.25	83.0	4300	5.0	6.4
376	97	20.71	84.6	4300	5.0	6.3
376	95	21.05	85.7	4300	5.0	6.3
381	96	20.89	85.9	4300	5.0	6.3
378	96	20.80	85.6	4300	4.5	6.0
380	97	20.85	84.6	4300	4.5	6.3
382	97	18.06	85.5	4300	5.0	6.3
377	97	19.90	84.0	4300	5.0	6.3
351	99	20.26	85.0	4300	5.0	6.3
392	99	20.81	84.0	4300	5.0	6.3
389	99	20.60	85.0	4300	5.0	6.3
391	99	20.56	85.0	4300	5.0	6.3
389	99	20.48	85.0	4300	5.0	6.3
391	99	20.61	86.0	4300	5.0	6.3
389	98	20.71	85.0	4300	5.0	6.3
394	98	20.28	84.0	4300	5.0	6.3
386	97	20.35	85.0	4300	5.0	6.3
390	97	20.25	84.0	4300	5.0	6.3
394	97	20.35	84.3	4300	5.0	6.3
390	97	20.50	84.3	4300	5.0	6.3
388	98	20.10	84.1	4300	5.0	6.3
387	98	20.20	84.9	4300	5.0	6.3

Cuadro A. 1. Continuación datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al acondicionador.

Densidad /(g/L)	Temperatura /(°C)	Humedad /(%)	Temperatura Pellet /(°C)	Flujo másico /(kg/h)	Flujo Agua /(%)	Flujo Vapor /(%)
384	99	20.00	85.6	4300	5.0	6.3
388	98	19.90	84.3	4300	5.0	6.3
385	97	20.70	84.9	4300	5.0	6.3
390	98	20.54	84.3	4300	5.0	6.3
394	98	20.60	84.9	4300	5.0	6.4
388	98	20.70	84.9	4000	5.0	6.4
381	98	20.68	84.7	4300	5.0	6.4
383	97	20.84	84.9	4300	5.0	6.4
380	97	21.06	84.1	4300	5.0	6.3
371	96	20.94	84.7	4300	5.0	6.3
382	97	20.90	85.4	4200	5.0	6.3
356	96	20.82	86.7	4200	5.0	6.3
375	96	20.86	86.9	4200	0.0	6.3
368	97	20.81	87.1	4200	0.0	6.3
373	97	20.94	86.6	4200	5.0	6.3
388	97	20.56	84.0	4200	5.0	6.3
390	98	20.82	85.0	4200	5.0	6.3
392	98	21.02	86.0	4200	5.0	6.3
389	98	21.40	85.0	4200	5.0	6.3
385	98	21.41	86.0	4200	5.0	6.3

Cuadro A. 2. Datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al extrusor y secador.

Extrusor		Secado	
Flujo Agua /(%)	Flujo Vapor /(%)	Humedad /(%)	Temperatura /(°C)
5.0	4.0	9.40	78.00
5.0	4.0	9.48	79.00
5.0	4.0	9.20	81.00
5.0	4.0	9.28	81.00
5.0	4.0	9.35	82.00
5.0	4.0	9.40	78.00
5.0	4.0	9.38	77.20

Cuadro A. 2. Continuación datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al extrusor y secador.

Extrusor		Secado	
Flujo Agua /(%)	Flujo Vapor /(%)	Humedad /(%)	Temperatura /(°C)
5.0	4.2	9.50	78.10
5.0	4.2	9.49	77.00
5.0	4.2	9.42	77.00
5.0	4.0	9.43	75.00
5.0	4.0	9.56	74.10
5.0	4.0	9.62	75.10
4.5	4.0	9.76	74.90
4.5	4.0	9.63	73.90
4.5	4.0	9.81	74.10
4.5	4.0	9.60	74.90
4.5	4.0	9.52	74.10
4.0	4.0	9.61	74.00
4.0	4.0	9.56	74.90
4.0	4.0	9.33	74.00
4.0	4.0	9.61	73.70
4.5	4.4	9.59	73.10
4.5	4.4	9.61	74.00
4.5	4.4	9.45	73.60
4.5	4.4	9.33	72.10
4.5	4.4	9.45	73.10
4.5	4.4	9.38	72.40
4.5	4.4	9.45	71.30
4.5	4.4	9.53	70.60
4.5	4.4	9.20	77.00
4.5	4.4	9.15	78.00
5.0	4.4	9.25	79.00
5.0	4.5	9.34	77.00
5.0	4.5	9.49	78.00
5.0	4.5	9.45	80.00
4.5	4.5	9.52	81.00
4.5	4.4	9.55	78.10
4.5	4.4	9.49	79.10

Cuadro A. 2. Continuación datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados al extrusor y secador.

Extrusor		Secado	
Flujo Agua /(%)	Flujo Vapor /(%)	Humedad /(%)	Temperatura /(°C)
4.3	4.0	9.53	78.10
4.3	4.0	9.61	75.10
0.0	4.0	9.58	75.90
0.0	4.0	9.56	74.10
4.3	4.0	9.62	73.70
4.3	4.0	9.76	74.00
5.0	4.0	9.86	73.90
4.3	4.0	9.44	74.30
4.3	4.0	9.58	74.10
4.3	4.0	9.48	73.00

Cuadro A. 3. Datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados a la mezcladora por aspersión y al producto terminado.

Mezcladora por aspersión			Producto Terminado			
Tanda /(kg)	Porcentaje Saborizante /(%)	Porcentaje Aceite /(%)	Humedad /(%)	A _w /(Adim)	Densidad /(g/L)	Temperatura Producto /(°C)
400	2.5	5.50	9.30	0.62	430	27.10
400	2.5	5.50	9.24	0.62	428	26.50
400	2.5	5.50	9.30	0.62	428	26.70
400	2.5	5.50	9.35	0.62	431	26.30
400	2.5	5.50	9.29	0.61	420	26.10
400	2.5	5.50	9.31	0.60	425	26.30
400	2.5	5.50	9.63	0.63	430	25.60
400	2.5	5.50	9.48	0.62	424	26.10
400	2.5	5.50	9.33	0.61	426	26.30
400	2.5	5.50	8.92	0.58	421	26.50
400	2.5	5.50	8.99	0.59	410	26.90
400	2.5	5.50	8.95	0.59	418	27.10
400	2.5	5.50	9.33	0.60	429	28.00
400	2.5	5.50	9.28	0.60	431	27.80
400	2.5	5.50	9.30	0.61	427	28.40
400	2.5	5.50	9.20	0.60	432	29.90
400	2.5	5.50	9.11	0.60	435	31.10

Cuadro A. 3. Continuación datos experimentales obtenidos de las hojas de control del producto A asociados a la mezcladora por aspersión y al producto terminado.

Mezcladora por aspersión			Producto Terminado			
Tanda /(kg)	Porcentaje Saborizante /(%)	Porcentaje Aceite /(%)	Humedad /(%)	A _w /(Adim)	Densidad /(g/L)	Temperatura Producto /(°C)
400	2.5	5.50	9.30	0.60	416	35.10
400	2.5	5.50	9.26	0.60	429	35.90
400	2.5	5.50	9.29	0.61	432	35.70
400	2.5	5.50	9.05	0.60	437	35.90
400	2.5	5.50	9.11	0.60	435	35.70
400	2.5	5.50	9.20	0.61	439	35.90
400	2.5	5.50	8.94	0.60	435	34.80
400	2.5	5.50	9.26	0.62	440	33.10
400	2.5	5.50	9.19	0.62	438	32.40
400	2.5	5.50	9.32	0.63	439	26.90
400	2.5	5.50	9.28	0.62	435	25.20
400	2.5	5.50	9.21	0.63	433	26.50
400	2.5	5.50	9.09	0.62	437	26.10
400	2.5	5.50	9.55	0.61	425	26.50
400	2.5	5.50	9.42	0.60	429	26.30
400	2.5	5.50	8.96	0.59	433	26.80
400	2.5	5.50	9.03	0.60	435	26.10
400	2.5	5.50	8.98	0.61	433	25.80
400	2.5	5.50	9.10	0.61	426	26.10
400	2.5	5.50	9.27	0.60	421	26.30
400	2.5	5.50	9.18	0.58	426	26.10
400	2.5	5.50	9.20	0.59	420	26.80
400	2.5	5.50	9.11	0.59	423	27.10
400	2.5	5.50	9.09	0.58	430	28.80
400	2.5	5.50	9.20	0.61	431	29.70
400	2.5	5.50	9.36	0.61	423	29.90
400	2.5	5.50	9.31	0.62	423	31.10
400	2.5	5.50	9.25	0.60	427	33.90
400	2.5	5.50	8.87	0.58	424	33.90
400	2.5	5.50	8.94	0.58	416	34.20
400	2.5	5.50	8.98	0.59	421	34.00

Cuadro A. 4. Datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.

