



Diseño de un secadero discontinuo de bandejas para la valorización de cáscaras de huevos residuales

Design of a batch tray dryer for the valorization of residual eggshells.

• Yosviel Reyes¹ • Gabriel Iglesias² • Isabel Cabrera³

¹ Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Correo electrónico: yreyes@uclv.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9344-2304>

² Complejo Industrial de Bioproductos LABIOFAM VC, Santa Clara, Cuba.

Correo electrónico: gibarreto00@uclv.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0086-2236>

³ Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Correo electrónico: icabrera@uclv.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5307-1502>

Recibido: 06 noviembre del 2023 / **Revisado:** 18 diciembre del 2023 / **Aprobado:** 28 diciembre del 2023 / **Publicado:** 22 de enero del 2024

RESUMEN

El proceso industrial para la producción de mayonesa está ligado al vertimiento de cascarones de huevo por concepto de residuos sólidos. La fábrica de salsas y aderezos “Los atrevidos” está interesada en valorizar estos residuos incorporando un sistema tecnológico capaz de tratar sus desperdicios y minimizar su impacto medioambiental acogiendo a una intensificación del proceso y producciones más limpias. La investigación presente tiene por objetivo diseñar un sistema tecnológico-productivo para el tratamiento de las cáscaras de huevo residuales para la obtención de un suplemento de alimento animal rico en carbonato de calcio haciendo énfasis en el diseño de un secador discontinuo de bandejas. Se desarrollaron los balances de materiales para cuantificar la carga de residuales a tratar, los insumos necesarios y la proyección del esquema tecnológico productivo. La planta de producción fue concebida para gestionar hasta 500 kg/día de cascarones de huevos las etapas productivas principales son: tratamiento de las materias primas, secado, molienda y tamizado; siendo la etapa de secado discontinuo la de mayor atención. El secadero discontinuo diseñado dispuso de 7 bandejas de 1,5 m² de área y 1,75 m de altura. El flujo de aire caliente a 90 °C es de 1 578 kg/h y el régimen de trabajo es por lotes de 4 horas (hasta 6 lotes por día). El esquema productivo propuesto no genera residuales a tratar, y responde a un problema ambiental en la industria de mayonesas y aderezos, haciéndolo un proceso industrial más amigable con el medio ambiente.

Palabras claves: cáscaras de huevo; secadero discontinuo; valorización de residuos.

ABSTRACT

The industrial process for the production of mayonnaise is associated with the disposal of eggshells as solid waste. The sauces and dressings factory "Los atrevidos" is interested in valorizing this waste by incorporating a technological system capable of treating its waste and minimizing its environmental impact through process intensification and cleaner production. The present research aims to design a technological-productive system for the treatment of residual eggshells to obtain animal feed supplement rich in calcium carbonate, with emphasis on the design of a batch tray dryer. Material balances were developed to quantify the waste load to be treated, the necessary inputs and the projection of the technological production scheme. The production plant was designed to handle up to 500 kg/day of eggshells; the main production stages are: treatment of raw materials, drying, milling and sieving, with the batch drying stage receiving the most attention. The batch dryer designed had 7 trays of 1.5 m² area and 1.75 m high. The hot air flow at 90 °C is 1,578 kg/h and the work regime is by 4-hour batches (up to 6 batches per day). The proposed production scheme does not generate waste to be treated, and responds to an environmental problem in the mayonnaise and dressing industry, making it a more environmentally friendly industrial process.

Keywords: eggshells; batch dryer; solid waste valorization.

