

REDISEÑO DE UN COCINADOR INDIRECTO CON CAPACIDAD DE 60t/h DE PESCADO UTILIZANDO UN SOFTWARE DE PROGRAMACION EN LA INDUSTRIA PESQUERA

REDISING OF AN INDIRECT COOKER WITH CAPACITY OF 60t/h FISH USING A PROGRAMMING SOFTWARE IN THE FISHING INDUSTRY

Irving Winkler Sánchez Rivera¹

Diego Enrique Torres Cuenca²

Carlos Alexis Alvarado Silva³

Resumen

Debido a la demanda que tiene la harina de pescado en el mercado nacional e internacional por su calidad y alto contenido de proteínas, las empresas productoras de harina buscan garantizar la calidad de su producto que va de la mano de tres etapas principales dentro de la línea de producción (cocción, prensado y secado), se optó por rediseñar un cocinador de 60 t/h con vapor indirecto para mejorar su eficiencia de consumo de vapor, evitar la contaminación de la materia debido a estancamientos de la misma y calcular los factores físicos mecánicos y térmicos que conlleven al dimensionamiento y a la selección del material idóneo para la fabricación del equipo. De esta forma aplicando las ecuaciones fisicomatemáticas existentes y ecuaciones cuasi experimentales se consiguió el debido dimensionamiento de la maquina tanto en la parte mecánica como térmica, logrando un cocinado continuo y transporte adecuado. Con los diagramas de fuerzas cortantes y flexionantes se determinó el momento máximo de 385675,38 N.m que debe soportar el eje helicoidal; para soportar dicha carga se seleccionó el acero ASTM A36, que además es de fácil soldeo y dúctil. Como parte del rediseño se eliminó puntos muertos dentro de la máquina, permitiendo de esta manera aumentar el área de transferencia de calor dando como resultado un menor consumo de vapor de hasta 35%. También se creó un código de programación en MATLAB (GUIDE), que permitirá dimensionar cocinadores de pescado con la misma configuración geométrica para distintas capacidades.

Palabras claves: Rediseño; Cocinador; Harina de Pescado; MATLAB.

Abstract

Due to the demand that fishmeal has in the national and international market for its quality and high protein content, flour producing companies seek to guarantee the quality of their product that goes hand in hand with three main stages within the line of production (cooking, pressing and drying), it was decided to redesign a 60 t / h cooker with indirect steam to improve its efficiency of steam consumption, avoid contamination of the material due to stagnations of the same and calculate the physical factors mechanical and thermal that lead to the sizing and selection of the ideal material for the manufacture of the equipment. In this way, applying the existing physicomathematical equations and quasi-experimental equations, the proper sizing of the machine was achieved in both the mechanical and thermal parts, achieving continuous cooking and adequate transport. With the diagrams of shear and flexural forces, the maximum moment of 385675.38 N.m that the helical axis must withstand was determined; To support this load, ASTM A36 steel was selected, which is also easy to weld and ductile. As part of the redesign, dead spots were eliminated inside the machine, thus allowing to increase the heat transfer area resulting in a lower steam consumption of up to 35%. A programming code was also created in MATLAB (GUIDE), which will allow sizing fish cookers with the same geometric configuration for different capacities.

Keywords: Redesign; Cook; Fish Meal; MATLAB.

¹ Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, sriverairvingwi@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-8153-1721>

² Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, tcuencuadiego@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-1787-6733>

³ Magister en Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, calvarados@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

I. INTRODUCCIÓN

La actividad pesquera en el Perú explota un conjunto de recursos naturales renovables que cohabitan en el gran ecosistema marino de Humboldt, tal vez el más rico del mundo. De hecho, la pesquería de anchoveta peruana –*Engraulis ringens*– es la pesquería de una sola especie más grande del planeta. (Paredes, 2012)

Según la International Fishmeal and Fish Oil Organisation, (2007), el sector pesquero es importante para el Perú, ya que representa el 12% de sus exportaciones, de esta manera nuestro país ha logrado mantenerse como mayor productor de harina de pescado del mundo con un promedio de 1,6 millones de toneladas, seguido de Chile con un promedio de 0,8 millones de toneladas de este producto.

En 1994 en la industria pesquera, debido a la creciente sofisticación de alimentos para animales, se comenzó a realizar algunas innovaciones en sus líneas de producción referidos a maquinas, equipos y parte de los procesos tecnológicos. (Guevara, 2014)

En la actualidad, el Perú cuenta con 80 plantas procesadoras en todo el litoral donde la región de Chimbote, Coishco, Samanco y Huarney constituyen una de las regiones de pesca más grandes del país con el 28% de la pesca total del país.

Siendo conscientes de esta realidad las empresas pesqueras dedicadas a la producción de harina de pescado necesitan garantizar el buen funcionamiento de su planta en general donde se observa que este proceso consta de tres etapas elementales las cuales son: el cocinado, el prensado y el secado.

Esta investigación se centrará especialmente en la etapa de cocción ya que es donde se fijan los parámetros de proteínas que tendrá la harina de pescado, además del desligamiento de agua y aceite. Existen tres tipos de cocinadores, directos, indirectos y mixtos. Para este caso se rediseñará un cocinador de vapor indirecto.

El cocinador es un equipo crítico dentro del proceso de harina y aceite de pescado, por ende, es de suma importancia que este funcione correctamente, así como garantice una cocción adecuada.

Una buena cocción es muy importante ya que es un punto clave dentro del proceso. Según Silva (2003), si la cocción es incompleta la eliminación de agua y aceite en el prensado no será satisfactoria. Dará un producto de alto contenido graso y bajo rendimiento en aceite; además la cantidad de agua a extraer en la etapa de secado será mayor.