Tiempo	Ver. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:26:28	3.58	5113.4	40.50	33.60	21.40	26.50
9:26:32	3.62	5170.6	41.10	30.50	20.40	26.10
9:26:37	3.59	5134.1	41.10	28.40	19.20	25.40
9:26:42	4.22	6025.3	40.80	28.20	18.80	25.10
9:26:47	4.73	6751.3	40.60	27.00	18.00	24.70
9:26:52	6.89	9840.1	40.50	26.60	17.60	24.40
9:26:57	4.08	5822.0	40.70	45.60	26.60	29.80
9:27:02	3.80	5424.8	40.80	68.40	33.80	35.00
9:27:07	3.82	5455.4	41.10	61.40	32.20	33.90
9:27:12	4.22	6024.2	41.30	75.80	36.10	37.00
9:27:17	3.78	5397.8	41.30	39.70	24.80	28.70
9:27:22	4.16	5938.0	40.70	36.60	23.00	27.50
9:27:27	4.49	6419.8	41.00	69.30	34.30	35.40
9:27:32	4.55	6504.4	41.10	54.20	30.00	32.30
9:27:37	3.66	5234.1	41.10	27.50	18.60	25.10
9:27:42	3.74	5338.3	41.00	27.60	18.60	25.10
9:27:47	4.38	6250.9	41.80	56.30	31.30	33.30
9:27:52	4.44	6342.5	41.80	82.00	38.00	38.60
9:27:57	4.51	6439.9	41.60	55.90	31.00	33.10
9:28:02	4.78	6835.2	41.60	62.60	32.90	34.50
9:28:07	4.95	7074.9	41.70	56.90	31.40	33.40
9:28:12	4.74	6774.5	41.70	38.70	24.80	28.80
9:28:17	3.97	5669.6	41.60	28.20	19.50	25.70
9:28:22	3.91	5583.7	41.40	25.30	17.60	24.70
9:28:27	3.44	4914.5	41.10	25.10	17.30	24.40
9:28:32	3.46	4946.6	40.60	28.00	18.50	24.90
9:28:37	4.35	6216.1	41.20	51.00	29.00	31.60
9:28:42	4.23	6040.3	41.50	59.90	32.10	33.90
9:28:47	4.19	5983.2	41.70	41.70	26.00	29.60
9:28:52	4.27	6101.9	41.10	37.10	23.60	27.90
9:28:57	4.25	6064.0	41.10	44.90	26.70	30.00
9:29:02	4.99	7134.3	42.00	94.10	40.80	41.00
9:29:07	5.27	7532.0	44.70	98.50	44.40	44.40
9:29:12	5.40	7712.1	46.20	97.70	45.80	45.80

Cuadro A. 4. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:29:22	5.68	8111.5	43.40	85.00	40.30	40.70
9:29:27	5.98	8542.7	44.00	79.70	39.60	40.20
9:29:32	5.83	8332.9	44.00	80.30	39.80	40.40
9:29:37	5.95	8495.1	44.00	80.20	39.80	40.40
9:29:42	5.61	8016.9	43.60	79.50	39.30	39.90
9:29:47	5.93	8474.7	44.30	81.90	40.50	41.00
9:29:52	5.91	8438.8	46.00	81.20	42.00	42.50
9:29:57	6.00	8574.8	47.20	80.80	43.10	43.60
9:30:02	6.10	8714.3	51.50	71.70	44.90	45.60
9:30:07	6.09	8703.8	48.80	62.70	39.80	41.00
9:30:12	6.23	8898.6	48.20	65.30	40.00	41.10
9:30:17	6.08	8681.3	47.80	66.20	39.90	41.00
9:30:22	5.88	8396.2	45.60	59.90	36.00	37.50
9:30:27	5.47	7816.1	45.10	51.60	32.80	35.00
9:30:32	5.58	7969.1	44.40	55.10	33.30	35.30
9:30:37	4.90	7005.1	43.10	74.90	37.60	38.50
9:30:42	5.33	7616.0	44.30	88.50	42.00	42.30
9:30:47	5.64	8062.0	50.50	100.00	50.50	50.50
9:30:52	5.23	7474.4	58.40	94.40	57.10	57.20
9:30:57	3.49	4990.4	57.50	95.20	56.50	56.60
9:31:02	5.74	8203.7	62.30	96.20	61.40	61.50
9:31:07	6.55	9351.8	56.80	78.90	51.80	52.20
9:31:12	6.77	9672.5	55.10	91.90	53.40	53.50
9:31:17	6.66	9519.9	54.60	76.10	49.00	49.50
9:31:22	6.73	9618.3	57.20	93.80	55.90	56.00
9:31:27	6.57	9387.9	56.20	89.60	54.00	54.10
9:31:32	6.68	9537.0	59.20	91.40	57.30	57.40
9:31:37	6.31	9020.1	54.20	80.20	49.70	50.10
9:31:42	6.14	8767.7	49.10	43.90	33.50	36.20
9:31:47	5.99	8558.4	47.10	63.30	38.30	39.60
9:31:52	6.07	8671.6	46.30	76.90	41.30	41.90
9:31:57	6.20	8856.1	45.30	74.50	39.70	40.40
9:32:02	6.05	8637.1	44.90	80.60	40.70	41.30
9:32:07	5.86	8372.4	44.00	60.20	34.50	36.10

Cuadro A. 4. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:32:17	6.40	9139.4	56.60	98.40	56.30	56.30
9:32:22	6.38	9117.8	56.00	97.70	55.50	55.50
9:32:27	6.87	9809.0	59.30	95.90	58.40	58.50
9:32:32	6.85	9784.5	60.20	85.90	57.00	57.20
9:32:37	6.31	9015.1	52.90	75.00	47.20	47.70
9:32:42	6.28	8973.3	53.30	82.20	49.30	49.70
9:32:47	6.70	9567.9	59.30	86.40	56.20	56.40
9:32:52	6.43	9182.0	57.50	66.00	49.00	49.80
9:32:57	5.62	8030.0	48.40	36.60	29.70	33.40
9:33:02	5.56	7945.5	46.20	43.20	30.70	33.70
9:33:07	5.48	7832.5	45.30	51.70	33.00	35.20
9:33:12	5.39	7698.9	44.20	53.30	32.50	34.70
9:33:17	5.30	7577.5	43.70	68.30	36.50	37.60
9:33:22	5.54	7915.0	43.20	34.80	24.30	28.90
9:33:27	5.50	7854.8	42.40	57.60	32.30	34.10
9:33:32	5.06	7225.7	42.00	27.60	19.40	25.80
9:33:37	5.69	8123.2	41.50	70.10	34.90	36.00
9:33:42	5.33	7614.1	41.50	63.40	33.10	34.60
9:33:47	5.80	8278.6	45.90	93.60	44.60	44.80
9:33:52	6.17	8817.8	47.80	88.00	45.30	45.50
9:33:57	6.01	8580.5	46.60	87.20	43.90	44.30
9:34:02	5.40	7717.2	44.00	71.60	37.70	38.70
9:34:07	5.41	7733.0	43.20	74.70	37.70	38.60
9:34:12	4.83	6892.6	42.70	56.90	32.30	34.20
9:34:17	4.85	6933.2	42.30	56.00	31.70	33.70
9:34:22	4.78	6828.7	41.80	35.40	23.40	28.00
9:34:27	4.72	6744.4	41.50	47.40	28.10	31.00
9:34:32	5.10	7290.1	42.00	75.30	36.70	37.50
9:34:37	7.06	10082.4	54.30	87.90	51.70	51.90
9:34:42	7.61	10864.4	51.70	87.10	48.90	49.20
9:34:47	7.30	10425.3	48.00	81.50	44.00	44.40
9:34:52	5.96	8516.1	45.40	74.30	39.70	40.50
9:34:57	5.85	8362.0	43.90	57.30	33.50	35.30
9:35:02	4.88	6972.4	43.60	23.40	18.20	25.50

Cuadro A. 4. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:35:12	3.77	5389.5	42.80	21.40	16.20	24.30
9:35:17	4.47	6383.5	42.50	22.50	16.60	24.50
9:35:22	3.58	5121.0	42.10	23.70	17.20	24.60
9:35:27	4.56	6520.5	42.30	56.30	31.80	33.80
9:35:32	3.56	5088.5	41.80	30.10	20.70	26.40
9:35:37	3.10	4422.5	41.40	25.20	17.50	24.60
9:35:42	4.28	6112.9	41.60	63.10	33.10	34.60
9:35:47	4.22	6023.2	41.60	79.20	37.30	37.90
9:35:52	3.98	5684.1	41.30	36.70	23.50	27.90
9:35:57	3.97	5678.1	41.30	33.00	21.80	26.90
9:36:02	4.06	5800.3	41.50	42.40	26.20	29.70
9:36:07	4.24	6060.4	41.50	27.10	18.70	25.20
9:36:12	5.73	8187.5	47.40	78.20	42.60	43.20
9:36:17	5.00	7146.8	46.20	88.70	43.80	44.10
9:36:22	5.17	7381.9	43.10	81.30	39.20	39.80
9:36:27	5.09	7270.5	42.60	78.90	38.10	38.80
9:36:32	5.21	7447.7	42.40	69.30	35.60	36.70
9:36:37	5.04	7202.2	42.20	38.40	25.10	29.10
9:36:42	5.59	7979.8	42.40	75.50	37.20	38.00
9:36:47	5.74	8194.0	41.80	89.30	39.60	40.00
9:36:52	5.43	7753.4	42.10	83.80	38.80	39.20
9:36:57	5.42	7740.6	42.70	83.60	39.40	39.80
9:37:02	5.77	8249.4	43.50	99.10	43.30	43.30
9:37:07	5.06	7224.5	42.70	64.80	34.60	36.00
9:37:12	4.10	5857.1	42.00	32.80	22.30	27.40
9:37:17	4.50	6425.5	42.40	59.00	32.70	34.40
9:37:22	5.73	8185.9	45.50	87.90	43.00	43.30
9:37:27	4.98	7111.3	44.00	86.50	41.30	41.60
9:37:32	5.23	7468.9	43.20	48.30	29.90	32.60
9:37:37	8.69	12419.8	42.80	25.90	19.10	25.80
9:37:42	13.46	19225.1	42.10	24.20	17.50	24.80
9:37:47	13.62	19449.1	41.60	24.10	17.00	24.40
9:37:52	7.84	11192.7	41.30	25.20	17.40	24.60