1. INTRODUCCIÓN

Es indudable que el aumento de la demanda poblacional de alimentos, ha fomentado un crecimiento del sector industrial, que ha llevado consigo la generación de diversos tipos de residuos. La generación de residuos se incrementa con el tiempo por una sociedad caracterizada por el derroche, con una perspectiva de producir, consumir y desechar, debido a la baja educación ambiental existente. El mundo actual exige la minimización del impacto ambiental en la industria alimentaria que se considera una estrategia gerencial tendiente a reducir el volumen y la carga contaminante. La reducción económica del impacto ambiental juega un papel importante y se presenta como una alternativa interesante, porque al minimizarse el volumen del residuo generado por la industria, se disminuye la carga contaminante al ambiente y también se optimiza el proceso productivo, lo que se traduce en beneficios económicos, a lo que se le denomina Producción más Limpia (P+L) (Morillo, 2012). El establecimiento “La Purísima, perteneciente a la Unidad Empresarial Básica de conservas y vegetales “Los Atrevidos”, de Villa Clara, Cuba, está dedicada fundamentalmente a la producción de salsas, mayonesas, mostazas y aderezos, con destino a el turismo, la gastronomía y la población. Esta instalación presenta una capacidad de producción de 2,6 toneladas diarias de mayonesa, y genera alrededor de 220 kg/día de cáscara de huevo que son acumulados en el vertedero convirtiéndose en posibles focos de acumulación de vectores como el mosquito, sin contar el mal olor que desprende.

La cáscara de huevo de gallina representa entre el 10 y el 12% de su peso. Está conformada por

un 95% de compuestos minerales y entre un 3,0% a 3,5% por componentes orgánicos, proteoglicanos y proteínas que intervienen en la morfología de los cristales de calcita, además en la protección microbiana y regulación de las mineralizaciones de la cáscara (Solé, 2017). En su parte interna posee una delgada capa de queratina y fibras de colágeno, conocida como membrana conformada hasta por 62 proteínas de fibras reticulares entrelazadas que ofrecen también protección y controlan la pérdida de agua y de gases del huevo (Vásquez, 2019).

Debido a sus características como materia prima ha permitido el desarrollo de nuevos procesos y el mejoramiento de algunos ya existentes, obteniéndose productos de alto valor agregado y bajo costo; ha pasado de ser un residual que impacta negativamente al medio ambiente a ser un ingrediente importante en productos de la industria cosmética, farmacéutica, alimentaria y en la elaboración de pinturas de alta calidad .

Las limitaciones presentes en la importación de piensos para alimentación animal, necesitan ser solventadas y una alternativa es la inclusión en las formulaciones de productos de origen nacional. Al mismo tiempo la minimización de residuos generados por un proceso productivo lo hacen más competitivo y mejoran la imagen de la entidad.

La presente investigación tiene por objetivo diseñar un sistema tecnológico-productivo para el tratamiento de las cáscaras de huevo residuales del proceso de fabricación de mayonesa para la obtención de un suplemento de alimento animal rico en carbonato de calcio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso tecnológico propuesto para la obtención de un suplemento rico en carbonato de calcio a partir de los cascarones de huevo generados en la fábrica de mayonesa “La Purísima” se basa fundamentalmente en obtener un polvo fino con alto contenido de carbonato de calcio. Según fuente científica especializada como (Acho, 2016), (GÓMEZ & MACÍAS, 2017), y (Bedoya & González, 2020) permite establecer las principales variables a considerar (concentración de carbonato de calcio en el suplemento y humedad final) y los parámetros fijos a controlar (temperatura de secado 90 °C).

2.1. Etapas principales del proceso seleccionado.

De acuerdo con (Ho, Hsu, Hsu, Hung, & Wu, 2013) y (Grisales, Aguilera, & García, 2019) las etapas de la alternativa propuesta,

pueden definirse según la Figura 1. La obtención del suplemento cálcico se divide en una etapa inicial donde se le da un tratamiento previo al sólido; donde es lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio. Los cascarones de huevo provenientes del proceso de producción de mayonesas y aderezos son recepcionados y pesados en la planta, luego se transportan al área de almacenaje, donde se seleccionan y se acumulan en tanques plásticos. Posteriormente son lavados y desinfectados con una disolución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante cinco minutos en los tanques, seguidamente se ponen a escurrir hasta que pierdan el agua excedente. La segunda etapa, que es la más importante desde el punto de vista tecnológico, es gobernada por la operación de secado que es el corazón del proceso y cuello de botella del

flujo tecnológico, ya que esto ocurre en operación discontinua. Por medio de un tornillo sinfín se llevan al secadero de bandejas para eliminar la máxima humedad que contiene el cascarón de huevo. Este secadero trabaja con aire caliente a 90 °C durante cinco horas por cada carga. Al salir del secadero, las cáscaras secas, son troceadas y enviadas a una etapa de

molienda, de la cual se obtiene un polvo fino con alto contenido de calcio; para pasar a un proceso de tamizado con tamices de malla número 355 (Reyes, 2022) para asegurar el diámetro de partícula requerido del producto final. El suplemento resultante es envasado en sacos y transportado al área de almacenado.

