

Original

Determinación de los parámetros principales en el diseño de centrífuga refinadora de aceite de coco, fábrica de conservas, Pílon

Determination of the principal parameters in the design of centrifugal refining plant of oil of coconut, at the cannery, Pílon

Est. Eduar Miguel Gutiérrez Castillo, Universidad de Granma, Bayamo, Cuba ⁽¹⁾

MSc. Maikel Diéguez, UNIVERSIDAD de Granma, Bayamo, Cuba ⁽²⁾

⁽¹⁾ Estudiante de 4to. Año de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba
eduardmiguel655@gmail.com

⁽²⁾ Master En Ciencias. Profesor Auxiliar. Ingeniería Mecánica. Jefe De Departamento De Mecánica. Facultad De Ciencias Técnicas, Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. mdieguetzr@udg.co.cu

Resumen

Este trabajo se realizó en la empresa Fábrica de Aceite de coco, Pílon. Tiene como objetivo determinar los parámetros principales en el diseño de centrífuga refinadora de aceite de coco. El presente trabajo tiene como propósito optimizar el proceso de refinado del aceite proceso que es muy importante para el mejoramiento en la economía y la sustitución de importaciones en nuestro país. En este trabajo se aplicó la metodología para la determinación de los parámetros de la centrífuga refinadora de aceite de coco y algunas de sus problemáticas en procesamiento después del molido. Como resultado se concluye que fue posible determinar los parámetros fundamentales de diseño para centrífuga y se seleccionó la centrífuga de canasta de velocidad de giro de 2000 rpm se obtuvo una potencia de 2.15kw.

Palabras Clave: diseño; producción; centrífuga.

Abstract

Manufacture of oil accomplished this work herself at the company of coconut, Pílon. You aim at determining the principal parameters in the design of centrifugal refining plant of oil of coconut. The



present work has like purpose to optimize the process of refining of oil process that is very important for the improvement in economy and the import substitution at our country. You applied over yourself the methodology for the determination of the parameters of centrifugal refining plant of oil of coconut and some of his problems in processing after the ground in this work. As a result, it is concluded that it was possible to determine the fundamental parameters of design stops centrifuge and himself I select centrifugal you got a potency from 2.15kw of 2000 rpm's basket of velocity of spin.

Key words: Design; production; centrifuge

Introducción

La naturaleza del diseño en general que incluye el diseño en ingeniería mecánica en particular. El diseño es un proceso iterativo con muchas fases interactivas. Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, entre los que se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de diseño por computadora. El ingeniero de diseño no solo necesita desarrollar competencia en su campo, sino que también debe cultivar un fuerte sentido de responsabilidad y ética de trabajo profesional.(Richard G. Budynas, 2015)

Existen gran diversidad de métodos y procesos por los cuales obtener diferentes tipos de alimentos, también variedad de fuentes de las cuales conocer sobre ellos. Tanto en la cocina cubana como en cualquier otra es necesario el uso del aceite comestible. Para el cual se desarrolló un método y una materia prima muy eficaz para su alta producción y comercialización dentro del territorio nacional y de paso contribuir a la sustitución de importaciones el método aplicado en la agroindustria para su producción es la molienda utilizando los molinos de martillo establecidos en las diferentes fábricas en muchas de nuestras provincias.

El aceite de coco es originario de países tropicales, muy usado en la cocina caribeña por su rico aroma. Es un aceite vegetal que se obtiene de la pulpa de cocos maduros, el cual es muy consumido en países tropicales y partes del sur de Asia. Este aceite que proviene de la nuez del coco (Cocos nucifera), se



obtiene por la extracción de la pulpa blanca que recubre el interior de la nuez, llamada copra. El aceite se produce al someter a presión la pulpa o carne blanca de esta fruta, la cual contiene más del 60% de aceite. A pesar de su nombre el aceite de coco es una grasa que es sólida a temperatura ambiente, lo cual se debe a que contiene 92% de ácidos grasos. (cocinista, s.f.)

El proceso industrial de refinado del aceite de coco, tratándose de un fluido que se destaca por su enorme viscosidad y este factor es determinante en el mundo de la filtración de procesos. En este tipo de procesos su suelen usar filtros como el que venimos a presenciar en esta investigación. El equipo seleccionado para llevar a cabo la función, es una centrífuga de refinado. Se trata de un equipo que ofrece una operación fiable e ininterrumpida y en condiciones cerradas. Se realiza una limpieza de fluidos con un rendimiento altamente eficiente. Además, debido a su sistema de limpieza que tienen que mantener permite mantener bajo los costes de servicio y evitar pérdidas de producción.