Cuadro A. 4. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:37:57	2.38	3402.5	41.20	25.80	17.70	24.60
9:38:02	1.58	2257.7	41.10	26.50	18.10	24.80
9:38:07	2.52	3604.8	41.20	27.30	18.70	25.20
9:38:12	3.34	4769.1	41.00	26.70	18.10	24.80
9:38:17	4.44	6337.1	40.60	26.60	17.70	24.50
9:38:22	4.65	6643.7	40.50	26.90	17.90	24.50
9:38:27	3.97	5677.8	40.80	32.50	21.10	26.40
9:38:32	2.70	3849.8	40.90	32.00	21.00	26.30
9:38:37	3.46	4947.3	40.90	27.80	18.70	25.10
9:38:42	3.12	4462.4	41.30	48.10	28.10	30.90
9:38:47	3.56	5089.1	41.30	32.70	21.60	26.80
9:38:52	3.17	4533.0	42.00	59.40	32.50	34.20
9:38:57	2.83	4045.2	41.60	36.40	23.70	28.10
9:39:02	3.15	4495.4	41.90	37.30	24.30	28.60
9:39:07	3.12	4457.6	41.70	39.20	25.00	28.90
9:39:12	2.74	3921.0	41.70	26.30	18.50	25.20
9:39:17	2.75	3929.3	41.80	25.50	18.10	25.00
9:39:22	3.08	4403.0	41.50	27.30	18.90	25.30
9:39:27	3.25	4648.7	41.40	30.40	20.60	26.30
9:39:32	2.98	4251.1	41.40	26.30	18.20	24.90
9:39:37	3.37	4811.4	41.80	37.70	24.50	28.60
9:39:42	3.37	4816.3	41.40	46.10	27.50	30.50
9:39:47	3.71	5299.1	41.40	57.10	31.20	33.20
9:39:52	3.79	5412.7	41.00	47.00	27.40	30.40
9:39:57	4.19	5987.9	40.90	59.30	31.40	33.20
9:40:02	4.05	5779.1	41.10	51.30	29.10	31.60
9:40:07	4.06	5801.8	42.10	86.70	39.40	39.70
9:40:12	3.76	5373.7	41.90	37.40	24.40	28.60
9:40:17	3.72	5317.2	41.20	32.10	21.20	26.50
9:40:22	4.36	6235.3	41.90	72.90	36.00	36.90
9:40:27	4.38	6254.7	42.00	57.50	31.90	33.80
9:40:32	3.68	5251.4	42.00	32.00	21.90	27.10
9:40:37	3.83	5467.2	41.90	36.10	23.80	28.20
9:40:42	5.32	7597.0	41.50	28.40	19.50	25.60

Cuadro A. 4. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del secador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:40:47	12.32	17605.0	41.50	25.20	17.60	24.70
9:40:52	6.51	9299.1	41.60	25.20	17.70	24.70
9:40:57	5.74	8200.9	41.80	25.10	17.80	24.90
9:41:02	5.90	8423.0	41.90	25.30	18.00	25.00
9:41:07	6.55	9349.5	41.90	25.50	18.20	25.10
9:41:12	8.52	12174.5	41.50	24.70	17.30	24.50
9:41:17	5.66	8090.3	41.30	25.20	17.40	24.50
9:41:22	10.46	14940.0	41.30	26.00	17.90	24.80
9:41:27	8.92	12743.9	41.40	26.20	18.10	24.90
9:41:32	13.19	18835.8	41.50	26.20	18.20	25.00
9:41:37	15.25	21779.3	42.40	30.90	21.70	27.10

Cuadro A. 5. Datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:46:24	16.03	22903.8	53.40	14.90	18.80	28.10
9:46:28	16.62	23740.8	53.50	14.70	18.70	28.10
9:46:33	16.54	23620.3	53.60	14.50	18.50	28.00
9:46:38	16.69	23834.7	53.60	14.30	18.30	28.00
9:46:43	16.82	24024.0	53.60	14.20	18.20	27.90
9:46:48	17.37	24812.2	53.60	14.10	18.10	27.80
9:46:53	16.28	23262.0	53.50	14.10	18.00	27.80
9:46:58	16.71	23873.4	53.40	14.10	18.00	27.70
9:47:03	16.69	23843.9	53.30	14.10	17.90	27.70
9:47:08	16.89	24121.4	53.20	14.10	17.80	27.60
9:47:13	16.77	23951.1	53.10	14.10	17.80	27.60
9:47:18	16.77	23957.9	53.10	18.10	21.80	29.50
9:47:23	16.66	23800.1	53.50	21.50	24.80	31.30
9:47:28	16.30	23287.7	54.10	22.80	26.30	32.30
9:47:33	16.12	23032.4	54.80	23.50	27.50	33.10
9:47:38	15.66	22375.9	55.50	24.00	28.40	33.80
9:47:43	16.21	23162.3	56.00	23.40	28.40	33.90
9:47:48	16.24	23192.9	56.60	23.10	28.60	34.10
9:47:53	15.81	22588.0	57.10	22.80	28.80	34.30
9:47:58	15.95	22784.5	57.50	20.90	27.60	33.70
9:48:03	16.27	23235.3	57.70	18.80	26.10	32.80

Cuadro A. 5. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador.

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:48:08	16.48	23548.0	57.90	17.60	25.10	32.30
9:48:13	16.55	23642.5	58.10	16.50	24.10	31.80
9:48:18	15.91	22733.4	58.10	15.80	23.50	31.50
9:48:23	16.08	22971.8	58.10	15.30	22.90	31.10
9:48:28	16.16	23087.8	58.10	14.80	22.40	30.90
9:48:33	16.22	23165.9	58.00	14.50	21.90	30.60
9:48:38	16.13	23037.6	57.90	14.20	21.50	30.40
9:48:43	16.01	22870.1	57.90	13.90	21.20	30.20
9:48:53	16.34	23342.2	57.70	13.50	20.50	29.90
9:48:58	16.69	23846.6	57.70	13.30	20.30	29.80
9:49:03	16.80	24002.8	57.60	13.20	20.10	29.60
9:49:08	16.36	23367.7	57.50	13.10	19.80	29.50
9:49:13	16.50	23574.3	57.40	13.00	19.60	29.40
9:49:18	16.41	23445.9	57.30	12.90	19.50	29.30
9:49:23	16.22	23176.0	57.10	12.80	19.30	29.20
9:49:28	16.74	23915.1	57.00	12.80	19.10	29.10
9:49:33	16.54	23629.0	56.90	12.70	18.90	29.00
9:49:38	16.55	23637.8	56.80	12.70	18.80	28.90
9:49:43	16.07	22961.4	56.70	12.60	18.70	28.80
9:49:48	16.18	23110.1	56.50	12.60	18.60	28.70
9:49:53	16.43	23473.9	56.40	12.60	18.50	28.60
9:49:58	16.47	23522.6	56.30	12.60	18.40	28.60
9:50:03	16.67	23810.2	56.20	12.60	18.20	28.50
9:50:08	16.76	23947.5	56.00	12.60	18.20	28.40
9:50:13	16.35	23355.1	55.90	12.60	18.10	28.30
9:50:18	17.35	24787.3	55.70	12.60	18.00	28.30
9:50:23	17.30	24712.4	55.60	12.60	17.90	28.20
9:50:28	17.25	24647.4	55.50	12.70	17.90	28.20
9:50:33	17.02	24317.2	55.30	12.70	17.80	28.10
9:50:38	16.48	23536.7	55.20	12.80	17.80	28.10
9:50:43	16.76	23946.4	55.00	12.80	17.70	28.00
9:50:48	16.65	23783.9	54.90	12.90	17.70	28.00
9:50:53	16.13	23037.7	54.70	12.90	17.60	27.90
9:50:58	17.12	24451.2	54.60	13.00	17.60	27.80

Cuadro A. 5. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:51:03	15.77	22520.1	54.40	13.00	17.40	27.70
9:51:08	15.55	22210.2	54.20	13.10	17.30	27.60
9:51:13	15.28	21823.2	54.00	13.20	17.40	27.60
9:51:18	15.38	21973.2	53.80	13.30	17.30	27.60
9:51:23	15.12	21595.1	53.70	13.40	17.30	27.50
9:51:28	15.30	21854.2	53.50	13.50	17.30	27.50
9:51:33	15.64	22342.7	53.40	16.60	20.60	29.00
9:51:38	15.22	21745.3	53.70	20.30	24.10	30.90
9:51:43	15.14	21625.9	54.10	22.00	25.80	32.00
9:51:48	15.43	22037.4	54.60	23.00	27.00	32.80
9:51:53	14.93	21328.0	55.40	23.80	28.20	33.70
9:51:58	14.72	21034.0	56.00	23.00	28.10	33.70
9:52:03	14.62	20883.1	56.50	22.10	27.80	33.60
9:52:08	14.86	21226.7	57.00	21.70	27.90	33.80
9:52:13	15.13	21615.2	57.30	20.10	26.90	33.20
9:52:18	14.61	20868.4	57.50	18.40	25.50	32.50
9:52:23	15.29	21843.9	57.60	17.20	24.50	31.90
9:52:28	14.95	21359.8	57.70	16.30	23.60	31.40
9:52:33	15.28	21824.7	57.60	15.60	22.90	31.10
9:52:38	15.14	21621.9	57.60	15.20	22.40	30.80
9:52:43	13.98	19976.4	57.40	14.70	21.70	30.40
9:52:48	14.08	20114.9	57.40	14.50	21.50	30.30
9:52:53	15.81	22584.9	57.30	14.30	21.20	30.10
9:52:58	16.35	23360.9	57.40	14.00	20.90	30.00
9:53:03	16.02	22879.4	57.40	13.80	20.60	29.80
9:53:08	16.00	22862.0	57.30	13.50	20.30	29.70
9:53:13	16.00	22858.5	57.20	13.40	20.00	29.50
9:53:18	15.53	22190.9	57.10	13.30	19.80	29.40
9:53:23	15.67	22389.8	57.00	13.20	19.60	29.30
9:53:28	15.49	22120.7	56.80	13.10	19.40	29.20
9:53:33	15.68	22397.2	56.70	13.00	19.20	29.10
9:53:38	15.56	22232.9	56.60	13.00	19.10	29.00
9:53:43	15.61	22295.4	56.50	12.90	18.90	28.90
9:53:44	15.65	22350.6	56.50	12.90	18.90	28.90