Figura 1

Diagrama de bloques del proceso.



Nota: Autores (2023)

2.2 Selección del equipamiento industrial.

Para la selección del equipamiento se tiene en cuenta las características de la materia prima y del producto final, así como los flujos que se manejan y las condiciones de proceso que influyen en la calidad del producto final. Por estudio de la bibliografía se conoce, según (McCabe, Smith, & Harriott, 2007) y (Foust, Wenzel, Clum, Maus, & Andersen, 2006) que los intercambiadores de calor más usados son: de doble tubo, de tubo y coraza, y los intercambiadores de superficie ampliada. Para el calentamiento del aire que se utilizará como medio de calefacción en el secadero se utilizará un intercambiador de superficie ampliada debido a que una de las corrientes de fluido tiene un coeficiente de transmisión de calor mucho menor que la otra. En el caso particular del calentamiento de aire por medio de vapor de agua que se condensa, el coeficiente pelicular del vapor de agua es entre 100 y 200 veces superior al del aire, lo que implica que el coeficiente global de transferencia de calor sea esencialmente igual al coeficiente pelicular del aire, y como la capacidad por unidad de área de la superficie de calentamiento es pequeña, se necesitarán muchos metros de tubo para conseguir una capacidad aceptable (McCabe et al., 2007). Por tanto, en función de ahorrar espacio y disminuir el coste del equipo se propone utilizar un intercambiador de calor de superficie ampliada con tubos aplastados con aletas continuas.

Autores como (Treybal, 1990) y (Foust et al., 2006) referencian que los secaderos industriales pueden operar de forma continua o discontinua, dependiendo de las características del sólido y de los flujos en el proceso. Entre los secaderos discontinuos destaca por su uso el secadero de bandejas; y entre los continuos sobresalen los secaderos de túnel, tambor y el rotatorio. Para este proceso en particular, debido a que los flujos a operar son menores de 50 Kg/h se recomienda utilizar, una operación discontinua y por ende un secadero de bandejas.

Los cascarones de huevo secos son sólidos frágiles, lo que facilita su molienda, (Rosabal & Garcell, 2006) expone que los molinos se clasifican según el tipo de pulverización que se desee, sea fina o superfina. Los principales equipos son los de tambor, de bolas, de discos, los molinos de anillo de rodillo suspendido y los molinos de martillo. Basándose en los criterios de selección de (Ulrich, 1985) se propone un molino de martillos. Estos dispositivos tienen un cilindro que gira dentro de una carcasa estacionaria y son capaces de romper, cortar y desgarrar material cohesivo y tenaz. La fuerza centrífuga hace que cierto número de martillos pivotados, montados sobre la periferia del rotor, oscilen dentro de la carcasa, en la cual hay barras estacionarias de yunque o placas rompedoras y forman una superficie de impacto y corte. En la Tabla 1 se comparan diferentes tipos de molinos inspeccionados.

Tabla 1.
Selección de molinos.

Parámetros	Molinos		
	Martillos	Rodillos	Disco
Diámetro máximo de alimentación (m)	0,3	0,7	0,5
Relación de reducción típica, R	35	4	10
Capacidad máxima (Kg/s)	400	125	5
Consumo de potencia (kW)	$1,0 \cdot m \cdot 0,86 \cdot R$	-	$10 \cdot m$

El polvo proveniente de la molienda debe ser tamizado para separar el sólido de acuerdo al tamaño de partículas. En las aplicaciones comerciales generalmente es más eficiente emplear una serie de tamices de plataforma sencilla mejor que unidades múltiples. expone que los principales tamices industriales son los de parrilla fija, cribas de tambor, tamices coladores de arcos y cribas vibratorias o semivibratorias. Para el proceso se recomienda la utilización de cribas vibratoria debido a que se adaptan a la capacidad de trabajo que es muy amplia y ajustable a todo tipo de flujos y su bajo

gasto energético. Según (Ulrich, 1985) existen varias cintas transportadoras: de banda, tornillo sinfín, correa, elevador de cangilones, de flujo continuo, neumático y vibratorio.