Un equipo del cual se puede obtener una idea de la configuración geométrica de nuestro equipo es el propuesto por Brubacher et al. (2004), el cual nos habla del proceso de cocinado de harina de maíz. La harina es transportada por un tornillo sinfín y durante el trayecto se inyecta vapor mediante chaquetas las cuales son calentadas con vapor. Finalmente se expulsa la masa mediante el mismo tornillo sin fin.

Además, según Peñaloza et al. (2009) un intercambiador de calor es más eficiente al aumentar el área de transferencia de calor, esto se logra agregando aletas en la superficie exterior del intercambiador. Esto se deduce luego que realizaron pruebas con intercambiadores de calor obteniendo una mayor eficiencia que en comparación con intercambiador sin superficie aleteada.

También según León (2017), nos menciona que en los intercambiadores de calor con tubos aleteados se debe considerar principalmente los parámetros que son la caída de presión y la transferencia de calor.

Adicionalmente según Alvarado et al. (2007), manifestó que el uso de tornillos sinfines es el idóneo para lograr la condición de un flujo continuo. La configuración geométrica del tornillo fue realizada a través de la revisión de distintos tornillos para alimentación y de tornillos para transporte a presión. Además, mencionó que los tornillos para alimentación únicamente consideran dos parámetros relacionados con el material a ser alimentado. Estos parámetros son: Diámetro de hélices y Paso entre hélices.

También se debe considerar la relación longitud diámetro, Cumbajin et al. (2013) nos menciona que para un diámetro de tornillo dado (D), la capacidad para fundir, mezclar y homogenizar a una velocidad de giro del husillo determinada aumenta al incrementar la longitud del husillo (L), y por tanto la relación L/D.

1.1. Objetivo del Estudio

Rediseñar el cocinador indirecto para pescado en la Empresa Fabricaciones Industriales D&F con una capacidad de 60 t/h para eliminar puntos muertos en el equipo, disminuir consumo de vapor y redimensionar correctamente el equipo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de la investigación adoptada será tecnológica puesto que se pretende rediseñar un cocedor de pescado para optimizar su funcionamiento durante el proceso de fabricación de harina de pescado, eliminando puntos muertos y aumentando área de transferencia de calor.

Para ello se hará uso de un esquema de variables mundialmente, teniendo de manera preliminar determinar el estado del arte en torno a un cocinador de pescado, mediante el análisis de documentos, y datos recolectados de profesionales en la materia, teniendo así una estructura concisa a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Del mismo modo identificar las variables principales que influyen en el proceso de cocción, optimizando el diseño al realizar cálculo analítico de las partes más importantes del equipo, modelamiento 2D/3D y análisis mediante elementos finitos en el programa SOLIDWORKS®; también se utiliza la herramienta GUIDE de MATLAB para automatizar el proceso de cálculo mediante la programación de un interfaz adaptado a la literatura de diseño aceptada.

III. RESULTADOS

Primero se procedió a identificar los problemas más comunes en estos equipos para lo cual se realizó entrevistas a diferentes expertos en diseño y fabricación de equipos industriales para el procesamiento de pescado, jefes de mantenimientos de plantas pesqueras y se pudo constatar lo siguiente:

- Uno de los principales problemas que se presentan son las constantes paradas para la limpieza debido a la acumulación de materia prima en los puntos muertos existentes dentro de los equipos.

Partiendo de la necesidad de que el equipo se mantenga en funcionamiento la mayor parte del tiempo se establece que la investigación abarcará la eliminación de los puntos muertos del equipo y al mismo tiempo se logrará el aumento de área de transferencia de calor disminuyendo el consumo de vapor del equipo.

Los puntos muertos en los cocinadores de pescado suelen localizarse principalmente en las aperturas del casco(estator) para los registros o compuertas superiores.

Una vez plasmada la idea de solución, se realizó la parametrización, diseño y cálculo de las partes principales, esto a fin de dar la geometría óptima, teniendo en cuenta normativas vigentes, uso de materiales del mercado nacional, y capacidad requerida para cumplir con las demandas de las plantas pesqueras.

Gracias a la información obtenida de papers, patentes, informes y libros enfocados al diseño mecánico y transferencia de calor se contaba con los datos iniciales para continuar con el rediseño tales como: capacidad y geometría del equipo, composición de la materia prima, los cuales permitieron el cálculo de los parámetros generales del equipo, dimensionamiento de ejes, dimensionamiento de tornillo helicoidal(husillo), espesores, balance de energía obteniendo en primer lugar que longitud del tornillo es 16.11 m, velocidad de operación de 7 RPM y un tiempo de cocción de 10 minutos. Estos resultados se obtuvieron considerando diámetros y paso del rotor de un equipo existente, los cuales son: 1120 mm de diámetro exterior del tubo central, 1500 mm de diámetro de la cresta del helicoide y 230 mm de paso.