Cuadro A. 5. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:53:45	15.72	22456.3	56.50	12.90	18.90	28.90
9:53:46	15.73	22473.6	56.40	12.90	18.90	28.80
9:53:47	15.80	22574.3	56.40	12.90	18.80	28.80
9:53:48	15.70	22430.9	56.40	12.90	18.80	28.80
9:53:53	16.31	23301.3	56.30	12.90	18.70	28.70
9:53:58	16.47	23520.4	56.20	12.90	18.60	28.60
9:54:03	16.65	23791.2	56.10	12.80	18.50	28.60
9:54:08	16.22	23170.1	55.90	12.80	18.40	28.50
9:54:13	16.40	23429.2	55.80	12.80	18.30	28.40
9:54:18	16.72	23878.9	55.70	12.80	18.20	28.40
9:54:23	17.22	24604.2	55.60	12.80	18.10	28.30
9:54:28	16.87	24103.4	55.50	12.80	18.00	28.20
9:54:33	17.07	24380.3	55.40	12.80	17.90	28.20
9:54:38	16.76	23941.2	55.30	12.80	17.90	28.10
9:54:43	16.87	24097.6	55.20	12.80	17.80	28.10
9:54:48	16.70	23849.1	55.00	12.80	17.70	28.00
9:54:53	16.46	23515.2	54.90	12.90	17.70	27.90
9:54:58	16.57	23675.0	54.80	12.90	17.60	27.90
9:55:03	16.54	23625.8	54.70	13.00	17.60	27.90
9:55:08	16.41	23441.6	54.40	13.00	17.40	27.70
9:55:13	16.46	23517.8	54.30	13.10	17.40	27.70
9:55:18	16.64	23764.5	54.20	13.20	17.50	27.70
9:55:23	16.85	24076.1	54.10	13.30	17.50	27.70
9:55:28	16.89	24121.1	53.90	13.40	17.50	27.70
9:55:33	16.60	23711.5	53.80	13.40	17.50	27.60
9:55:38	16.92	24174.5	53.70	13.50	17.50	27.60
9:55:43	16.79	23982.1	53.50	13.60	17.40	27.50
9:55:48	16.74	23917.0	53.50	17.20	21.20	29.30
9:55:53	15.70	22432.0	53.70	20.60	24.40	31.10
9:55:58	16.23	23186.4	54.20	22.40	26.20	32.20
9:56:03	16.21	23160.8	54.70	23.30	27.20	32.90
9:56:08	15.70	22433.2	55.20	23.60	27.80	33.40
9:56:13	15.88	22686.8	55.70	23.00	27.90	33.50
9:56:18	16.43	23469.1	56.10	22.80	28.00	33.70

Cuadro A. 5. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:56:28	16.38	23395.9	56.70	21.10	27.10	33.30
9:56:33	16.25	23206.2	56.80	19.20	25.60	32.40
9:56:38	16.79	23990.8	56.90	18.00	24.70	31.90
9:56:43	17.11	24446.2	56.90	17.20	23.90	31.40
9:56:48	16.71	23865.4	56.90	16.60	23.20	31.10
9:56:53	16.64	23774.6	56.90	16.10	22.70	30.80
9:56:58	16.87	24091.7	56.90	15.50	22.20	30.50
9:57:03	16.69	23838.4	56.80	15.10	21.80	30.30
9:57:08	16.63	23759.0	56.80	14.90	21.40	30.10
9:57:13	16.92	24170.3	56.70	14.60	21.10	29.90
9:57:18	16.69	23835.5	56.60	14.40	20.70	29.80
9:57:23	16.52	23591.5	56.50	14.20	20.40	29.60
9:57:28	16.82	24021.1	56.40	14.00	20.20	29.40
9:57:33	16.98	24258.2	56.30	14.00	20.00	29.30
9:57:38	16.84	24050.3	56.20	13.80	19.80	29.20
9:57:43	16.98	24253.8	56.00	13.80	19.60	29.10
9:57:48	16.57	23672.3	55.90	13.70	19.40	29.00
9:57:53	16.46	23507.8	55.80	13.70	19.30	28.90
9:57:58	16.98	24260.1	55.70	13.60	19.20	28.80
9:58:03	16.65	23785.8	55.50	13.60	19.00	28.70
9:58:08	16.58	23678.3	55.40	13.60	18.90	28.60
9:58:13	16.56	23652.8	55.30	13.50	18.70	28.50
9:58:18	16.37	23383.3	55.10	13.50	18.60	28.40
9:58:23	16.87	24095.9	55.00	13.50	18.50	28.30
9:58:28	16.95	24207.2	54.90	13.50	18.40	28.30
9:58:33	16.64	23767.4	54.80	13.50	18.30	28.20
9:58:38	16.81	24010.0	54.60	13.50	18.20	28.10
9:58:43	16.25	23213.8	54.50	13.50	18.10	28.10
9:58:48	16.70	23848.9	54.40	13.60	18.10	28.00
9:58:53	17.11	24437.8	54.20	13.60	18.00	27.90
9:58:58	16.99	24274.0	54.10	13.60	17.90	27.90
9:59:03	17.15	24499.9	54.00	13.60	17.80	27.80
9:59:08	16.58	23680.3	53.90	13.60	17.80	27.80
9:59:13	16.61	23729.1	53.70	13.60	17.70	27.70

Cuadro A. 5. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
9:59:23	16.99	24269.2	53.50	13.70	17.60	27.60
9:59:28	17.20	24575.3	53.40	13.70	17.50	27.50
9:59:33	16.62	23740.8	53.20	13.80	17.50	27.50
9:59:38	17.19	24554.7	53.10	13.90	17.40	27.40
9:59:43	16.57	23672.6	52.90	13.90	17.40	27.40
9:59:48	16.40	23420.7	52.80	13.90	17.30	27.30
9:59:53	16.07	22948.7	52.70	14.00	17.30	27.30
9:59:58	16.16	23088.1	52.60	14.00	17.30	27.20
10:00:03	15.82	22599.4	52.50	16.80	20.10	28.60
10:00:08	16.39	23415.1	52.80	20.90	23.90	30.60
10:00:13	16.58	23681.0	53.40	23.10	26.00	32.00
10:00:18	15.94	22776.1	54.10	23.90	27.30	32.90
10:00:23	16.13	23047.9	54.90	24.60	28.30	33.60
10:00:28	15.68	22397.6	55.40	23.80	28.20	33.70
10:00:33	15.06	21517.9	55.90	23.40	28.30	33.80
10:00:38	15.25	21781.7	56.30	22.80	28.20	33.90
10:00:43	16.05	22921.7	56.70	21.60	27.60	33.60
10:00:48	16.12	23022.2	57.00	19.10	25.80	32.50
10:00:53	16.30	23278.8	57.10	18.00	24.90	32.00
10:00:58	16.27	23248.1	57.20	17.00	24.00	31.60
10:01:03	16.08	22968.9	57.30	16.10	23.10	31.10
10:01:08	16.66	23804.6	57.30	15.60	22.50	30.80
10:01:13	16.44	23481.5	57.20	15.20	22.10	30.60
10:01:18	16.28	23257.6	57.20	14.80	21.60	30.30
10:01:23	16.14	23057.6	57.10	14.50	21.30	30.10
10:01:28	16.26	23225.1	57.00	14.30	21.00	30.00
10:01:33	16.25	23218.4	57.00	14.10	20.70	29.80
10:01:38	16.14	23049.9	56.90	13.90	20.40	29.70
10:01:43	16.24	23196.0	56.80	13.80	20.20	29.50
10:01:48	15.89	22695.9	56.70	13.70	19.90	29.40
10:01:53	16.59	23691.6	56.60	13.60	19.70	29.30
10:01:58	16.39	23417.1	56.50	13.40	19.50	29.20
10:02:03	16.07	22959.8	56.40	13.40	19.40	29.10
10:02:08	16.48	23542.7	56.20	13.30	19.20	28.90

Cuadro A. 5. Continuación datos experimentales de las mediciones de aire a la salida del enfriador

Tiempo	Vel. /(m/s)	Flujo /(m ³ /h)	Temp. /(°C)	Hum. Relat. /(%)	Punto de Rocío /(°C)	Bulbo Húmedo /(°C)
10:02:18	16.13	23037.8	56.00	13.20	18.90	28.80
10:02:28	16.07	22954.3	55.80	13.10	18.60	28.60
10:02:33	16.07	22962.3	55.60	13.10	18.50	28.50
10:02:38	16.30	23279.4	55.50	13.10	18.40	28.40

Cuadro A. 6. Datos del muestreo del secador para el caso mínimo y promedio.

Parámetros	Caso Mínimo	Caso Promedio
<i>Humedad Relativa/(%)</i>	20.60	63.50
<i>Temperatura/(°C)</i>	43.31	46.70
<i>Velocidad/(m/s)</i>	3.97	5.31
<i>Flujo/(m³/h)</i>	4467.8	8986.4
<i>Punto de Rocío/(°C)</i>	24.36	36.21
<i>Razón de Humedad/(kg/kg)</i>	0.0120	0.0520

Cuadro A. 7. Datos del muestreo de la humedad al ingreso y la salida de la mezcladora.

Humedad Ingreso/(kg/kg)	Humedad Salida/(kg/kg)
9.300	9.710
8.880	9.400
8.810	9.530
9.000	10.030
9.410	9.610
9.120	9.800
8.950	9.230
8.990	9.300

Cuadro A. 8. Datos del muestreo del enfriador para el caso mínimo y máximo.

Parámetros	Caso Mínimo	Caso Máximo
<i>Humedad Relativa/(%)</i>	12.60	24.60
<i>Temperatura/(°C)</i>	52.50	58.10
<i>Velocidad/(m/s)</i>	13.74	17.49
<i>Flujo/(m³/h)</i>	19628.2	24978.9
<i>Punto de Rocío/(°C)</i>	17.30	28.90
<i>Razón de Humedad/(kg/kg)</i>	0.0118	0.0309

Cuadro A. 9. Datos obtenidos de la estandarización de la disolución de NaOH.

