

Diseño de un prototipo de separador de líquidos bifásicos

Design of a prototype two-phase liquid separator

Luis F. Olvera Gómez ^a, Justo F. Montiel Hernández ^b, Carlos E. Borja Soto ^c, Edith Jiménez Muñoz ^d, Mario O. Ordaz Oliver ^e, Sergio Hernández León ^f

Abstract:

The contamination of water bodies due to industrial grease and oil discharges is a matter of great importance to society. Given that conventional effluent treatment processes require specialized facilities and entail high operating costs, this leads to inadequate management of pollutants, which causes environmental damage. This paper proposes the design of an easy-to-use mechanical device based on the principle of centrifugation induced by helical geometry, which is used to separate oils present in water tanks. The design was carried out using SolidWorks modeling software; initially, a system based on the Pythagorean cup principle was considered but was later discarded due to a lack of information regarding its liquid separation capacity, after which a centrifugation system was explored. The hydraulic characteristics of the Dean number and head loss were used as references, as well as the design parameters of the propeller radius and pitch, the angle of inclination, the radius of curvature, the average velocity, and the centrifugal acceleration. A propeller was designed with a radius of 0.3 m, a pitch of 0.01 m, and an average velocity of 0.2 m/s, resulting in a Dean number of 1106.67 and a pressure drop of 0.0074 m. Similarly, the device features a series of internal ribs capable of disrupting laminar flow, resulting in pressure-driven separation that causes oily and lower-density liquids to remain inside the vortex, while water moves toward the outer walls. The result is a mechanical device suitable for treating wastewater with high oil content, which is easy to move and operate, as well as economical and environmentally friendly.

Keywords:

Wastewater, Dean number, pressure drop, centrifugation

Resumen:

La contaminación de cuerpos de agua debido a grasas y aceites vertidos por la industria es un tema de suma importancia para la sociedad. Considerando que los procesos convencionales para el tratamiento de los efluentes requieren instalaciones específicas y altos costos de operación conlleva una incorrecta gestión de los contaminantes provocando un daño al medioambiente. En este trabajo se plantea el diseño de un dispositivo mecánico basado en un principio de centrifugación inducida por geometría helicoidal de fácil manejo, el cual es empleado para la separación de aceites presentes en depósitos de agua. El diseño se realizó mediante el modelado por el software SolidWorks, se consideró inicialmente un sistema basado en el principio de la copa de Pitágoras, el cual posteriormente fue desechado por la falta de información relacionada a la capacidad de separación de líquidos, posteriormente se exploró un sistema de centrifugación. Se tomaron como referencia las características hidráulicas del número de Dean y la pérdida de carga, así como los parámetros de diseño de radio y paso de la hélice, ángulo de inclinación, radio de curvatura, velocidad promedio y aceleración centrífuga. Se diseñó una hélice con radio de 0.3 m, tamaño de paso de 0.01 m y velocidad promedio de 0.2 m/s, lo que resultó en un

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0004-1174-8329>, Email: ol355823@uaeh.edu.mx

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-6890-6069>, Email: justo_montiel@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Apan | Apan-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-7883-0600>, Email: edith_jimenez@uaeh.edu.mx

^e Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Pachuca | Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-9302-0988>, Email: mario.oo@pachuca.tecnm.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Agropecuarias | Tulancingo de Bravo-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-5892-6066>, Email: sergio_hernandez@uaeh.edu.mx

número de Dean de 1106.67 y una pérdida de carga de 0.0074 m. De igual manera el dispositivo cuenta con una serie de nervios internos con la capacidad de romper el flujo laminar, resultando en una separación por presiones que provoca que los líquidos grasos y de menor densidad permanezcan en la parte interna del vórtice, mientras que el agua se desplaza hacia las paredes externas. Finalmente se obtiene un dispositivo mecánico apto para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de aceites, el cual es de fácil movilidad y operación, a la par de económico y amigable con el medioambiente.

Palabras Clave:

Aguas residuales, número de Dean, pérdida de carga, centrifugación

Introducción

Las aguas residuales con grandes concentraciones de aceites y grasas representan un foco importante de contaminación de los mantos acuíferos, lo cual genera una cadena de contaminación que afecta al medio ambiente en general. Los desechos vertidos pueden provenir del área industrial y/o zonas urbanas y aunque existen métodos para el tratamiento, suelen ser intermitentes, costosos y difíciles de implementar a la hora de proponer el uso de plantas residuales convencionales. De tal manera que el entorno ha promovido la investigación de alternativas más accesibles, eficientes, económicas y adaptables en zonas con recursos limitados.