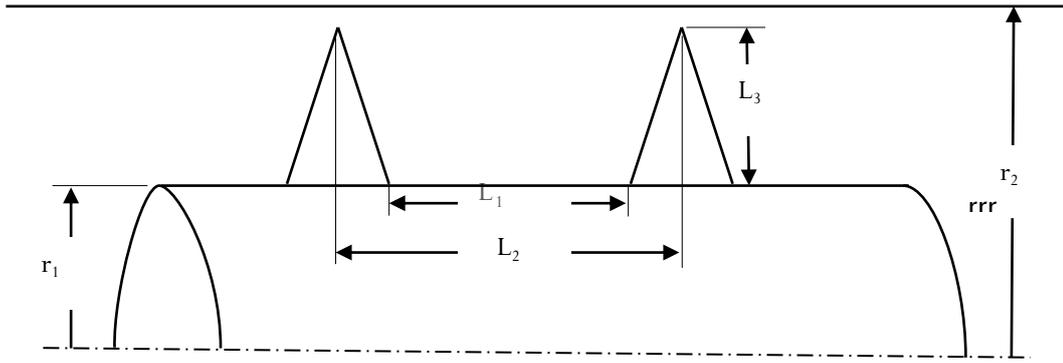


Figura N°01. Geometría del husillo (Vista lateral de una sección del husillo)

Fuente: elaboración propia

Para el cálculo del tiempo de cocción de la materia prima se considera la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{c\gamma e}{8\lambda} \left[e + \frac{4\lambda}{h} \right] \ln \frac{T_c - T_i}{T_c - T_f} \quad (1)$$

Donde c es el calor específico de la materia prima, γ es el peso específico de la anchoqueta, e es el espesor de la anchoqueta, λ es la conductividad de la anchoqueta, h es el coeficiente de convección entre el equipo y el pescado, T_c es la temperatura del cocinador, T_i es la temperatura inicial de la anchoqueta y T_f es la temperatura final de la anchoqueta.

Para el sistema de transmisión se realizó el cálculo de la potencia requerida, selección del motorreductor, selección de cadena y dimensionamiento de los piñones (motriz y conducido). Se obtuvo una potencia requerida de 21.66 kW por lo que seleccionó un motorreductor de 22 kW de la empresa SEW-EURODRIVE con una velocidad de salida de 29 RPM.

Para el cálculo de la potencia requerida se usó la siguiente fórmula planteada por Tyler Hicks:

$$P_r = 10^{-6}(2.4475A L N + 5.3957C \rho L F) \quad (2)$$

Donde A es el factor de diámetro para transportadores de tornillo, L es la longitud del transportador de tornillo en metros, N es el número de RPM del transportador de tornillo, C es la cantidad de material transportado en m³/h, ρ es la densidad del material en kg/m³ y F es el factor del material.

Para la selección de la cadena y el dimensionamiento de los piñones de la transmisión utilizaremos el método propuesto por Hori Asano en su libro *Diseño de Elementos de Máquinas*. La selección de la cadena se realiza usando tablas de fabricante las cuales se pueden encontrar en los sitios web oficiales de las empresas fabricantes. Teniendo en cuenta lo antes mencionado se seleccionó una cadena acodada 48B de 76.2 mm de paso. La longitud de la cadena será 8.8392 m y cuenta con 116 pasos, para el piñón motriz el diámetro de paso es de 318.41 mm y cuenta con 13 dientes, para el piñón conducido el diámetro de paso es 1310.52 mm y cuenta con 54 dientes; con estos diámetros se diseñaron los piñones en el software SOLIDWORKS®.

El material seleccionado para los piñones fue el Acero ASTM A36 por ser un material dúctil, con alta resistencia a la fluencia, relativamente económico y comercial en el mercado nacional.

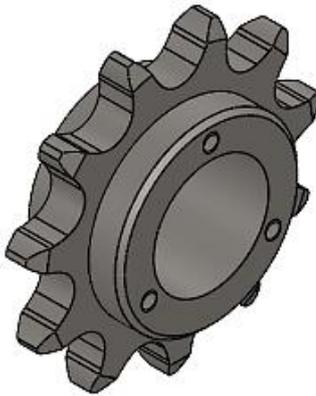


Figura N°02. Diseño de piñón motriz del sistema de transmisión en SOLIDWORKS®.
Fuente: elaboración propia

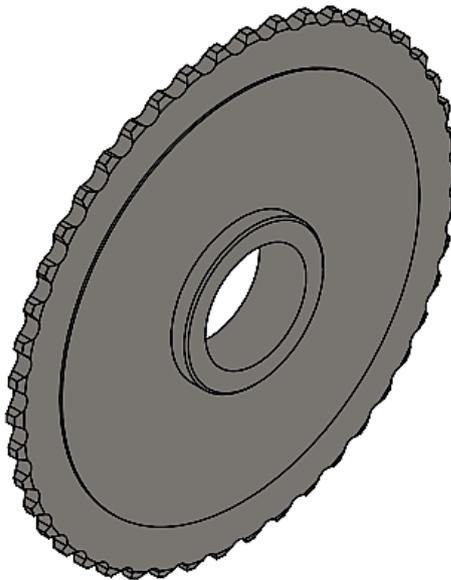


Figura N°03. Diseño de piñón conducido del sistema de transmisión en SOLIDWORKS®
Fuente: elaboración propia

El balance de energía del equipo se realizó utilizando los conceptos y formulas propuestas por Çengel & Ghajar (2011). Se obtuvo que el gasto específico de vapor es de 108.9145 kilogramos de vapor por tonelada de pescado, el espesor de aislamiento es 9.74 cm y el área total de transferencia de calor es 212.2691 m². Además, se seleccionó la tubería de ingreso de vapor y con las dimensiones de dicha tubería se calculó el área de ingreso de vapor. La tubería que se seleccionó para la recuperación de condensado es un tubo SCH-40 de 3" del catálogo YOHERSA el cual tiene un diámetro externo de 88.9 mm y diámetro interno de 83.41, y obtuvimos un área de ingreso de vapor de 0.005464 m².