En la empresa donde se desarrolló este proyecto podemos encontraren su mayoría motores trifásicos 220V para el proceso de producción. El sistema de transmisión presente en estos es casi totalmente por correa, con excepción de uno que es por cadena, presente este en el elevador. Esta institución ha recibido numerosos reconocimientos y certificados y diplomas por su destacado aporte y trabajo en función de cubrir las necesidades del pueblo.

Producto de la falta de proceso de refinado en esta industria la calidad de salida del producto no es la máxima, puesto que en su paso al almacenamiento se pueden notar aun partículas procedentes de la máquina de molido donde se procesa y se divide el aceite de la copra (masa de coco molida). Para solucionar esta problemática y elevar la calidad del producto final propongo mediante esta investigación la aplicación de una centrífuga de líquido-sólido empleada mundialmente para filtración de diferentes productos, entre ellos aceites de diferentes tipos.

Es necesario como determinar los parámetros principales en el diseño de centrífuga refinadora de aceite de coco, aplicando los conocimientos de diseño de centrífuga para el refinado de aceite y determinación de



los parámetros de diseño de centrífuga para el refinado de aceite de coco. Por lo que Si se aplica la metodología expuesta en esta investigación se podrá determinar los parámetros de diseño de centrífuga refinadora de aceite de coco.

Población y muestra

La Empresa Fábrica de Conservas “Aceite de Coco”, tiene como misión procesar el coco como materia prima principal para la obtención de aceite comestible con un objetivo producir y comercializar el aceite de coco. Su Objeto Social se encuentra en la extracción del aceite de coco, para lo cual cuenta con máquinas como la picadora de coco (Molino de martillo); horno de precalentamiento (proceso manual); la estera transportadora; el elevador; la máquina de molido y prensado; y por último los tanques de almacenamiento. Las formas de comercio a través del proceso que se lleva a cabo en esta fábrica el producto comercializado es el aceite obtenido. También contribuye al desarrollo tanto a empresas estatales como a las pequeñas y medianas empresas que se dedican a la elaboración de productos de aseo u otro tipo de producción, por ejemplo, tenemos Poligón – Santiago de Cuba, Holguín, Empresa Suchel – Matanzas. (PEÑA, CRITERIO PROPIO)

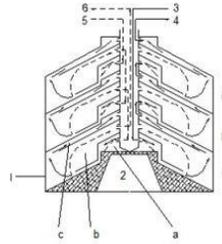
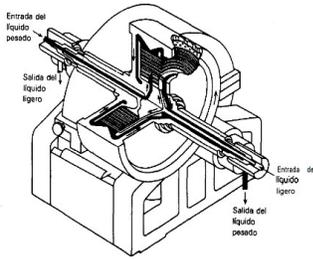
El estudio de las separaciones sólido-líquido por centrífuga está basado en la teoría de la sedimentación. Esta permite desarrollar algunas predicciones del comportamiento de los equipos centrífugos, no solo para poder especificarlos y dimensionarlos, sino que también ofrece un apoyo adecuado para su correcta operación. La teoría de la sedimentación está basada en la Ley de Stokes que establece los aspectos básicos del movimiento de un sólido en un líquido cuando existe un gradiente de densidad. Este movimiento puede ser causado por la fuerza gravitacional o por una fuerza centrífuga. (Burneo Echeverría, 18 de marzo de 2014.)

Los extractores centrífugos con extractores diferenciales a contracorriente cuya separación de las fases se basa en la diferencia en las densidades de los líquidos y en la fuerza centrífuga en donde el flujo a

FIGURA 1. EXTRACTOR CENTRÍFUGO DE PODBIELNIAK FIGURA 2. EXTRACTOR CENTRÍFUGO DE LUWESTA



contracorriente es radial con respecto al eje de revolución. En estos equipos el tambor cilíndrico contiene



un caparazón concéntrico, perforado; se gira rápidamente sobre un eje horizontal (extractor de Podbielniak) o vertical (extractor de Luwesta y de Rotabel) a una velocidad de 30 a 85 rpm. Los líquidos entran a través del eje los líquidos pesados se llevan al centro del tambor y los líquidos ligeros a la periferia. Los líquidos pesados fluyen radialmente hacia afuera y los livianos salen a través del eje. Estos extractores son especialmente útiles para líquidos de diferencia de densidad muy pequeña y en donde se requieren tiempos de residencia cortos. (Treybal, 1980)