Para el transporte de los cascarones de huevo al secadero se utilizará un tornillo sinfín, también conocido como transportador helicoidal. Emplea un tornillo giratorio para transportar el sólido a través del espacio o ducto cerrado. Este transportador ayuda a fragmentar los cascarones para el posterior secado. La Tabla 2 ilustra la comparación entre diferentes transportadores.

Tabla 2.
Selección del transportador.

Parámetros	Tipo de transportador	
	Tornillo sinfín	Flujo continuo
Diámetro (m)	0,15-0,50	0,2-1
Longitud (m)	5-25	10-50
Capacidad máxima de sólidos (m ³ /s)	0,007-0,08	0,01
Velocidad normal de transporte	-	0,5-1
Acciones simultaneas	Mezcla, calentamiento, enfriamiento, secado	-
Límite de temperatura (°C)	400	400
Costo relativo anual	Alto	Moderado
Consumo de potencia (kW)	$0,07 \cdot m \cdot 0,85 \cdot L$	$0,07 \cdot m \cdot 0,85 \cdot L$

Para alimentar el flujo de aire al intercambiador de calor es necesario hacer el uso de ventiladores. (Ulrich, 1985) propone los dos tipos de ventiladores fundamentales para el movimiento de gases que son los centrífugos y los axiales. Los ventiladores axiales pueden ser de tubos o

de aletas, estos son muy utilizados ya que tienen grandes espacios libres y son relativamente baratos. Para el proceso en cuestión se propone un ventilador axial de tubo. La Tabla 3 muestra la comparación entre diferentes ventiladores.

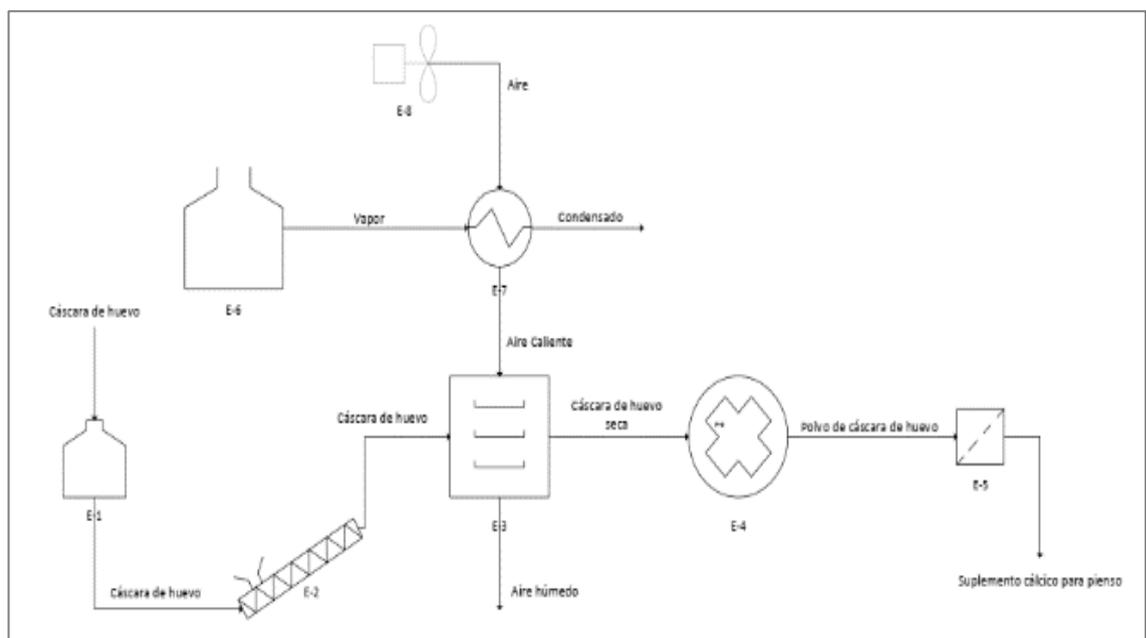
Tabla 3.
Selección del ventilador.