Además, se calcularon los espesores del rotor y estator obteniéndose como resultado que, el espesor de tubo central del rotor es de 19mm, el espesor del helicoides del rotor es de 10 mm y el espesor de la carcasa de 6 mm.

Las chumaceras y rodamientos se seleccionaron de acuerdo a tablas de fabricante. Para el contraeje donde va el piñón motriz irán montados 2 soportes de pie que fueron seleccionados de acuerdo a tablas de fabricante. Como el diámetro del eje es 80 mm seleccionamos un soporte de pie SNL518-615 y un rodamiento 2218K.

Para los ejes del rotor se seleccionaron los soportes de pie de acuerdo a tablas de fabricante. Como el diámetro externo es de 220 mm seleccionamos un soporte de pie SNL 3148 y un rodamiento 22244CCK/W33.

Luego se diseñaron y programaron varias interfaces en GUIDE las cuales están enlazadas entre sí y las cuales realizan todos los cálculos anteriores con la finalidad de facilitar el proceso de cálculo. Compilando estas interfaces se diseñó una aplicación usando el MATLABCompiler.



Figura N°04. Interfaz 1 en GUIDE en la cual se muestra la carátula de la aplicación diseñada.

Fuente: elaboración propia

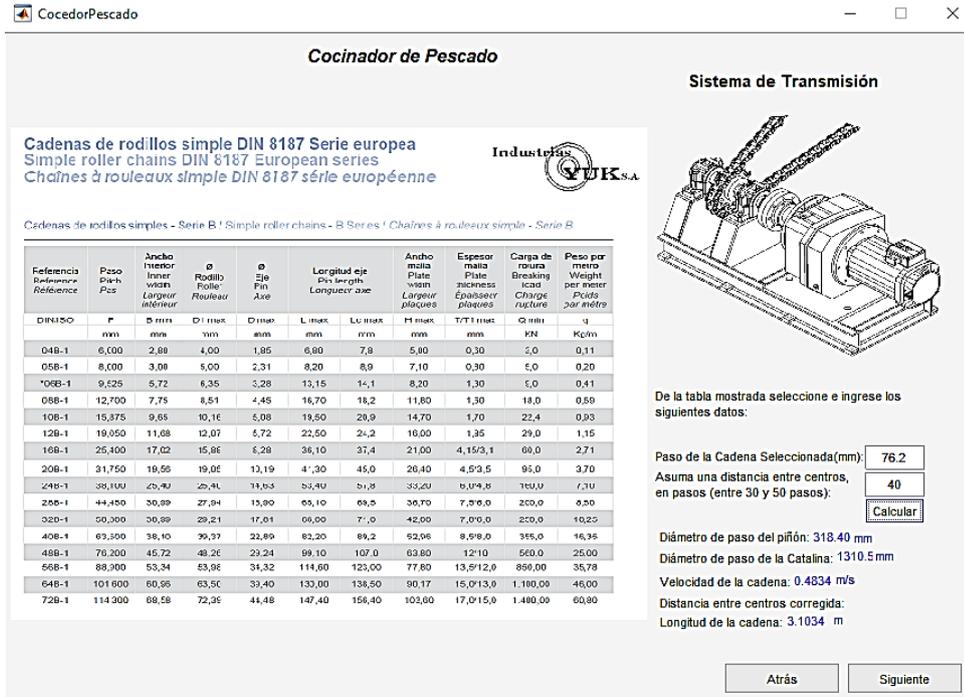


Figura N°07. Interfaz 4 en GUIDE en la cual se realiza la segunda parte del proceso de cálculo del sistema de transmisión, aquí se selecciona la geometría de la cadena según el tipo de cadena seleccionada en la interfaz anterior. Además, se muestra el dimensionamiento de los piñones, longitud de la cadena y la distancia entre centros.
Fuente: elaboración propia