Parámetros	Valor Registrado
<i>Masa de NaOH/(g)</i>	10.03
<i>Masa de KHP/(g)</i>	0.70
<i>Consumo de NaOH/(mL)</i>	14.20

Cuadro A. 10. Datos obtenidos de la estandarización del tiosulfato de sodio

Parámetros	Valor Registrado
<i>Masa de tiosulfato de sodio/(g)</i>	25.003
<i>Masa Carbonato Sodio/(g)</i>	0.110
<i>Volumen de Permanganato/(mL)</i>	25.0
<i>Consumo de tiosulfato de sodio/(mL)</i>	21.3

Cuadro A. 11. Datos obtenidos de la determinación de la acidez del aceite.

Parámetros	Valor Registrado
<i>Masa de Aceite/(g)</i>	7.081
<i>Consumo de NaOH/(mL)</i>	1.6
<i>Masa Molar de KOH/(g/mol)</i>	56.1

Cuadro A. 12. Datos obtenidos de la determinación del índice de peróxidos del aceite.

Parámetros	Valor Registrado
<i>Masa de Aceite/(g)</i>	5.182
<i>Consumo de NaOH/(mL)</i>	0.5
<i>Consumo de NaOH Blanco/(mL)</i>	0.3

Cuadro A. 13. Datos obtenidos de la determinación de la humedad del aceite.

Parámetros	Valor Registrado
<i>Masa Inicial/(g)</i>	10.253
<i>Masa Final/(g)</i>	10.162

Cuadro A. 14. Datos obtenidos de la determinación de la densidad del aceite.

Parámetros	Valor Registrado
<i>Masa del Picnómetro/(g)</i>	25.601
<i>Masa del Picnómetro y Agua/(g)</i>	35.552
<i>Masa del Picnómetro y Aceite/(g)</i>	35.174

Cuadro A. 15. Datos obtenidos en la medición de absorbancia y volumen consumido por soluciones de concentración de peróxidos conocida.

Concentración Peróxidos/ (mol/L)	Índice de Peróxidos/ (meqO ₂ /kg)	Absorbancia / (Adim)		Volumen Consumido / (mL/g)	
0.100	99.90	0.648	0.652	3.30	3.00
0.075	74.93	0.550	0.549	2.60	2.70
0.050	49.95	0.469	0.469	2.40	2.20
0.025	24.95	0.359	0.358	1.90	1.95
0.019	19.28	0.260	0.257	1.50	1.65
0.014	13.61	0.228	0.230	1.00	0.90
0.008	7.94	0.205	0.209	0.80	0.70
0.002	2.27	0.136	0.139	3.30	3.00

Apéndice B. Datos Intermedios

Cuadro B. 1. Cálculos intermedios realizados para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso máximo.

Parámetro	Teórico	Real
Humedad Inicial Seca/(kg/kg)	0.321	0.255
Sólido Seco/(kg/h)	3828.6	3828.6
Flujo de Aire Volumétrico Final/(m ³ /h)	11152.4	-
Densidad del Aire/(kg/m ³)	0.996	-
Flujo Másico Aire Final/(kg/h)	11107.8	-
Razón de Humedad Final Seca/(kg/kg)	0.093	-
Razón de Humedad Inicial Seca/(kg/kg)	0.014	-
Razón de Humedad Final Húmeda/(kg/kg)	0.085	-
Agua Total Aire Final/(kg/h)	945.1	-
Masa Aire Seco/(kg/h)	10162.7	-
Humedad Final Seca/(kg/kg)	0.111	-

Cuadro B. 2. Cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso mínimo.

Parámetro	Teórico	Real
Flujo másico Inicial/(kg/h)	4805.6	4805.6
Humedad Inicial Húmeda/(kg/kg)	0.2033	0.203
Humedad Inicial Seca/(kg/kg)	0.255	0.255
Sólido Seco/(kg/h)	3828.6	3828.6
Flujo de Aire Volumétrico Final/(m ³ /h)	4467.8	-
Densidad del Aire/(kg/m ³)	0.996	-
Flujo Másico Aire Final/(kg/h)	4449.9	-
Razón de Humedad Final Seca/(kg/kg)	0.012	-
Razón de Humedad Inicial Seca/(kg/kg)	0.014	-
Razón de Humedad Final Húmeda/(kg/kg)	0.001	-
Agua Total Aire Final/(kg/h)	4.85	-
Masa Aire Seco/(kg/h)	406.0	-
Humedad Final Seca/(kg/kg)	0.255	-
Humedad Final Húmeda/(kg/kg)	0.2034	0.095
Flujo Másico Final/(kg/h)	4806.4	4228.2

Cuadro B. 3. Cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso promedio.

Parámetro	Teórico	Real
Flujo másico Inicial/(kg/h)	4805.6	4805.6
Humedad Inicial Húmeda/(kg/kg)	0.20	0.20
Humedad Inicial Seca/(kg/kg)	0.26	0.26
Sólido Seco/(kg/h)	3828.6	3828.6

Cuadro B. 3. Continuación cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el secador para el caso mínimo

Parámetro	Teórico	Real
<i>Flujo de Aire Volumétrico Final/(m³/h)</i>	8986.4	-
<i>Densidad del Aire/(kg/m³)</i>	0.996	-
<i>Flujo Másico Aire Final/(kg/h)</i>	8950.5	-
<i>Razón de Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.0520	-
<i>Razón de Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.0139	-
<i>Razón de Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.0494	-
<i>Agua Total Aire Final/(kg/h)</i>	442.3	-
<i>Masa Aire Seco/(kg/h)</i>	8508.2	-
<i>Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.171	-
<i>Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.1457	0.095
<i>Flujo Másico Final/(kg/h)</i>	4481.8	4228.2

Cuadro B. 4. Cálculos intermedios para el cálculo de la humedad y flujo másico final en la mezcladora por aspersion.

Parámetro	Teórico	Real
<i>Masa Agua/(kg/h)</i>	424.3	381.3
<i>Masa por Tanda/(kg)</i>	400.0	400.0
<i>Masa Aceite/(kg)</i>	21.96	21.96
<i>Masa Saborizante/(kg)</i>	10	10
<i>Humedad Saborizante/(kg/kg)</i>	0.7522	0.7522
<i>Tandas Requeridas/(Adim)</i>	10.632	10.525
<i>Masa Agregada Total/(kg/h)</i>	106.32	105.25

Cuadro B. 5. Cálculos intermedios realizados para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el enfriador para el caso promedio.

Parámetro	Teórico	Real
<i>Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.123	0.106
<i>Sólido Seco/(kg/h)</i>	4088.5	4085.8
<i>Flujo de Aire Volumétrico Final/(m³/h)</i>	23267.3	-
<i>Densidad del Aire/(kg/m³)</i>	0.996	-
<i>Flujo Másico Aire Final/(kg/h)</i>	23174.2	-
<i>Razón de Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.017	-
<i>Razón de Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.013	-
<i>Razón de Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.017	-
<i>Agua Total Aire Final/(kg/h)</i>	384.9	-
<i>Masa Aire Seco/(kg/h)</i>	22790.0	-
<i>Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.102	-

Cuadro B. 6. Cálculos para la determinación de masa final y humedad final del sólido en el enfriador para el caso máximo.

Parámetro	Teórico	Real
<i>Flujo másico Inicial/(kg/h)</i>	4512.2	4512.2
<i>Humedad Inicial Húmeda/(kg/kg)</i>	0.09	0.09
<i>Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.10	0.10
<i>Sólido Seco/(kg/h)</i>	4085.8	4085.8
<i>Flujo de Aire Volumétrico Final/(m³/h)</i>	24978.9	-
<i>Densidad del Aire/(kg/m³)</i>	0.996	-
<i>Flujo Másico Aire Final/(kg/h)</i>	24879.0	-
<i>Razón de Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.0309	-
<i>Razón de Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.0146	-
<i>Razón de Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.0300	-
<i>Agua Total Aire Final/(kg/h)</i>	745.4	-
<i>Masa Aire Seco/(kg/h)</i>	24133.1	-
<i>Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.008	-
<i>Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.008	0.092
<i>Flujo Másico Final/(kg/h)</i>	4118.3	4499.8

Cuadro B. 7. Determinación de masa y humedad final del sólido en el secador para el caso mínimo.

Parámetro	Teórico	Real
<i>Flujo másico Inicial/(kg/h)</i>	4512.2	4512.2
<i>Humedad Inicial Húmeda/(kg/kg)</i>	0.09	0.09
<i>Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.10	0.10
<i>Sólido Seco/(kg/h)</i>	4085.8	4085.8
<i>Flujo de Aire Volumétrico Final/(m³/h)</i>	19628.2	-
<i>Densidad del Aire/(kg/m³)</i>	0.996	-
<i>Flujo Másico Aire Final/(kg/h)</i>	19549.7	-
<i>Razón de Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.0117	-
<i>Razón de Humedad Inicial Seca/(kg/kg)</i>	0.0118	-
<i>Razón de Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.0116	-
<i>Agua Total Aire Final/(kg/h)</i>	227.0	-
<i>Masa Aire Seco/(kg/h)</i>	19321.7	-
<i>Humedad Final Seca/(kg/kg)</i>	0.105	-
<i>Humedad Final Húmeda/(kg/kg)</i>	0.095	0.092
<i>Flujo Másico Final/(kg/h)</i>	4514.0	4499.8

Cuadro B. 8. Cálculos realizados para la determinación de la normalidad de la disolución de NaOH.

Parámetro	Valor
<i>Masa Molar de KHP/(g/mol)</i>	204.22
<i>Moles de KHP/(mol)</i>	0.0034
<i>Moles de NaOH/(mol)</i>	0.0034
<i>Normalidad NaOH/(eq/L)</i>	0.2414

Cuadro B. 9. Cálculos realizados para la determinación de la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio.