Parámetros	Ventilador axial	
	tubo	aletas
Intervalo de presión absoluta (atm)	Cercana a 1	Cercana a 1
Presión diferencial máxima (kPa)	1	5
Capacidad máxima del equipo de abastecimiento	300	300
Eficiencia típica (%)	60-65	60-70
Costos relativos		
Precio de compra	Bajo	Moderado
Instalación	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Bajo	Bajo
Servicio	Moderado	Moderado-bajo

Los tanques de almacenamiento a presión atmosférica se emplean universalmente para mantener la materia prima para su procesamiento posterior. Los cascarones de huevo son sólidos frágiles que contiene residuos del contenido interno del huevo. Para su almacenamiento no se requieren condiciones específicas ya que es un residual muy noble por lo que pueden utilizarse depósitos construidos con acero

al carbón, concreto o plástico, dependiendo del costo de los materiales de construcción y su durabilidad (Aguirre & Pérez, 2019). Para el proceso en cuestión se usarán tanques de plástico, por su facilidad de adquisición y su bajo costo en el mercado. La Figura 2 ilustra el esquema de flujo tecnológico seleccionado para llevar a cabo la transformación de los cascarones de huevos residuales en carbonato de calcio.

Figura 2
Esquema de flujo tecnológico elaborado con Microsoft Visio.



Nota: Autores (2023).

Donde:

- E-1: Tanques de almacenamiento y lavado
- E-2: Transportador de sólidos tipo tornillo sinfín
- E-3: Secadero de bandejas
- E-4: Molino de martillos
- E-5: Tamices
- E-6: Caldera
- E-7: Intercambiador de calor de tubos aplastados con aletas continuas
- E-8: Ventilador axial

2.3 Diseño del secadero de bandejas para la producción de carbonato de calcio a partir de cáscaras de huevo residuales.

Dada la incidencia de la operación de secado en la calidad del producto terminado y aprovechamiento de los cascarones de huevo como una materia prima útil para la fabricación de polvo rico en carbonato de calcio el presente artículo se centra en el diseño de este equipo y los servicios auxiliares para energización, almacenamiento, transporte y el

mantenimiento necesario. Partiendo de un flujo de cascarones de huevos limpios y desinfectados igual a 500 kg/día (L) que presentan una densidad de 1028 kg/m³ como refiere (Reyes, 2022). Estudios preliminares de (Valdés-Figueroa, 2009) y de (Windhorst, 2014) fijan la humedad de las cáscaras de huevo para este tratamiento en 10 % y la humedad relativa de este sólido según los parámetros comerciales no debe superar el 4 %. El aire para el secado discontinuo presenta una humedad de entrada de 1,7 % (0,018 kg_{agua}/kg_{aire}) y 2,91 % (0,027 kg_{agua}/kg_{aire}) a la salida.

El flujo de sólido libre de agua (L_s) es calculado por medio de la ecuación 1 empleando los datos de diseño y la ecuación típica para el balance de masa en equipos de transferencia de masa similares. El flujo de aire necesario (G) se calcula a partir de la ecuación 2 que encierra al flujo de aire libre de humedad (G_s) que es determinado en la ecuación 3.

$$L_s = L \cdot \left(1 - \frac{\%humedad}{100}\right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

$$G = G_s \cdot (1 + Y_2) \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

$$G_s = L_s \cdot \left(\frac{X_1 - X_2}{Y_1 - Y_2}\right) \dots \dots \dots, \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- L: flujo de sólido que será secado (kg/día)
- L_s: flujo de sólido sin agua (kg/día)
- G: flujo de aire caliente (kg/día)
- G_s: flujo de aire sin agua (kg/día)
- X₁: humedad en base seca del aire a la entrada del secadero (kg_{agua}/kg_{aire})
- X₂: humedad en base seca del aire a la salida del secadero (kg_{agua}/kg_{aire})
- Y₁: contenido de agua en el sólido a la entrada del secadero (kg_{agua}/kg_{sólido})

Y₂: contenido de agua en el sólido a la salida del secadero (kg_{agua}/kg_{sólido})