La centrífuga se utiliza para separar distintos líquidos, que son bastantes difíciles para la separación de líquidos y sólidos. Es ampliamente utilizado en la farmacia, la comida sana, bebidas, industria química entre otros. Como aceites comestibles en el caso que tenemos presente. También puede utilizarse para separar plasma sanguíneo, separar el aceite y el manejo de aguas residuales, diversos tipos de medicamentos, etc. (Mercado, 2014)

Tabla 1. Comparación de tipos de centrífugas(Mendoza, 2021)

Sistemas	Ventajas	Desventajas
Tubular	(a) Alta fuerza centrífuga (b) Buena deshidratación (c) Fácil de limpiar o bomba centrípeta utilizada (d) Desmontaje simple del recipiente	(a) Capacidad limitada de sólidos (b) Espumante a menos que se realice una espumación especial (c) Recuperación de sólidos difícil
Cámara	(a) Se mantiene la eficiencia de clarificación (b) Recipiente de gran capacidad para contener sólidos (c) Buena deshidratación	(a) Sin descarga de sólidos (b) La limpieza es más difícil que en unacentrífuga tubular (c) Difícil recuperación de sólidos



	(d) Posibilidad de enfriamiento del cuenco	
Discos	(a) Posibilidad de descarga de sólidos	(a) Deshidratación deficiente
	(b) Descarga de líquido a presión	(b) Difícil de limpiar elimina la formación de espuma
	(c) Posibilidad de enfriamiento del cuenco	
Espiral	(a) Descarga continua de sólidos	(a) Baja fuerza centrífuga
	(b) Alta concentración de sólidos de alimentación	(b) Turbulencia creada por el espiral
Canasta	(a) Los sólidos se pueden lavar bien	(a) Sin descarga de sólidos
	(b) Buena deshidratación	(b) Recuperación de sólidos difícil
	(c) Gran capacidad de retención de sólidos	

Estas centrífugas son llamadas a menudo “centrífugas filtro o clarificadores”. Tienen una pared perforada y un rotor tubular cilíndrico. En la mayoría de los casos para pared externa la centrífuga consiste en una fina malla metálica o una serie de mallas soportadas por una pesada malla gruesa, la cual a su vez es soportada por un plato.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de aceites de coco (STAN, 2017)

Producto	Densidad a 20 ⁰ C (g/ml)	Viscosidad 20 ⁰ C(kg/ms)
Aceite de coco	0,91	21,84

Para el análisis de los parámetros funcionales de la centrífuga se tuvieron en cuenta:

La fuerza centrífuga relativa guarda relación con el número de revoluciones del rotor por minuto se determina mediante la Ecuación 1.

$$G = 0.001118 \cdot r \cdot n^2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

r: Radio en milímetros desde el pivote de la centrífuga hasta la punta del punto.

n²: Número de revoluciones por minuto.

La fuerza que se opone al movimiento de la partícula viene definida por la ley de Stokes se determina mediante la Ecuación 2.

$$FD = 3\pi \cdot d \cdot \mu \cdot v \quad (\text{Ecuación 2})$$



μ : Viscosidad

Fuerza desarrollada en una centrífuga se determina mediante la Ecuación 3.

$$Z = \frac{w^2 r}{g} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Z: Fuerza desarrollada en una centrífuga

$w^2 r$: Aceleración

g: Gravedad

La velocidad angular de rotación se determina mediante la Ecuación 4.

$$w = \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Durante el movimiento de una partícula en un fluido hay esencialmente tres fuerzas que actúan sobre los cuerpos:

- Centrífuga
- Fuerza de flotación
- Resistencia o fuerza de retardo

Fuerza centrífuga que actúa sobre las partículas se determina mediante la Ecuación 5.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (\text{Ecuación 5})$$

m: Masa

r: Distancia desde el origen

La velocidad tangencial se determina mediante la Ecuación 6.

$$v = \frac{2\pi \cdot r \cdot N}{60} \quad (\text{Ecuación 6})$$

La fuerza de gravedad se determina mediante la Ecuación 7.



$$F_c = m \cdot w^2 \cdot r \quad (\text{Ecuación 7})$$

F_c : Fuerza centrífuga que actúa sobre la partícula

m : Masa de la partícula

r : Radio de la trayectoria

w : Velocidad angular de la partícula

La fuerza de flotación se determina mediante la Ecuación 8.

$$F_F = m a \frac{P_p}{P_L} \quad (\text{Ecuación 8})$$

m : Masa de la partícula

P_p : Densidad de la partícula

P_L : Densidad del líquido

La fuerza de resistencia se determina mediante la Ecuación 9.

$$F_r = C_D \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{Ecuación 9})$$

El coeficiente de arrastre C_d está en función del número de Reynolds. En la región de flujo laminar o Región de Stokes se determina por la Ecuación 10.

$$C_d = \frac{24}{\Re} = \frac{24 \cdot \mu}{D_p \cdot V \cdot \rho} \quad (\text{Ecuación 10})$$

D_p : Diámetro de la partícula

ρ : Densidad del líquido

Filtración centrífuga

La filtración centrífuga combina los principios de separación mecánica de la filtración y la centrifugación.

