

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PRENSA PARA USO
DOMÉSTICO CAPAZ DE EXTRAER ACEITES DE DIFERENTES FRUTOS
SECOS

LAURA FERNANDA LARA OJEDA
MARIA ALEJANDRA VALENZUELA PEÑA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PRENSA PARA USO
DOMÉSTICO CAPAZ DE EXTRAER ACEITES DE DIFERENTES FRUTOS
SECOS

LAURA FERNANDA LARA OJEDA
MARIA ALEJANDRA VALENZUELA PEÑA

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director:

Alberto David Pertuz Comas
PhD. en Ingeniería Mecánica

Codirector:

Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra
PhD. en Ingeniería de Materiales

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la comunidad que conforma la escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos el espacio en el cual vivimos la valiosa experiencia de formarnos como profesionales de esta gran carrera.

A nuestro director Alberto Pertuz y codirector Oscar Bohórquez, quienes fueron nuestro principal apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación y aportaron sus valiosos conocimientos y experiencias.

Al semillero de investigación de manufactura aplicada SIMA, por brindarnos un espacio ideal para compartir y fortalecer nuestro proceso de aprendizaje.

Finalmente, a nuestra familia y amigos, quienes siempre nos motivaron y estuvieron a nuestro lado en cada paso de esta etapa universitaria.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	17
2.1.1 Effect of some kernel factors on palm kernel oil extraction using a screw press.	17
2.1.2 Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds.	17
2.1.3 Effect of expeller press parameters on fish oil extraction.	18
2.1.4 Cold press in oil extraction. A review.	19
2.1.5 Performance of mechanical co-extraction of Jatropha curcas L. kernels with rapeseed, maize, or soybean with regard to oil recovery, press capacity and product quality.....	20
2.1.6 Performance evaluation of screw-press oil expeller using a continuous spiral and decreasing length of pitch of screw.	21
2.1.7 Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible.	22
2.2 REFERENTES TEÓRICOS	23
2.2.1 Aceites vegetales.....	23
2.2.2 Frutos secos.	24
2.2.2.1 Aceite de almendras.	25
2.2.2.2 Aceite de semillas de girasol.....	26
2.2.2.3 Aceite de maní.	27
2.2.3 Extracción de aceites por prensado hidráulico.....	28

2.2.4 Extracción de aceites con solventes.	29
2.2.5 Extracción de aceites por prensado mecánico.....	30
2.2.5.1 Prensado en caliente.	30
2.2.5.2 Prensado en frío.....	30
2.2.6 Prensa de expulsión de tornillo (expeller).	31
2.2.7 Máquinas extractoras de aceites vegetales en el mercado.....	33
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	35
3.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS FRUTOS SECOS.....	35
3.1.1 Potencial de aceite.....	35
3.1.2 Tamaño equivalente.....	36
3.1.3 Resistencia a la compresión.	37
3.2 PROCESO DE DISEÑO	39
3.2.1 Módulo de alimentación.	39
3.2.2 Módulo de prensado.	40
3.2.2.1 Definición del material.....	42
3.2.2.2 Fundamentos de tornillos de potencia.	44
3.2.2.3 Fundamentos de procesos de extrusión.	45
3.2.2.4 Tensiones y esfuerzos en la hélice del tornillo.....	47
3.2.2.5 Tensiones y esfuerzos en el núcleo del tornillo.....	50
3.2.2.6 Fuerza cortante y momento flector.....	51
3.2.2.7 Análisis de fatiga.....	52
3.2.3 Módulo eléctrico.....	55
3.2.4 Módulo de transmisión	57
3.2.5 Módulo de bastidor.....	57
3.3 MODELADO Y ANÁLISIS NUMÉRICO.....	59
3.3.1 Proceso iterativo	59
3.3.2 Modelado del mecanismo de prensado	62
3.4 SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO.....	71
3.5 ESTIMADO DE COSTOS DE MANUFACTURA Y EQUIPO.....	82

3.6 DESARROLLO DE PLANOS	83
4. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo y configuración de tornillo único para prensa extractora.	18
Figura 2. Ejes de tornillo sin fin que varían la holgura del eje del tornillo.....	19
Figura 3. Tornillo sin fin con espiral continuo.....	21
Figura 4. Mallado de sólido - tornillo sin fin.....	23
Figura 5. Frutos secos.	25
Figura 6. Aceite de almendras.	26
Figura 7. Aceite de semillas de girasol.	27
Figura 8. Aceite de maní.....	28
Figura 9. Representación del prensado hidráulico.....	29
Figura 10. Sección de corte de la prensa.....	32
Figura 11. Prensa extractora de aceites vegetales.	34
Figura 12. Dimensiones de las almendras.	36
Figura 13. Dimensiones del maní.	36
Figura 14. Dimensiones de la semilla de girasol.....	37
Figura 15. Prensado hidráulico.	37
Figura 16. Tolva de alimentación.	40
Figura 17. Dimensiones de un tornillo sin fin.	40
Figura 18. Acero Inoxidable AISI 304.	43
Figura 19. Diagrama de fuerzas en la hélice de un tornillo.	44
Figura 20. Carga en la hélice del tornillo.....	48
Figura 21. Diagrama de cargas y reacciones.....	51
Figura 22. Diagrama S_n vs n_c para aceros.	54
Figura 23. Módulo eléctrico de la prensa.	56
Figura 24. Acople de garras de elastómero.	57
Figura 25. Bastidor de la prensa.	58
Figura 26. Acople de piezas al bastidor.	59
Figura 27. Cargas y apoyos del tornillo sin fin.	62
Figura 28. Cargas y apoyos de la camisa.....	63

Figura 29. Cargas y apoyos de la tapa.	63
Figura 30. Estado de tensiones del tornillo sin fin.	64
Figura 31. Estado de deformaciones del tornillo sin fin.	65
Figura 32. Distribución de factor de seguridad del tornillo sin fin.	65
Figura 33. Estado de tensiones de la camisa.	66
Figura 34. Estado de deformaciones de la camisa.	67
Figura 35. Distribución de factor de seguridad de la camisa.	67
Figura 36. Estado de tensiones de la tapa.	68
Figura 37. Estado de deformaciones de la tapa.	69
Figura 38. Distribución de factor de seguridad de la tapa.	69
Figura 39. Mecanismo de prensado en EDEM.	71
Figura 40. Definición de las semillas en EDEM.	72
Figura 41. Propiedades del material de la prensa.	73
Figura 42. Simulación al segundo 1.	74
Figura 43. Simulación al segundo 10.	74
Figura 44. Simulación al segundo 23.	75
Figura 45. Distribución de presión dentro del mecanismo.	77
Figura 46. Geometrías de tornillos simulados.	78
Figura 47. Distribución de presión - Tornillo 1.	80
Figura 48. Distribución de presión - Tornillo 2.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de los frutos secos.	38
Tabla 2. Especificación de los requerimientos.	60
Tabla 3. Variables del diseño.....	60
Tabla 4. Dimensiones y parámetros de operación.....	70
Tabla 5. Estimado de costos - piezas para fabricación.....	82
Tabla 6. Estimado de costos – componentes comerciales.	83

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Presión de operación vs. tiempo - Mecanismo diseñado.	76
Gráfica 2. Presión de operación vs. tiempo - Tornillo 1.	79
Gráfica 3. Presión de operación vs. tiempo - Tornillo 2.	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Memoria de cálculos para el mecanismo de prensado.....	91
Anexo B. Catálogo del motorreductor.	94
Anexo C. Catálogo del acople.....	95
Anexo D. Catálogo del rodamiento.	96
Anexo E. Ficha técnica del acero inoxidable AISI 304.....	97
Anexo F. Tablas de iteración para variables de diseño.	99
Anexo G. Cotizaciones de material.....	101
Anexo H. Planos del prototipo – prensa extractora de aceites vegetales.	102

RESUMEN

TÍTULO: Diseño y simulación de un prototipo de prensa para uso doméstico capaz de extraer aceites de diferentes frutos secos*

AUTORES: Laura Fernanda Lara Ojeda, Maria Alejandra Valenzuela Peña**

PALABRAS CLAVE: Diseño, Simulación, Prensa, Aceites vegetales, Prototipo, Doméstico.

DESCRIPCIÓN: Uno de los métodos utilizados para la extracción de aceites vegetales es el prensado mecánico por tornillo sin fin, el cual consiste en la compresión de las semillas haciendo que estas avancen dentro del cilindro del tornillo. Si bien la extracción de aceites vegetales se ha desarrollado principalmente a nivel industrial, las prensas de uso doméstico son dispositivos que permiten al usuario obtener sus propios productos naturales. Escalar los procesos de producción industrial a proporciones de bajo nivel, como los domésticos, requiere modelos iterativos durante el desarrollo del diseño, que incluyen la permutación de valores que influyen en el rendimiento y el tamaño de la máquina. En el presente trabajo de grado se desarrolló el diseño, modelado y simulación de una prensa extractora de aceites vegetales, este equipo procesa semillas con un tamaño equivalente de hasta 25 milímetros y tiene una capacidad de procesamiento de hasta 10 kilogramos por hora. En la etapa de desarrollo del diseño se estudió la influencia de las variables geométricas del mecanismo de prensado en el funcionamiento de la máquina mediante un proceso iterativo. El modelado en software CAD permitió realizar un análisis detallado de las piezas que conforman el mecanismo. Los resultados de operación se validaron mediante software de elementos discretos, obteniendo un prototipo final que satisface los requerimientos establecidos para una prensa de uso doméstico.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: PhD. Alberto David Pertuz Comas. Codirector: PhD(c). Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra.

ABSTRACT

TITLE: Design and simulation of a press prototype for domestic use capable of extracting oils from different nuts*

AUTHORS: Laura Fernanda Lara Ojeda, Maria Alejandra Valenzuela Peña**

KEY WORDS: Design, Simulation, Press, Vegetable oils, Prototype, Domestic.

DESCRIPTION: One of the methods used for the extraction of vegetable oils is the mechanical worm screw pressing, which consists of the compression of the seeds making them advance inside the screw cylinder. Although the extraction of vegetable oils has been developed mainly at an industrial level, domestic oil extraction presses are devices that allow the user to obtain their own natural products. Scaling industrial production processes to low-level proportions, such as domestic ones, requires iterative models during design development, which include the permutation of values that influence the performance and size of the machine. In this degree work, the design, modeling, and simulation of a vegetable oil extractor press was developed, this equipment processes seeds with an equivalent size of up to 25 millimeters and has a processing capacity of up to 10 kilograms per hour. In the design development stage, the influence of the geometric variables of the pressing mechanism on the operation of the machine was studied through an iterative process. Modeling in CAD software allowed a detailed analysis of the parts that make up the mechanism. The operating results were validated using discrete element software, obtaining a final prototype that satisfies the requirements established for a domestic press.

* Degree work.

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: PhD. Alberto David Pertuz Comas. Codirector: PhD(c). Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra.

INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales son sustancias que se obtienen de semillas u otras partes de las plantas, tienen propiedades que brindan grandes beneficios según las diferentes aplicaciones que se les dan^{1,2}. Con el paso del tiempo, el hombre ha desarrollado procesos de extracción de aceite a partir de semillas oleaginosas, los cuales han ido evolucionado con el fin de hacerlos más eficientes³. Actualmente, los métodos más comunes para llevar a cabo estos procesos son el prensado hidráulico, el prensado expeller y la extracción por solventes⁴. Una de las características que diferencia al prensado expeller de otros métodos es que este realiza un proceso continuo, mientras que, en el caso del prensado hidráulico⁵, este se realiza mediante un sistema de paquetes de producción. Por otra parte, la expeller permite obtener aceites sin alteraciones en su composición debido al prensado en frío, esto es algo que no se puede lograr con la extracción por solventes.

En vista de que la demanda de consumo de aceites vegetales se encuentra en aumento⁶, los procesos industriales a gran escala son los que priman para la fabricación de estas sustancias. Sin embargo, uno de los problemas de este tipo de procesos es que el producto final requiere aditivos para aumentar su tiempo de caducidad⁷, lo que hace difícil encontrar aceites naturales en el mercado. Por esta

¹ Erhan, S. Z. "Industrial Uses of Vegetable Oil". Champaign, Illinois, United States: AOCS Press. 2005.

² Gunstone, F. D. "Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses". Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. 2011.

³ Gelza, A. P. "Aceites vegetales, hacia una producción sostenible". El Hombre y la Máquina. 2015. Vol. 46. p. 9–19.

⁴ Grasso, F. V. "Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna". La Plata: Universidad Nacional de La Plata. 2013.

⁵ Reddy, A. R., Kumar, J., and others. "Development of Domestic Purpose Hydraulic Press Oil Expeller". International Journal of Research & Technology. 2019. Vol. 8.

⁶ Agüero, S. D., García, J. T., Catalán, J. S. "Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades". Nutrición Hospitalaria. 2015. Vol. 32. p. 11–9.

⁷ Gupta, M. K. "Practical Guide to Vegetable Oil Processing". Lynnwood, United States: AOCS Press. 2017.

razón, surge la necesidad de realizar la extracción de aceites vegetales a nivel doméstico, ya que esto le brinda al usuario la ventaja de procesar y obtener sus propios productos naturales.

Para lograr una producción a esta escala y con un rendimiento óptimo, se requiere la implementación de procesos iterativos durante la etapa de diseño, los cuales permitan analizar los factores que influyen en el rendimiento de la máquina, teniendo en cuenta que las especificaciones deben establecerse para un equipo de uso doméstico. Por otra parte, el modelado numérico del mecanismo de prensado en software CAD brinda herramientas que complementan el proceso de diseño con el fin de obtener soluciones factibles en aplicaciones de ingeniería⁸. Finalmente, realizar la simulación virtual de la máquina permite evidenciar y analizar su operación⁹, siendo este un paso que reemplaza la fabricación de diferentes prototipos de prueba y permite reducir correcciones adicionales sobre el diseño final que será construido.

En este trabajo de investigación se realizó el diseño, modelado y simulación de una prensa extractora de aceites vegetales de tornillo sin fin para uso doméstico. Se planteó como objetivo de diseño que la máquina logre prensar semillas de tamaño equivalente de hasta 25 milímetros y tenga una capacidad de procesamiento de hasta 10 kilogramos por hora. Se validó que sus especificaciones y condiciones de operación son adecuadas para que la máquina sea instalada en un entorno doméstico. Finalmente, se verificó que la prensa puede aplicar la presión requerida para romper diferentes tipos de semillas.

⁸ Espinoza, L., González, O. A., Graciano, C. "Análisis de un interno tipo brida de un recipiente horizontal a presión utilizando elementos finitos" UIS Ingenierías. 2019. Vol. 18. p. 151.

⁹ Sun, K., Ma, R., and others. "The Influence of the Structure of Double Toothed Roller Crusher on the Crushing Effect based on EDEM". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 423.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular un prototipo de prensa para uso doméstico capaz de extraer aceites de diferentes frutos secos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los frutos secos seleccionados a partir del potencial de aceite contenido y su resistencia mecánica a la compresión.

- Diseñar un prototipo de prensa extractora de aceites para frutos secos que cumpla con los siguientes requerimientos:
 - Capacidad de procesamiento de aproximadamente 10 kg/h.
 - Tamaño equivalente del fruto seco de hasta 25 mm.
 - Relación de tasa de extracción real vs ideal mayor al 80%.
 - Accionamiento eléctrico.

- Validar el funcionamiento de la prensa mediante un proceso de simulación en el que se evidencie que el prototipo logra aplicar la presión requerida para extraer el aceite de los frutos secos seleccionados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Se describen a continuación algunos proyectos relacionados con el diseño de la prensa extractora de aceites vegetales y sus respectivos aportes a esta investigación.

2.1.1 Effect of some kernel factors on palm kernel oil extraction using a screw press¹⁰. En el proceso de extracción mecánica de aceite de semillas oleaginosas intervienen ciertos factores, los cuales son objeto de estudio para este artículo en el que se tienen en cuenta el contenido de humedad del grano, la temperatura de calentamiento del grano, tiempo de calentamiento de grano y el tamaño de partícula, obteniendo como conclusión que el tamaño de grano es un aspecto crítico puesto que al triturar las semillas de palma aceitera se reduce el rendimiento de la misma debido a que la prensa de tornillo MS-100 trabaja mejor con granos enteros. Este proyecto lleva a la conclusión de que una prensa debe ser diseñada para un tamaño de grano específico o para un rango de tamaños de grano reducido, debido a que esto asegura un alto rendimiento en la extracción de aceites y un adecuado uso de esta.

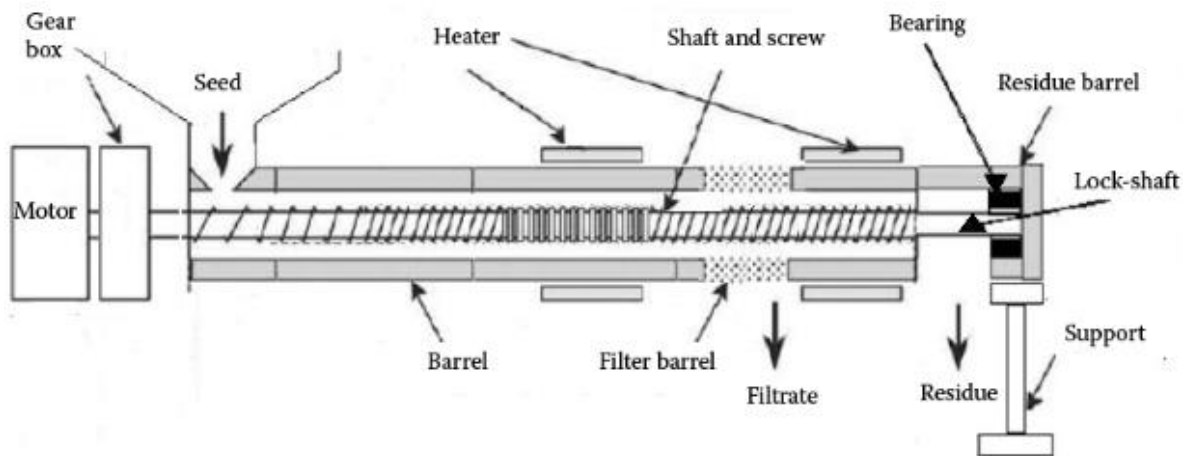
2.1.2 Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds¹¹. Este proyecto consiste en el diseño e investigación de una prensa de tornillo único e innovadora, la cual permitirá la extracción de aceites de las semillas de Calophyllum.

¹⁰ SUNDAY LOUIS, Ezeoha; ONYEAGHALAM AKUBUO, Clement; UCHE ODIGBOH, Emmanuel. "Effect of some kernel factors on palm kernel oil extraction using a screw press". Departamento de agricultura e ingeniería en biorecursos. Universidad de Nigeria. Nsukka: 2020. p. 1-5.

¹¹ INDARTONO, Yuli Setyo; HERIAWAN, Heriawan; KARTIKA, Ika Amalia. "Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds". Investigación en

Se tuvo en cuenta los efectos del contenido de humedad de las semillas, temperatura de prensado y la velocidad de alimentación en la cantidad de aceite extraído y calidad de este, donde se obtuvo un diseño final con estas características.

Figura 1. Modelo y configuración de tornillo único para prensa extractora¹².



Finalmente se concluyó que la extracción de aceite con esta nueva propuesta de prensado fue un éxito, debido a que el rendimiento de esta máquina fue de 80,6%; De este proyecto se puede evidenciar que existen precedentes de que modificar adecuadamente las máquinas convencionales se traduce como una mejora en el rendimiento de la prensa con un adecuado proceso de diseño.

2.1.3 Effect of expeller press parameters on fish oil extraction¹³. En este proyecto se llevó a cabo una investigación de los parámetros que intervienen en la extracción de aceite de pescado mediante la prensa expeller y se evidenciaron mejoras en el rendimiento de la extracción.

ingeniería de agricultura. Instituto de tecnología de Bandung; Instituto de Agricultura de la Universidad de Bogor. Indonesia: 2019. p. 91-96.

¹² Ibíd.

¹³ BAKO, Tanko; UMOGBAI, Victor I.; OBETTA, Samuel E." Effect of expeller press parameters on fish oil extraction". Departamento de Ingeniería Agrícola y Ambiental. Universidad de Agricultura; CIGR Journal. Makurdi. Nigeria: 2018. p. 1-9.

En este proceso se usaron 3 tornillos sin fin de paso variable con la finalidad de evaluar el efecto del paso en el prensado, donde la entrada de materia prima será por el extremo de paso mayor.

Finalmente se obtuvo la combinación óptima de estos parámetros llegando a una eficiencia de extracción de 83,96% y una pérdida de extracción reducida a 5.76%, apoyando así mismo los objetivos de la tesis a desarrollar debido a que este proyecto logra concluir que al hacer las modificaciones correctas en las máquinas de prensado, teniendo en cuenta los parámetros que intervienen en el proceso de extracción, se obtiene una mejora en el rendimiento de la prensa; además, este mecanismo es adecuado para aplicación industrial o casera.

Figura 2. Ejes de tornillo sin fin que varían la holgura del eje del tornillo¹⁴.



2.1.4 Cold press in oil extraction. A review. El objetivo de esta revisión es dar a conocer el funcionamiento de la máquina de prensado en frío de semillas oleaginosas y discutir el efecto de la eficiencia de extracción, y dar a conocer algunas ventajas y desventajas de esto.

¹⁴ Ibíd.

Se logra informar que el prensado en frío es preferido en ciertas ocasiones debido a su bajo costo, a que es respetuoso con el medio ambiente y que el aceite obtenido se considera de alta calidad ampliando su posible aplicación a la industria. Esta revisión permite considerar como alternativa desarrollar el proceso de extracción con un prensado en frío, dependiendo de la semilla seleccionada y de su posible uso¹⁵.

2.1.5 Performance of mechanical co-extraction of *Jatropha curcas* L. kernels with rapeseed, maize, or soybean with regard to oil recovery, press capacity and product quality¹⁶. El objetivo de este proyecto es obtener una mayor cantidad de aceite de las semillas de cáscara de *Jatropha curcas* L, haciendo ciertos cambios en el diámetro de la boquilla de entrada y en la velocidad del tornillo debido a que con las maquinas convencionales no se logra obtener alto rendimiento por la textura suave de la semilla.