El tiempo que tarda la operación de secado se estima por medio de la ecuación 4 que en gran medida determinará el tiempo en que se desarrollará cada lote de la producción de carbonato de calcio. El parámetro tiempo es una dependencia de la temperatura y los flujos materiales empleados.

$$\theta t = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- θt : tiempo total de secado
- θ_1 : tiempo de periodo constante
- θ_2 : tiempo de caída de régimen
- θ_3 : tiempo de carga y descarga

Siguiendo lo referenciado en la bibliografía (Treybal, 1990) se asume que el tiempo de carga y descarga es de 0.4 horas. Los tiempos de periodo constante y caída de régimen se deben calcular de acuerdo a las ecuaciones 5 y 6 respetivamente.

$$\theta_1 = L_s \cdot \frac{(X_1 - X_2)}{A \cdot Nc} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\theta_2 = \frac{L_s \cdot (X_c - X^*)}{A \cdot N_c} \cdot \ln\left(\frac{X_c - X^*}{X_2 - X^*}\right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

A: área de transferencia de secado, 1 m².

Nc: factor de transferencia de secado (0,4234 kg/h·m²) tomado de Treybal (1990).

X*: humedad de equilibrio (0,0021 kg de agua/kg de sólido seco).

Xc: humedad crítica y la obtenemos de la curva de secado con un valor de 0,07 kg de agua/kg de sólido seco.

También es útil la relación Ls/A para el dimensionamiento del equipo, ecuación 7. Donde z es el espesor de la película de sólido en la bandeja en metros igual a 0,1 y ρ es la densidad de los cascarones de huevo.

$$\frac{L_s}{A} = \rho \cdot z \dots \dots \dots \text{Ecuación 7}$$

El flujo de aire a suministrar en el secador se calcula según la ecuación 8. Donde v es la velocidad de flujo de aire igual a 2,53 m/s

recomendada por (Rosabal & Garcell, 2006) y A_{libre} es el área libre entre bandejas para el flujo de aire.

$$G = v \cdot \rho \cdot A_{libre} \dots \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

El área libre entre bandejas se calcula según la ecuación 9 y la altura del equipo multiplicando la separación entre bandejas por el número de bandejas (todas colocadas

verticalmente) conformadas de acero, e incorporando un sobredimensionamiento del 30% por el tope y el fondo del equipo.

$$A_{libre} = largo \cdot espacio \text{ libre} \cdot (\#bandejas - 1) \dots \dots \dots \text{Ecuación 9}$$

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño del secadero de bandejas.

Aplicando las ecuaciones para el bance de materiales y humedad de la sección anterior se pudo obtener el contenido de agua por kilogramo de polvo de cáscara de huevo antes de la etapa de secado (X₁=0,111 kg_{agua}/kg_{sólido}) y a la salida correspondiente al producto seco (X₂=0,0344 kg_{agua}/kg_{sólido}). Estos resultados responden a los reportados por (BURGA, 2018) y (Posso, 2020). El cálculo de material seco libre de humedad

asciende a 450 kg de cascarones por día para una carga de 75 kg por lote. Para este indicador es sumamente importante tener en cuenta que los cascarones de huevo van a tener un mínimo de humedad 3,3% por tanto el sólido libre de agua es virtualmente imposible (Treybal, 1990), pero, es un dato imprescindible para el diseño de equipos de secado. De igual manera se obtuvo el cálculo de flujo de aire caliente a 90 °C a la entrada del secadero (Tabla 4).

Tabla 4

Requerimientos del flujo de aire a la entrada del secadero.

	T ₀ (°C)	v (m/s)	Flujo (kg/d)	Flujo (kg/lote)	Flujo (kg/h)
Flujo de aire entrada G	90	2,53	37 891,74	6 315,29	1 578,82

El tiempo de operación total es igual a 3,58 horas por lote de secado o se puede aproximar en beneficio de los operadores y dando margen de trabajo hasta 4 horas, donde θ₁= 0,0269h, θ₂= 3,15h y el tiempo

de carga y descarga θ₃= 0,4h. La ecuación 7 ofrece el cálculo de la relación Ls/A= 10,28 kg/m². El área total de bandejas dividiendo el flujo de sólido libre de humedad entre la relación Ls/A dejando un

área igual a 10,46 m² quedando distribuida en siete bandejas de 1,5 m² de superficie plana rectangular. Las mismas aportan un área libre de 0,18 m² y una altura del secador igual a 1,75 m². Los parámetros proyectados para el secadero de bandejas de acero permiten seleccionar un equipo dentro de las ofertas comerciales para su adquisición.