Los sistemas bifásicos como su nombre lo indica están conformados por dos partes, una dispersa u objetiva y otra continua o portadora (Timmerhaus, 2003). El estudio y empleo de este sistema de líquidos son utilizados principalmente en la industria petrolera, alimentaria, farmacéutica y algunas otras que empleen los fenómenos de transporte. (Bu, et al., 2024).

La segregación de estos regímenes está en función de las propiedades físicas de los fluidos, tales como la densidad y la viscosidad, así como de las circunstancias hidrodinámicas del flujo (Mott, 2024). Este tipo de sistemas presentan un fenómeno de comportamiento muy específico para la separación de fases y se toman en cuenta las características de conformación, dimensiones y velocidades de los componentes; de tal manera que sus patrones de flujo se pueden clasificar de la siguiente manera: i) flujo disperso, ii) flujo de gotas, iii) flujo de tapones y, iv) flujo paralelo. Básicamente dependiendo del tipo que se seleccione implica condiciones específicas para el diseño de separadores. (Zhang, et al., 2019).

El objetivo de esta investigación es presentar el diseño de separación agua-aceite considerando un modelo compacto y donde no sea requerido el método de sedimentación para su función, mediante SolidWorks como herramienta de diseño.

En este trabajo únicamente se plantea el diseño de un dispositivo de separación de agua-aceite, sin considerar una simulación.

Metodología

La investigación realizada en este proyecto se llevó a cabo con CAD (diseño asistido por computadora) con base en los equipos de proceso en diseño conceptual-geométricos descritos por Timmerhaus (2003). Se documentó cada paso del modelado junto con las operaciones correspondientes, cotas y cómo podría ser construido de manera sustractiva o aditiva.

Dentro del software SolidWorks utilizado, se utilizó el modelado sólido paramétrico para el desarrollo del diseño del separador de líquidos (SolidWorks® 2022, Dassault Systèmes), ya que este modelado puede realizar operaciones de barrido, corte helicoidal, matrices circulares con mayor detalle y contiene roscas normalizadas ANSI/ASME B1.1-2019 (American Society of Mechanical Engineers, 2019). Se utiliza el sistema métrico (cm, mm) y una tolerancia de ± 0.01 mm dentro de este trabajo.

Resultados

Modelado de la copa de Pitágoras

El desarrollo del primer modelo considerando el principio de la copa de Pitágoras fue destacado por el uso de una protuberancia central, la cual era el contenedor del sistema, inicialmente la copa, que posteriormente se usó para contener el sistema helicoidal (Figura 1). Antes de buscar más información, se consideró en el modelo añadir cámaras internas (Figura 2), para desarrollar la separación adecuada de los líquidos, creando de esta forma la primera idea del sistema de recolección que posteriormente fue utilizado para el modelo helicoidal. Se creó un dispositivo para separar líquidos de aceites con un diseño con forma helicoidal y con cámaras en forma de escaleras.

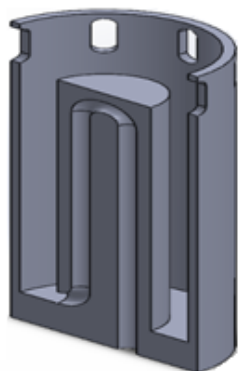


Figura 1. Vista isométrica del modelo inicial de la copa de Pitágoras. Fuente: Elaboración propia.

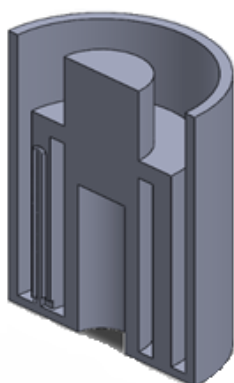


Figura 2. Vista isométrica del modelo final de la copa de Pitágoras. Fuente: Elaboración propia.

Modelado de la base y primera cámara helicoidal

Como primer paso se dibujó un círculo de 10.0 cm de diámetro y después se utilizó la herramienta de extrusión. Posterior a este primer paso en la misma cara del círculo previo se hizo un segundo círculo con un diámetro menor y se extruyó con 10 cm de altura, tal como se muestra en la Figura 3.

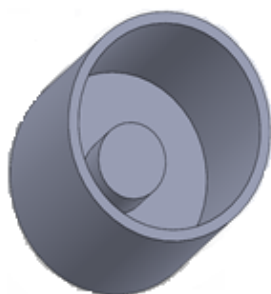


Figura 3. Extrusión del contenedor. Fuente: Elaboración propia.

Después, con la herramienta corte-barrido y dos croquis nuevos, uno de ellos lateral para la altura y el otro un croquis alzado para el diámetro y el radio, y gracias a esto se genera un sistema helicoidal interior, visto como un pequeño resorte (Figura 4). Este nos ayuda a distribuir el flujo rotacional y separar los líquidos bifásicos.