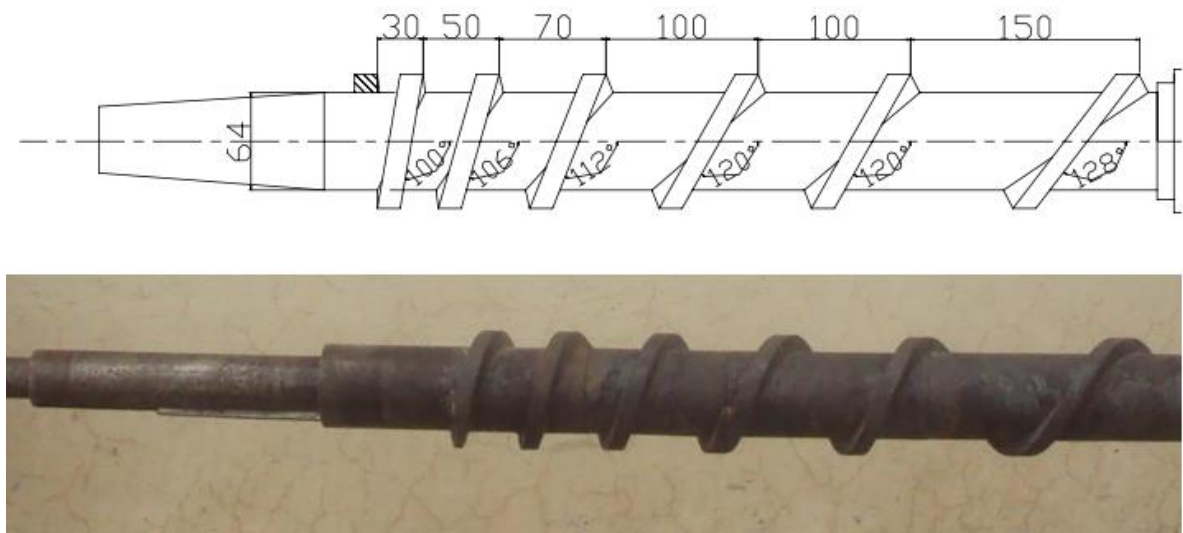
Además de esto, se pretendía agregar otras semillas para mejorar la obtención sin afectar la calidad y propiedades del aceite de las semillas de cáscara de *Jatropha curcas* L, en los resultados obtenidos se evidencia que se aumenta el rendimiento y que el mejor aditivo para esta semilla es la soja, apoyando así mismo la tesis del proyecto a desarrollar, que dependerá de la semilla seleccionada.

¹⁵ ÇAKALOĞLU, Büşra; ÖZYURT, Vasfiye Hazal; ÖTLEŞ, Semih. "Cold press in oil extraction. A review". Ukrainian Food Journal; Universidad Ege. Bornova. Izmir Turquía: 2018. p. 640-650.

¹⁶ ROMULI, Sebastian; KARAJ, Shkelqim; LATIF, Sajid; MÜLLER, Joachim. "Performance of mechanical co-extraction of *Jatropha curcas* L. kernels with rapeseed, maize or soybean with regard to oil recovery, press capacity and product quality". Cultivos Industriales y Productos. Universidad Hohenheim. Instituto de Ingeniería Agrícola, Grupo de Trópicos y Subtropicales. Garbenstrasse, Stuttgart. Alemania: 2017. p. 1-9.

2.1.6 Performance evaluation of screw-press oil expeller using a continuous spiral and decreasing length of pitch of screw. El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un diseño innovador de tornillo de espiral continuo para una extractora de aceite, así mismo obteniendo una variación de presiones a lo largo del tornillo y finalmente para las semillas oleaginosas se aprecia que con la menor velocidad de revolución del tornillo se obtiene un mayor porcentaje de expulsión de aceite. En el diseño se obtuvo una configuración de tornillo sin fin de paso e inclinación de hélice variables, como podemos ver en la siguiente figura (dimensiones en milímetros) ¹⁷.

Figura 3. Tornillo sin fin con espiral continuo¹⁸.



De esta manera, contribuye con información vital para el proyecto a desarrollar, la cual es el tener en cuenta la velocidad del tornillo de prensado y que tanto afecta la capacidad de obtención de la máquina.

¹⁷ JAIN, Dilip; JAIN, Siddhant. "Performance evaluation of screw-press oil expeller using a continuous spiral and decreasing length of pitch of screw". Agricultural Engineering International; CIGR Journal. Instituto Central de Ingeniería y Tecnología Postcosecha. INDIA: 2015. p. 1-9.

¹⁸ Ibíd.

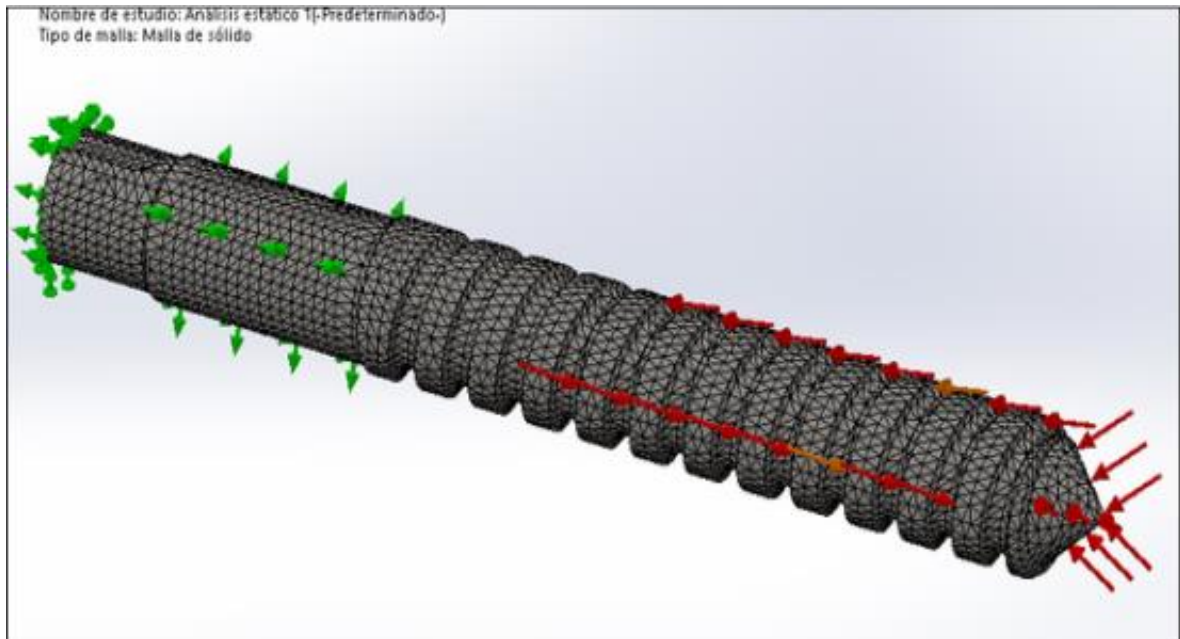
2.1.7 Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible¹⁹. El objetivo de este proyecto es diseñar una prensa de tornillo (expeller) para la extracción de aceite comestible virgen de la semilla de maíz. Los resultados obtenidos señalaron que la alimentación manual, el cilindro con huecos perforados y la distancia entre hilos constante para el tornillo, son las características de mayor importancia en el diseño de la prensa, obteniendo finalmente un diseño de tornillo sin fin de paso constante mostrado en la figura 4.

A pesar de que no es usual encontrar en la industria nacional una prensa expeller para extraer aceite virgen de diferentes semillas de la familia de las oleaginosas; este tipo de máquina es una opción factible para el sector agroindustrial, debido a su alto rendimiento en la extracción del aceite, su capacidad de extraer en frío, su bajo costo de implementación y su tamaño compacto.

En el proceso de diseño se seleccionó un motor eléctrico de 7,5 HP y un reductor helicoidal coaxial; esta selección fue resultado del cálculo de la capacidad de la máquina para extraer aceite, se comprobó la resistencia mecánica del tornillo sin fin mediante el análisis estático y de fatiga por el método de Von Mises en el software de elementos finitos. Obteniendo información relevante para el desarrollo de la tesis puesto que se da un proceso de diseño muy similar al que se pretende en el proyecto.

¹⁹ GALARRAGA RIVERA; Yeyxon Omar. “Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad tecnológica de Pereira, facultad de ingeniería mecánica. Pereira. Colombia: 2015. p. 5, p. 101-102.

Figura 4. Mallado de sólido - tornillo sin fin²⁰.



2.2 REFERENTES TEÓRICOS

Con el fin de obtener una base teórica sólida para el desarrollo del proyecto, se enuncian a continuación los conceptos más relevantes relacionados con el mismo.

2.2.1 Aceites vegetales²¹. Los aceites vegetales son sustancias que se extraen de semillas o frutos oleaginosos. Son un tipo de lípido (grasa) con grandes ventajas nutricionales, pero generalmente son muy sensibles y se oxidan fácilmente.

Estos aceites están formados principalmente por diferentes ácidos grasos que están presentes en distintas proporciones, lo que le otorga características propias a cada aceite vegetal. En general, todos los aceites vegetales son ricos en sustancias antioxidantes cuya función principal es evitar la oxidación celular que se produce como producto de la actividad de los radicales libres. Esto se traduce en una gran

²⁰ Ibíd.

²¹ RODRIGÁÑEZ RICCHERI, Pilar. "Aceites vegetales sí, pero bien cuidados". {En línea}. {Fecha de consulta: 09 de julio de 2020}. Disponible en: <https://solnatural.bio/blog/nutricion/aceites-vegetales-si-pero-bien-cuidados>

capacidad para prevenir el envejecimiento prematuro de los tejidos, para proteger de tumores, y también para retardar la acidificación del propio aceite.

Es importante tener un cuidado especial con estos aceites tanto en su uso como en su conservación, principalmente en dos aspectos. Primero, no deben exponerse a altas temperaturas, a excepción del aceite de oliva virgen y el aceite de coco virgen, los cuales son los más tolerantes y resistentes al calor; por tal razón, lo recomendable es que se utilicen en crudo a temperatura ambiente. Segundo, los aceites vegetales se oxidan al tener contacto con el oxígeno, la luz y la humedad; por lo tanto, es importante almacenarlos en un envase cerrado y mantenerlos en un lugar fresco. Otro aspecto para tener en cuenta cuando se quiere un aceite vegetal de buena calidad es su método de obtención, partiendo de que debe provenir de semillas o frutos totalmente naturales y que su extracción debe ser idealmente mediante prensado en frío, pues esta técnica es la que permite la conservación de los ácidos grasos.

2.2.2 Frutos secos. Se conocen como frutos secos aquellos alimentos vegetales de distintas familias botánicas que se caracterizan por no contener jugo, es decir, se refiere a frutos con una cáscara generalmente dura y un porcentaje de agua inferior al 50%.

En la familia de los frutos secos se encuentran: los cacahuates, los frutos de cáscara (almendras, nueces, pistachos, avellanas, anacardos, etc.) y las semillas (semillas de girasol, de calabaza, semillas de amapola, sésamo, piñones, etc.). Además de ser una excelente fuente de nutrientes esenciales, aportan un elevado contenido de proteínas, antioxidantes, fibra, minerales y vitaminas B y E. A esto también se suma que las grasas que contienen también destacan por sus propiedades, ya que son grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas, las cuales ayudan a disminuir los niveles

de colesterol LDL, bajan los triglicéridos, disminuyen la coagulación de la sangre y mejoran la salud de los vasos sanguíneos²².

Figura 5. Frutos secos.



Fuente: FERNÁNDEZ, Sonia. “Frutos secos: cuáles son los mejores y más sanos para comer”. {En línea}. 06 de junio de 2019. Disponible en: www.alimente.elconfidencial.com

2.2.2.1 Aceite de almendras. El aceite de almendras se extrae del fruto del árbol conocido como almendro. El aceite 100% puro se obtiene por prensado en frío. La mejor manera de aprovechar sus propiedades y beneficios es conseguirlo 100% puro de almendras dulces.

Este aceite contiene grasas monoinsaturadas, ácidos grasos esenciales como el omega 3 y el omega 6. Además, contiene antioxidantes y vitamina E, y algunas vitaminas B como B1 y B6, las cuales son muy importantes para el cuidado de la

²² REBOLLO, Mónica., GIMENO, Eva. “Frutos secos y salud”. Artículo: Revista Offarm farmacia y sociedad. 2002.

piel y el cabello, para la regeneración y el mantenimiento sano. Esta sustancia se emplea mayormente como aceite cosmético²³.

Figura 6. Aceite de almendras.



Fuente: LEMOS RODRÍGUEZ, Raquel. “Los 6 beneficios del aceite de almendras para la salud”. {En línea}. 05 de diciembre de 2018. Disponible en: <https://mejorconsalud.com>

2.2.2.2 Aceite de semillas de girasol²⁴. El aceite de girasol proviene de la planta que tiene dichas flores y si este es prensado en frío y consumido crudo, es decir, que no es utilizado para freír ciertos alimentos como es muy común para este aceite, se pueden generar ciertos beneficios para la salud cardiovascular, y aprovechar ciertas propiedades que contiene como la vitamina E y los ácidos grasos.

²³ MANNISE, Raul. “El aceite de almendras y sus propiedades revitalizantes”. {En línea}. 15 de agosto de 2019. {Fecha de consulta: 27 de mayo de 2020}. Disponible en: <https://ecocosas.com/salud-natural/aceite-de-almendras/>

²⁴ Pintor, Yamilá. “Los grandes beneficios del aceite de girasol, ¡conócelos!”. {En línea}. 13 de agosto de 2020 {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <https://mejorconsalud.as.com/los-beneficios-del-aceite-girasol/>

Figura 7. Aceite de semillas de girasol.



Fuente: Semillas girasol. {En línea}. 06 de marzo de 2020. Disponible en: <https://semillas.me/semillas-girasol/>

2.2.2.3 Aceite de maní²⁵. El aceite de maní o también llamado cacahuete proviene de una planta de crecimiento lento, el cual se caracteriza por ser una legumbre que crece bajo tierra y el aceite que proviene de esta es bastante utilizado en la cocina.

Sin embargo, no es muy recomendable debido a sus altos contenidos de omega 3 y 6 los cuales al ser consumidos en exceso pueden ser perjudiciales para la salud si se utiliza a altas temperaturas, al utilizarlo de una manera correcta se pueden obtener bastantes beneficios.

²⁵ ACEITES ESENCIALES. “Aceite de Cacahuete: Todas sus Increíbles Propiedades”. {En línea}. {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <https://aceites-esenciales.org/aceite-de-cacahuete/>

Figura 8. Aceite de maní.



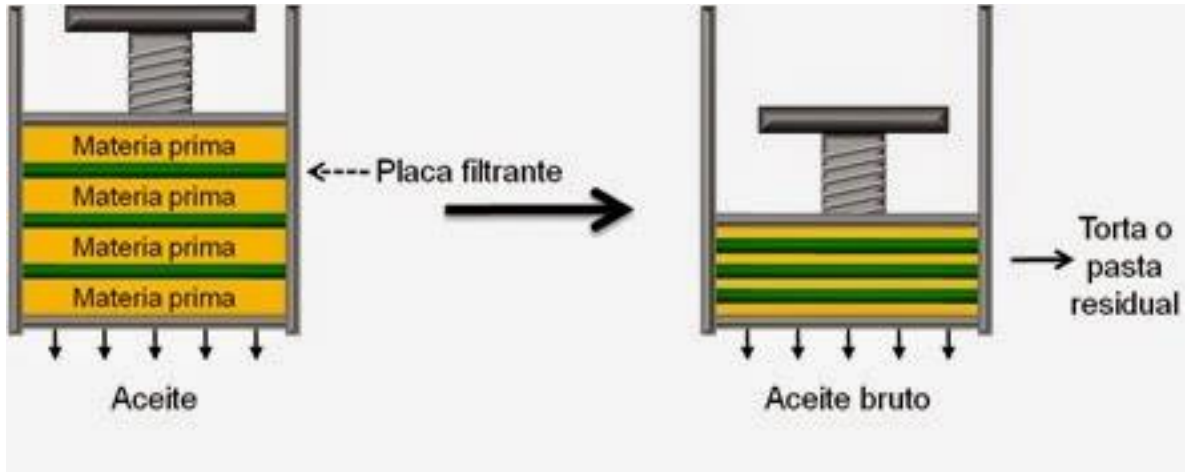
Fuente: Aceite de maní. {En línea}. 01 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://aceites-esenciales.org/aceite-de-cacahuete/>

2.2.3 Extracción de aceites por prensado hidráulico²⁶. Este método consiste en introducir la materia prima en un recipiente cilíndrico con orificios en su estructura y comenzar a comprimir el material mediante un émbolo que aplica fuerza hidráulica. A medida que las semillas se van rompiendo, van liberando aceite y este comienza a salir por los orificios del cilindro y fluyendo hacia abajo por la acción de la gravedad.

La obtención del aceite y la torta residual es obtenida sin utilizar sustancias extractivas, ya que solo es utilizada la fuerza hidráulica. Con este método se obtienen aceites de alta calidad. El rendimiento dependerá de la presión ejercida.

²⁶ (s. a.). "Extracción de aceite: prensado". {En línea}. 09 de julio de 2014. {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020. Disponible en: <http://elpequenoagroindustrial.blogspot.com/2014/07/extraccion-de-aceite-prensado.html>

Figura 9. Representación del prensado hidráulico.



Fuente: Extracción de aceite: prensado. {En línea}. 09 de julio de 2014. Disponible en: www.elpequenoagroindustrial.blogspot.com

A pesar de que cumplen con la extracción del aceite, las antiguas prensas abiertas y las prensas hidráulicas de cargas discontinuas actualmente se consideran obsoletas.

2.2.4 Extracción de aceites con solventes. Este método de extracción es efectivo, así como capaz de extraer la mayor cantidad de aceite contenido en semillas. También, resulta más rápido y caro en comparación con el proceso de extracción mecánica. Sus principales desventajas incluyen el costo general del equipamiento usado y la peligrosidad de los solventes que pueden a menudo provocar una explosión. El hexano es el solvente más utilizado para extraer aceites comestibles de plantas. También, se usan como solventes: agua acidificada, etanol, metanol, isopropanol, tolueno, xileno, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo, entre otros²⁷.

²⁷ TABIO GARCÍA, Danger., DÍAZ DOMÍNGUEZ, Yosvamy., RONDÓN MACIAS, Maylin., FERNÁNDEZ SANTANA, Eina., PILOTO RODRÍGUEZ, Ramón. "Extracción de aceites de

2.2.5 Extracción de aceites por prensado mecánico. El proceso para aplicar el prensado generalmente comienza con la molienda o molturación de la semilla, por medio de molinos, martillos o cilindros; de esta manera se colapsan las estructuras vegetales para que el aceite sea liberado de la semilla. El resultado de la molienda es una masa homogénea que pasa a una prensa de tornillo, la cual se encarga de extraer el aceite y deja como resultado una torta. En esta torta se pueden encontrar cantidades de aceite, que pueden ser extraídos por solventes. Pero también, a la torta se le puede dar otros usos, por ejemplo, la producción de alimentos para animales²⁸.

2.2.5.1 Prensado en caliente. Desde un punto de vista mercantil y de rendimiento, los aceites vegetales pueden estar prensados en caliente de forma mecánica a temperaturas de 80° a 120°C. En dicho proceso, las materias vegetales de base sufren una serie de tratamientos químicos muy invasivos como refinamiento, peeling, desodorización, decoloración, etc., que privan a los productos terminados de una parte importante de sus vitaminas, ácidos grasos esenciales y antioxidantes. El aceite obtenido es muy estandarizado y posee una correcta composición, pero ha perdido todas sus cualidades nutricionales y sus propiedades cosméticas.

2.2.5.2 Prensado en frío²⁹. La presión en frío es un modo de extracción exclusivamente mecánico que se realiza a baja temperatura, preservando de este modo la proporción de ácidos grasos esenciales, vitaminas y antioxidantes naturales; además, no necesita ningún aditivo.

origen vegetal”. Monografía. Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”. 2017. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/317007345_Extraccion_de_aceites_de_origen_vegetal

²⁸ Ibíd.

²⁹ (s. a.). “Aceites: extracción por prensado en frío”. {En línea}. {Fecha de consulta: 10 de julio de 2020}. Disponible en: http://www.prensandoenfrio.com/71041_es/prensado-en-frio-la-elaboracion-mas-natural-del-aceite-de-semillas/

La primera extracción denominada “primera presión” da como resultado un zumo puro y verdaderamente oleaginoso. La extracción de aceites prensados en frío se realiza de forma simple y artesanal. La semilla se descascará parcialmente y se limpia mediante ventilación y zarandeo para eliminar impurezas. Luego, se lleva a la prensa, que es un extrusor a tornillo sin fin. Aquí se vigila especialmente que la temperatura generada por la presión no supere los 45°C para asegurar la estabilidad molecular de los ácidos grasos poliinsaturados. Se evita así también la disolución de ceras y otras sustancias.

Luego, se recomienda que pase por un filtro para eliminar cualquier residuo y envasarse en recipientes oscuros o de hojalata para así evitar su oxidación por la acción de la luz. Para este caso, el refinado se hace innecesario, de modo que el aceite conserva el suave sabor propio de la semilla de la cual proviene.

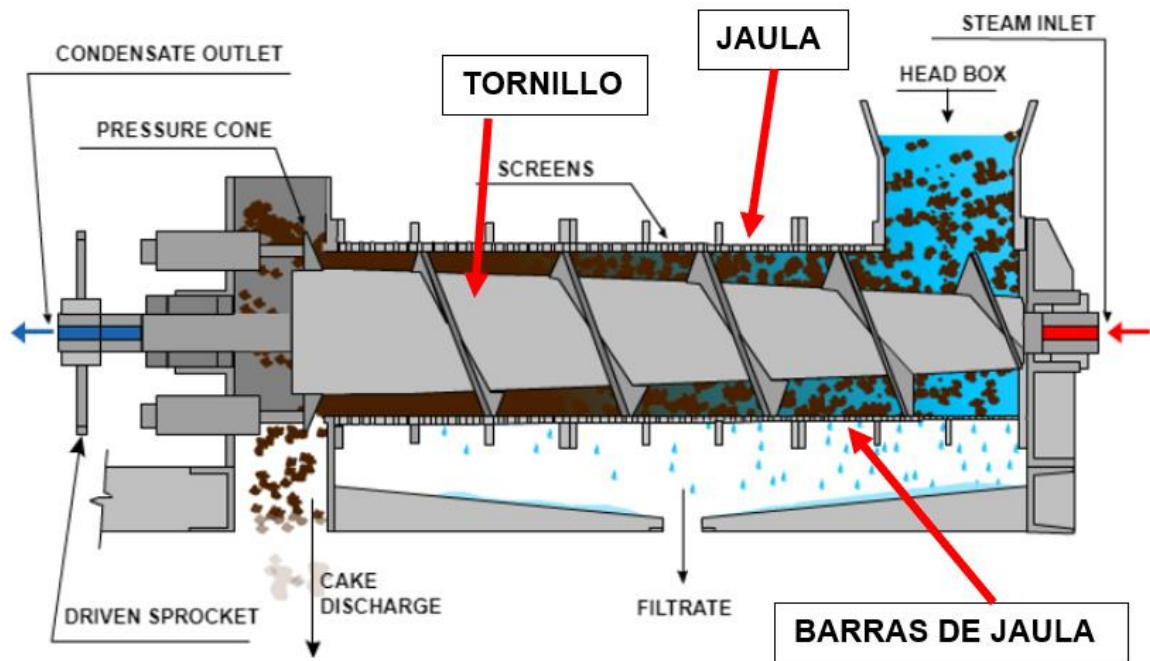
Se debe tener en cuenta que para que el aceite prensado en frío sea sano debe proceder de semillas de cultivo orgánico que se encuentren bien conservadas y frescas. Cuando se trata de aceites delicados, o aquellos en los cuales el sabor o el matiz de sus propiedades son un componente clave, se necesita tener mayor cuidado en el control de los factores durante el proceso de elaboración, especialmente en la temperatura durante la extracción.

2.2.6 Prensa de expulsión de tornillo (expeller)³⁰. Una prensa de expulsión es una máquina de tipo tornillo que presiona semillas oleaginosas a través de una cavidad en forma de barril enjaulada. Las materias primas entran por un lado de la prensa y los productos de desecho salen por el otro lado.