3.2. Sistema de servicios auxiliares.

Para el diseño de plantas químicas es de vital importancia el reconocimiento de los sistemas auxiliares, que garantizaran la marcha eficiente de un proceso. Reconocerlos e identificarlos según las características del proceso, garantizará el buen funcionamiento de los mismos y su contribución al proceso.

Tabla 5

Características del generador de vapor industrial.

P trabajo de la caldera (MPa)	0,980665
T de trabajo de la caldera(°C)	225
h_v(kJ/kg)	2890,256
m_c(kg/h)	9,6
W_v(kg/h)	1175
Me(kg/h)	0,5234
T_{aa}(°C)	40
h_{aa}(kJ/kg)	168,42
h_f(kJ/kg)	758,94
Q₁(kJ/kg)	333173,5811
Q_i^γ(kJ/kg)	43100
Entalpía del combustible, h_c(kJ/kg)	417000
Q_d(kJ/kg)	460100
η	0,724132973
η(%)	72,41329734

Sistema de almacenamiento: En el proceso es necesario almacenar el polvo resultante del proceso, así como la materia prima que entra a la planta. Es un sistema muy importante, ya que a cualquier proceso le brinda seguridad, continuidad y fiabilidad. Para tres tanques de almacenamiento con un volumen de 0,40 m³ y un tanque para el lavado y desinfección con volumen de 0,37 m³.

Sistema de Transporte: En este caso se está en presencia de un proceso discontinuo, en

Sistema Energético: Conformado por la generación y suministro de vapor, en esta planta es necesario para el calentamiento del aire en el intercambiador de calor. Además, se utiliza energía eléctrica para el movimiento de los tamices, molino, ventilador y los transportadores. Los aspectos relacionados con los datos y el análisis del balance en el generador de vapor que se encuentra instalado se muestran en la tabla 5. Se generan 122,4 kg de vapor/kg de combustible. Para calentar el aire se requiere 0,0384 Kg de vapor /s o sea 138,24 kg de vapor /h que pueden ser abastecidos por el generador instalado, ya que el consumo actual promedio de vapor es de 930 kg de vapor/h por lo que hay un excedente de 245 kg de vapor /h que permite cubrir la demanda de 138,24 kg de vapor /h.

el que el sistema de transporte se evidencia en los tornillos sinfín acoplados en la planta. Este sistema es necesario garantizarlo.

Sistema de Mantenimiento: La planificación y programación de los mantenimientos tanto preventivos como planificados, por parte del sistema de mantenimiento debe ser de estricto cumplimiento, para evitar diferentes problemas de fallas con el equipamiento que se puedan presentar.

4 CONCLUSIÓN

El estudio de la bibliografía especializada en producciones más limpias y valorización de residuos de la industria alimentaria concluye que la instalación de una planta productora de carbonato de calcio para suplemento alimenticio del ganado avícola constituye una opción atractiva para el aprovechamiento de los cascarones de huevos desechados de la industria de mayonesas “Los atrevidos”. La cáscara de huevo contiene un 1,6% de humedad y un 93,33% de carbonato de calcio, valores validan el potencial de esta como fuente de obtención de carbonato de calcio. El diseño de una planta de producción de suplemento alimenticio rico en carbonato de calcio a partir de cáscara de huevo fue realizado para una capacidad de 500 kg/día, sus principales etapas fueron tratamiento de

materias primas, secado, molienda y tamizado; siendo la etapa de secado discontinuo la de mayor atención ya que rige el tiempo de desarrollo de la actividad productiva e influye directamente en la calidad del producto terminado. El secadero diseñado responde a un secadero de bandejas discontinuo de 7 bandejas con 1,5 m² de área, y la altura del secadero es de 1,75 m. El flujo de aire caliente a 90 °C es de 1 578 kg/h y el régimen de trabajo es por lotes de 4 horas para 6 lotes por día de operación. El esquema productivo propuesto no genera residuales a tratar, y responde a un problema ambiental en la industria de mayonesas y aderezos, haciéndolo un proceso industrial más amigable con el medio ambiente.