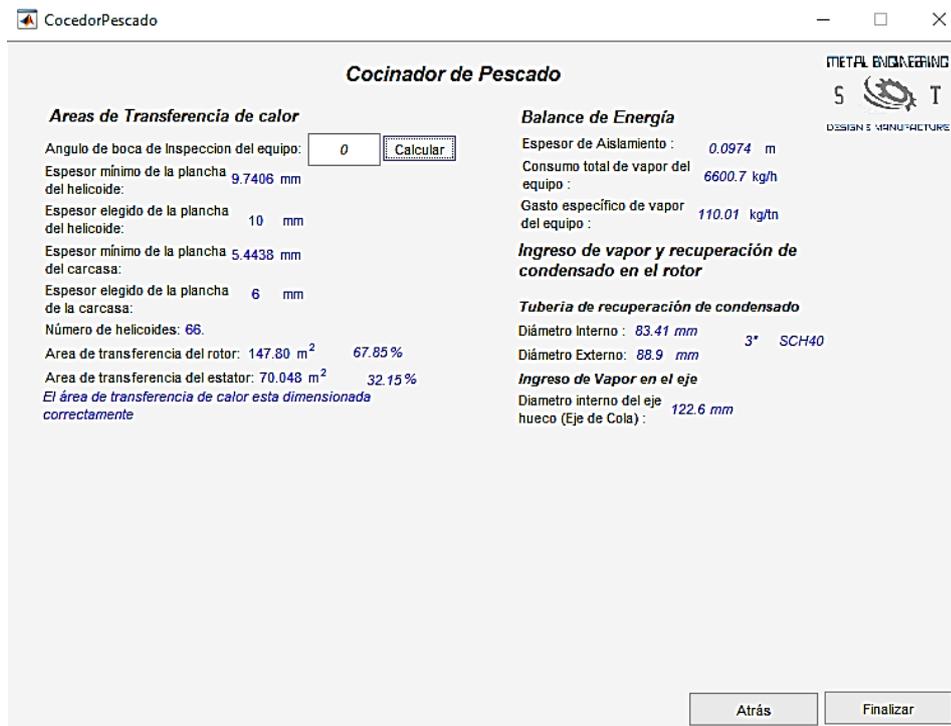


Figura N°08. Interfaz 5 en GUIDE, la cual muestra todo el cálculo relacionado al balance de energía, es decir calculamos áreas de transferencia de calor, ingreso de vapor y recuperación de condensado, gasto de vapor y espesor de aislamiento, adicionalmente se calculan los espesores del eje central, del husillo y de la carcasa.
Fuente: elaboración propia

3.1. Diagrama de Cargas para el Rotor

Luego se realizó un análisis estático para el rotor del equipo en el software SOLIDWORKS®, el cual tiene un espesor de plancha de 19 mm y material acero estructural ASTM A36. El análisis se realizó a esta parte del cocinador ya que es la parte que está expuesta a más cargas. Para realizar estos análisis estáticos el rotor es expuesto a cargas debido a su propio peso, el peso del husillo, un porcentaje del 7% por soldadura con respecto al peso total del rotor y el peso de la materia prima que fue aumentada con respecto a la que trabajara el equipo normalmente, resultando una fuerza distribuida en todo el rotor y presentándose los siguientes diagramas:

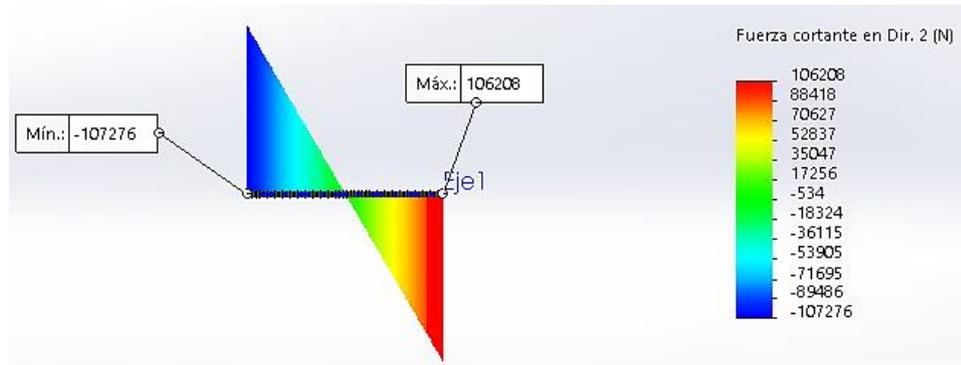


Figura N°09. Diagrama de Fuerza Cortante donde muestra que el rotor sufre la mayor fuerza a corte en sus extremos donde está soportado mediante sus ejes y soportes de pie.
Fuente: elaboración propia

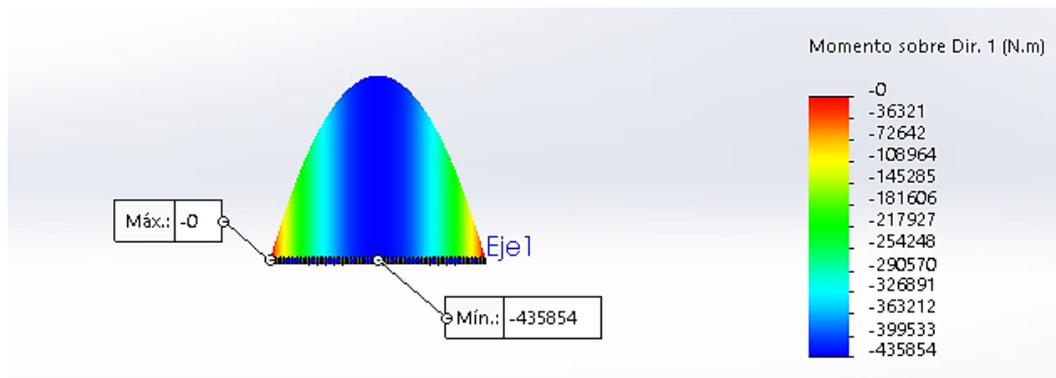


Figura N°10. Diagrama de Momento Flector que muestra que el rotor sufre la mayor fuerza a corte en sus extremos donde está soportado mediante sus ejes y soportes de pie.
Fuente: elaboración propia

3.2. Análisis Estático para el rotor

Para el análisis estático, aparte de las fuerzas a las expuestas el rotor, también se consideró la presión interna de diseño a la cual está expuesto el rotor. Las tensiones de Von Mises que nos arroja la simulación para el eje central con un espesor de plancha de 19 mm muestra que el equipo está dimensionado correctamente por lo tanto su tendencia a fallo debido a las cargas a las cuales está sometido el rotor tienen valores aceptables, no habiendo encontrado puntos críticos.