³⁰ KMEC Engineering. “¿How does the screw expeller press work?”. {En línea}. {Fecha de consulta: 12 de julio de 2020}. Disponible en: <http://www.kmecomp.com/oil-mill-plant/oil-pressing/>

La máquina utiliza la fricción y la presión continua de las unidades del tornillo para mover y comprimir el material. El aceite se filtra a través de pequeñas aberturas que no permiten el paso de sólidos de fibra de las semillas.

Figura 10. Sección de corte de la prensa.



Fuente: KMEC Engineering. “¿How does the screw expeller press work?”. Disponible en: www.kmecomp.com

El material ya prensado se transforma en una torta endurecida, que se retira de la máquina. La presión involucrada en el prensado del expulsor alcanza temperaturas entre un rango de 60–99 °C. En una prensa de expulsión típica se presentan los siguientes tres componentes principales:

- **Jaula:** este conjunto alberga el tornillo y las barras de la jaula. A medida que las semillas pasan por esta sección, el aceite se filtra hacia el depósito de aceite que se encuentra debajo. Puede presentarse que algunos restos sólidos también logren pasar.

- **Tornillo:** este transporta las semillas a través de la jaula de prensa y contra las barras de la jaula. La acción de las semillas que se transportan contra las barras de la jaula hace que se exprima el aceite del material; cuando éste llega al final, la torta se cae y se transporta a otro proceso. Se utiliza un motor para conducir este tornillo.
- **Barras de jaula:** Estas barras están muy juntas y forman un anillo alrededor del tornillo. Cuando la jaula está cerrada, estas rodean el tornillo. Como se mencionó anteriormente, estas funcionan junto al tornillo para ayudar a presionar y extraer el aceite de las semillas.

2.2.7 Máquinas extractoras de aceites vegetales en el mercado. Existen varias opciones de máquinas extractoras de aceites que se pueden encontrar en el mercado, ya sean de tipo casero o de tipo industrial, la mayoría de estas usan el tornillo sin fin como mecanismo de prensado. A continuación, se presenta un ejemplo de este tipo de prensas, donde se describen sus principales componentes y modo de operación.

La prensa o extractora mostrada en la figura 11 es una máquina destinada a la producción de aceite vegetal, que puede procesar cualquier tipo de semillas oleaginosas, tales como ajonjolí (sésamo), soya, colza, algodón, maní (cacahuete), girasol, higuera (ricino), y otros. Este dispositivo está compuesto por un alimentador, motorreductor, jaula de prensado, eje de tornillo y estructura de la máquina.

La prensa utiliza el eje, que está compuesto por una sucesión de tornillos de distinto formato, que empujan el material dentro de la cámara o jaula de prensado. El paso del tornillo y la profundidad de la espiral se van reduciendo, por lo que el volumen disponible en la cámara se reduce, y el material es sometido a altísima presión, lo que, acompañado por el roce contra la pared interior cerrada de los discos, produce la extracción del aceite. El aceite fluye a continuación a través de los orificios que

existen entre los discos. El material restante, en forma de torta o expeller, sale por el extremo de la jaula³¹.

Figura 11. Prensa extractora de aceites vegetales.



Fuente: MARTÍNEZ, Alexander. "Máquinas extractoras de aceites vegetales". Disponible en: www.maquinasextractorasdeaceitesvegetales.blogspot.com

³¹ MARTÍNEZ, Alexander. "Máquinas extractoras de aceites vegetales". {En línea}. 25 de junio de 2011. {Fecha de consulta: 10 de julio de 2020}. Disponible en: <http://maquinasextractorasdeaceitesvegetales.blogspot.com/2011/06/vendo-maquinas-extractoras-de-aceites.html>

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS FRUTOS SECOS

Para dar inicio al proyecto, lo primero que se hizo fue seleccionar los frutos secos a partir de los cuales se llevó a cabo el diseño de la prensa, debido a que en este grupo de alimentos se encuentran una gran variedad de tipos y tamaños.

Se consideraron entonces los siguientes aspectos:

- Fáciles de adquirir en el mercado local.
- Tamaño equivalente del grano inferior a 25 mm.
- Al aceite obtenido de estos frutos se le pueda dar distintos usos en el hogar.

Los frutos seleccionados fueron: almendras, maní y semillas de girasol. Para la caracterización, se obtuvieron y registraron los datos descritos a continuación.

3.1.1 Potencial de aceite. Este dato establece la cantidad total de aceite que contienen las semillas. Por ejemplo, 30 gr de almendras contienen 15 gr de grasas correspondientes al aceite vegetal, lo cual indica un potencial de aceite del 50%. Este dato se obtuvo de referencias bibliográficas y se tomó como un valor teórico para cada fruto seco. Para la almendra se registró un valor del 50%³², para el maní un 49%³³ y para las semillas de girasol un 51%³⁴.

³² Roncero Heras, José María. "Optimización del proceso de extracción de aceite de almendra virgen y aprovechamiento agrícola de las harinas generadas en el mismo". Universidad de Castilla-La Mancha, tesis de doctorado. 2017. p. 40.

³³ Montero Torres, Julio. "Importancia nutricional y económica del maní (*Arachis hypogaea* L.)". Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Bolivia. 2020.

³⁴ Agüero, M.E.; V.R. Pereyra; L.A.N. Aguirrezábal y J. Lúquez. "Rendimiento de grano y porcentaje de aceite de híbridos de girasol "alto oleico" cultivados en Argentina". AGRISCIENTIA, 1999, VOL. XVI: 49-53.

3.1.2 Tamaño equivalente. Para obtener el tamaño promedio de cada semilla, se seleccionó un grupo significativo de estas y mediante varias mediciones se estableció que su tamaño equivalente es inferior a 25 mm, esto se puede evidenciar en las figuras 12, 13 y 14.

Figura 12. Dimensiones de las almendras.



Fuente: Autores.

Figura 13. Dimensiones del maní.



Fuente: Autores.

Figura 14. Dimensiones de la semilla de girasol.



Fuente: Autores.

3.1.3 Resistencia a la compresión. Este dato es necesario para conocer la presión mínima que se le debe aplicar a los frutos para que se rompan sus células vegetales y comience a salir aceite. Para obtenerlo, se realizó una prueba experimental mediante una prensa hidráulica, como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Prensado hidráulico.



Fuente: Autores.

Esta máquina aplica presión de manera gradual e intermitente, logrando llegar hasta un valor máximo de 2600 psi. Para llevar a cabo el prensado, se procesaron 3 kg de cada semilla y se registró el dato de presión justo cuando el aceite comenzaba a salir por los orificios del cilindro. Al final, se obtuvo el aceite y se tomó el valor de su peso con el fin de determinar el rendimiento de la prensa hidráulica, dividiendo el valor del peso obtenido en el valor del peso total que contienen los 3 kg de semilla de acuerdo con su potencial. Por ejemplo, del prensado de las almendras se obtuvieron 800 gr de aceite, y según su potencial, la cantidad procesada contiene 1500 gr de grasa vegetal, de manera que el rendimiento de la prensa hidráulica para procesar almendras es del 53%.

En la tabla 1 se evidencian los valores obtenidos en todo el proceso de caracterización de los frutos secos.

Tabla 1. Caracterización de los frutos secos.

Fruto seco	Cantidad prensada [gr]	Aceite obtenido [gr]	Presión mínima [psi]	Potencial de aceite obtenido	Potencial de aceite teórico	Rendimiento prensado hidráulico
Almendra	3000	800	2200	26.66%	50%	53.3%
Maní	3000	785	652.67	26.16%	49%	53.4%
Semillas de girasol	3000	155	1087	5.16%	51%	10.1%

Fuente: Autores.

Una de las razones por las cuales se extrajo tan poco aceite de las semillas de girasol fue debido a que estas se prensaron con su cáscara, haciendo mucho más difícil el proceso de extracción, por tal motivo esta semilla obtuvo un rendimiento significativamente bajo con respecto a los otros dos frutos secos.

3.2 PROCESO DE DISEÑO

Luego de definir los frutos secos, se procedió a desarrollar el diseño de la prensa desglosado en cada uno de los módulos que la componen, teniendo en cuenta que se establecieron los requerimientos y especificaciones para una máquina de alto rendimiento, accionamiento eléctrico y de fácil manejo para ubicarla y operarla desde un espacio de tipo doméstico.

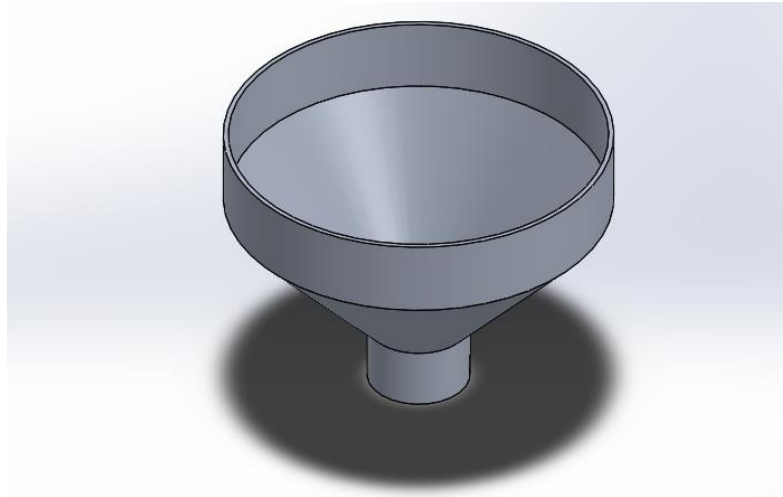
3.2.1 Módulo de alimentación. Este módulo está compuesto por una tolva, la cual es una pieza en forma de embudo en la que se añaden los frutos secos y que, debido a su inclinación, las semillas se deslizan e ingresan al módulo de prensado. Según datos registrados y consultados³⁵, en general el ángulo de reposo de distintas semillas y granos se encuentra entre 30° y 45°, por lo que en el diseño de la tolva se estableció un ángulo de inclinación del embudo con respecto a la horizontal superior a 45° para garantizar que las semillas se deslicen fácilmente e ingresen a la prensa.

Para el diseño de esta pieza se consideró también que la tolva pueda almacenar un volumen suficiente de semillas con el fin de aumentar el intervalo de tiempo en el que se recarga la máquina con los frutos a procesar. Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas, se realizó el modelado de la tolva de alimentación en 3D como se muestra en la figura 16.

Debido a que este elemento no estará sometido a presiones ni esfuerzos considerables, no se le realizó un análisis numérico. Mediante la simulación del prototipo, explicada más adelante, se pudo evidenciar que la tolva diseñada permite que las semillas ingresen de manera adecuada a la prensa. El plano de fabricación de esta pieza se encuentra dentro del anexo F.

³⁵ Conveyor Equipment Manufacturers Association. "Belt Conveyors for Bulk Materials". USA. Fifth edition. July 2002. p. 33-43.

Figura 16. Tolva de alimentación.



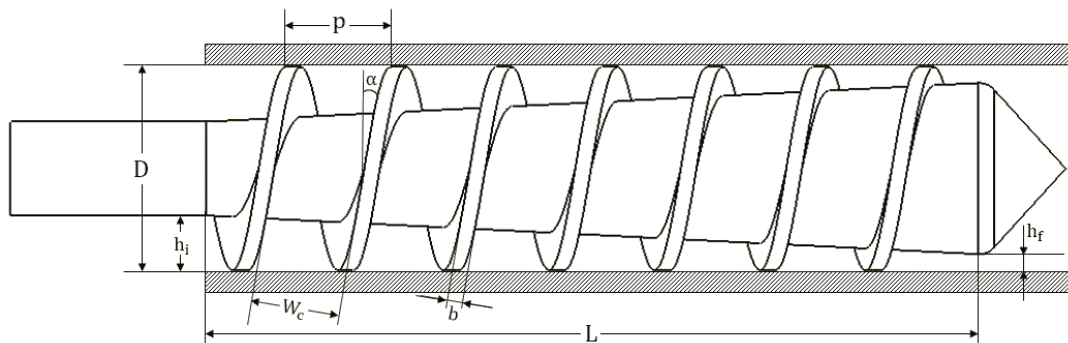
Fuente: Autores.

3.2.2 Módulo de prensado. El mecanismo de prensado que se diseñó está compuesto por los siguientes elementos principales:

- Tornillo sin fin.
- Camisa o barril del tornillo.
- Tapa o dado de la camisa.

En la operación de un tornillo sin fin para prensado influye en gran medida su geometría. En la figura 17 se muestran sus dimensiones generales:

Figura 17. Dimensiones de un tornillo sin fin.



Fuente: Autores.

Donde:

- p: paso del tornillo.
- D: Diámetro de la camisa o barril.
- h: Altura de la hélice o profundidad del canal.
- w_c : Ancho del canal.
- α : Ángulo de la hélice o paleta.
- b: Ancho de la hélice o paleta.
- L: Longitud del tornillo.

El ángulo de la hélice se define en la expresión 1.

$$\tan(\alpha) = \frac{p}{\pi * D} \quad (1)$$

Es decir, la inclinación de la hélice depende del paso del tornillo y del diámetro del barril. Para este caso, debido que en el diseño está planteado un tornillo de paso variable, presenta entonces un ángulo de hélice variable. Se puede evidenciar también que la altura de la hélice del principio es diferente a la del final, debido a que el diámetro del núcleo del tornillo es variable.

El ancho del canal se define en la expresión 2.

$$w_c = (\pi * D * \tan(\alpha) - w_f) * \cos(\alpha) \quad (2)$$

Se puede evidenciar que el ancho del canal depende del ángulo de la hélice, por lo cual también es variable a lo largo del tornillo sin fin.

Cuando la prensa comienza su operación, los frutos secos ingresan por la tolva de alimentación y a medida que el eje del tornillo gira, estos van avanzando por el canal

debido a que son arrastrados por las hélices. Al llegar al otro extremo del barril, la tapa o dado provoca una gran restricción que impide que los frutos sigan avanzando, lo que genera un aumento de presión y es así como sucede la compresión o prensado. La torta sale por el agujero de la tapa, mientras que el aceite cae por los agujeros ubicados en la parte inferior del barril.

3.2.2.1 Definición del material. Para seleccionar el material de este módulo, se tuvieron en cuenta principalmente las siguientes consideraciones:

- Es una prensa para procesar alimentos.
- La prensa trabajará con presiones elevadas.
- La fabricación del tornillo es compleja debido a su geometría.
- El costo del material no debe ser muy elevado.

Teniendo presente lo anterior, se consideraron varios tipos de materiales, principalmente el grupo de los aceros inoxidable, dentro de los que se encuentran varios tipos con los que se trabaja en procesamiento de alimentos. Se pudo evidenciar que, aunque algunos cuentan con excelentes propiedades mecánicas, no son fáciles de conseguir en el mercado o resultan ser muy costosos.

Para el desarrollo del diseño y modelado de la prensa, se utilizaron los valores de las propiedades que están registradas en el software SolidWorks para el acero inoxidable AISI 304 o EN 1.4301, las cuales se encuentran dentro de los rangos especificados en la ficha técnica mostrada en la figura 18.

Figura 18. Acero Inoxidable AISI 304.

Propiedades de material
 No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: **Isotrópico elástico lineal** Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades: **SI - N/mm² (MPa)**

Categoría: **DIN Acero (inoxidable)**

Nombre: **1.4301 (X5CrNi18-10)**

Descripción: **X 5 CrNi 18 10**

Origen: **Límite de tracción y límite elástico para t ≤ 16 mm**

Sostenibilidad: **Definido**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	600	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	400	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)

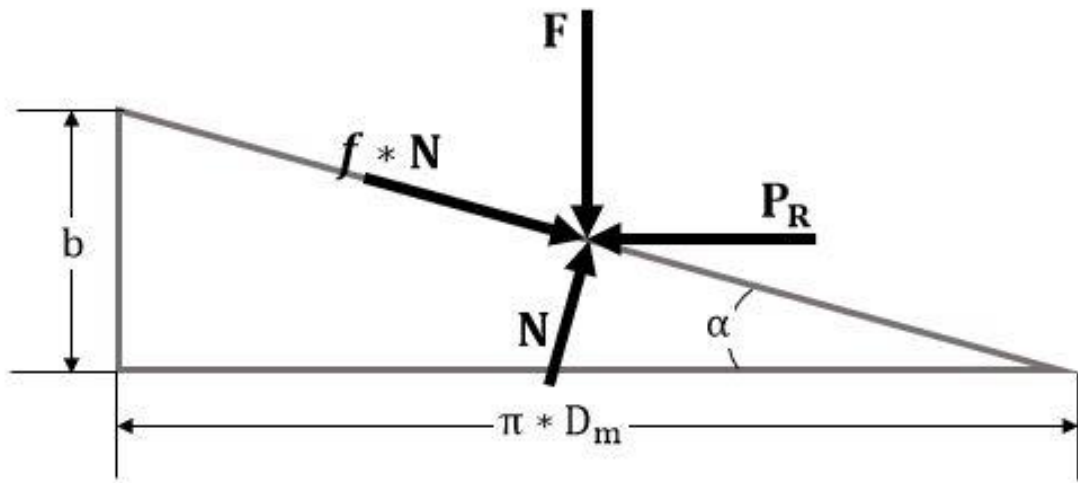
Fuente: Dassault Systèmes. SOLIDWORKS. Waltham, United States. 2020.

Se tuvo en cuenta que estas propiedades están especificadas en el software para láminas de espesor menos a 16 mm, sin embargo, se consultaron también las propiedades para barras macizas en un catálogo comercial de acero inoxidable³⁶, las cuales se encuentran dentro de los mismos rangos que las de las láminas.

³⁶ ACERINOX. "Acero Inoxidable Austenítico ACX 120". Madrid, España. 2013.

3.2.2.2 Fundamentos de tornillos de potencia. Un tornillo de potencia es un dispositivo que se usa en maquinaria generalmente para transmitir potencia. Muchas de sus aplicaciones consisten en mover cargas. Tal como lo plantean Budynas y Nisbett³⁷, si se analiza un tornillo de un solo hilo, de rosca cuadrada, se desenvuelve su hélice en un plano y se toma solo la longitud de una vuelta completa, se puede representar mediante un diagrama de fuerzas las reacciones que se presentan en la hélice del tornillo al estar sometido a una carga que debe mover, tal como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Diagrama de fuerzas en la hélice de un tornillo.



Fuente: Autores.

Donde:

- F : Fuerza a la que está sometido el tornillo.
- f : Coeficiente de fricción entre el tornillo y el material en contacto.
- N : Fuerza normal.
- D_m : Diámetro medio del tornillo.
- b : Ancho de la hélice.

³⁷ Budynas R. G., Nisbett J. K. "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley". CDMX, México: McGraw-Hill. 2012.

- α : Ángulo de la hélice.
- P_R : Fuerza requerida para mover la carga.

Para el caso de la prensa, se puede asimilar este mecanismo con el tornillo sin fin, donde F es la fuerza que se requiere para romper los frutos y que comience a salir aceite y P_R es la fuerza que debe ejercer el tornillo para lograr dicha compresión. Si se plantea un sistema en equilibrio y se realiza una sumatoria de fuerzas, se puede obtener una expresión para conocer el valor de P_R mediante la expresión 3.

$$P_R = \frac{F * (\sin(\alpha) + f * \cos(\alpha))}{\cos(\alpha) - f * \sin(\alpha)} \quad (3)$$

Conociendo el valor de esta fuerza, se puede obtener el torque que debe ejercer el tornillo al girar sobre los frutos secos mediante la expresión 4.

$$T = P_R * \frac{D_m}{2} \quad (4)$$

Finalmente, se puede conocer el valor de la potencia mecánica requerida para la operación de prensado mediante su definición, donde ω es la velocidad angular a la que gira el tornillo, como se describe en la expresión 5.

$$Pot = T * \omega \quad (5)$$

3.2.2.3 Fundamentos de procesos de extrusión. En cuanto al análisis del avance de los frutos secos dentro del tornillo, este se asemeja al flujo fundido dentro de una máquina extrusora, tal como lo plantea Groover³⁸.

³⁸ Groover M. P. "Fundamentos de manufactura moderna". México, D. F.: McGraw-Hill. 2007.

De esta manera, el flujo de material que avanza dentro de la máquina es denominado flujo por arrastre, el cual resulta de la fricción entre el material y las dos superficies opuestas que se mueven una respecto de la otra, las cuales son el barril estacionario y el canal del tornillo giratorio.

Haciendo la similitud con la prensa, este flujo se genera desde el extremo del tornillo donde las semillas entran por la tolva y avanzan hasta el otro extremo donde se encuentra la tapa o restricción.

El flujo por arrastre está definido en la expresión 6 (teniendo en cuenta el ancho de la hélice).

$$Q_d = 0.5 * \pi * D * N * d_c * \cos(\alpha) * w_c \quad (6)$$

Donde:

- Q_d : Flujo de arrastre en m^3/s .
- D : Diámetro del barril en m.
- N : velocidad de giro del tornillo en rev/s.
- d_c : Altura de la hélice en m.
- α : Ángulo de la hélice.
- w_c : Ancho del canal.

Al presentarse una restricción al final de la máquina, se genera una contrapresión que tiende a devolver una parte del material que se mueve debido al flujo por arrastre, dicha cantidad de material que se regresa se conoce como flujo a contrapresión, el cual se define en la expresión 7.

$$Q_b = \frac{P * \pi * D * d_c^3 * \text{sen}^2(\alpha)}{12 * \eta * L} \quad (7)$$

Donde:

- P: Presión piezométrica dentro del barril en MPa.
- L: Longitud del tornillo en m.
- η : Viscosidad del material en Pa*s.

De esta manera se puede establecer que el flujo real que avanza dentro del tornillo está dado por la diferencia entre las dos cantidades, como lo muestra la expresión 8.

$$Q_x = Q_d - Q_b \quad (8)$$

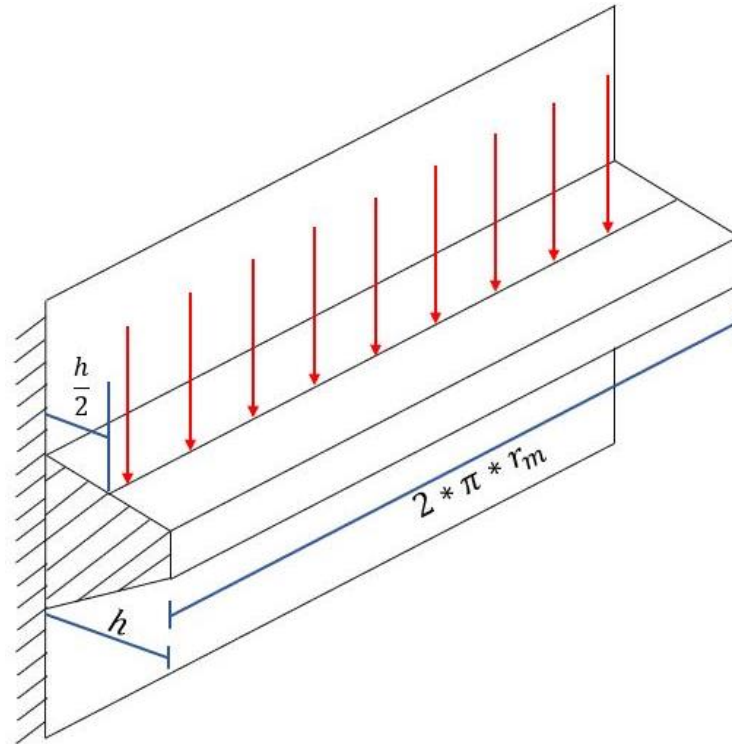
Si se presenta el caso en el que el flujo a contrapresión llega a ser tan grande que se iguala al valor del flujo por arrastre, se produciría un atascamiento del material dentro del barril debido a que se alcanza una presión muy alta y el material deja de moverse.