Parámetro	Valor
Molaridad del Permanganato/(mol/L)	0.02
Factor/(adim)	5
Normalidad Tiosulfato de Sodio/(eq/L)	0.1174

Cuadro B. 10. Datos intermedios de las pruebas de laboratorio para el índice de peróxidos corregido de aceite de pollo sometido a distintas formas de agitación.

Agitación	Tiempo /(días)	Volumen Consumido /(mL/g)	Absorbancia /(Adim)
Agitador Simple	0	0.022	0.007
	2	0.059	0.085
	4	0.073	0.111
	6	0.120	0.178
Agitador Doble	0	0.042	0.051
	2	0.117	0.174
	4	0.133	0.192
Sin Agitador	6	0.180	0.225
	0	0.054	0.076
	2	0.102	0.155
	4	0.104	0.158
	6	0.125	0.184

Cuadro B. 11. Cálculos realizados para la determinación de la potencia del agitador propuesto.

Parámetro	Valor
Densidad Aceite/(kg/m ³)	962
Viscosidad Aceite/(kg/ms)	0.0417
Velocidad de agitador/(rev/s)	0.206
Número de Reynolds/(Adim)	3336.41
Número de Potencia/(Adim)	4
Pérdida por fricción/(%)	35
Eficiencia/(%)	70

Cuadro B. 12. Cálculos realizados para la determinación del costo asociado al consumo energético.

Parámetro	Valor
Potencia de agitador cotizado/(HP)	0.50
Potencia de agitador cotizado/(kW)	0.37
Tarifa mensual por potencia/(¢/kW)	10,676.4
Tarifa mensual por energía/(¢/kWh)	65.79
Tipo de cambio/(¢/\$)*	603.22

*Al 6/12/2018 según Banco Central de Costa Rica.

Apéndice C. Muestra de Cálculo

C.1. Cálculo de la diferencia de humedad

Para el cálculo de la diferencia de humedad se realizó la siguiente fórmula:

$$\Delta X = |X_f - X_i| \quad (C.1)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.1, fila 2 y 5, columna 2:

$$\Delta X = |10.41 - 10.32| = 0.09\%$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.1, fila 6, columna 2. El resto de las diferencias de humedad fueron calculadas de la misma forma.

C.2. Cálculo del sólido seco

Para el cálculo del sólido seco se utilizó la siguiente fórmula:

$$m_{ss} = m_{harina} \cdot \left(1 - \frac{X_i}{100}\right) \quad (C.2)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.1, fila 1 y 2, columna 2:

$$m_{ss} = 4273.47 \cdot \left(1 - \frac{10.41}{100}\right) = 3828.60 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.1, fila 3, columna 2. Se realizó de la misma forma para todas las secciones donde se requirió el dato.

C.3. Cálculo del flujo másico final del proceso

Para el cálculo del flujo másico final del proceso se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_f = \frac{m_{ss}}{\left(1 - \frac{X_f}{100}\right)} \quad (C.3)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.1, fila 3 y 5, columna 2.

$$m_f = \frac{3828.60}{\left(1 - \frac{10.32}{100}\right)} = 4269.18 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.1, fila 4, columna 2. Se utilizó el mismo procedimiento para las masas finales reales de cada sección del proceso.

C.4. Cálculo del flujo másico teórico final en el acondicionador/extrusor

Para el cálculo del flujo másico teórico final en el acondicionador/extrusor se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_f = m_i + (m_{wa} + m_{va} + m_{we} + m_{ve} - m_p) \cdot 0.95 \quad (C.4)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.2, fila 1, 2, 3, 4 y 5, columna 2.

$$m_f = 4269.18 + (197.06 + 269.95 + 184.71 + 176.9 - 0) \cdot 0.95 = 5056.38 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.3, fila 4, columna 2.

C.5. Cálculo de la humedad final del sólido a la salida del acondicionador/extrusor

Para el cálculo de la humedad final del sólido a la salida del acondicionador/extrusor se utilizó la siguiente ecuación:

$$X_f = \frac{m_i \cdot X_i + (m_{wa} + m_{va} + m_{we} + m_{ve} - m_p) \cdot 0.95}{m_f} \quad (C.5)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.2, fila 1, 2, 3, 4, 5 y 6, columna 2.

$$X_f = \frac{4269.18 \cdot 0.1032 + (197.06 + 269.95 + 184.71 + 176.9 - 0) \cdot 0.95}{5056.38} = 0.243 \frac{kg}{kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.3, fila 2, columna 2.

C.6. Cálculo de la humedad en base seca

Para el cálculo de la humedad en base seca del sólido se utilizó la siguiente ecuación:

$$X_s = \frac{X_h}{(1 - X_h)} \quad (C.6)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.5, fila 3, columna 2.

$$X_s = \frac{0.243}{(1 - 0.243)} = 0.321 \frac{kg}{kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, fila 1, columna 2. Se realiza de la misma forma para todos los casos en las distintas secciones del proceso donde fue necesario.

C.7. Cálculo del flujo másico del aire

Para el cálculo del flujo másico del aire se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_{aire} = V_{aire} \cdot \rho_{aire} \quad (C.7)$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 1, fila 3 y 4, columna 2.

$$m_{aire} = 11152.4 \cdot 0.996 = 11107.8 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, fila 5, columna 2. El mismo procedimiento fue utilizado para el enfriador.

C.8. Cálculo de masa de vapor de agua en el aire

Para el cálculo de la masa de vapor de agua en el aire se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_v = Y_h \cdot m_{aire} \quad (C.8)$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 1, fila 5 y 8, columna 2.

$$m_v = 0.085 \cdot 11107.8 = 945.1 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, fila 9, columna 2. El mismo procedimiento fue utilizado para el enfriador.

C.9. Cálculo del flujo másico de aire seco

Para el cálculo de la masa de aire seco se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_{as} = \frac{m_v}{Y_s} \quad (C.9)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.4, fila 6, columna 3 y Cuadro B. 1, fila 9, columna 2.

$$m_{as} = \frac{945.1}{0.093} = 10162.7 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, fila 10, columna 2. El mismo procedimiento fue utilizado para el enfriador.

C.10. Cálculo de la humedad final seca

Para el cálculo de la humedad final seca se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{m_{as} \cdot (Y_i - Y_f) + m_{ss} \cdot X_{is}}{m_{ss}} = X_{fs} \tag{C.10}$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.4, fila 6, columna 2 y 3; y Cuadro B. 1, fila 1, 2 y 10, columna 2.

$$\frac{10162.7 \cdot (0.014 - 0.093) + 3828.6 \cdot 0.321}{3828.6} = 0.111 \frac{kg}{kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, fila 11, columna 2. Se realizó el mismo procedimiento para el enfriador.

C.11. Cálculo de la conversión de humedad a base húmeda

Para el cálculo de la conversión de la humedad a base húmeda se utilizó la siguiente ecuación:

$$X_h = \frac{X_s}{(1 + X_s)} \tag{C.11}$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 1, fila 11, columna 2.

$$X_h = \frac{0.111}{(1 + 0.111)} \cdot 100 = 10.0\%$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.5, fila 4, columna 2. Se realizó de la misma forma para todos los casos en el proceso donde fue necesaria dicha conversión.

C.12. Cálculo de la masa de aceite agregado para el producto A

Para el cálculo de la masa de aceite agregado se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_{ac} = m_{tanda} * 5.5\% \tag{C.12}$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 4, fila 2, columna 2.

$$m_{ac} = 400 * 5.5\% = 21.96 \text{ kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 4, fila 3, columna 2.

C.13. Cálculo de la masa de saborizante agregado para el producto A

Para el cálculo de la masa de saborizante agregado se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_{sab} = m_{tanda} * 2.5\% \tag{C.13}$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 4, fila 2, columna 2.

$$m_{sab} = 400 * 2.5\% = 10 \text{ kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 4, fila 4, columna 2.

C.14. Cálculo de las tandas requeridas

Para el cálculo de las tandas requeridas se utilizó la siguiente ecuación:

$$n_t = \frac{m_{tanda}}{m_{harina}} \tag{C.14}$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.7, fila 1, columna 2 y Cuadro B. 4, fila 2, columna 2.

$$n_t = \frac{400}{4252.9} = 10.63 \frac{\text{tanda}}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 4, fila 6, columna 2.

C.15. Cálculo del sólido seco nuevo asociado a la mezcladora con aspersión

Para el cálculo del sólido seco nuevo se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_{ssn} = m_{ss} + n_t \cdot (m_{ac} + m_{sab} \cdot (1 - X_{sab})) \tag{C.15}$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.1, fila 3, columna 2 y Cuadro B. 4, fila 3, 4, 5 y 6, columna 2.

$$m_{SSN} = 3828.60 + 10.63 \cdot (21.96 + 10 \cdot (1 - 0.75)) = 4088.46 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.7, fila 5, columna 2. Se realizó de la misma manera para los datos reales.

C.16. Cálculo del flujo másico final asociado a la mezcladora con aspersion

Para el cálculo del sólido seco nuevo se utilizó la siguiente ecuación:

$$m_f = m_i + n_t \cdot (m_{sab} + m_{ac}) \quad (C.16)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.7, fila 1, columna 2 y Cuadro B. 4, fila 3, 4 y 6, columna 2

$$m_f = 4252.9 + 10.63 \cdot (21.96 + 10) = 4592.7 \frac{kg}{h}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.7, fila 2, columna 2.

C.17. Cálculo de la humedad del sólido a la salida de la mezcladora con aspersion

Para el cálculo de la humedad del sólido a la salida de la mezcladora con aspersion se utilizó la siguiente ecuación:

$$X_f = \frac{m_i \cdot X_i + m_{sab} \cdot X_{sab}}{m_f} \quad (C.17)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.7, fila 1 y 2, columna 2; Cuadro 3.5, fila 4, columna 2 y Cuadro B. 4, fila 5 y 7, columna 2.

$$X_f = \frac{4252.9 \cdot 0.100 + 106.32 \cdot 0.75}{4592.7} \cdot 100 = 11.0\%$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.7, fila 2, columna 2.