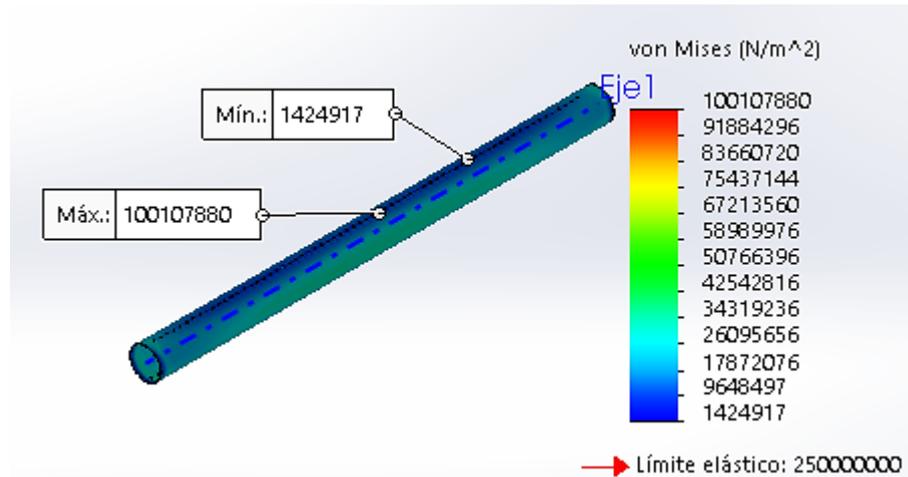


Figura N°11. Tensiones de Von Mises
Fuente: elaboración propia

El desplazamiento máximo o flexión máxima que presentara el equipo se encuentra en la parte central superior teniendo un valor de 2 mm, considerando la longitud del equipo y las cargas es un valor bajo, el cual ayudara a que el equipo no presente vibración por el desalineamiento del eje.

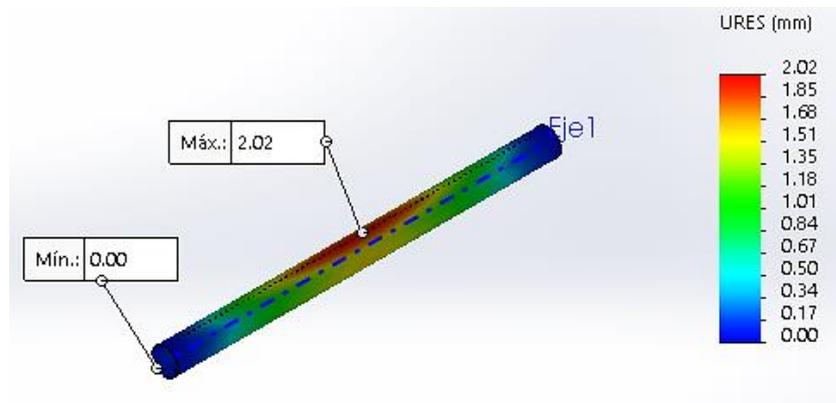


Figura N°12. Desplazamientos Resultantes
Fuente: elaboración propia

Además, el resultado de la simulación muestra que el rotor siempre se mantendrá en la zona elástica, con valores bajos con respecto a lo que puede soportar el material, entonces el rotor diseñado es poco probable que tenga una deformación plástica con las cargas de trabajo normal.

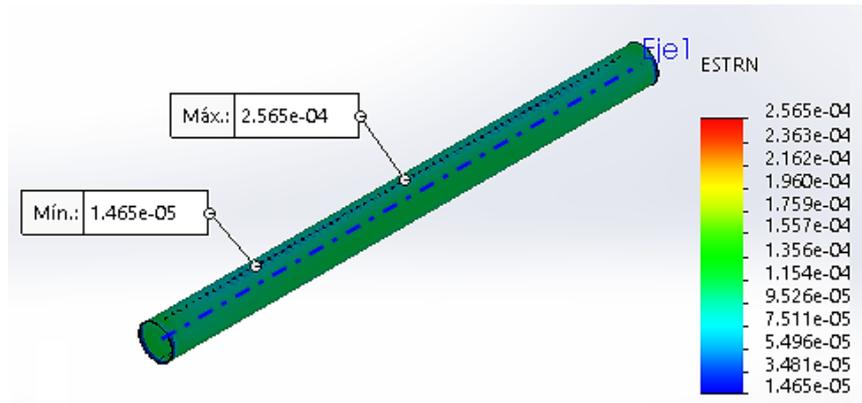


Figura N°13. Deformación unitaria
Fuente: elaboración propia

El resultado de todos los esfuerzos considerados en la simulación nos permite que obtengamos en el rotor un factor de seguridad mínimo de 2.5 (Figura 14), evidenciando que es equipo confiable, donde los materiales y espesores elegidos son los correctos.

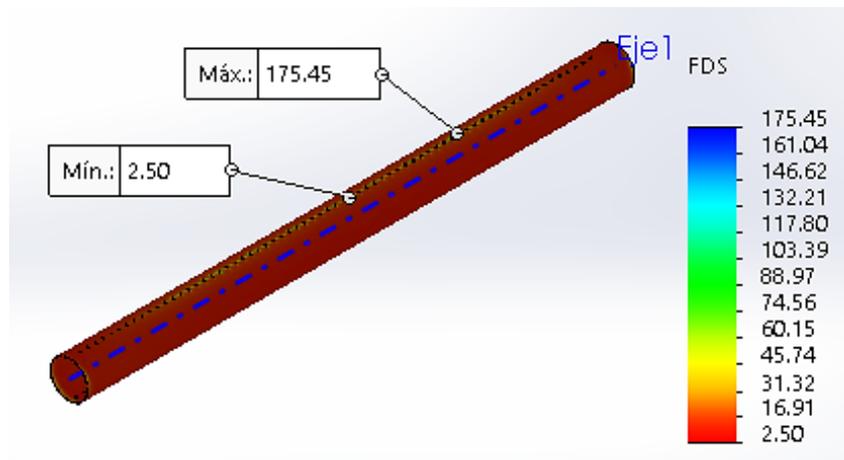


Figura N°14. Factor de Seguridad
Fuente: elaboración propia

3.2. Análisis de Torsión para el rotor

Además de los análisis ya realizados se consideró pertinente realizar una simulación por torsión ya que es un equipo de una longitud considerable y su sistema de transmisión se encuentra a un extremo.