Al igualar las expresiones de los dos flujos y despejar el valor de P, se conoce entonces la presión máxima que puede presentarse en el proceso y que genera que este se detenga, pues al alcanzar este valor, el flujo real dentro del tornillo se hace igual a cero.

3.2.2.4 Tensiones y esfuerzos en la hélice del tornillo³⁹. Para este análisis, se considera la hélice como una viga en voladizo, a la cual se le aplica una carga (F) que está distribuida uniformemente a lo largo de su longitud. En el caso del tornillo sin fin, la carga F es la fuerza de compresión que se aplica a las semillas. El punto donde actúa esta fuerza es a un medio de la altura de la hélice, como se muestra en la figura 20.

³⁹ Beer F. P. "Mecánica de Materiales". México: Editorial McGraw Hill. Quinta edición. 2009.

Figura 20. Carga en la hélice del tornillo.



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta un esfuerzo de flexión en el perfil de la hélice, generando un estado de tensiones normales, las cuales serán máximas en la base, y se calculan mediante la expresión 9.

$$\sigma = \frac{F * \frac{h}{2} * \frac{b}{2}}{\frac{1}{12} * 2 * \pi * r_m * b^3} \quad (9)$$

Donde:

- σ : Tensión normal en Pa.
- F: Fuerza de compresión en N.
- h: Altura de la hélice en m.
- b: Ancho de la hélice en m.

- r_m : Radio del tornillo más $h/2$, en m.

Se presenta también un esfuerzo transversal a la sección de la hélice, el cual genera una tensión cortante, como se establece en la expresión 10.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{2 * \pi * r_m * b} \quad (10)$$

Donde:

- τ : Tensión cortante en Pa.
- A : Sección transversal de la hélice en la base.

Teniendo las tensiones normales y cortantes, se puede calcular la tensión de Von Mises, dada por la expresión 11.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \quad (11)$$

Finalmente, para comprobar la seguridad en el diseño de la hélice, se compara el valor de la tensión de Von Mises con el límite elástico del material del que está fabricada la hélice, mediante la relación mostrada en la expresión 12.

$$FS_1 = \frac{S_y}{\sigma_{VM}} \quad (12)$$

Donde:

- FS : Factor de seguridad.
- S_y : Límite elástico del material en Pa.

3.2.2.5 Tensiones y esfuerzos en el núcleo del tornillo. Se deben analizar las tensiones originadas en el núcleo del tornillo debido al momento torsor que se aplica para comprimir las semillas. La tensión de torsión se determina mediante la expresión 13.

$$\sigma_T = \frac{16 * T}{\pi * D_{ini}^3} \quad (13)$$

Donde:

- T: Torque aplicado en N*m.
- Dini: Diámetro inicial del tornillo (crítico).

Por otro lado, la fuerza requerida para comprimir las semillas genera una tensión normal de compresión en el núcleo del tornillo, la cual se obtiene mediante la expresión 14.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi * \frac{D_{ini}^2}{4}} \quad (14)$$

Donde:

- F: Fuerza de compresión en N.
- A: Área transversal inicial del eje del tornillo.

Debido a la presencia de ambas tensiones, se genera una tensión combinada de trabajo, como se muestra en la expresión 15.

$$\sigma_{co} = \frac{3}{8} * \sigma + \frac{5}{8} * \sqrt{\sigma^2 + 4 * \sigma_T^2} \quad (15)$$

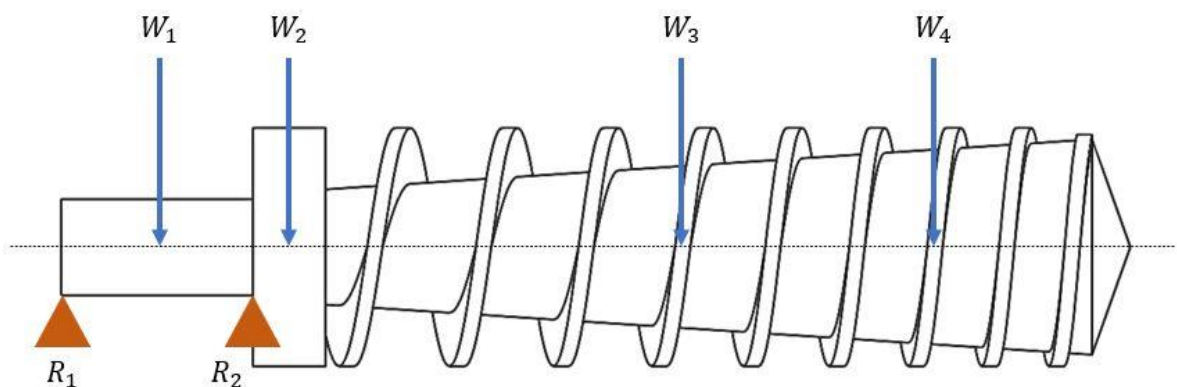
Como se mencionó anteriormente, se realiza una comprobación de la seguridad del diseño, relacionando el límite elástico del material con el que está fabricado el tornillo con la tensión combinada obtenida, mediante la relación de la expresión 16.

$$FS_2 = \frac{S_y}{\sigma_{co}} \quad (16)$$

3.2.2.6 Fuerza cortante y momento flector⁴⁰. Las fuerzas cortantes son aquellas que se generan en el interior del material para equilibrar las cargas aplicadas sobre el elemento. Estas fuerzas dan como resultado un momento flector, el cual es una distribución de tensiones en la sección transversal del elemento.

El trazado de los diagramas permite determinar el valor del momento flector máximo al que se encuentra sometido el elemento y el punto en el que este se genera. Para el caso del tornillo, se realiza este análisis con el fin de verificar que el eje no fallará por flexión. Las cargas a las que se encuentra sometido el tornillo se muestran en la figura 21.

Figura 21. Diagrama de cargas y reacciones.



Fuente: Autores.

⁴⁰ Hibbeler R. C. "Mecánica de Materiales". México: Editorial Pearson. Sexta edición. 2006.

Una vez obtenido el momento flector máximo, se calcula la tensión de flexión, teniendo en cuenta las dimensiones de la sección crítica del eje, como se establece en la expresión 17.

$$\sigma_F = \frac{32 * M_{max}}{\pi * D_{cr}^3} \quad (17)$$

Se debe considerar también que el tornillo se encuentra sometido a una tensión de torsión, por lo tanto, se debe volver a calcular la tensión combinada de Von Mises (expresión 11) y hacer la respectiva relación de factor de seguridad (expresión 12).

3.2.2.7 Análisis de fatiga⁴¹. Un material sometido a cargas variables puede presentar una falla por fatiga después de cierto número de ciclos de operación. Un ejemplo de un elemento que puede fallar por fatiga es un eje que gira y está sometido a flexión.

Mediante ensayos de laboratorio en probetas, se han obtenido valores de resistencia a la fatiga teóricos para diferentes materiales, pero en el caso de un elemento de máquina, se presentan factores que modifican su resistencia a la fatiga, los cuales se definen así:

- Estado superficial (K_a).
- Tamaño de la pieza (K_b).
- Variabilidad en los procesos de manufactura (K_c).
- Temperatura (K_d).
- Efectos varios (K_e).
- Tipo de carga (K_{car}).
- Concentradores de esfuerzos.

⁴¹ Vanegas Useche L. V. "Diseño de elementos de máquinas". Pereira, Colombia: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. Primera edición. 2018.

Los efectos de estos factores se sintetizan en el término K, mostrado en la expresión 18.

$$K = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_{car} \quad (18)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se calcula una resistencia a la fatiga corregida, mediante la expresión 19.

$$S_n = K * S_e \quad (19)$$

Donde:

- Sn: Resistencia a la fatiga corregida.
- K: Factor de corrección.
- Se: Límite de fatiga del material del elemento.

Seguido de esto, se analizan los esfuerzos medios y alternantes. Para el caso estudiado, se definen como se muestra en las expresiones 20, 21 y 22.

- Esfuerzo cortante:

$$S_a = 0 \quad S_m = \frac{16 * T}{\pi * D_{cr}^3} \quad (20)$$

- Esfuerzo normal:

$$S_a = 0 \quad S_m = \frac{4 * F}{\pi * D_{cr}^2} \quad (21)$$

- Esfuerzo de flexión:

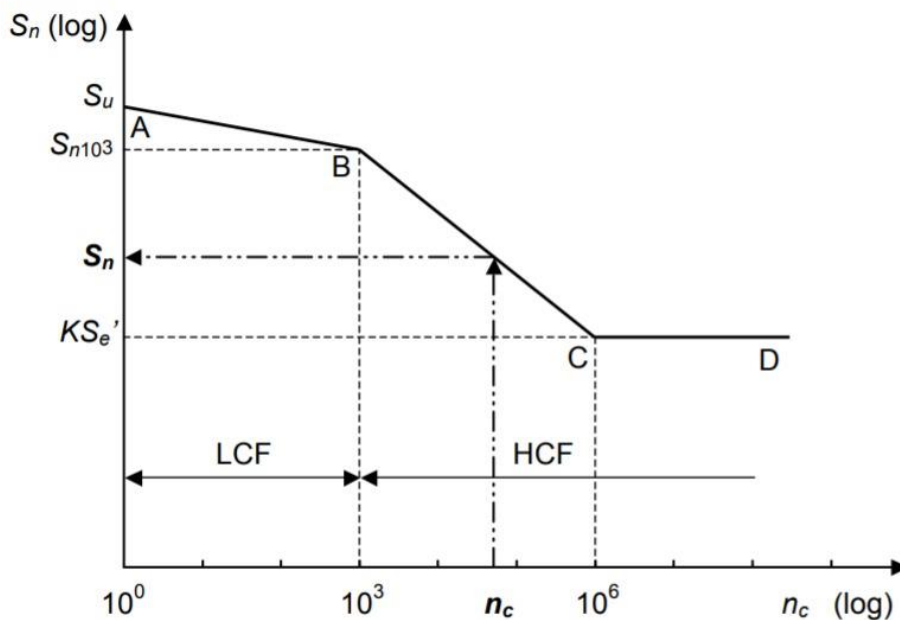
$$S_a = \frac{32 * M}{\pi * D_{cr}^3} \quad S_m = 0 \quad (22)$$

Finalmente, con base en el método de Von Mises, se aplica la ecuación de diseño de Soderberg para hallar el factor de seguridad del elemento, como se establece en la expresión 23.

$$\frac{1}{N} = \frac{\sqrt{\sigma_m^2 + 3 * \tau_m^2}}{S_y} + \frac{\sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2}}{S_n} \quad (23)$$

Por otra parte, el número de ciclos de operación de un elemento se obtiene mediante un análisis de fatiga corregida para vida finita e infinita. La figura 19 muestra el diagrama típico de Resistencia a la fatiga corregida vs. Número de ciclos (S_n vs n_c) para los aceros. El diagrama está dividido en tres secciones. La primera está en el rango $10^0 < n_c < 10^3$ donde se ubican los elementos diseñados para bajo ciclaje (LCF). La siguiente sección está en el rango de $10^3 < n_c < 10^6$ para elementos diseñados de alto ciclaje (HCF). A partir de $n_c=10^6$ ciclos se considera que el elemento tendrá vida infinita.

Figura 22. Diagrama S_n vs n_c para aceros.



Fuente: Vanegas Useche L. V. "Diseño de elementos de máquinas". 2018.

Para calcular el número de ciclos de un elemento, se realiza la siguiente relación, con base en los puntos conocidos del diagrama explicado anteriormente, como se establece en la expresión 24.

$$n_c = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (24)$$

El esfuerzo reversible considerado en la expresión es generado por el torque aplicado al elemento. Los coeficientes a y b se obtienen de las expresiones 25 y 26.

$$a = \frac{(f * S_u)^2}{S_n} \quad (25)$$

$$b = -\frac{1}{3} * \log\left(\frac{f * S_u}{S_n}\right) \quad (26)$$

Donde:

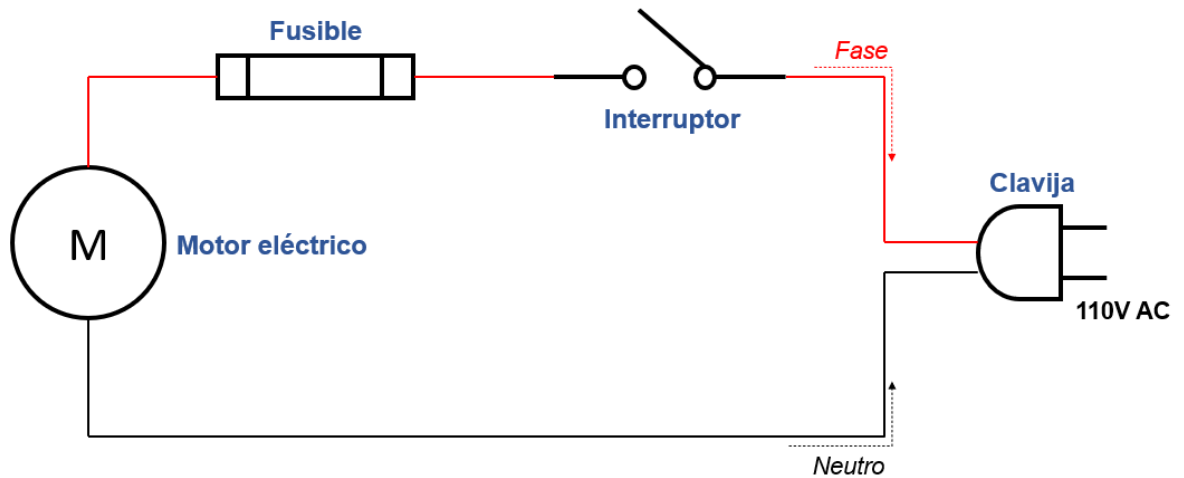
f : factor de fracción de resistencia a la fatiga.

S_u : Esfuerzo último del material.

3.2.3 Módulo eléctrico. Con el fin de que el manejo de la prensa sea fácil para el usuario, se planteó un diseño que cuenta con accionamiento eléctrico. Esto se logra mediante la adaptación de un motorreductor eléctrico, el cual va a proporcionar el torque requerido para la operación de prensado. El módulo eléctrico de la máquina se representa en la figura 23 y debe tener las siguientes especificaciones:

- Motorreductor monofásico con conexión a 110V.
- Interruptor para encendido y apagado.
- Cable y clavija de conexión a tomacorriente.
- Fusible de protección.

Figura 23. Módulo eléctrico de la prensa.



Fuente: Autores.

Para determinar la especificación del fusible, se debe calcular la corriente que circula por este mediante la siguiente expresión:

$$Pot = V * I \quad (27)$$

Donde:

- Pot: Potencia del motorreductor en Watts.
- V: Voltaje Voltios.
- I: Corriente en Amperios.

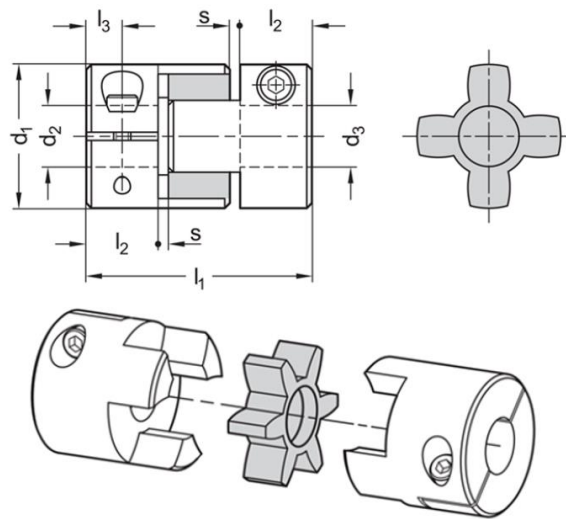
Teniendo en cuenta que las tensiones de voltaje fluctúan en un +/-10% de su valor, entonces se establece un rango del 20% más para la referencia del fusible.

$$\text{Si } V = 110 \text{ V} \rightarrow \text{Rango (99-121 V)} \rightarrow \text{Fusible de } 1.2 * I$$

La selección del calibre del cable, también se realiza obteniendo el valor de la corriente y estableciendo su espesor mediante tablas estándar.

3.2.4 Módulo de transmisión. La transmisión de potencia ocurre principalmente en el motorreductor, el cual está diseñado para entregar el torque de operación a la velocidad requerida. La conexión del motorreductor al eje del tornillo sin fin se realiza mediante un acople de garras de elastómero, el cual proporciona una unión fija entre ambos ejes con una alta precisión. La figura 24 muestra la geometría típica de un acople de este tipo.

Figura 24. Acople de garras de elastómero.



Fuente: Acoplamiento de garras de elastómero sin chavetero GN 2240. ELESA SpA.

Según muestra la figura anterior, las dimensiones d_1 y d_2 corresponderían al diámetro del eje del motorreductor y al diámetro del eje del tornillo sin fin, respectivamente.

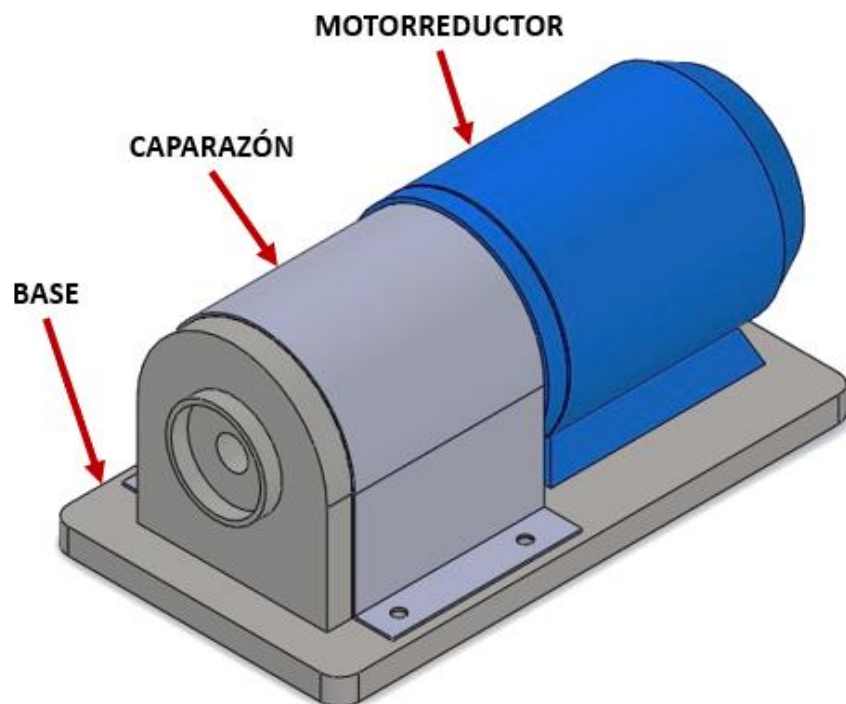
3.2.5 Módulo de bastidor. Se determinó que las piezas diseñadas deben ensamblarse e incorporar cada uno de los módulos en un bastidor para conformar toda la máquina. En primer lugar, se planteó una base plana sobre la cual se ubica y se fija el motorreductor.

Como se mencionó anteriormente, el eje de este componente se une al eje del tornillo mediante un acople rígido. Debido a que estas piezas estarán en movimiento, se propuso cubrir esta sección con una lámina en forma de caparazón, la cual se fija a la base mediante pernos, con el fin de que se pueda remover al momento de armar y desarmar toda la prensa.

También se consideró que la base tenga un apoyo fijo vertical sobre el cual se sostenga el eje del tornillo y se acople la camisa para que esta pieza quede fija. En este apoyo se agregó un rodamiento para permitir la rotación del tornillo.

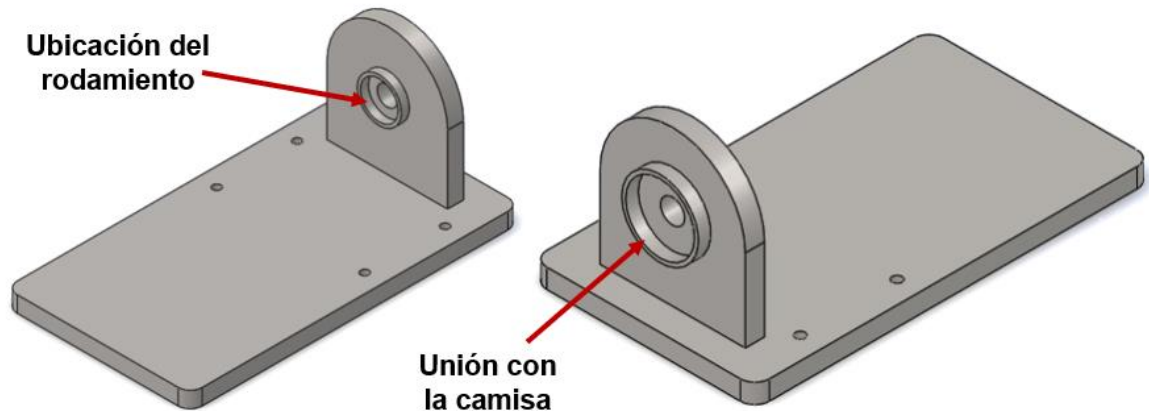
Finalmente, la tapa se une a la camisa mediante roscado y la tolva de alimentación se encaja en la entrada de la prensa. El montaje descrito se explica en las figuras 25 y 26.

Figura 25. Bastidor de la prensa.



Fuente: Autores.

Figura 26. Acople de piezas al bastidor.



Fuente: Autores.

3.3 MODELADO Y ANÁLISIS NUMÉRICO

En esta etapa del proyecto, se aplicó un proceso iterativo para definir las dimensiones finales de las piezas que comprenden el mecanismo de prensado. Esto se llevó a cabo complementando los cálculos realizados con un análisis estático mediante el software CAD SolidWorks⁴².

3.3.1 Proceso iterativo. El proceso iterativo implementado consistió en fusionar y parametrizar las ecuaciones aplicadas para analizar la influencia de las variables de entrada en las variables de salida. Este proceso se realizó asignando diferentes valores a las dimensiones del mecanismo de prensado (camisa, tapa y tornillo) y a otros parámetros de diseño, con el fin de obtener la mejor combinación de estas variables para cumplir con los requerimientos establecidos. Así mismo, se analizaron diferentes configuraciones de las piezas mediante SolidWorks, con el fin de verificar que estas no fallarían debido a las cargas aplicadas. En la tabla 2 se definen los principales requerimientos que se plantearon.

⁴² Dassault Systèmes. SOLIDWORKS. Waltham, United States: Dassault Systèmes. 2020.

Tabla 2. Especificación de los requerimientos.

Requerimiento	Especificación
Capacidad de procesamiento	Hasta 10 kilogramos por hora
Tamaño equivalente de la semilla	Hasta 25 milímetros
Accionamiento eléctrico	Bajo consumo de potencia
Dimensiones de la máquina	Adecuadas para uso doméstico
Material del mecanismo de prensado	Acero inoxidable

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantearon las variables de entrada y de salida para realizar el proceso iterativo, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Variables del diseño.

Variables de entrada	Variables de salida
Diámetro de la camisa	Torque de operación
Altura inicial de hélice	Potencia de operación
Altura final de hélice	Presión de operación
Ancho de hélice	Flujo másico procesado
Paso inicial del tornillo	Factor de seguridad mínimo
Paso final del tornillo	Máximo esfuerzo
Longitud del tornillo	Máxima deformación
Velocidad de rotación	Número de ciclos de vida

Fuente: Autores.