C.18. Cálculo de la pérdida total del proceso

Para el cálculo de la pérdida total del proceso se utilizó la siguiente ecuación:

$$Pe_T = m_{harina}(1 + 0.025 + 0.055) - m_{PT} \quad (C.18)$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.12 fila 1 y 6, columna 2.

$$P_T = 4273.5 \cdot (1 + 0.025 + 0.055) - 4507.2 = 108.38 \text{ kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.13, fila 1, columna 2. Mismo cálculo fue realizado para los datos reales.

C.19. Cálculo de la merma total del proceso

Para el cálculo de merma total del proceso se utilizó la siguiente ecuación:

$$MR_T = \frac{Pe_T}{m_{PT}} \cdot 100 \quad (\text{C.19})$$

Utilizando los datos del Cuadro 3.12, fila 6, columna 2 y Cuadro 3.13, fila 1, columna 2.

$$MR_T = \frac{108.38}{4507.2} \cdot 100 = 2.40\%$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 3.13, fila 2, columna 2. Mismo cálculo fue realizado para los datos reales.

C.20. Cálculo de los moles de una KHP

Para el cálculo de los moles de KHP se utilizó la siguiente ecuación:

$$n_{KHP} = \frac{m_{KHP}}{MM_{KHP}} \quad (\text{C.20})$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 8, fila 1 y 2, columna 2.

$$n_{KHP} = \frac{0.701}{204.22} = 0.0034 \text{ mol}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 8, fila 3, columna 2.

C.21. Cálculo de la normalidad de la disolución de NaOH

Para el cálculo de la normalidad de NaOH se utilizó la ecuación (4.1).

Utilizando los datos del Cuadro B. 8, fila 4, columna 2 y Cuadro A. 9, fila 3, columna 2.

$$N_{NaOH} = \frac{0.0034}{\left(\frac{14.20}{1000}\right)} = 0.2414 \text{ eq/L}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 8, fila 4, columna 2.

C.22. Cálculo de la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio

Para el cálculo de la normalidad del tiosulfato de sodio se utilizó la siguiente ecuación:

$$N_{tio} = \frac{V_{KMnO_4} \cdot M_{KMnO_4} \cdot f}{V_{tio}} \quad (C.22)$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 9, fila 1 y 2, columna 2 y Cuadro A. 10, fila 3 y 4, columna 2.

$$N_{tio} = \frac{25 \cdot 0.02 \cdot 5}{21.3} = 0.1173 \text{ eq/L}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 9, fila 3, columna 2.

C.23. Cálculo de la acidez del aceite

Para el cálculo de la acidez del aceite se utilizó la ecuación (4.2).

Utilizando los datos del Cuadro A. 11, fila 1 y 3, columna 2 y Cuadro B. 8, fila 4, columna 2.

$$AV = \frac{56.1 \cdot 0.2414}{7.081} = 3.06 \text{ mg KOH/g}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.2, fila 1, columna 2.

C.24. Cálculo del índice de peróxidos del aceite.

Para el cálculo del índice de peróxidos del aceite se utilizó la ecuación (4.3).

Utilizando los datos del Cuadro B. 9, fila 3, columna 2 y Cuadro A. 12, fila 1, 2 y 3, columna 2.

$$IP = \frac{(0.5 - 0.3) \cdot 0.1174 \cdot 1000}{5.182} = 4.53 \text{ meq/kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.2, fila 2, columna 2. Se realizó el mismo procedimiento para el resto de los índices de peróxidos por medio de valoración.

C.25. Cálculo de la humedad del aceite

Para el cálculo de la humedad del aceite se utilizó la ecuación (4.4).

Utilizando los datos del Cuadro A. 13, fila 1 y 2, columna 2.

$$X_{ac} = \frac{10.253 - 10.162}{10.253} \cdot 100 = 0.888 \%$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.2, fila 3, columna 2.

C.26. Cálculo de la densidad del aceite

Para el cálculo de la humedad del aceite se utilizó la ecuación (4.5).

Utilizando los datos del Cuadro A. 14, fila 1, 2 y 3, columna 2.

$$\rho_{ac} = \frac{35.174 - 25.601}{35.552 - 25.601} = 0.962$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.2, fila 4, columna 2.

C.27. Cálculo del diámetro del tanque a escala

Para el cálculo del diámetro del tanque a escala se utilizó la siguiente ecuación:

$$D_{T_e} = D_{a_e} \cdot 3 \tag{C.27}$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.3., fila 3, columna 3.

$$D_{T_e} = 0.056 \cdot 3 = 0.168 \text{ m}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.3., fila 2, columna 3.

C.28. Cálculo de la relación geométrica entre tanques

Para el cálculo de la relación geométrica entre tanques se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{D_{Tr}}{D_{Te}} \quad (C.28)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.3., fila 2, columna 2 y 3.

$$R = \frac{2.510}{0.168} = 14.94 \text{ m}$$

Resultado que se encuentra mencionado en el segundo párrafo de la sección 4.2

C.29. Cálculo de las dimensiones del tanque a escala

Para el cálculo de las dimensiones del tanque a escala se utilizó la siguiente ecuación:

$$H_e = \frac{H_r}{R} \quad (C.29)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.3., fila 1, columna 2.

$$H_e = \frac{4.30}{14.94} = 0.288 \text{ m}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.3., fila 1, columna 3. Este cálculo se aplicó a todas las dimensiones del tanque a escala exceptuando el diámetro del agitador que se eligió a conveniencia.

C.30. Cálculo del índice de peróxidos de las disoluciones patrón.

Para el cálculo del índice de peróxidos de las disoluciones patrón se utilizó la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{C_{H_2O_2} \cdot 1000^2}{\rho} \quad (C.30)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.7., fila 1, columna 1.

$$IP = \frac{0.075 \cdot 1000^2}{1001} = 74.93 \frac{meq_{O_2}}{kg}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.7., fila 1, columna 2. Se realizó el mismo cálculo para todas las concentraciones conocidas. La expresión viene a partir de relaciones estequiométricas para realizar la conversión.

C.31. Cálculo de la absorbancia a partir del volumen consumido

Para el cálculo de la absorbancia a partir del volumen consumido se utilizó la ecuación (4.6).

Utilizando los datos de Cuadro B. 10, fila 1, columna 3.

$$\text{Absorbancia} = -6.00(0.022)^2 + 2.59(0.022) - 4.65 \times 10^{-2} = 0.007$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 10, fila 1, columna 4. Se realizó el mismo cálculo para todos los valores de absorbancia a partir del volumen consumido del diseño experimental.

C.32. Cálculo del índice de peróxidos a partir de la absorbancia

Para el cálculo del índice de peróxidos a partir de la absorbancia se utilizó la ecuación (4.7).

Utilizando los datos del Cuadro B. 10, fila 1, columna 4.

$$0.007 = 5.47 \times 10^{-2} \ln(IP) + 9.26 \times 10^{-2}$$
$$IP = 0.211$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.8., fila 1, columna 3. Se realizó el mismo cálculo para todos los índices de peróxidos a partir de una absorbancia.

C.33. Cálculo de la velocidad del agitador real

Para el cálculo de la velocidad del agitador real se utilizó la siguiente ecuación:

$$v_r = \frac{v_e}{R} \tag{C.33}$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.3., fila 6, columna 3.

$$v_r = \frac{185}{14.94} = 12 \text{ rpm}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.3., fila 6, columna 2.

C.34. Cálculo del número de Reynolds.

Para el cálculo del número de Reynolds se utilizó la siguiente ecuación:

$$N_R = \frac{N \cdot D_{ar}^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (C.34)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.3., fila 3, columna 2; Cuadro B. 11, fila 1, 2 y 3, columna 2.

$$N_R = \frac{0.206 \cdot 0.84^2 \cdot 962}{4.17 \times 10^{-2}} = 3336.41$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B. 11, fila 4, columna 2.

C.35. Cálculo de la potencia ideal del agitador.

Para el cálculo de la potencia ideal del agitador se utilizó la siguiente ecuación:

$$Pot_i = N_p \cdot v^3 \cdot D_{ar}^5 \cdot \rho \quad (C.35)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.3., fila 3, columna 2; Cuadro B. 11., fila 1, 3 y 4, columna 2.

$$Pot_i = 4 \cdot 0.206^3 \cdot 0.84^5 \cdot 962 = 0.01 \text{ kW}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.11, fila 1, columna 2.

C.35. Cálculo de la potencia real del agitador

Para el cálculo de la potencia real del agitador se utilizó la siguiente ecuación:

$$Pot_r = \frac{Pot_i \cdot (1 + fi)}{\eta} \quad (C.35)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.11, fila 1, columna 2; Cuadro B. 11., fila 5 y 6, columna 2.

$$Pot_r = \frac{0.01 \cdot (1 + 0.35)}{0.7} = 0.03 \text{ kW}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.11, fila 3, columna 2.

C.36. Cálculo del costo con inflación

Para el cálculo del costo con inflación se utilizó la siguiente ecuación:

$$c_{inf} = c \cdot 0.03 \quad (C.36)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.13, fila 1, columna 2.

$$c_{inf} = 497.3 \cdot 1.03 = \$ 512.3$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.13, fila 1, columna 3. Se realizó de la misma forma para todos los valores en los que se consideró la inflación.

C.36. Cálculo del costo asociado al consumo eléctrico

Para el cálculo del costo asociado al consumo eléctrico se utilizó la siguiente ecuación:

$$c_{elec} = \frac{(t_1 \cdot P_a + t_2 \cdot P_a \cdot 24 \cdot 30) \cdot 12}{TC} \quad (C.36)$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 12. fila 2, 3, 4 y 5, columna 2.

$$c_{elec} = \frac{(10,676.4 \cdot 0.373 + 65.79 \cdot 0.373 \cdot 24 \cdot 30) \cdot 12}{603.22} = \$430.7$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.14, fila 3, columna 2.