Del análisis se obtuvo que las tensiones de Von Mises resultantes de la simulación para el eje central del equipo para la torsión a la cual fue expuesto debido a la transmisión muestra valores promedios con respecto a los que puede soportar el material elegido. Siendo un indicador de poca probabilidad a fallo y la no presencia de puntos críticos. Esto se puede observar en la Figura 15.

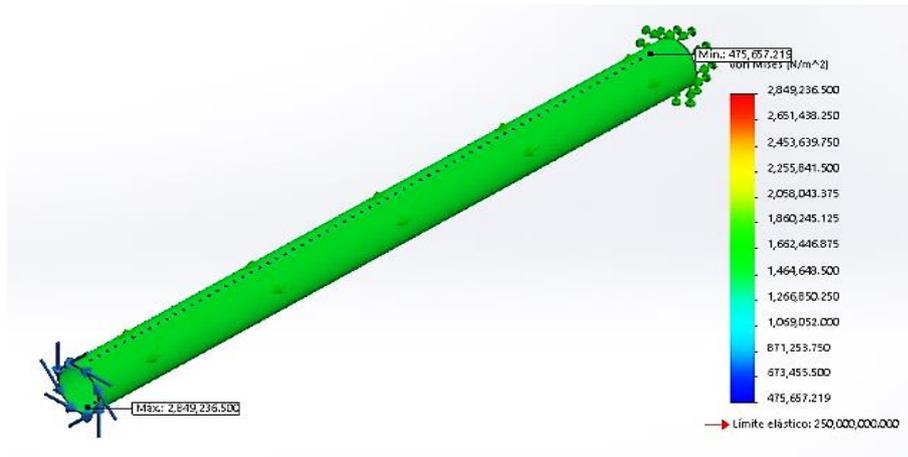


Figura N°15. Tensiones de Von Misses
Fuente: elaboración propia

El desplazamiento circular de las fibras del material alcanzara su valor máximo en el lado de la transmisión, cayendo sus valores de desplazamiento a medida que se va alejando a lo largo del rotor. mostrando que existe poca probabilidad de distorsión. También obtenemos que el factor de seguridad obtenido del análisis por torsión es un valor alto, lo cual nos indica que es poco probable que el rotor tenga fallas debido a la torsión. Esto se evidencia en la Figura 16 y Figura 17.

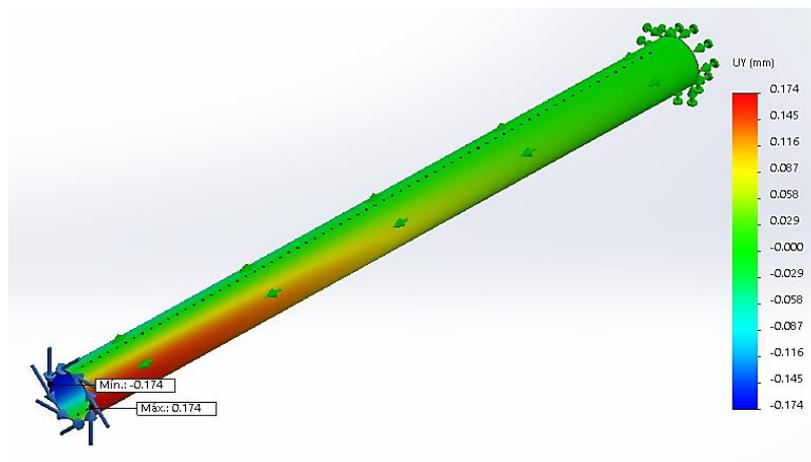


Figura N°16. Desplazamiento en Y
Fuente: elaboración propia

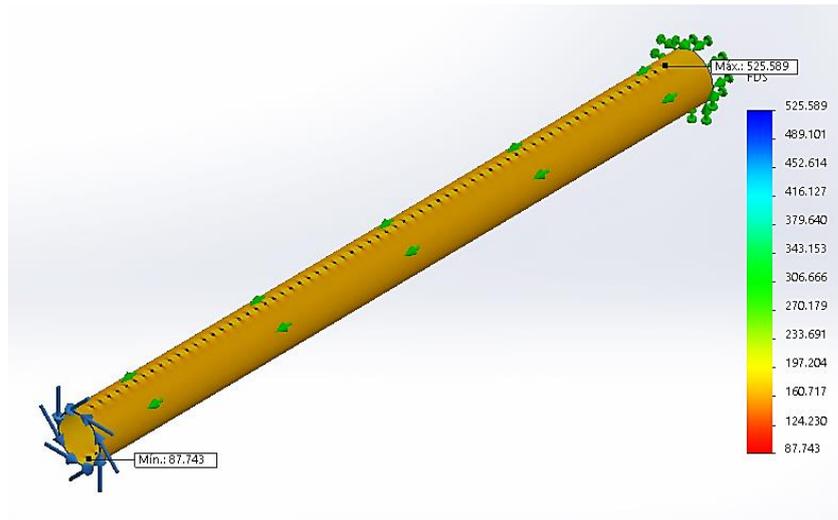


Figura N°17. Desplazamiento en Y
Fuente: elaboración propia

Luego de realizar los análisis y comprobar que el equipo no tienda a fallo se finaliza el rediseño, obteniendo la configuración final del equipo.