De las variables estudiadas, se pudo analizar que influían en la operación de prensado de la siguiente manera:

- Un diámetro de camisa mayor permite procesar mayor cantidad de semillas, pero implica un aumento considerable del torque requerido y, por lo tanto, mayor consumo de potencia.

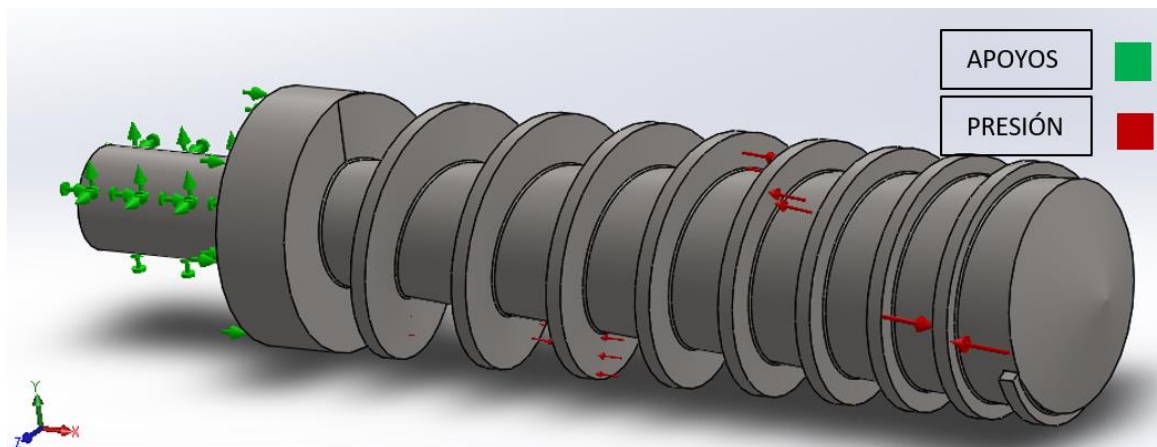
- La altura inicial de la hélice tiene relación directa con el diámetro inicial del tornillo, si esta altura es muy grande, implica un diámetro de eje muy delgado y lo hace más crítico para la operación. Por otro lado, si esta altura es muy reducida, se tiene muy poco espacio para que, entre el material al mecanismo, dificultando el llenado y disminuyendo la cantidad de flujo a procesar.
- Asignar un valor muy elevado a la altura final de la hélice provoca un aumento considerable en la potencia. Por otro lado, se evidenció que esto también implica que la presión máxima a la que puede llegar el sistema sea muy baja, lo cual aumenta las probabilidades de un estancamiento de la máquina.
- El ancho de la hélice influye en la capacidad de procesamiento de la prensa, debido a que, si es muy ancha, disminuye el volumen disponible para el material. Por otro lado, si es muy delgada, esta sección se vuelve muy crítica al someterla a la presión de operación.
- El paso inicial del tornillo se analizó teniendo en cuenta que este debía permitir la entrada de las semillas al tornillo, por lo tanto, no debía ser muy estrecho.
- El paso final del tornillo es de las variables más críticas. El análisis se inició dejando su valor igual al paso inicial, esto daba como resultado un flujo másico procesado bastante alto, al igual que el torque y la potencia. Al disminuir el paso, el flujo másico disminuía de manera considerable, mientras que el torque y la potencia disminuían muy poco.
- Al aumentar la longitud del tornillo, disminuía la potencia requerida y aumentaba el flujo másico, pero para lograr esto, se debía aumentar la longitud de manera considerable, lo cual implicaría una pieza demasiado larga y pesada.
- Al aumentar la velocidad de rotación del tornillo, se obtenía un mayor flujo másico procesado, pero a su vez aumentaba la potencia de operación, implicando mayor consumo de energía.

En el anexo F se registraron algunas de las tablas que hacen referencia al proceso iterativo, donde se mostró la variación de los diferentes parámetros.

3.3.2 Modelado del mecanismo de prensado. En esta sección, se realizó inicialmente el modelado de las piezas principales del mecanismo de prensado, las cuales son: tornillo, camisa y tapa. Después del modelado, se utilizó la herramienta de simulación para realizar un análisis estático en cada una de las piezas, teniendo en cuenta las cargas externas que actúan sobre estas.

Para el caso del tornillo, se aplicó la presión de operación, la cual se obtuvo del proceso iterativo. Así mismo, se definieron los apoyos en los que va soportado el eje como se muestra en la figura 27. Se llegó a esta configuración luego de hacer un análisis del comportamiento del material dentro de la prensa, se tuvo en cuenta que la presión es mínima al extremo inicial y máxima al extremo final del tornillo, por lo cual se configuró variable, es decir, esta va aumentando a medida que avanza el material.

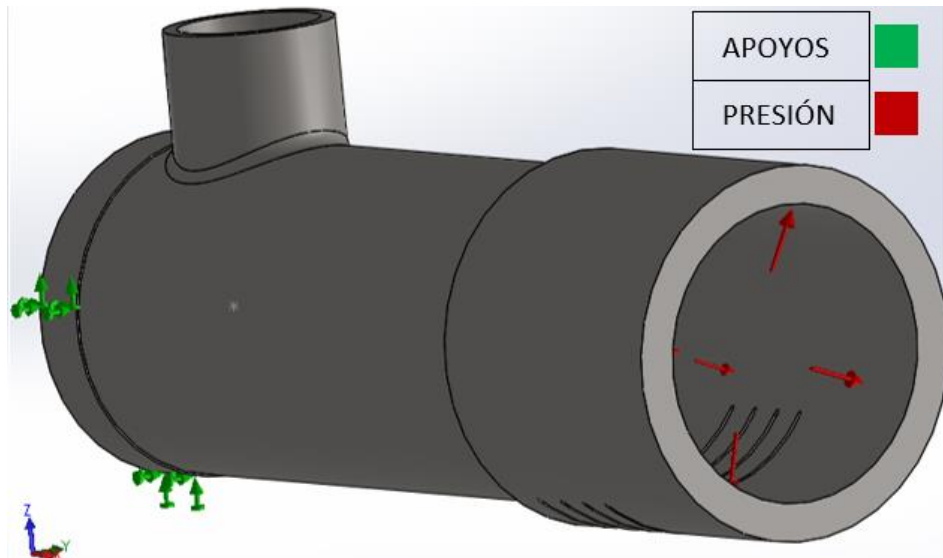
Figura 27. Cargas y apoyos del tornillo sin fin.



Fuente: Autores.

De igual manera, se hizo el análisis en la tapa y la camisa, ya que estas también están expuestas a la presión de trabajo. Para la camisa se aplicó la presión en su interior, de la misma manera que en las hélices del tornillo, haciendo que esta aumente a medida que avanza el material y se asignó un apoyo fijo en el extremo inicial, como se muestra en la figura 28.

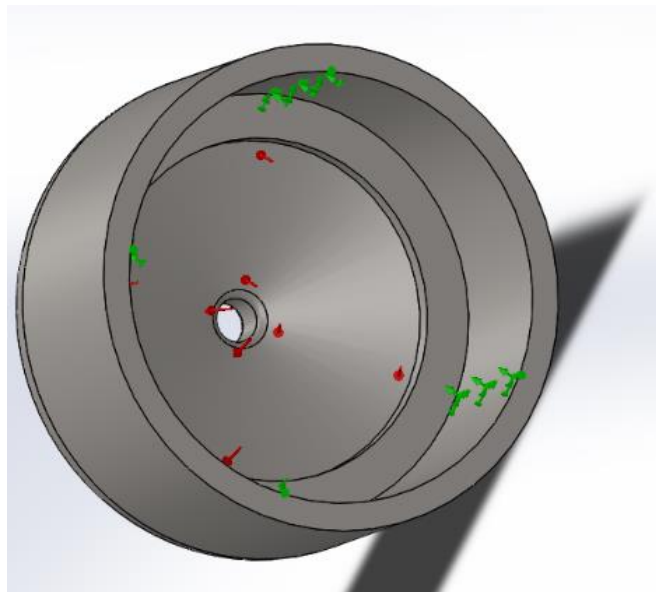
Figura 28. Cargas y apoyos de la camisa.



Fuente: Autores.

Para la tapa se definió una presión constante, debido a que este elemento soporta la presión máxima del sistema, se ubicó entonces en sus caras interiores y se agregó un contacto fijo donde la tapa se une a la camisa, mostrados en la figura 29.

Figura 29. Cargas y apoyos de la tapa.

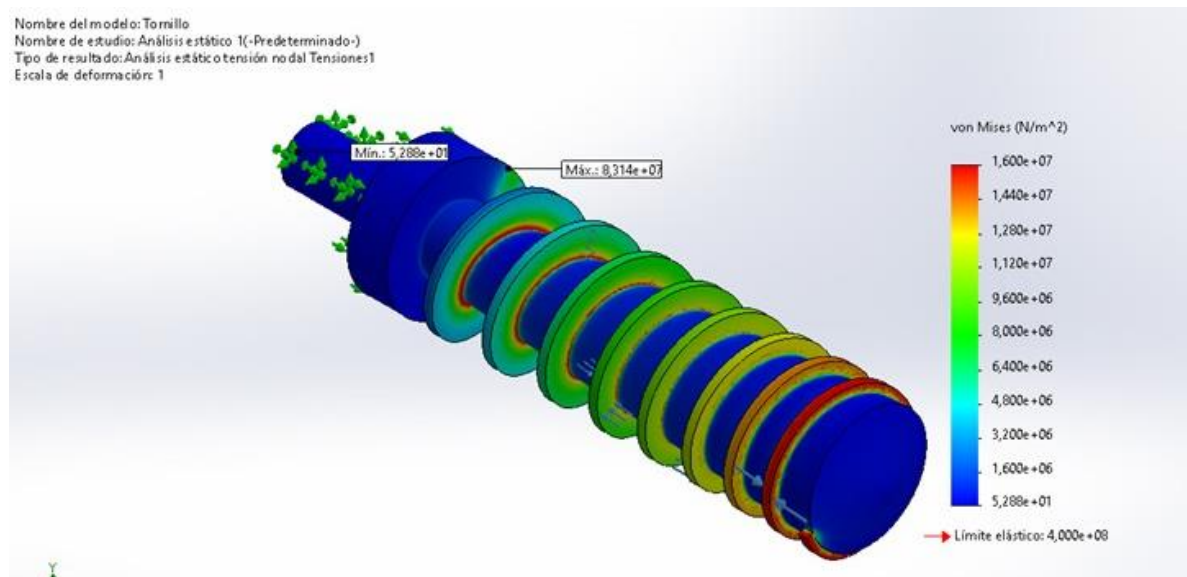


Fuente: Autores.

La herramienta de SolidWorks realiza un mallado al elemento e implementa un análisis por elementos finitos que arroja como resultado los valores de esfuerzo, deformación y factor de seguridad de la pieza. Finalmente, la retroalimentación entre el proceso iterativo y el análisis estático en SolidWorks permitió obtener las dimensiones adecuadas para el mecanismo de prensado, considerando los requerimientos planteados en el diseño. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

En la figura 30 se puede evidenciar que el esfuerzo máximo se presenta donde comienza la hélice, donde el diámetro es el mínimo y la altura de la hélice es la máxima. También se puede ver que el esfuerzo aumenta sobre las hélices a medida que la presión en el tornillo aumenta.

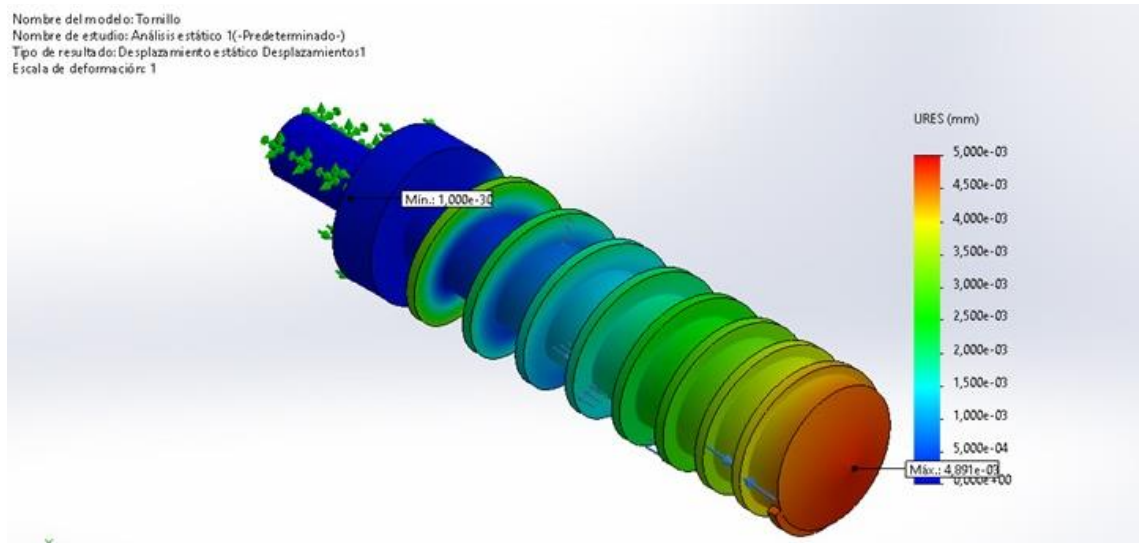
Figura 30. Estado de tensiones del tornillo sin fin.



Fuente: Autores.

En la figura 31 se puede ver que la deformación máxima ocurre en el extremo final del tornillo, donde se aplica el valor más elevado de presión, el desplazamiento del material aumenta a lo largo de la pieza.

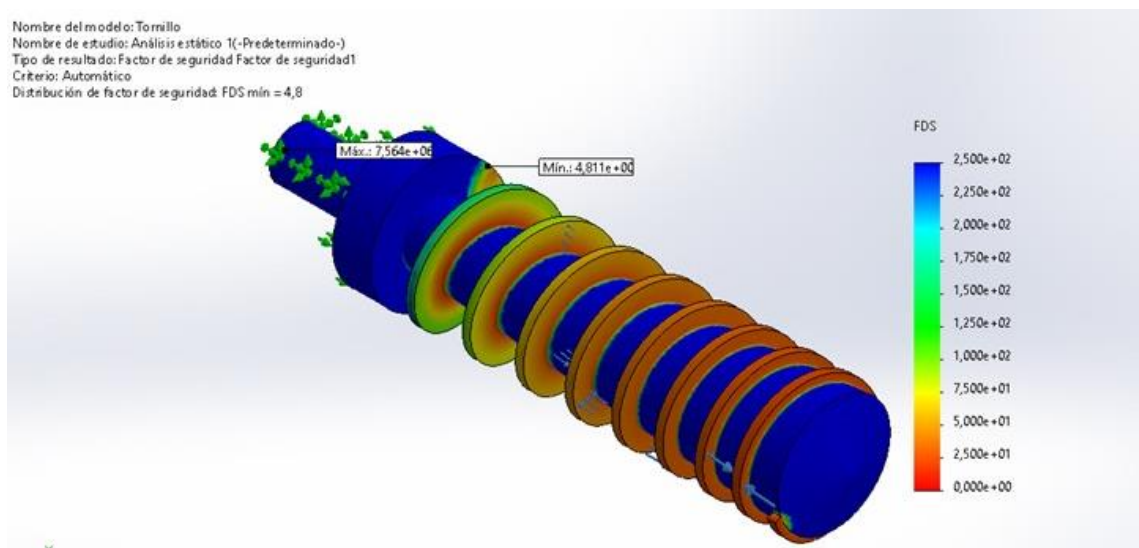
Figura 31. Estado de deformaciones del tornillo sin fin.



Fuente: Autores.

La figura 32 indica que la parte más crítica del tornillo es su hélice, lo cual se debe a que esta soporta la presión del proceso de prensado. El factor de seguridad mínimo se presenta donde inicia la hélice, justo en el mismo lugar donde se genera el esfuerzo máximo.

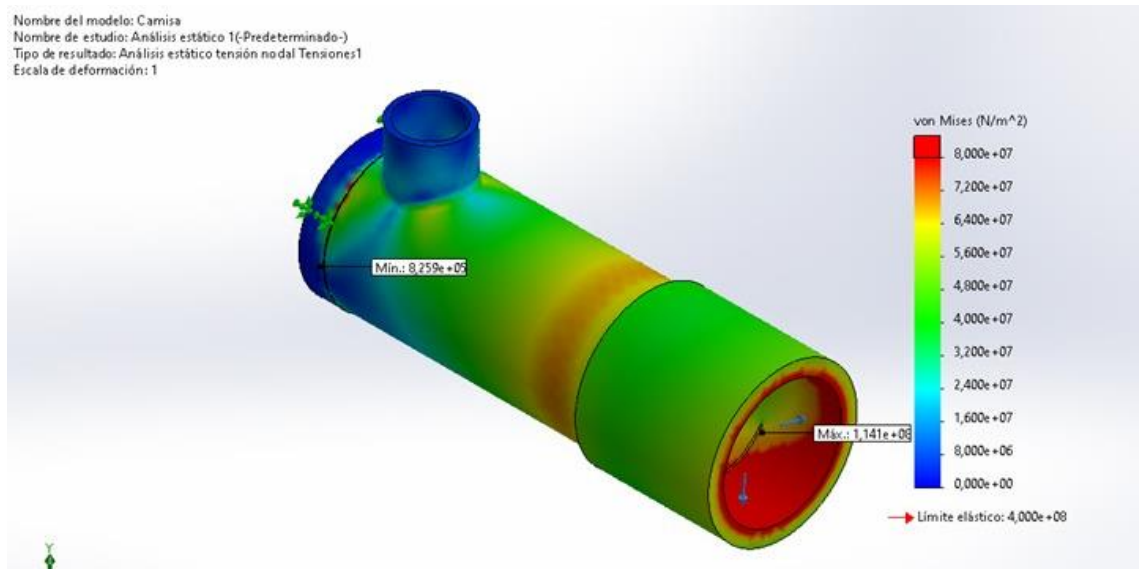
Figura 32. Distribución de factor de seguridad del tornillo sin fin.



Fuente: Autores.

La figura 33 muestra que el esfuerzo máximo se encuentra en una de las ranuras por donde sale el aceite, debido a que esta geometría es un punto de concentración de esfuerzos y es la más cercana al extremo final de la camisa, que es donde se aplica la presión máxima.

Figura 33. Estado de tensiones de la camisa.



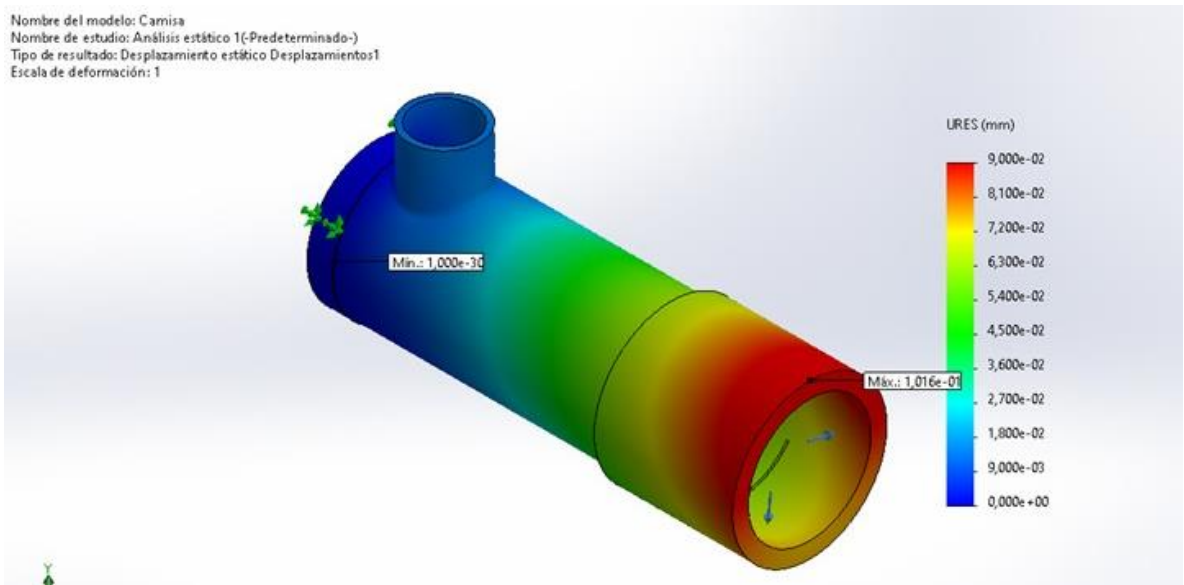
Fuente: Autores.

En la figura 34 se evidencia que la camisa se deforma a medida que aumenta la presión aplicada en el interior de esta. El desplazamiento máximo se da al extremo final de la camisa.

La figura 35 muestra que el factor de seguridad mínimo se presenta en el mismo punto en donde se ubica el esfuerzo máximo, siendo este el punto más crítico de la camisa.

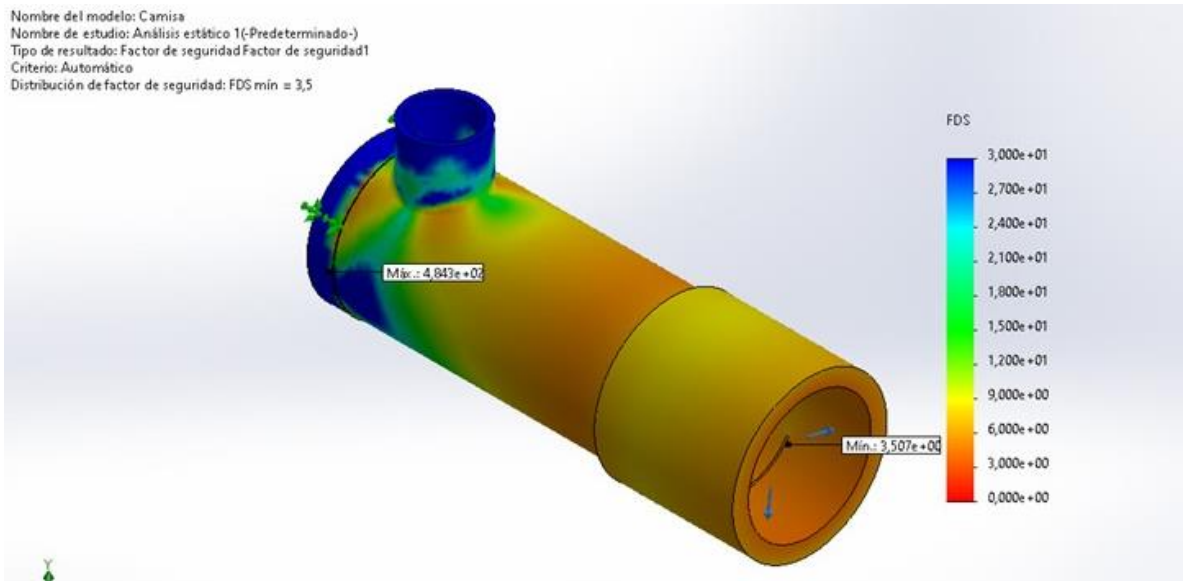
Figura 34. Estado de deformaciones de la camisa.

}



Fuente: Autores.