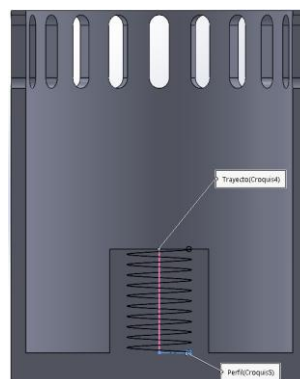


Figura 4. Barrido para el sistema helicoidal. Fuente: Elaboración propia.

Generación de nervios internos

Nuevamente con la herramienta de corte-barrido, en el plano alzado se dibuja la altura y la profundidad de cada nervio helicoidal. También se dibuja el diámetro de perforación dentro del plano lateral. Se realiza cuatro veces para la construcción de todos los nervios. Para tener una buena separación de líquidos fueron calculadas las alturas (Figura 5).

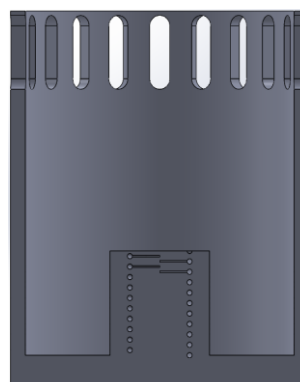


Figura 5. Nervios receptores del aceite. Fuente: Elaboración propia.

Sistema tipo copa y tapa superior

Se construyó una pieza en forma de anillo con 15 cm de diámetro y 10 cm de extrusión. Posteriormente se le realizó un corte de 8 cm similar a una copa (Figura 6). En la parte superior se generó una tapa con una salida de 1.0 in, la cual es utilizada como conexión con la succión

de una bomba que será la que genere el trabajo necesario para el correcto funcionamiento de nuestro sistema.

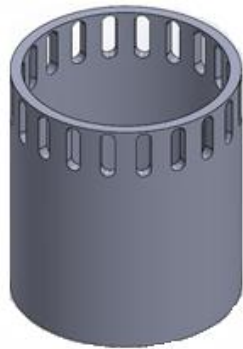


Figura 6. Barrido para el sistema helicoidal. Fuente: Elaboración propia.

Perforaciones laterales y en la matriz circular

Con una altura de 29.5 cm sobre la base se añadió una ranura recta con 0.50 cm de longitud y en sus polos un círculo 0.10 cm cada uno dentro de la vista frontal, después es iterada por la matriz circular sobre la cara exterior del modelo (Figura 7). Y gracias a estas perforaciones, las salidas y entradas de fluido fueron supervisadas.

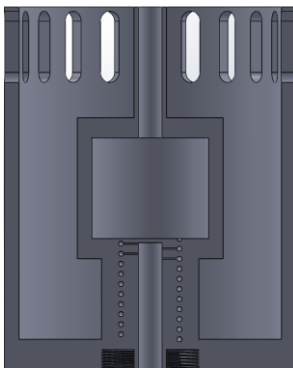


Figura 7. Cámara de succión del fluido. Fuente: Elaboración propia.

Tubo de salida y perforación inferior

Se extruyó un tubo equivalente a la medida de 2.54 cm a una longitud de 11.0 cm, posterior a esto se centró un agujero de 2.54 cm de diámetro en la parte inferior del sistema, posterior a esto en la parte inferior se generó una ranura de 10.0 cm de diámetro exterior y 3.34 cm de diámetro interior, este fue creado con el fin de unir la salida inferior del sistema con un frasco recolector (Figura 8).

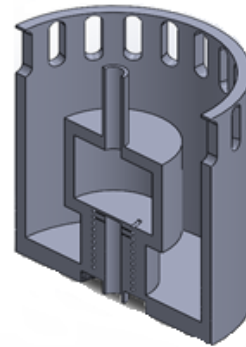


Figura 8. Sistema de captación de aceite. Fuente: Elaboración propia.

Creación de roscas

Con la herramienta de rosca se creó la arista exterior. Con una profundidad de 2 cm y un perfil de 1.0000-8 (Figura 9). También se utilizó la misma medida en la arista superior para tener un acoplamiento preciso de las dos partes del mecanismo.

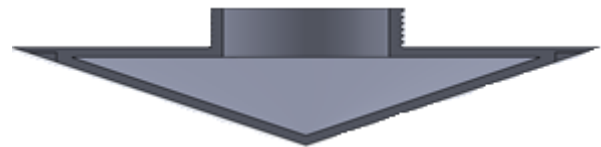


Figura 9. Tapa / captador del aceite. Fuente: Elaboración propia.