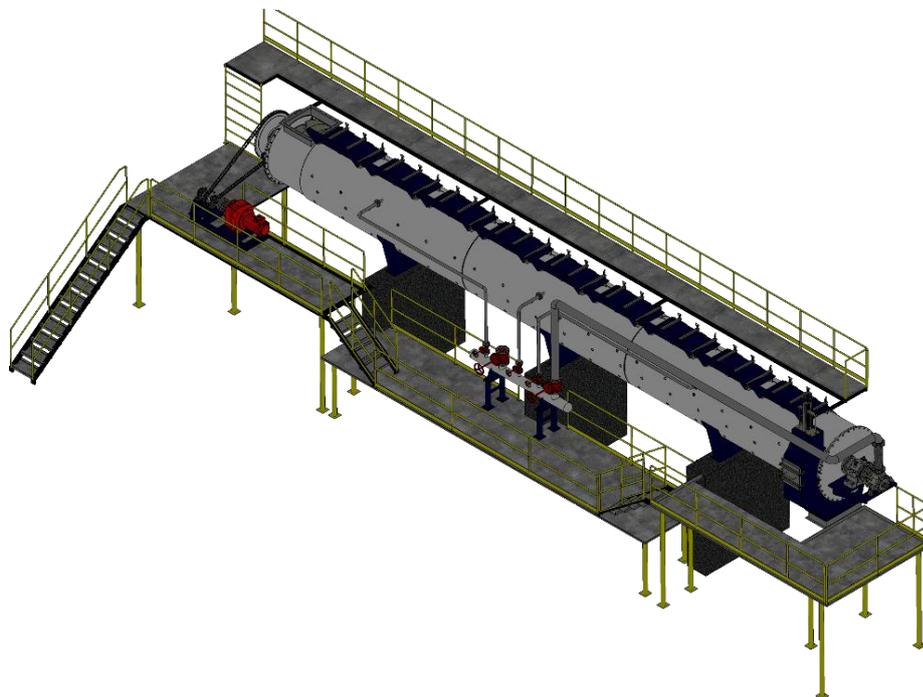


Figura N°18. Configuración final del equipo
Fuente: elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el desarrollo de la investigación según el diseño planteado se puede concluir lo siguiente:

A. Para la eliminación de puntos muertos dentro del equipo se utilizó compuertas superiores soldadas a la parte de la carcasa que fueron recortadas, logrando de esta manera

evitar acumulación de materia prima dentro del equipo, además también gracias a esto se logró aumentar el área de transferencia de calor.

B. También se logró disminuir el consumo de vapor en un 35%, en conclusión, este equipo será mucho más eficiente energéticamente en comparación con su antecesor.

C. Se calcularon y seleccionaron los diferentes componentes del equipo, empleando el uso de materiales disponibles en Perú y en la región.

D. Se realizó una programación en GUI de MATLAB logrando automatizar el proceso de cálculo para el cocinador. También se crearon planos de diseño y fabricación del equipo en el software de ingeniería SOLIDWORKS®.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las empresas: Fabricaciones Industriales D&F E.I.R.L y EMIMSAC por facilitarnos datos referentes al equipo y permitirnos desarrollar la investigación en sus instalaciones.

VI. REFERENCIAS

- Alvarado Mancilla, O. G. (2007). *Desarrollo de un sistema Mecánico de flujo continuo para Harina de Maíz*. Instituto Politecnico Nacional, Santiago de Querétaro.
- Brubacher, E. J., Xu, A., & Gaito, P. (2004). *Patent No. US 2004/0142079 A1*. <https://doi.org/10.1037/t24245-000>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de Calor y Masa: Fundamentos y Aplicaciones* (4a Edición; M. Á. Toledo Castellanos, Ed.). México: Mc Graw Hill.
- Cumbajin Arguero, B. R., & Vásquez Lema, M. A. (2013). *Diseño Y Construcción De Una Máquina Peletizadora De Polietileno de Baja Densidad LDPE de 25 kg/h*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Guevara Pérez, R. (2014). *Harinas Especiales de Pescado*. Universidad Nacional del Callao, Callao.
- Hicks, T. G. (2013). *Manual Práctico de Cálculos de Ingeniería* (2a Edición; Editorial Reverté S.A., Ed.). España.
- Hori Asano, J. J. (2014). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Primera Ed; Universidad Nacional Ingeniería Editorial Universitaria, Ed.). Perú.
- International Fishmeal and Fish Oil Organisation. (2007). *La producción de harina y aceite de pescado de la anchoveta peruana*. Retrieved from [http://www.iffco.net/es/system/files/La producción de harina y aceite de pescado de la anchoveta peruana.pdf](http://www.iffco.net/es/system/files/La%20produccion%20de%20harina%20y%20aceite%20de%20pescado%20de%20la%20anchoveta%20peruana.pdf)
- León Ramírez, M. (2017). *Metodología para el Diseño Térmico de Intercambiadores de Calor de Tubos Aleteados Helicoidales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Paredes, C. (2012). *Eficiencia y equidad en la pesca Peruana: La reforma y los derechos de la Pesca*. Lima.
- Peñaloza Pérez, J. L., & Urgilés Remache, F. M. (2009). *Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor de Tubería Aletada para el Laboratorio de Térmicas de la Facultad de Mecánica* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Silva Ortiz, D. (2003). *Elaboración de harina de pescado*. Universidad Católica Argentina, Argentina.