C.37. Cálculo del costo asociado al mantenimiento

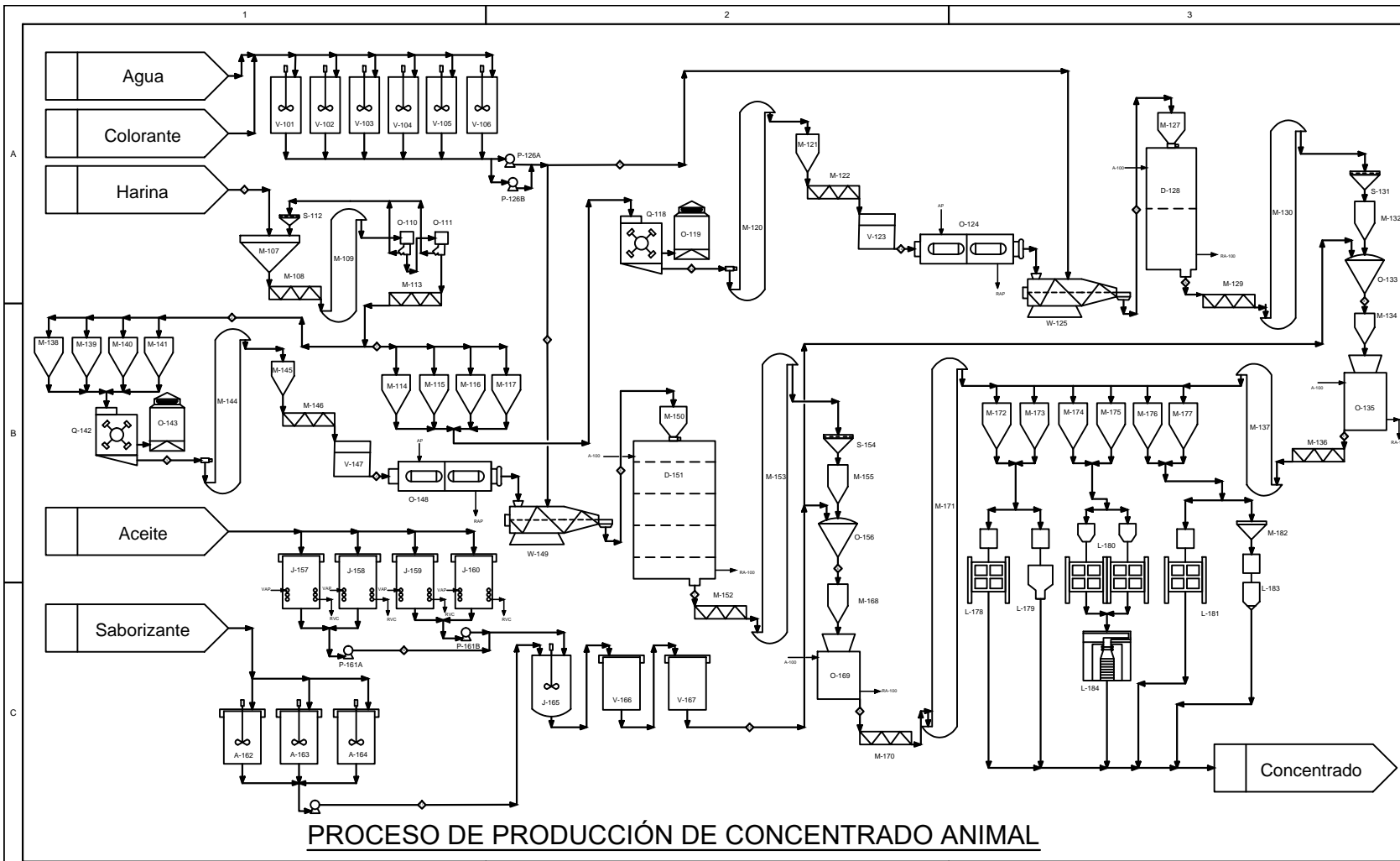
Para el cálculo del costo asociado al mantenimiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$c_{mant} = c_a \cdot 0.05 \quad (C.37)$$

Utilizando los datos del Cuadro 4.14, fila 1, columna 2.

$$c_{mant} = 75,710 \cdot 0.05 = \$3,785.5$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro 4.14, fila 4, columna 3.



PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO ANIMAL

NOMENCLATURA

IDEM	DESCRIPCIÓN	ZONA
V-101	Tanque de colorante 1	1-A
V-102	Tanque de colorante 2	1-A
V-103	Tanque de colorante 3	1-A
V-104	Tanque de colorante 4	1-A
V-105	Tanque de colorante 5	1-A
V-106	Tanque de agua	1-A
M-107	Fosa	1-A
M-108	Tornillo sin fin	1-A
M-109	Elevador	1-A
O-110	Detector de metales	1-A
O-111	Detector de metales	1-A
S-112	Zaranda	1-A
M-113	Tornillo sin fin	1-A
M-114	Tolva Malera Prima 1	1-B
M-115	Tolva Malera Prima 2	1-B
M-116	Tolva Malera Prima 3	1-B
M-117	Tolva Malera Prima 4	1-B
O-118	Molino 1	2-A
O-119	Bag House 1	2-A
M-120	Elevador	2-A
M-121	Tolva Producto Molido 1	2-A
M-122	Tornillo sin fin	2-A
V-123	Bin 1	2-A
O-124	Acondicionador 1	2-A
W-125	Extrusora 1	3-A
P-126	Bombas Centrífugas A y B	2-A
M-127	Ciclón	3-A
D-128	Secador 1	3-A
M-129	Tornillo sin fin	3-A
M-130	Elevador	3-A
O-133	Vacuum 1	3-A
S-131	Tarraz	3-A
M-132	Pre-tolva 1	3-A
O-133	Vacuum 1	3-A
M-134	Posi-tolva 1	3-B
O-135	Enfriadora 1	3-B
M-136	Tornillo sin fin	3-B
M-137	Elevador	3-B
M-138	Tolva Malera Prima 5	1-B
M-139	Tolva Malera Prima 6	1-B
M-140	Tolva Malera Prima 7	1-B
M-141	Tolva Malera Prima 8	1-B
O-142	Molino 2	1-B
O-143	Bag House 2	1-B
M-144	Elevador	1-B
M-145	Tolva Producto Molido 2	1-B
M-146	Tornillo sin fin	1-B
V-147	Bin 2	1-B
O-148	Acondicionador 2	1-B
W-149	Extrusora 2	1-B
M-150	Ciclón	2-B
D-151	Secador 2	2-B
M-152	Tornillo sin fin	2-B
M-153	Elevador	2-B
S-154	Zaranda	2-B
M-155	Pre-tolva 2	2-B
O-156	Vacuum 2	2-B
J-157	Tanque de aceite 1	1-B
J-158	Tanque de aceite 2	1-B
J-159	Tanque de aceite 3	1-B
J-160	Tanque de aceite 4	1-B
P-161	Bombas Centrífugas A y B	1-C
A-162	Tanque de saborizante 1	1-C
A-163	Tanque de saborizante 2	1-C
A-164	Tanque de saborizante 3	1-C
J-165	Tanque de agua	2-C
V-166	Tanque pesado 1	2-C
V-167	Tanque succión bomba 1	2-C
M-168	Posi-tolva 1	2-C
O-169	Enfriadora 1	2-C
M-170	Tornillo sin fin	2-C
M-171	Elevador	2-B
M-172	Tolva Producto Terminado 1	3-B
M-173	Tolva Producto Terminado 2	3-B
M-174	Tolva Producto Terminado 3	3-B
M-175	Tolva Producto Terminado 4	3-B
M-176	Tolva Producto Terminado 5	3-B
M-177	Tolva Producto Terminado 6	3-B
L-178	Empacadora Macey Sencillo	3-B
L-179	Empacadora Neta GSE	3-B
L-180	Empacadora Macey Doble	3-B
L-181	Empacadora Hayseen	3-B
M-182	Tolva para Thiele	3-B
L-183	Empacadora Thiele	3-B
L-184	Empacadora	3-C
A-100	Aire Comprimido	
RA-100	Retorno Aire Comprimido	
AP	Agua Potable	
RAP	Retorno Agua Potable	
VAP	Vapor a Alta Presión	
RVC	Retorno Vapor a Alta Presión	

APROBACIÓN COMISIÓN REVISORA DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO: Diagrama de flujo de proceso de producción de concentrado animal

PROPIETARIO:

Provincia	Cantón	Distrito
Alajuela	Alajuela	La Garita

PROFESIONAL RESPONSABLE:

Nombre: _____ No. de Reg: _____

PROFESIONAL RESPONSABLE DE DIRECCIÓN TÉCNICA:

Nombre: _____ No. de Reg: _____

INFORMACIÓN DE REGISTRO PÚBLICO:

Propietario: _____ No. de Catastro: _____ SITAS: _____

CONTENIDO: Diagrama de flujo de proceso Cuadro de nomenclatura Cuadro de balance

CUADRO DE BALANCE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Nombre de la corriente	Entrada Harina	Entrada Tolvas	Salida Molino	Entrada Acond.	Entrada Colorante	Salida Extrusora	Salida Secador	Salida Mezcladora	Salida Enfriadora	Entrada Aceite	Entrada Saborizante	Mezcla Ac-Sab	Salida Molino	Entrada Acond.	Salida Extrusora	Salida Secador	Salida Enfriadora
Flujo (kg/h)	-	4300	4300	4300	-	4300	4300	400	4300	-	-	-	1800	1800	1800	1800	1800
Temperatura (°C)	25	25	29	25	25	50	75	55	25	35	25	30	29	25	50	75	25
Humedad (%)	10.41	10.41	10.32	10.32	-	20.30	9.51	-	9.20	0.41	75.22	-	10.32	10.32	20.30	9.51	9.20

Escala	Fecha	Lámina
SE	-Feb-18	1