Para determinar la ecuación del tiempo requerido de operación se considera el gasto volumétrico Q a través de la torta y su relación con la ecuación de D'arcy. Debido a que la torta no es plana, el área de filtrado varía con el radio (r) de tal forma que combinando los principios de filtración y centrifugación se



puede obtener una ecuación para el gasto volumétrico de cualquier instante t y una ecuación para el tiempo de operación para lograr la separación deseada. El tamaño de partícula filtrada va desde $1-2\ \mu\text{m}$. (Alvarado, 2012)

El gasto volumétrico de la filtración centrífuga se determina mediante la Ecuación 11.

$$Q = \frac{\pi \cdot \omega^2 \cdot \rho_L \cdot L}{\mu \cdot \alpha \cdot \rho_0} \left[\frac{R_0^2 - R_1^2}{\ln \frac{R_0}{R_1}} \right] \quad (\text{Ecuación 11})$$

R_0 : Distancia radial del eje de giro a la superficie del líquido

R_1 : Distancia radial del eje de giro a la pared del tazón

L : Altura de la centrífuga

ρ : Densidad del líquido

ρ_0 Densidad del sólido

α : Resistencia específica de la torta

μ : Viscosidad del líquido

El tiempo de filtración para la filtración centrífuga se determina por la Ecuación 12.

$$t = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot \pi \cdot \rho_T \cdot R_t^2}{2 \cdot \rho_L \cdot \omega^2 - (R_0^2 - R_1^2)} \left[\left(\frac{R_0^2}{R_t^2} \right) - 1 - 2 \cdot \ln \left(\frac{R_0}{R_t} \right) \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

ρ_T : Densidad de la torta por unidad del medio filtrado

Cuando una partícula se mueve, el movimiento rotacional sobre un eje, su velocidad es tangencial al camino circular y su velocidad se determina mediante la Ecuación 13:

$$v = w \cdot r \quad (\text{Ecuación 13})$$

La aceleración (a_r) consiste en dos componentes, un componente radial: $a_r = w^2 \cdot r$ y un componente tangencial $a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{w}{t}$. Cuando la velocidad angular es constante la aceleración es 0.



La potencia se calcula mediante la relación de torque (T) por la velocidad angular y el torque se calcula mediante la relación del momento de inercia de la rotación del cilindro con respecto al eje de rotación, se determina mediante Ecuación 14.

$$P=T \cdot \omega=I \cdot \alpha \cdot \omega \quad (\text{Ecuación 14})$$

El momento de inercia de rotar el cuerpo del cilindro sobre un eje de rotación es la suma del momento de inercia de la rotación del cilindro (I_1) y el momento de inercia de la rotación del líquido (I_2) (Warren C Young, 1898), Se determina mediante la Ecuación 15.

$$I_1=M \cdot R_2=2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot x \cdot r_2^3 \cdot b \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$I_2=\frac{M'}{2} \cdot (r_1^2+r_2^2)=\frac{\pi \cdot \rho_f \cdot b \cdot (r_2^2-r_1^2)}{2} \cdot (r_1^2+r_2^2) \quad (\text{Ecuación 16})$$

x: Espesor

r_2 : Radio interior

r_1 Radio interfacial del líquido

M: Masa el líquido

ρ_f : Densidad del fluido

El factor G indica cuantas veces más rápido se llevará a cabo la separación centrífuga respecto a la separación gravitacional se determina mediante la Ecuación 17.

$$G=5.5 \times 10^{-7} \cdot N^2 \cdot D \quad (\text{Ecuación 17})$$

Analisis de los resultados

Centrífuga de canasta tiene un metodo de operación continuo o por lotes. Este diseño se utiliza a tiempos de operación cortos, con una capacidad intermedia. Su mantenimiento se hace difícil debido a que los solidos deben retirarse al final de la operación.