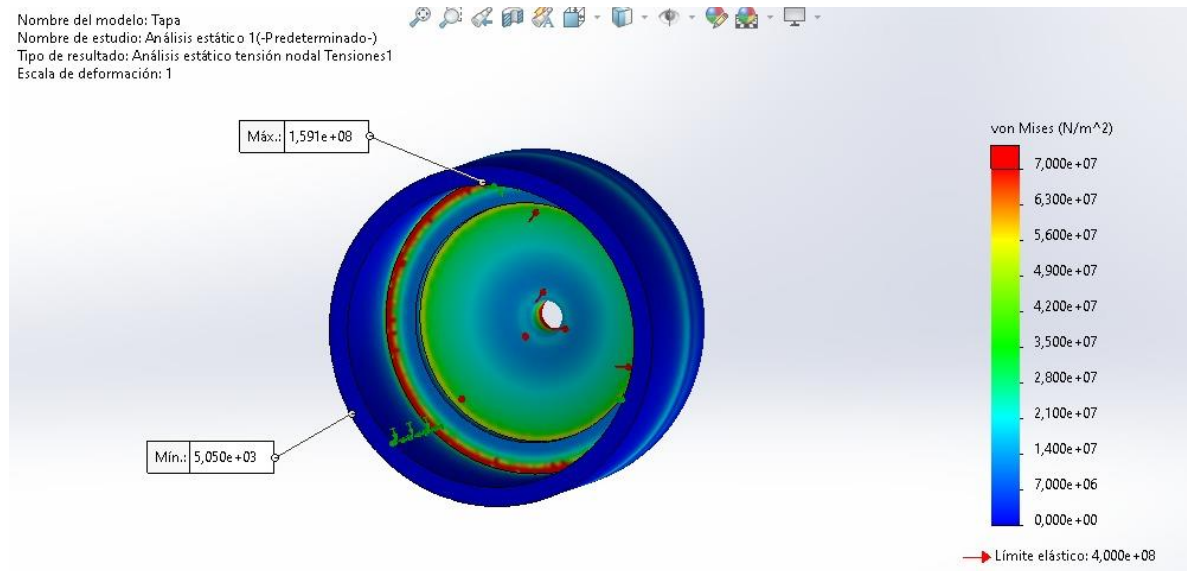
Figura 35. Distribución de factor de seguridad de la camisa.



Fuente: Autores.

La figura 36 muestra que el esfuerzo máximo en la tapa se ubica en una de las aristas de su interior, debido a que allí ocurre un cambio de sección considerable, siendo este un concentrador de esfuerzos. Así mismo, otro de los puntos críticos de esta pieza es el orificio por donde debe salir la torta residual de las semillas.

Figura 36. Estado de tensiones de la tapa.

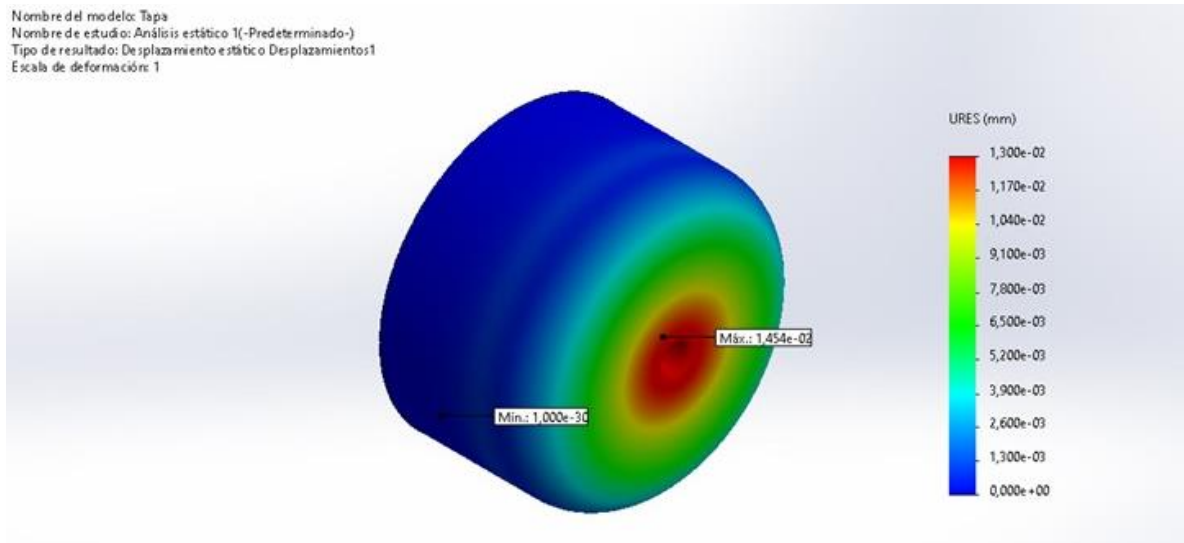


Fuente: Autores.

En la figura 37 se evidencia que la deformación se va a concentrar alrededor del orificio de salida del material. Esto se debe a que en el interior de la tapa se está aplicando una presión muy elevada y el orificio tiene un tamaño reducido, por lo cual se va a generar un esfuerzo mayor en esta área para lograr que el material salga del mecanismo.

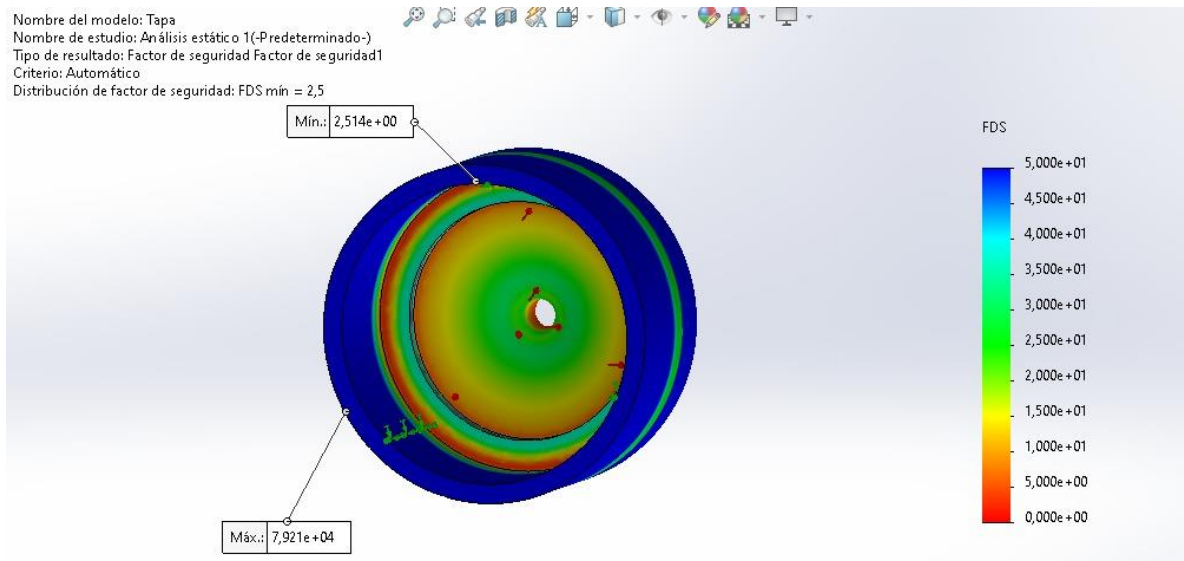
La figura 38 muestra que el factor de seguridad mínimo se encuentra en el mismo lugar donde se ubica el esfuerzo máximo. Se puede decir que este es el punto más crítico de la pieza.

Figura 37. Estado de deformaciones de la tapa.



Fuente: Autores.

Figura 38. Distribución de factor de seguridad de la tapa.



Fuente: Autores.

Al culminar el proceso iterativo y el modelado y análisis estático de las piezas principales de la prensa, se determinaron las dimensiones y parámetros de

operación finales del mecanismo de prensado, los cuales se consignan en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones y parámetros de operación.

Variables de entrada	Valor	Variables de salida	Valor
Diámetro de la camisa	62 mm	Torque de operación	71.76 Nm
Altura inicial de hélice	16 mm	Potencia de operación	375.7 W
Altura final de hélice	3 mm	Presión de operación	18.27 MPa
Ancho de hélice	4 mm	Flujo másico procesado	10.11 Kg/h
Paso inicial del tornillo	30 mm	Factor de seguridad mín.	2.5
Paso final del tornillo	16 mm	Máximo esfuerzo	113 MPa
Longitud del tornillo	200 mm	Máxima deformación	0.1 mm
Velocidad de rotación	50 rpm	Número de ciclos de vida	5.29×10^6

Fuente: Autores.

Haciendo énfasis algunos de los resultados obtenidos, se evidencia que el factor de seguridad mínimo se encuentra en la tapa, mientras que el esfuerzo máximo se obtuvo en los cálculos de análisis de fatiga aplicados al tornillo sin fin. Por otro lado, la deformación máxima del material se da en la camisa. Finalmente, el número de ciclos de vida se calculó para el tornillo sin fin.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó que a la prensa se debe acoplar un motorreductor monofásico de 400 W con conexión a 110 V, con un factor de servicio aproximado de 95%. La especificación del fusible debe ser 4 amperios y el calibre del cable de potencia debe ser de 18 AWG.

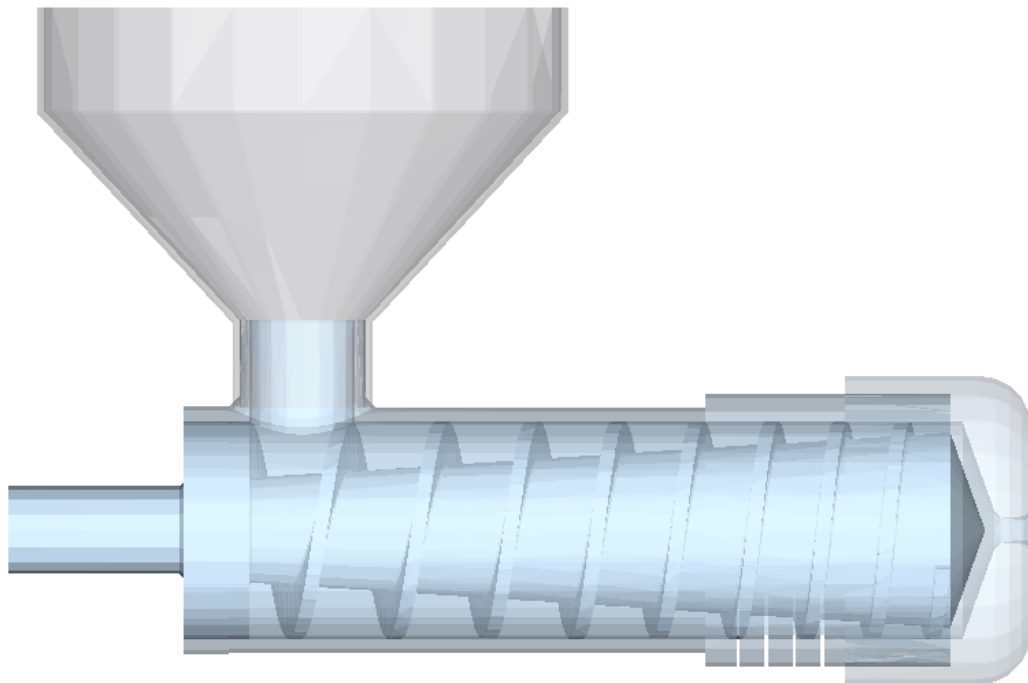
Los cálculos realizados en esta sección se encuentran en el anexo A del presente documento.

3.4 SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO

En esta fase del proyecto se llevó a cabo la validación del funcionamiento de la prensa por medio del software EDEM⁴³, el cual permite simular el comportamiento de las semillas en la maquina y evidenciar el proceso de compresión del material. Esta etapa se desarrolló mediante una serie de pasos que permitieron obtener una simulación aproximada al proceso real de prensado mecánico.

Inicialmente se importó el modelo CAD realizado en SolidWorks, para este análisis solo se importan las piezas que conforman el mecanismo de prensado tal como lo muestra la figura 39.

Figura 39. Mecanismo de prensado en EDEM.

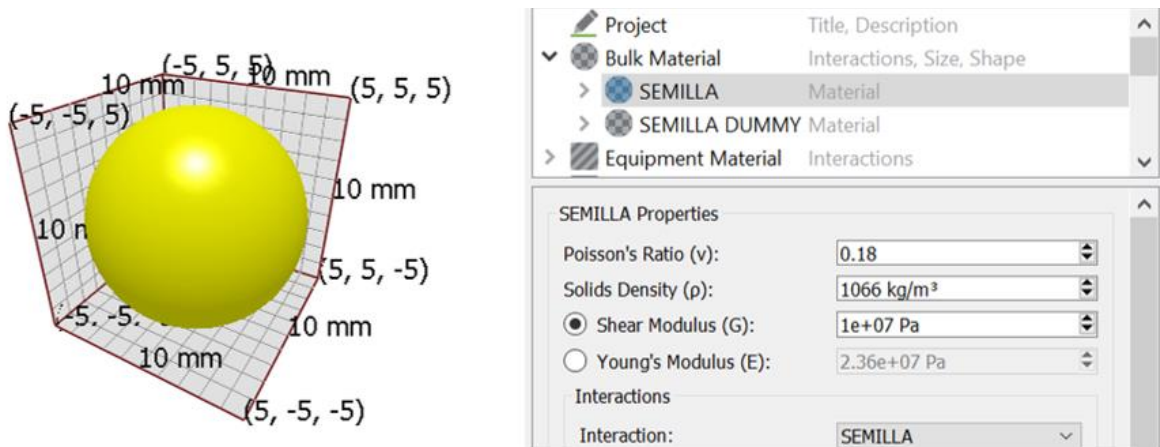


Fuente: Autores.

⁴³ Altair Engineering, Inc. "EDEM: Discrete Element Method (DEM) Software". 2021.

Luego se procedió a crear la semilla estableciendo sus propiedades principales y el tamaño de grano con el que se va a trabajar, para este caso la geometría del grano se aproximó a la de una esfera, evidenciado en la figura 40.

Figura 40. Definición de las semillas en EDEM.



Fuente: Autores.

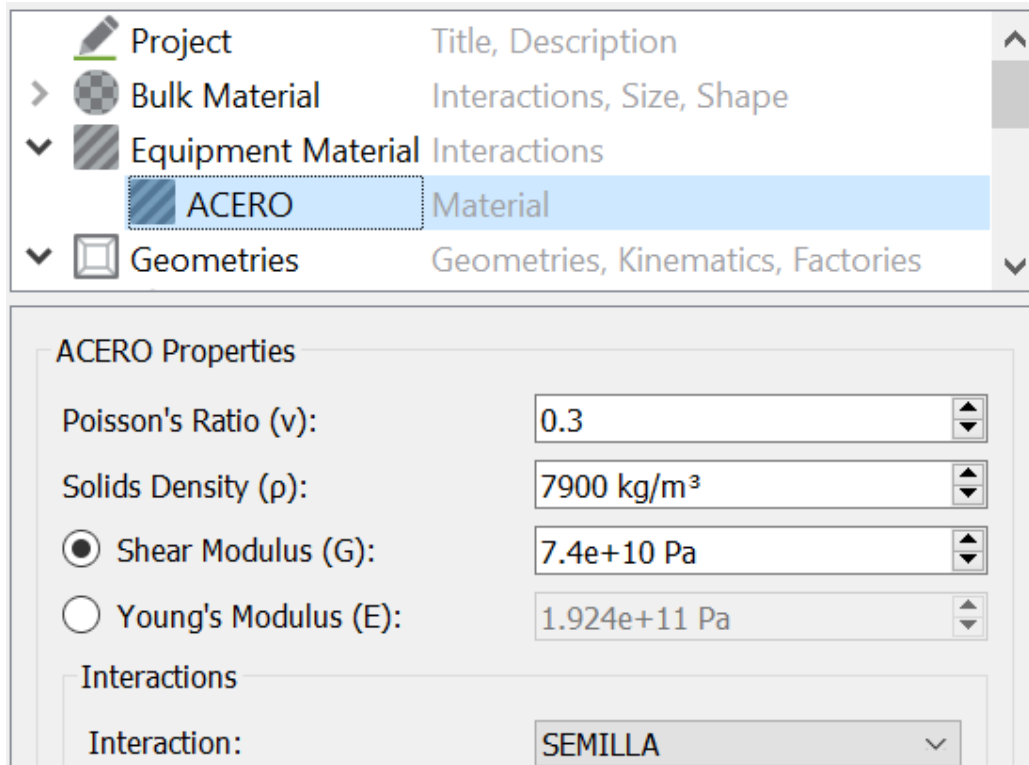
Por otro lado, se asignó el material de cada una de las piezas del modelo y sus respectivas propiedades mecánicas, para este caso se utilizó acero inoxidable AISI 304. En la figura 41 se evidencia este paso.

Después de completar estos pasos se definieron los parámetros de operación de la prensa, los cuales son el torque aplicado y la velocidad de rotación del tornillo (rpm). Para establecer el ingreso del material a la prensa se creó una fábrica de semillas en la cual se definió el flujo masico a procesar y se especificó la velocidad de caída y el efecto de la gravedad sobre estas.

Por otra parte, se agregó al software un plugin de modelo de rotura (breakage model) el cual permite analizar la reducción de tamaño del material como consecuencia de las fuerzas externas a las que está sometido. Para el caso de las

semillas, estas se comprimen dentro del tornillo hasta que se alcanza la presión necesaria para que se rompan y así liberen el aceite vegetal.

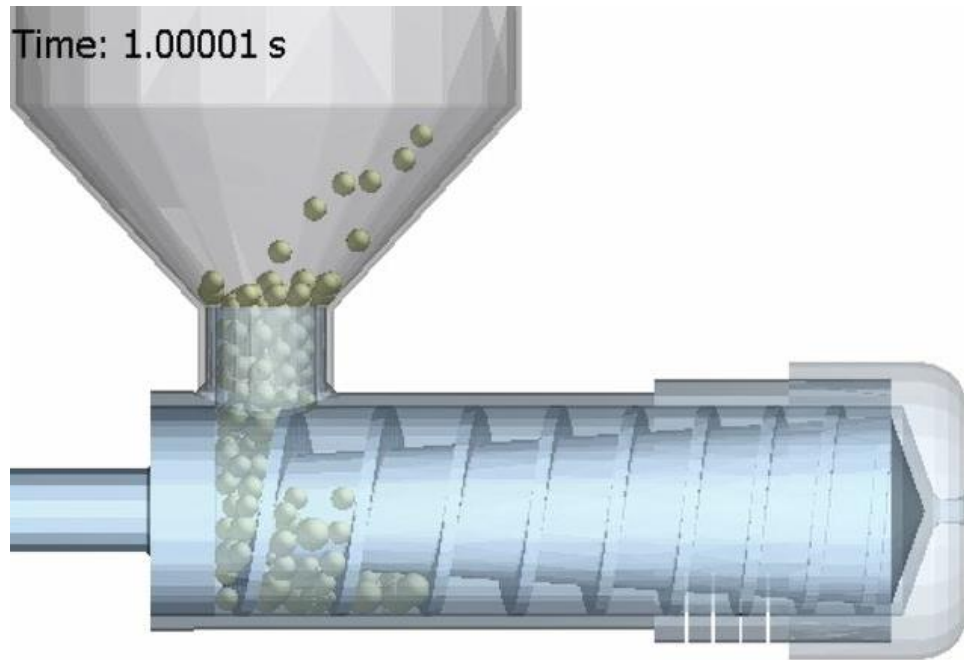
Figura 41. Propiedades del material de la prensa.



Fuente: Autores.

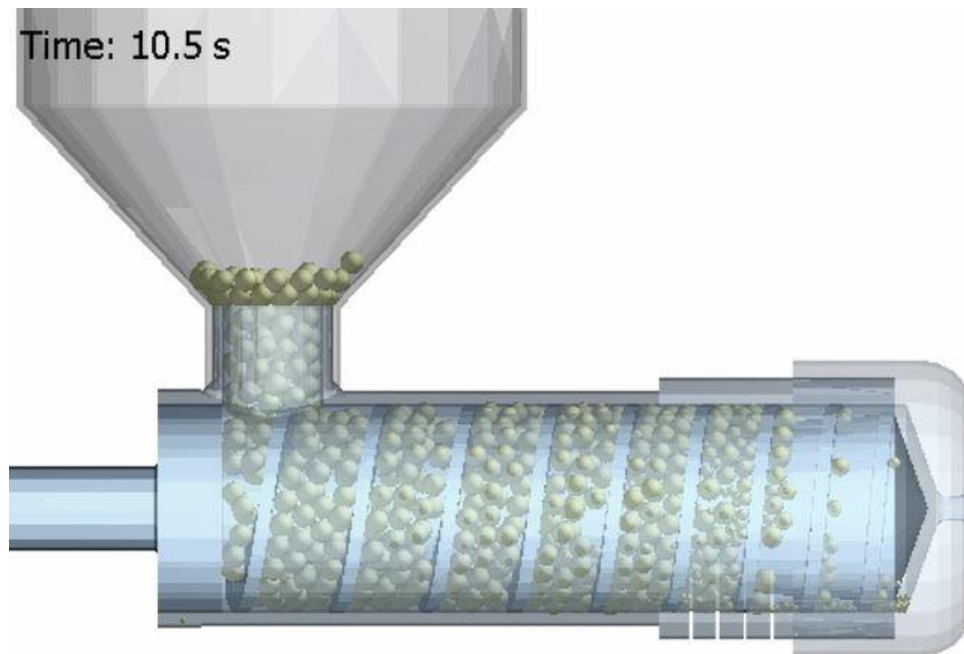
Finalmente, se especificó el tiempo de duración de la simulación y se inició el proceso. Las figuras 42, 43 y 44 muestran instantes de la prensa en operación.

Figura 42. Simulación al segundo 1.



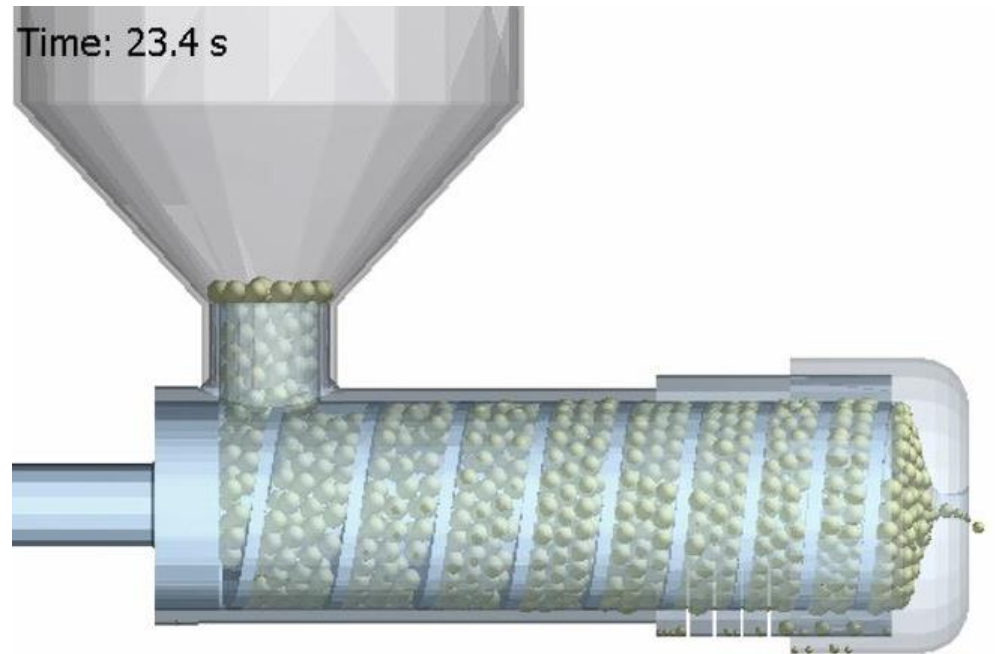
Fuente: Autores.