5 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Acho, R. (2016). Estudio de la utilización de cáscaras de huevo que se desechan para la elaboración de pan. (Tesis), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia., Recuperado 5 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/8957>.
- Aguirre, G. K., & Pérez, A. B. (2019). Propuesta de un proceso para la obtención de carbonato de calcio a partir de cáscaras de huevo. Tesis de grado. ResearchGate. <https://profesorrenato.wordpress.com/2019/04/19/propuesta-de-un-proceso-para-la-obtencion-de-carbonato-de-calcio-a-partir-de-residuos-de-cascaras-de-huevo/>.
- Bedoya, A., & González, M. P. V. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 12(2), 2-11. doi:10.24188/recia.v12.n2.2020.776.
- Burga, P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color. (Tesis de Grado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú, Facultad de Química e Ingeniería Química. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/8805>.
- Foust, A. s., Wenzel, L. A., Clum, C. W., Maus, L., & Andersen, L. B. (2006). Principio de operaciones unitarias (Compañía Editorial Continental ed. Vol. 1).
- Gómez, L. M., & Macías, J. S. G. (2017). Estudio de pre factibilidad para la producción y comercialización de carbonato de calcio a partir de la cascara de huevo como suplemento alimenticio en aves de corral línea carne para empresas productoras de alimentos concentrados para autoconsumo en el departamento de Cundinamarca. (Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería), Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Colombia, <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5899>.
- Grisales, J. P., Aguilera, G. F., & García, S. J. (2019). Estudio técnico de viabilidad en obtención de CaCO₃ con cáscaras de huevo y conchas. (Proyecto de Grado), Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/13232>.
- Ho, W., Hsu, C., Hsu, S., Hung, C., & Wu, S. (2013). Calcium phosphate bioceramics synthesized from eggshell powders through a solid state reaction. *Ceramics international*, 39(6), 6467-6473. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.01.076>.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). Operaciones unitarias en Ingeniería Química (Edición Revolucionaria ed. Vol. 1; 2).
- Morillo, S. (2012). Propuesta de Producción Más Limpia (P+L) en el proceso de tinturado, en la industria “Textiles María Belén”

- ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito. Título de Ingeniera Ambiental Grado Académico de Tercer Nivel de formación, Universidad Central del Ecuador.
- Posso, A. R. (2020). Método de Reutilización de la Cascara de Huevo. (Tesis de Grado), Universidad Católica de Pereira, Programa de Diseño Industrial. <http://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/7135>
- Reyes, Y. (2022). *Determinación de la factibilidad de una planta para la reutilización de cáscaras de huevos como suplemento en la alimentación animal.* (Tesis de Grado), Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Rosabal, J., & Garcell, L. (2006). Hidrodinámica y separaciones mecánicas (EDITORIAL FÉLIX VARELA ed. Vol. 2).
- Solé, M. (2017). Valorización de Residuos Agroindustriales: Estudio realizado sobre la cáscara de huevo.
- Treybal, R. E. (1990). Operaciones con transferencia de masa (Edición Revolucionaria ed. Vol. 1).
- Ulrich, G. (1985). Diseño y Economía de los procesos de Ingeniería Química (Edición Revolucionaria ed. Vol. 1).
- Valdés-Figueroa, D. S. J. (2009). La cáscara del huevo: ¿desecho o valor agregado para la salud humana y la producción avícola? Una experiencia cubana. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 19(1), 84-102.
- Vásquez, D. I. (2019). *Sustitución del Carbonato de Calcio ((CaCO₃) por harina de cáscaras de huevo en un balanceado para cuyes en la etapa de recría.* (PROYECTO DE INVESTIGACIÓN), Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador, Carrera De Ingeniería Agroindustrial.
- Windhorst, H. (2014). Global egg production dynamics - past, present and future of a remarkable success story. doi:http://www.internationalegg.com/wp-content/uploads/2015/08/Economics-ReportStatsReportSept14_web.pdf