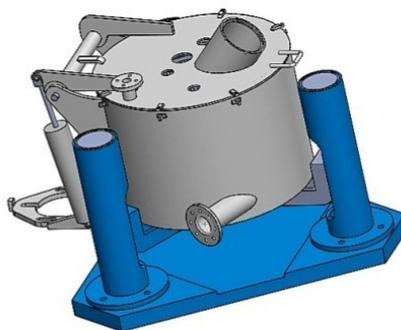
Tabla 3. Resultados



Ecuación	Parámetros	Resultado
1	Fuerza centrífuga	$FCR = 939.12m/s^2$
4	Velocidad angular	$w = 209.33m/s$
3	Fuerza desarrollada	$Z = 938.71$
5	Fuerza centrífuga sobre la partícula	$F_c = 406 N$
6	Velocidad tangencial	$v = 43.96m/s$
7	Fuerza de gravedad	$F_g = 406.74 N$
8	Fuerza de flotación	$F_f = 169.28 N$
11	Gasto volumétrico de la filtración	$Q = 2.30903 L/h$
12	Tiempo de filtración	$t = 3555.3 s = 59.255 min = 0.99 h$
15	Momento de inercia r/c	$I_1 = 0.7262 kg \cdot m^2$
16	Momento de inercia r/l	$I_1 = 1.2397 kg \cdot m^2$
12	Determinación de potencia	$P = 2156 W = 2.1 kw$
17	Factor G	$G = 0.018 m/s$

Tabla 4. Características

Características	Valor
Velocidad (rpm)	2000
Velocidad (rad/s)	209.43
Altura(m)	0.40
Radio interior (m)	0.21
Radio anillo líquido (m)	0.10
Espesor (m)	0.004
Capacidad nominal (L)	55
Densidad	AISI 7800



Modelo cinemático de centrífuga de canasta

Discusión

Se seleccionó una centrífuga de canasta de 0.42 m de diámetro interior y 0.4 m de longitud con un motor de transmisión por correa independiente. La centrífuga de canasta realiza una buena separación para partículas de tamaño grande a velocidades angulares bajas. En este caso, se determina los parámetros para una velocidad de 2000 min^{-1} , y una potencia de 2,15 kW.

Conclusiones

1. Se determinaron los parámetros fundamentales de diseño y de funcionamiento de una centrífuga para la filtración de aceite con velocidad angular de $w = 209.33 \text{ m/s}$; Fuerza centrífuga de $\text{FCR} = 939.12 \text{ m/s}^2$; Gasto volumétrico de la filtración por $Q = 2.30903 \text{ L/h}$, entre otros parámetros. Se obtuvo el modelo CAD del equipo para el desarrollo del proceso de filtrado para mejorar el producto final. Por lo que se puede decir que son los parámetros de diseño idóneo para el mejoramiento y solución de la problemática en cuestión.

Referencias bibliográficas

Alvarado, R. (2012). *Estudio de la filtración centrífuga de una suspensión agua-talco*.

Budynas, R. G. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 10 ed.

Burneo Echeverría, J. C. (18 de marzo de 2014.). "Diseño y construcción de un dispositivo mecánico dispositivo mecánico centrífugo que permita eliminar residuos sólidos (lodos) del aceite debido al tratamiento que recibe para su refinación, en la Planta de Reciclaje de Aceite Lubricante del I. Municipio. Loja.

cocinista. (s.f.). *cocinista.es*. Obtenido de <http://cocinista.es/web/es/enciclopedia-cocinista/aceite-de-coco>

GF-105 Virgen Aceite de Coco separadoras centrífugas tubulares_Ss la separación de la máquina centrífuga. (s.f.). Obtenido de <http://es.made-in-china.com>

Mendoza, L. M. (2021). *Selección de equipos para la extracción y purificación de ácido láctico en el laboratorio de operaciones unitarias utilizando el hongo Rhizopus oryzae*. Guatemala.



Mercado, A. D. (2014). Profesional - centrifugacion. facultad de ingeniería de procesos, universidad nacional de san agustín, arequipa-perú.

Peña, I. (s.f.). CRITERIO PROPIO.

Stan, C. (2017). *Normas para aceites vegetales especificados*.

Treybal, R. E. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa*. 3ra ed.

Young., W. C. (1989). Roark's Formulas for Stress and Stain. (6ta ed.). (Li et al.,2016).

http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/274/1/Alvarado%20Velasco%2C%20R..pdf

RousseletRobotel. (2019). Ficha técnica extractor centrífugo mono-etapa.