Figura 43. Simulación al segundo 10.



Fuente: Autores.

Figura 44. Simulación al segundo 23.



Fuente: Autores.

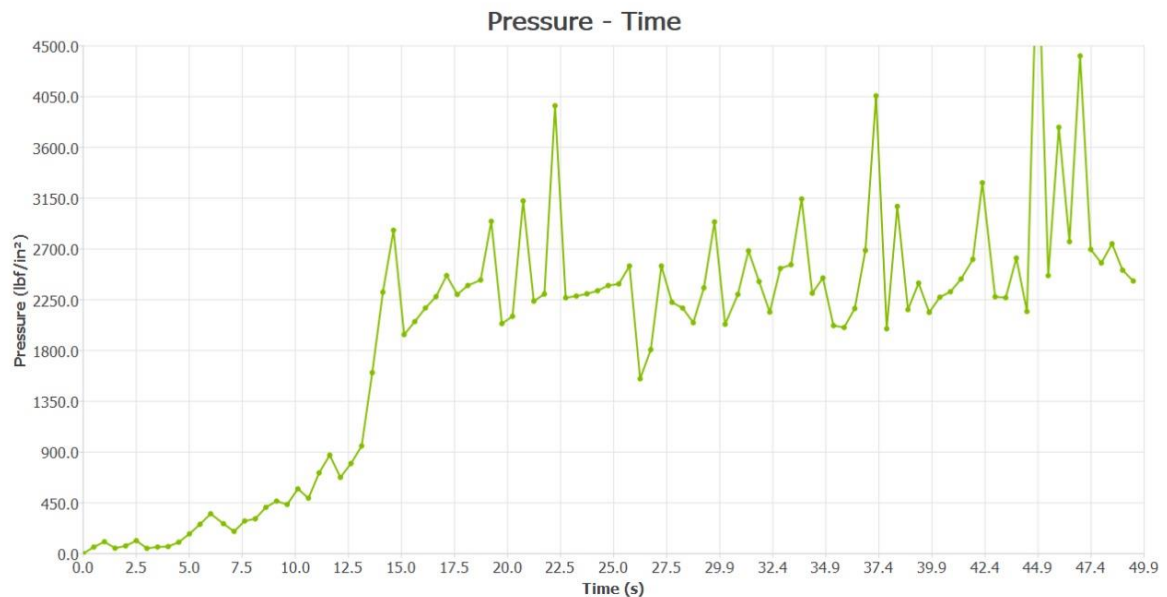
El software genera una gráfica de presión vs tiempo en la cual se evidencia que esta magnitud va aumentando a medida que las semillas ingresan a la prensa y son desplazadas por el tornillo hasta el extremo final, siendo este el punto donde se alcanza la presión máxima del sistema.

Según la gráfica 1, una vez alcanzado el punto en el que se estabiliza el proceso se puede ver que la presión máxima dentro del tornillo tiende a mantenerse en un valor cercano a los 3000 psi. En los cálculos del proceso de diseño se estableció una presión de operación de 2650 psi, por lo cual se pudo validar mediante la simulación que sí se alcanza la presión requerida e incluso se llega a valores más elevados, lo cual es una ventaja para el proceso de prensado.

Por otro lado, esta magnitud no supera la presión máxima calculada, lo que quiere decir que no se alcanza el punto de estancamiento, esto también se ratifica en el

video de la simulación, donde se ve que el proceso es continuo y el material es expulsado de manera adecuada por la tapa. Este video se encuentra en los anexos digitales del presente documento.

Gráfica 1. Presión de operación vs. tiempo - Mecanismo diseñado.



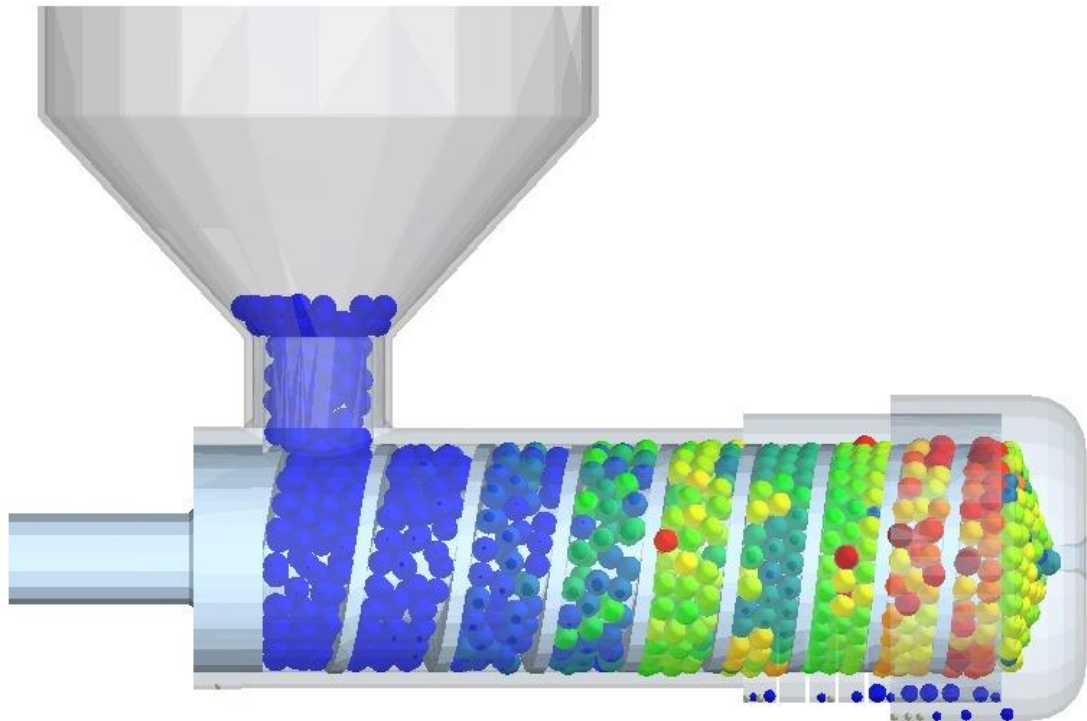
Fuente: Autores.

La figura 45 muestra la distribución de la presión dentro del mecanismo, siendo el color azul el valor mínimo y el color rojo el valor máximo de esta magnitud. Con esto se valida que las semillas se comprimen de manera gradual.

Este software también permitió analizar lo que sucede con el tamaño de las semillas a lo largo del proceso. En la simulación se evidenció que el tamaño de los granos se reduce debido a que la presión los rompe y divide en pedazos más pequeños. Esto sucede de forma gradual ya que el tornillo diseñado tiene paso y diámetro variables los cuales hacen que el volumen disponible se reduzca a medida que las semillas avanzan dentro de la prensa. El diámetro inicial de las semillas se

estableció de 10 mm y mediante el programa se validó que la prensa puede reducir las semillas hasta un diámetro de 1.5 mm.

Figura 45. Distribución de presión dentro del mecanismo.

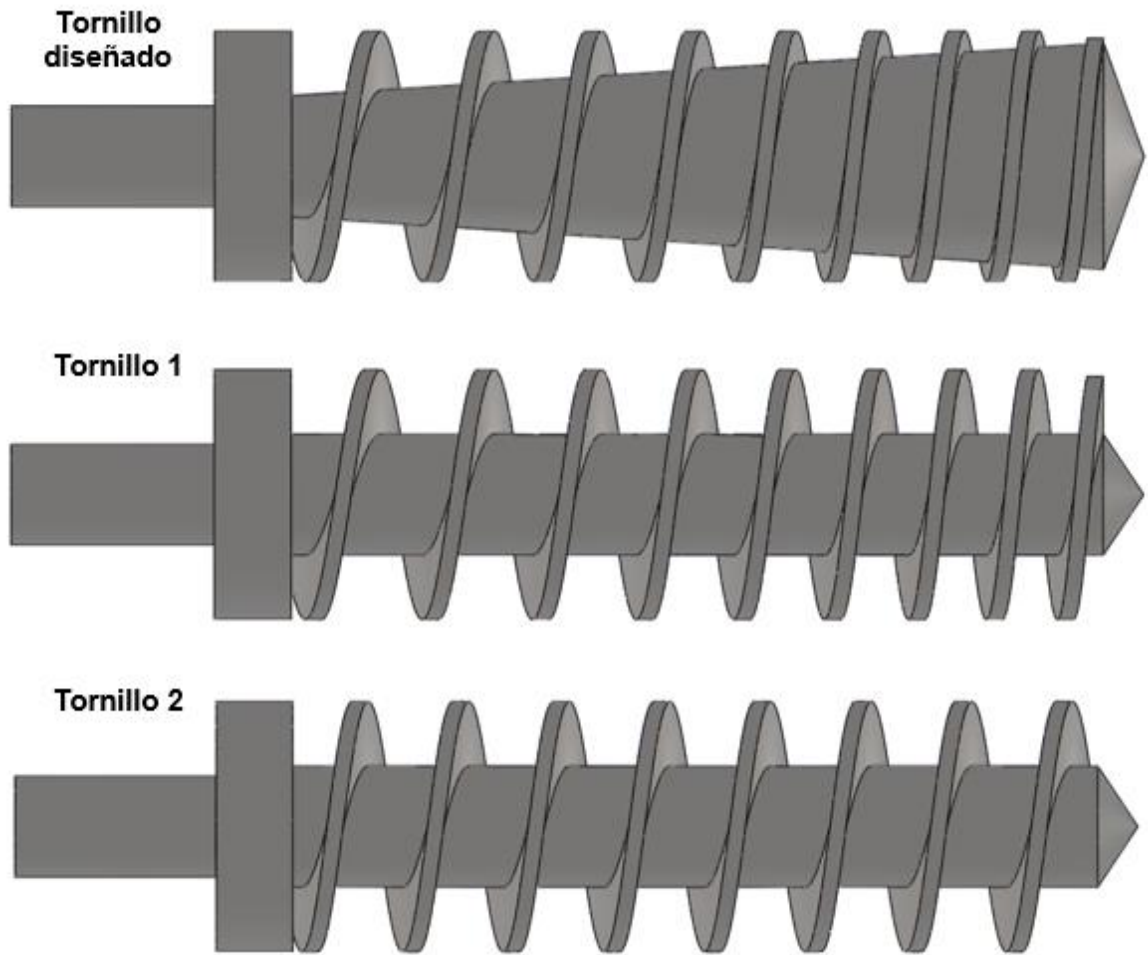


Fuente: Autores.

Para complementar el análisis del diseño planteado, se realizó la simulación de otros dos modelos, los cuales se ejecutaron con la misma configuración planteada anteriormente, pero sólo se modificó la geometría del tornillo.

El primer elemento tiene diámetro constante y paso variable, y el segundo tiene paso y diámetro constantes. Las diferentes geometrías se ilustran en la figura 46.

Figura 46. Geometrías de tornillos simulados.



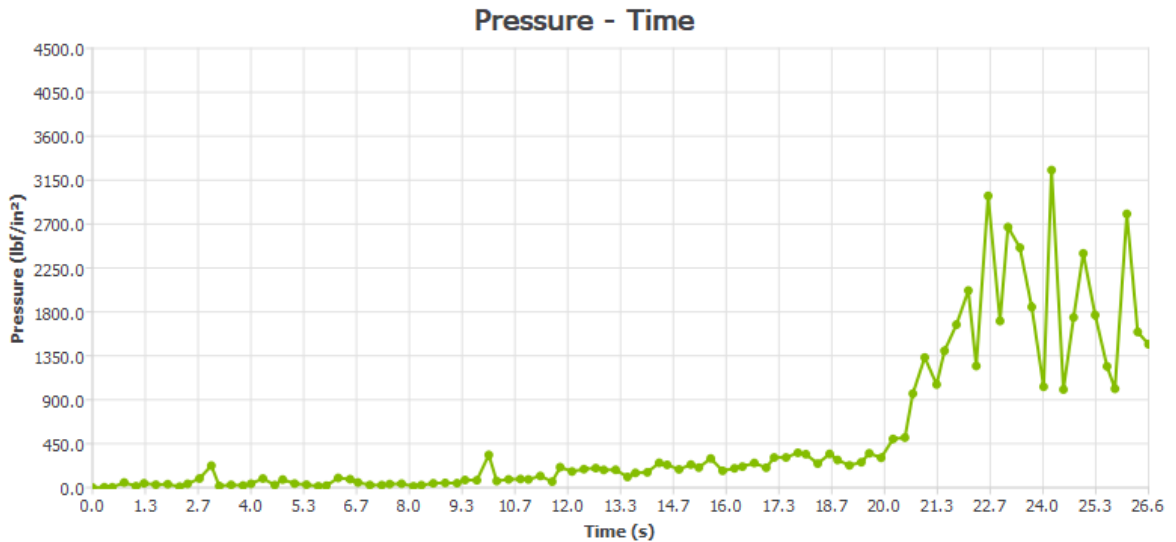
Fuente: Autores.

En la simulación con el tornillo 1, se generó la gráfica 2 de presión vs tiempo en la cual se evidencia que esta magnitud empieza a aumentar tras haber transcurrido un tiempo considerable con un valor igual a cero, lo que indica que el material se desplaza dentro del tornillo sin ser sometido a ninguna fuerza hasta que llega a la zona final donde se realiza la compresión.

Una vez alcanzado el punto en el que se estabiliza el proceso, la presión tiende a mantenerse en un valor cercano a los 1700 psi, por lo cual se pudo comprobar que

este tornillo no logra alcanzar la presión de diseño requerida para el prensado de las semillas.

Gráfica 2. Presión de operación vs. tiempo - Tornillo 1.

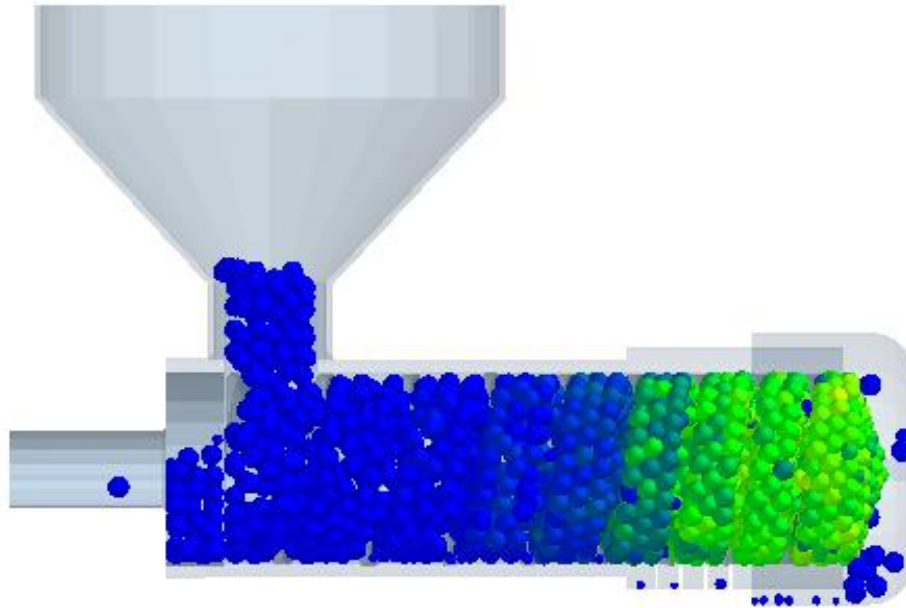


Fuente: Autores.

La figura 47 muestra la distribución de la presión dentro del mecanismo. Se puede ver que la zona de compresión es más reducida y los valores de presión no son tan elevados con respecto al modelo diseñado. Otro aspecto para considerar es que el volumen disponible en esta prensa es mayor, ya que el diámetro no aumenta a lo largo del tornillo.

Por otra parte, el diámetro mínimo al que se redujeron los granos fue de 1.6 mm. Se puede decir entonces que, aunque esta prensa divide los granos en pedazos más pequeños, no aplica la presión suficiente para que salga aceite de estos.

Figura 47. Distribución de presión - Tornillo 1.

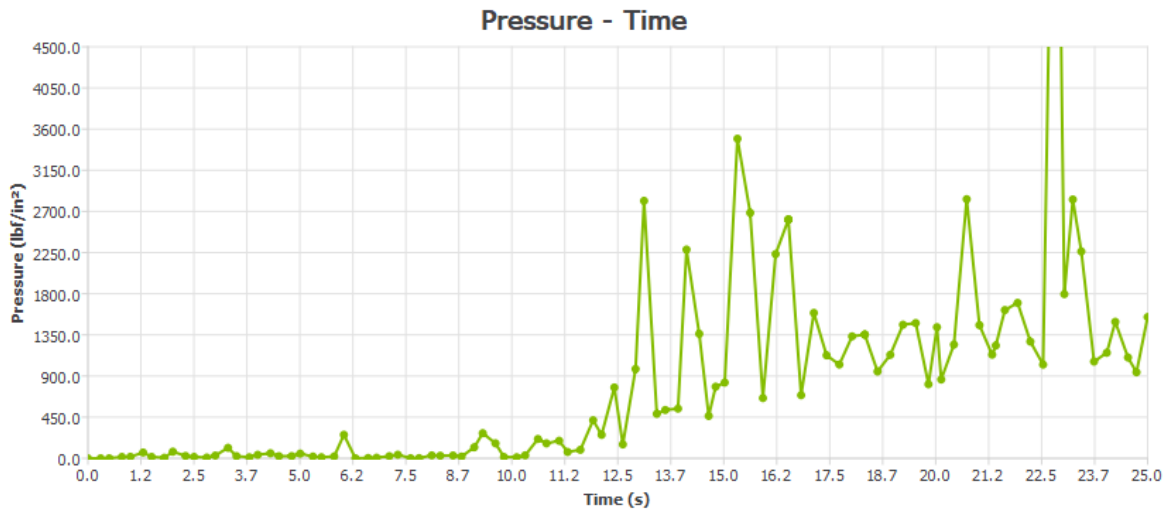


Fuente: Autores.

Al realizar la simulación con el tornillo 2, el software generó la gráfica 3 de presión vs tiempo en la cual se evidencia que esta magnitud empieza a aumentar tras haber transcurrido cierto tiempo con un valor igual a cero, lo cual se debe a que la geometría de diámetro y paso constante actúa como un tornillo transportador hasta que las semillas llegan al extremo final donde se empiezan a comprimir. Una vez alcanzado el punto en el que se estabiliza el proceso, la presión tiende a mantenerse en un valor cercano a los 1350 psi, por lo cual se pudo comprobar que este tornillo tampoco logra alcanzar la presión de diseño requerida para el prensado de las semillas.

La figura 48 muestra la distribución de la presión dentro del mecanismo. Se puede ver que la zona de compresión es mucho más reducida con respecto a los otros dos modelos simulados, esto se debe a que esta prensa sólo comprime cuando las semillas llegan al extremo final del tornillo, por lo tanto, los granos llegan casi intactos a esta zona.

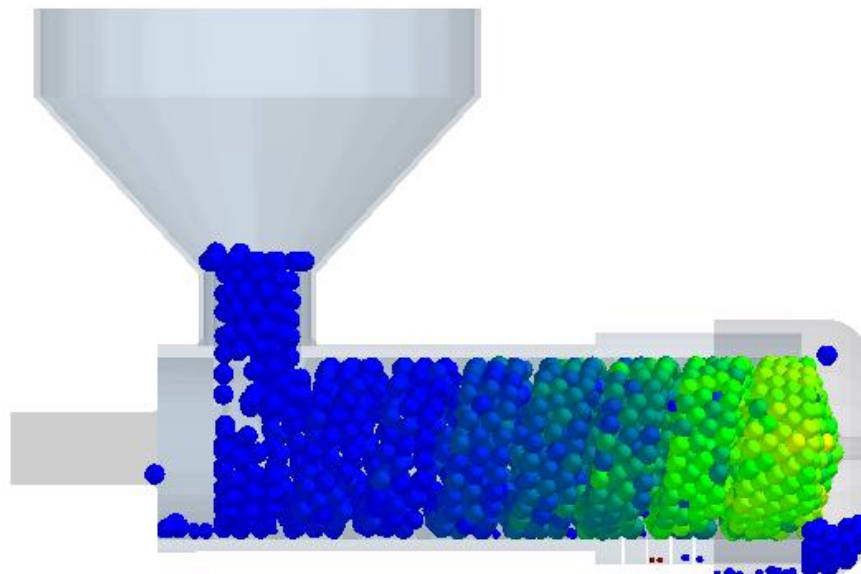
Gráfica 3. Presión de operación vs. tiempo - Tornillo 2.



Fuente: Autores.

Por otra parte, el diámetro mínimo al que se redujeron los granos fue de 1.6 mm. Se puede decir entonces que, aunque esta prensa divide los granos en pedazos más pequeños, tampoco aplica la presión suficiente para que salga aceite de estos.

Figura 48. Distribución de presión - Tornillo 2.



Fuente: Autores.

Los videos de las simulaciones mencionadas anteriormente se encuentran en los anexos digitales del presente documento.

3.5 ESTIMADO DE COSTOS DE MANUFACTURA Y EQUIPO

Como datos complementarios al desarrollo de este proyecto, se estimó el costo total del prototipo de la prensa extractora con el fin de tener una referencia para su futura fabricación.

Los componentes de la máquina se clasificaron teniendo en cuenta que ciertas partes deben fabricarse y otras pueden adquirirse en el mercado de acuerdo con sus especificaciones.

Se consideró que la tolva de alimentación se puede fabricar mediante doblado de lámina y uniones por soldadura. Por otra parte, el tornillo, la tapa y la camisa se pueden fabricar en un centro de mecanizado.

En las tablas 5 y 6 se registraron los valores estimados de cada pieza.

Tabla 5. Estimado de costos - piezas para fabricación.

Pieza	Material	Costo material + manufactura
Tornillo sin fin	Acero inox. 304	\$450.000
Tapa + Camisa	Acero inox. 304	\$700.000
Tolva	Acero inox. 304	\$141.300
TOTAL		\$1.291.300

Fuente: Autores.

Para los demás componentes, se consignaron sus respectivos catálogos en los anexos B, C y D.

Tabla 6. Estimado de costos – componentes comerciales.

Componente	Costo
Acople flexible	\$129.200
Rodamiento	\$14.450
Módulo eléctrico	\$1.150.000
TOTAL	\$1.293.650

Fuente: Autores.

El material que se estableció para las piezas que componen el mecanismo de prensado es acero inoxidable AISI 304, teniendo en cuenta que presenta propiedades mecánicas que cumplen con los requerimientos de operación y que además es adecuado para el trabajo con alimentos. En el anexo G se registraron los precios del material teniendo en cuenta su referencia y disponibilidad en el mercado.

Finalmente, se estableció que la fabricación de la prensa tiene un costo aproximado de 2.584.950 COP.

3.6 DESARROLLO DE PLANOS

Los planos de diseño del prototipo de la prensa extractora de aceites vegetales se encuentran en el anexo H del presente documento.

4. CONCLUSIONES

El presente proyecto tuvo como resultado el diseño de un prototipo de prensa extractora de aceites vegetales, el cual es un dispositivo de fácil operación para uso doméstico que puede procesar diferentes tipos de frutos secos.