Ensamblaje final

Se diseñó el captador de 0.5 cm en punta con ayuda de la herramienta revolución de saliente. Y esta disminuirá la turbulencia en la entrada de fluido. (Figura 10). Para generar sujetadores para montar el dispositivo, se dibujaron marcas de 1.5 cm x 1.5 cm y de extrusión 0.75 cm dentro del plano auxiliar, todo esto sin utilizar perforación. El ensamblaje del separador es observable en la Figura 11, donde se incluyen cámara helicoidal, nervios internos, base, roscas de acoplamiento, tapa superior con punta, tubo de succión y el recipiente donde se recolecta el fluido contaminante. Y en este paso se verifica que todas las piezas tengan un buen acoplamiento, como perforaciones radiales y sistemas helicoidales estén bien alineados.

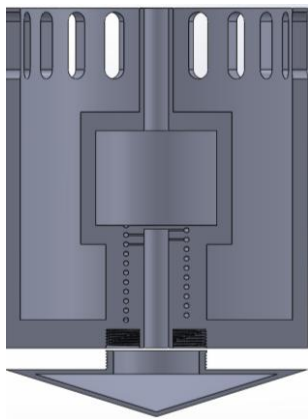


Figura 10. Ensamble de las piezas del dispositivo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Diseño final. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El diseño establecido se ajusta adecuadamente en función de los requerimientos establecidos, posicionándose como una alternativa viable para tratar efluentes residuales con altas concentraciones de grasas y aceites. Aunado a ello presenta una gran ventaja con respecto a su geometría y dimensionamiento compacto que facilita su transporte, convirtiéndolo en un instrumento práctico y eficaz para disminuir los índices de contaminación hídrica. El dispositivo presenta una configuración semiindustrial que facilita los procesos de manufactura y disminuye los costos de los materiales, siendo una solución integral para el cuidado del medio ambiente."

El software de SolidWorks permitió el diseño del sistema helicoidal y las perforaciones radiales, realizó con precisión el modelado y esto fue posible utilizando herramientas como barrido, corte barrido y matriz circular. La unión de la cámara helicoidal, los nervios, los cuales

rompen el flujo laminar de los fluidos y con punta en la parte inferior está encaminada a maximizar la eficiencia del separador, utilizando la centrifugación con potencia moderada y la separación por diferencia de densidades. La cámara de separación se puede desmontar con ayuda de las roscas exteriores y las sujeciones extruidas; esto permite limpiar y vaciar el depósito de recolección externo que está debajo de la cámara de separación. La configuración final de la máquina implica un arduo estudio de la mecánica de fluidos y los fenómenos de transporte, cumpliendo con los criterios de eficiencia en la depuración, factibilidad en el transporte y la viabilidad económica. Contando con criterios de diseño sustentable que permiten establecer las bases para el diseño de equipos con alto impacto ecológico. Como proyecto futuro, se considera el desarrollo de simulaciones, para comprobar el comportamiento del sistema con diferentes densidades de la mezcla de fluido bifásico y de igual manera calcular el costo de producción.

Referencias

- American Society of Mechanical Engineers (2019). ASME B1.1-2019: Unified Inch Screw Threads. ASME, New York. [Estandarización de roscas tipo 1.0000-8]
- Bu, T., Mesa, D., & Brito-Parada, P. R. (2024). Design strategies for miniaturised liquid-liquid separators—A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 495, 153036.
- Coello Miranda, R. F., & Orellana Salinas, G. E. (s.f.). Análisis numérico para la determinación de eficiencias hidráulicas en diferentes configuraciones geométricas de floculadores tubulares como una tecnología potencial sostenible para la provisión de agua potable en comunidades en desarrollo [Trabajo de titulación]. Universidad de Cuenca.
- GaVidnes, J., Engvik, S. A., & Egeland, O. (2015). Analysis of Compact Separation Systems and Experimental Study of Centrifugal Separation in Helically Coiled Pipes (Doctoral dissertation, Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology,).
- Gracia Pérez, A. (s.f.). Diseño e implementación de un separador de agua y aceite para reciclaje de aceite doméstico usado [Proyecto de investigación / memoria técnica].
- Mott, R. L., y Untener, J. A. (2024). *Mecánica de Fluidos*. Pearson.
- Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). Plant design and economics for chemical engineers. McGraw-Hill.
- Vallesquino, P., & Molina, A. (2019). Un estudio sobre el rendimiento de separación de tubos helicoidales aplicados a flujos bifásicos de agua y aceite de oliva. *Ingeniería del agua*, 23 (3), 169-185.
- Zhang, Q., Liu, H., Zhao, S., Yao, C., & Chen, G. (2019). Hydrodynamics and mass transfer characteristics of liquid-liquid slug flow in microchannels: The effects of temperature, fluid properties and channel size. *Chemical Engineering Journal*, 358, 794-805.