Al implementar un proceso iterativo en el diseño y modelado de la máquina, fue posible evaluar cada parámetro de operación, identificando su influencia en el proceso de prensado, realizando las respectivas modificaciones y combinando las variables de una manera adecuada con el fin de satisfacer todos los requerimientos planteados en este trabajo de investigación.

Mediante el modelado 3D de la máquina en software CAD se complementaron y verificaron los cálculos implementados, así como también se realizó un análisis estructural de la máquina con el fin de validar que esta no fallará debido a las cargas a las que estará sometida. Se puede afirmar que las herramientas CAD permiten visualizar y modificar un mecanismo previo a su fabricación, lo cual disminuye costos y tiempos de construcción de prototipos que están sujetos a posibles fallas.

La simulación del prototipo permitió observar y analizar el comportamiento de los granos durante el proceso de prensado, donde se evidenció cómo estos entran y se desplazan dentro de la camisa por el movimiento del tornillo hasta triturarse y ser expulsados por el orificio de la tapa. Así mismo, se evidenció la disminución del tamaño de los granos producto de su trituración. Se pudo ver que, aunque a la prensa pueden ingresar granos de tamaño equivalente de hasta 25 mm, esta trabaja de manera adecuada con granos de tamaño más pequeño, ya que así se garantiza el llenado correcto de la prensa. Por otra parte, la simulación también permitió validar que se alcanza un nivel de presión adecuado para obtener la extracción de aceite de las semillas procesadas.

Mediante los procesos de modelado y simulación se analizó la operación del prototipo, sin embargo, no se pudo comprobar la cantidad de aceite que se obtiene de las semillas procesadas, debido a que los softwares utilizados no realizan análisis de materiales con contenido de humedad o, en este caso, sustancias oleaginosas, por lo tanto, este fue un parámetro que no se estudió en el desarrollo del presente proyecto. Por lo tanto, para determinar la cantidad de aceite que se puede extraer con la prensa diseñada se requiere la fabricación y puesta en operación de este prototipo.

Al realizar una comparación con la presión máxima de operación de la prensa hidráulica, se evidenció que la presión que aplica el prototipo a las semillas es mayor, por lo tanto, se puede afirmar que el rendimiento de extracción de aceite de la prensa diseñada será mayor al 53%.

En las simulaciones realizadas con diferentes geometrías, se evidenció que en todos los casos se lograba disminuir el tamaño de grano, pero sólo el modelo diseñado logró alcanzar la presión requerida. Con base en lo anterior, se pudo comprobar que la trituración o rotura de los granos no garantiza la obtención de aceite, ya que es necesario además comprimirlas hasta un valor de presión determinado que genere la extracción de la sustancia.

BIBLIOGRAFÍA

(s. a.). “Aceites: extracción por prensado en frío”. {En línea}. {Fecha de consulta: 10 de julio de 2020}. Disponible en: http://www.prensandoenfrio.com/71041_es/prensado-en-frio-la-elaboracion-mas-natural-del-aceite-de-semillas/

(s. a.). “Extracción de aceite: prensado”. {En línea}. 09 de julio de 2014. {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <http://elpequenoagroindustrial.blogspot.com/2014/07/extraccion-de-aceite-prensado.html>

ACEITES ESENCIALES. “Aceite de Cacahuete: Todas sus Increíbles Propiedades”. {En línea}. {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <https://aceites-esenciales.org/aceite-de-cacahuete/>

Agüero, S. D., García, J. T., Catalán, J. S. “Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades”. *Nutrición Hospitalaria*. 2015. Vol. 32. p. 11–9.

BAKO, Tanko; UMOGBAI, Victor I.; OBETTA, Samuel E.” Effect of expeller press parameters on fish oil extraction”. Departamento de Ingeniería Agrícola y Ambiental. Universidad de Agricultura; CIGR Journal. Makurdi. Nigeria: 2018. p. 1-9.

ÇAKALOĞLU, Büşra; ÖZYURT, Vasfiye Hazal; ÖTLEŞ, Semih. “Cold press in oil extraction. A review”. *Ukrainian Food Journal*; Universidad Ege. Bornova. Izmir Turquía: 2018. p. 640-650.

Erhan, S. Z. “Industrial Uses of Vegetable Oil”. Champaign, Illinois, United States: AOCS Press. 2005.

Espinoza, L., González, O. A., Graciano, C. “Análisis de un interno tipo brida de un recipiente horizontal a presión utilizando elementos finitos” UIS Ingenierías. 2019. Vol. 18. p. 151.

FERNÁNDEZ, Sonia. “Frutos secos: cuáles son los mejores y más sanos para comer”. {En línea}. 06 de junio de 2019. {Fecha de consulta: 09 de julio de 2020}. Disponible en: https://www.alimente.elconfidencial.com/nutricion/2018-06-27/frutos-secos-sanos_1577305/

GALARRAGA RIVERA; Yeyxon Omar. “Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad tecnológica de Pereira, facultad de ingeniería mecánica. Pereira. Colombia: 2015. p. 5, p. 101-102.

Gelza, A. P. “Aceites vegetales, hacia una producción sostenible”. El Hombre y la Máquina. 2015. Vol. 46. p. 9–19.

Grasso, F. V. “Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna”. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. 2013.

Gunstone, F. D. “Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses”. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. 2011.

Gupta, M. K. “Practical Guide to Vegetable Oil Processing”. Lynnwood, United States: AOCS Press. 2017.

https://www.researchgate.net/publication/317007345_Extraccion_de_aceites_de_origen_vegetal

https://www.researchgate.net/publication/317007345_Extraccion_de_aceites_de_origen_vegetal

Imagen: aceite de maní. {En línea}. {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <https://aceites-esenciales.org/aceite-de-cacahuete/>

Imagen: semillas girasol. {En línea}. 06 de marzo de 2020. {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <https://semillas.me/semillas-girasol/>

INDARTONO, Yuli Setyo; HERIAWAN, Heriawan; KARTIKA, Ika Amalia. "Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds". Investigación en ingeniería de agricultura. Instituto de tecnología de Bandung; Instituto de Agricultura de la Universidad de Bogor. Indonesia: 2019. p. 91-96.

JAIN, Dilip; JAIN, Siddhant. "Performance evaluation of screw-press oil expeller using a continuous spiral and decreasing length of pitch of screw". Agricultural Engineering International; CIGR Journal. Instituto Central de Ingeniería y Tecnología Postcosecha. INDIA: 2015. p. 1-9.

KMEC Engineering. "¿How does the screw expeller press work?". {En línea}. {Fecha de consulta: 12 de julio de 2020}. Disponible en: <http://www.kmecomp.com/oil-mill-plant/oil-pressing/>

LEMONS RODRÍGUEZ, Raquel. "Los 6 beneficios del aceite de almendras para la salud". {En línea}. 05 de diciembre de 2018. {Fecha de consulta: 27 de mayo de 2020}. Disponible en: <https://mejorconsalud.com/beneficios-del-aceite-de-almendras-salud/>

MANNISE, Raul. "El aceite de almendras y sus propiedades revitalizantes". {En línea}. 15 de agosto de 2019. {Fecha de consulta: 27 de mayo de 2020}. Disponible en: <https://ecocosas.com/salud-natural/aceite-de-almendras/>

MARTÍNEZ, Alexander. "Máquinas extractoras de aceites vegetales". {En línea}. 25 de junio de 2011. {Fecha de consulta: 10 de julio de 2020}. Disponible en: <http://maquinasextractorasdeaceitesvegetales.blogspot.com/2011/06/vendo-maquinas-extractoras-de-aceites.html>

Pintor, Yamila. "Los grandes beneficios del aceite de girasol, ¡conócelos!". {En línea}. 13 de agosto de 2020 {Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020}. Disponible en: <https://mejorconsalud.as.com/los-beneficios-del-aceite-girasol/>

REBOLLO, Mónica., GIMENO, Eva. "Frutos secos y salud". Artículo: Revista Offarm farmacia y sociedad. 2002.

Reddy, A. R., Kumar, J., and others. "Development of Domestic Purpose Hydraulic Press Oil Expeller". International Journal of Research & Technology. 2019. Vol. 8.

RODRIGÁÑEZ RICCHERI, Pilar. "Aceites vegetales sí, pero bien cuidados". {En línea}. {Fecha de consulta: 09 de julio de 2020}. Disponible en: <https://solnatural.bio/blog/nutricion/aceites-vegetales-si-pero-bien-cuidados>

ROMULI, Sebastian; KARAJ, Shkelqim; LATIF, Sajid; MÜLLER, Joachim. "Performance of mechanical co-extraction of *Jatropha curcas* L. kernels with rapeseed, maize or soybean with regard to oil recovery, press capacity and product quality". Cultivos Industriales y Productos. Universidad Hohenheim. Instituto de Ingeniería Agrícola, Grupo de Trópicos y Subtropicales. Garbenstrasse, Stuttgart. Alemania: 2017. p. 1-9.

Sun, K., Ma, R., and others. "The Influence of the Structure of Double Toothed Roller Crusher on the Crushing Effect based on EDEM". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 423.

SUNDAY LOUIS, Ezeoha; ONYEAGHALAM AKUBUO, Clement; UCHE ODIGBOH, Emmanuel. "Effect of some kernel factors on palm kernel oil extraction using a screw press". Departamento de agricultura e ingeniería en biorecursos. Universidad de Nigeria. Nsukka: 2020. p. 1-5.

TABIO GARCÍA, Danger., DÍAZ DOMÍNGUEZ, Yosvamy., RONDÓN MACIAS, Maylin., FERNÁNDEZ SANTANA, Elina., PILOTO RODRÍGUEZ, Ramón. "Extracción de aceites de origen vegetal". Monografía. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". 2017.

ANEXOS

Anexo A. Memoria de cálculos para el mecanismo de prensado.

“CÁLCULOS MECANISMO DE PRENSADO”

$D_{camisa} = 0.062 [m]$ "diámetro del barril"

$D_{ini} = 0.030 [m]$ Diámetro inicial del eje

$h = 0.003 [m]$ altura de la hélice

$b = 0.004 [m]$ ancho de la hélice

$paso = 0.016 [m]$ paso final del tornillo

$Long = 0.200 [m]$ Longitud del tornillo

$\mu = 0.15$ coeficiente de fricción acero-material

$\gamma = 1000 [Pa \cdot s]$ Viscosidad del material

P_{psi}

$= 2200 [Psi]$ Presión mínima de operación

$R_{req} = 10 \left[\frac{Kg}{h} \right]$ Flujo másico requerido

$\rho = 1066.66 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$ Densidad del material

$$\rho = \frac{R_{req}}{Q_{req}}$$

$Deje = D_{camisa} - 2 * h$

$$rm = \frac{Deje}{2} + \frac{h}{2}$$

$dm = 2 * rm$

$$P = \frac{F_{min}}{A}$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4} \right) * (D_{camisa}^2 - Deje^2)$$

Área aproximada sobre donde se va a realizar la presión

$Torque_{min} = Fp_{min} * rm$ "Momento torsional necesario para hacer avanzar la carga"

$Fp_{min} = F_{min} * \left(\frac{paso + \pi * \mu * dm}{\pi * dm - \mu * paso} \right)$ "Fuerza necesaria para aplicar al tornillo y hacerlo girar"

$\alpha = \arctan \left(\frac{paso}{\mu * D_{camisa}} \right)$ "Ángulo de hélice del tornillo en radianes"

$Wc = (\pi * D_{camisa} * \tan(\alpha) - b) * \cos(\alpha)$ "ancho del canal"

$rpm = 50$

$rpm = N * 60$

$Pot_{min} = Torque_{min} * \omega$

$Qd = 0.5 * \pi * D_{camisa} * N * h * \cos(\alpha) * Wc$ "Flujo de arrastre en m^3/s "

$$Qp1 = \frac{P_{maxpa} * \pi * D_{camisa} * h^3 * (\sin(\alpha))^2}{12 * Long * \gamma}$$

"Igualación con el flujo a contra presión para hallar la Pmax"

$Qd = Qp1$

$Qp = \frac{P_{oppa} * \pi * D_{camisa} * h^3 * (\sin(\alpha))^2}{12 * Long * \gamma}$ "Flujo a contra presión en m^3/s "

$Q_{real} = Qd - Qp$

$R_{real} = \rho * Q_{real} * 3600$

$$P_{oppa} = \frac{Fop}{A}$$

$$Torque_{op} = Fp_{op} * rm$$

$$Fp_{op} = Fop * \left(\frac{paso + \pi * \mu * dm}{\pi * dm - \mu * paso} \right)$$

$$Pot_{op} = Torque_{op} * \omega$$

"CÁLCULO DE TENSIONES Y ESFUERZOS"

$$\sigma_{pa} = \frac{Fop * \left(\frac{h}{2}\right) * \left(\frac{b}{2}\right)}{\left(\frac{1}{12}\right) * 2 * \pi * rm * b^3}$$
 "Tensión normal, máxima en la base de la rosca"

$$\tau_{pa} = \frac{Fop}{2 * \pi * rm * b}$$
 "Tensión cortante"

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 * \tau^2)}$$
 "Tensión de Von Mises"

$Sy = 400 [Mpa]$ "Límite elástico del material"

$$Fs = \frac{Sy}{\sigma_{eq}}$$

$$\sigma_{torsionPa} = \frac{16 * Torque_{op}}{\pi * Din^3}$$
 "Tensión de torsión en el núcleo del tornillo"

$$\sigma_{compPa} = \frac{Fop}{\frac{\pi * Din^2}{4}}$$
 "Tensión normal de compresión en el núcleo del tornillo"

$$\sigma_{co} = \left(\frac{3}{8}\right) * \sigma_{comp} + \left(\frac{5}{8}\right) * \sqrt{(\sigma_{comp}^2 + 4 * \sigma_{torsion}^2)}$$

$$Fs1 = \frac{Sy}{\sigma_{co}}$$

"ANÁLISIS DINÁMICO DE FATIGA"

$\mu = 0.15$ coeficiente de fricción acero-material

$\gamma = 1000 [Pa * s]$ Viscosidad del material

$Ppsi = 2200 [Psi]$ Presión mínima de operación

$R_{req} = 10 \left[\frac{Kg}{h}\right]$ Flujo másico requerido

$\rho = 1066.66 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ Densidad del material

$Dcrit = 0.025 [m]$ Diámetro del eje liso

$Deje = Dcamisa - 2 * h$

$$\rho = \frac{R_{req}}{Q_{req}}$$

$T = 72.6 [N * m]$

$M = 3.65 [N * m]$

$$Presion = \frac{F}{A}$$

$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) * (Dcamisa^2 - Deje^2)$ "Área aproximada sobre donde se va a realizar la presión"

"Esfuerzo cortante medio y alternante"

$$S_{as} = 0$$

$$S_{ms} = \frac{16 * T}{\pi * Dcrit^3}$$

"Esfuerzo normal medio y alternante"

$$S_{aF} = 0$$

$$S_{mF} = \frac{4 * F}{\pi * Dcrit^2}$$

"Esfuerzo por flexión medio y alternante"

$$S_{mM} = 0$$

$$S_{aM} = \frac{32 * M}{\pi * D_{crit}^3}$$

$$S_y = 400000000 [Pa]$$

$$S_u = 600000000 [Pa]$$

$$S_n = K * S_e$$

$$S_e = 0.5 * S_u$$

$$K = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_{car}$$

$$K_a = 0.78 \text{ "Acero mecanizado en frío"}$$

$$K_b = 1.24 * (D_{crit} * 1000)^{-0.107} \text{ "Diámetro entre 8 y 51 mm"}$$

$$K_c = 0.753 \text{ "Confiabilidad del 99,9\%"}$$

$$K_d = 1 \text{ "La temperatura de la flecha está entre 20 y 250 °C"}$$

$$K_e = 1 \text{ "Se asume que no se presenta corrosión"}$$

$$K_{car} = 1 \text{ "Para torsión"}$$

$$a_{raiz} = 0.2885$$

$$r = 1$$

$$q = \frac{1}{1 + \left(\frac{a_{raiz}}{\sqrt{(r)}}\right)}$$

$$K_{fT} = 1 + q * (K_{tT} - 1)$$

$$K_{fF} = 1 + q * (K_{tF} - 1)$$

$$K_{fM} = 1 + q * (K_{tM} - 1)$$

$$K_{tT} = 1.9$$

$$K_{tF} = 2.8$$

$$K_{tM} = 2.37$$

$$K_{fT} = K_{fM_T}$$

$$K_{fF} = K_{fM_F}$$

$$K_{fM} = K_{fM}$$

$$\tau_a = 0$$

$$\tau_m = K_{fM_T} * S_{mS}$$

$$\alpha_m = K_{fM_F} * S_{mF}$$

$$\alpha_a = K_{fM} * S_{aM}$$

$$\frac{1}{N} = \left(\frac{\sqrt{(\alpha_m^2 + 3 * \tau_m^2)}}{S_y}\right) + \left(\frac{\sqrt{(\alpha_a^2 + 3 * \tau_a^2)}}{S_n}\right)$$

$$\alpha_{rev} = K_{fF} * \left(\frac{T}{I}\right)$$

$$I = \frac{\pi * D_{crit}^3}{32}$$

$$ff = 0.863$$

$$aa = \frac{(ff * S_u)^2}{S_n}$$

$$bb = -\left(\frac{1}{3}\right) * \log_{10}\left(\frac{ff * S_u}{S_n}\right)$$

$$N_{ciclos} = \left(\frac{\alpha_{rev}}{aa}\right)^{\frac{1}{bb}}$$

Anexo B. Catálogo del motorreductor.

Motorreductor Sumitomo Altax Neo – 0.4 KW.

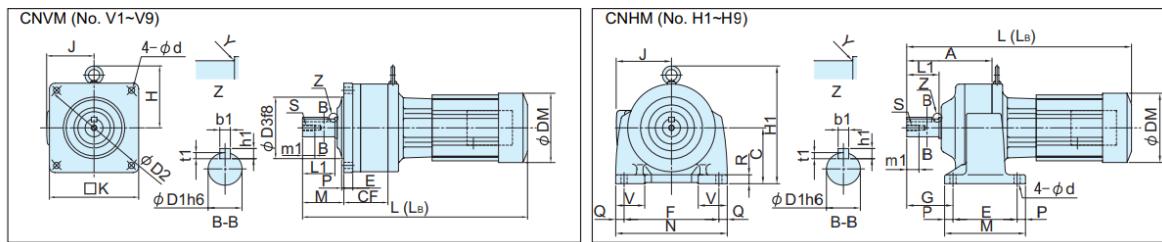
Selection Tables

Reduction Ratio	Output Speed		Input Capacity Symbol	Frame Size	Reduction Ratio	Output Torque Tout				Allowable Radial Load Pro				Dimension Table No.	
	r/min					N·m		kg·m		N		kgf		CNVM	CNHM
	50Hz	60Hz				50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz				
3	483	583	05	- 507R	(-B) - 3	7.51	6.22	0.765	0.634	235	235	24.0	24.0	V1	H1
5	290	350				12.5	10.4	1.28	1.06	392	392	40.0	40.0		
6	242	292	05	- 5077	(-B) - 6	15.0	12.4	1.53	1.27	687	687	70.0	70.0	V2	H2
8	181	219				20.0	16.6	2.04	1.69	883	883	90.0	90.0		
11	132	159	05	- 5077	(-B) - 11	27.5	22.8	2.81	2.33	1370	1370	140	140	V2	H2
13	112	135				32.5	27.0	3.32	2.75	1370	1370	140	140		
15	96.7	117	05	- 5077	(-B) - 15	37.5	31.1	3.83	3.17	1470	1470	150	150	V2	H2
17	85.3	103				42.5	35.3	4.34	3.59	1470	1470	150	150		
21	69.0	83.3	05	- 5087	(-B) - 21	52.6	43.5	5.36	4.44	2250	2250	229	229	V3	H3
25	58.0	70.0				62.6	51.8	6.38	5.28	2680	2680	273	273		
29	50.0	60.3	05	- 5087	(-B) - 29	72.6	60.1	7.40	6.13	2700	2700	275	275	V3	H3
35	41.4	50.0	05	- 5087	(-B) - 35	87.6	72.6	8.93	7.40	2700	2700	275	275		
43	33.7	40.7	05	- 5097	(-B) - 43	108	89.2	11.0	9.09	3430	3430	350	350	V4	H4
51	28.4	34.3				128	106	13.0	10.8	3430	3430	350	350		
59	24.6	29.7	05	- 5097	(-B) - 59	148	122	15.1	12.5	3430	3430	350	350	V4	H4
71	20.4	24.6				178	147	18.1	15.0	4660	4660	475	475		
87	16.7	20.1	05	- 5107	(-B) - 87	218	180	22.2	18.4	4660	4660	475	475	V5	H5
103	13.8	16.7				249	206	25.4	21.0	4660	4660	475	475		
119	12.2	14.7	05	- 5107	(-B) - 119	298	247	30.4	25.2	4660	4660	475	475	V5	H5
145	10.0	12.1				344	285	35.0	29.0	4660	4660	475	475		
175	8.29	10.0	05	- 5117DR	(-B) - 175	415	344	42.3	35.0	5690	5690	580	580	V7	H7
215	6.74	8.14				510	422	52.0	43.1	5690	5690	580	580		
255	5.69	6.86	05	- 5117DR	(-B) - 255	*588	*501	*59.9	*51.1	5690	5690	580	580	V7	H7
295	4.92	5.93				699	580	71.3	59.1	7260	7260	740	740		
355	4.08	4.93	05	- 5127DR	(-B) - 355	*604	*604	*61.5	*61.5	7260	7260	740	740	V8	H8
435	3.33	4.02				*774	*774	*78.9	*78.9	7260	7260	740	740		
559	2.59	3.13	05	- 5127DA	(-B) - 559	*711	*711	*72.5	*72.5	7260	7260	740	740	V9	H9

Note: 1. Output motor speed is the representative value at 1450r/min (50Hz) and 1750r/min (60Hz). Refer to page 31 for details.
 2. Radial load at slow speed shaft is the value at the middle of the slow speed shaft.
 3. Be careful for the models with asterisk, "**". They are models with torque limitation.

Dimension Tables

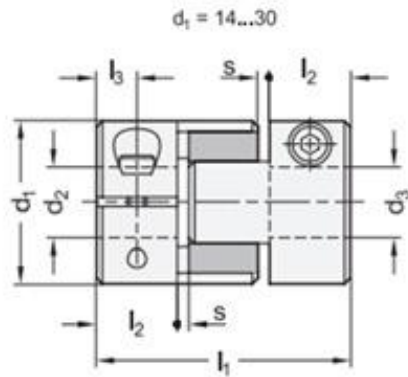
Figure in the bracket () shows the dimension for types with brake.



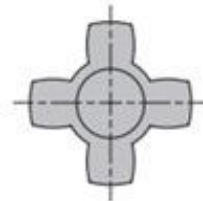
No.	Model	Main Body														Motor		Slow-speed Shaft Unit				Mass					
		A	C	d	E	F	G	H1	L	L(Ls)	M	N	P	Q	R	V	J	DM	L1	m1	S		Y	D1	b1	h1	t1
H1	CHHM05-507R(-B)-Reduction Ratio	74	71	9	75	120	49	129	276	308	99	144	12	12	12	50	85	124	32	16	M6	0.4	18	6	6	3.5	8 (9.5)
H3	CHHM05-5087(-B)-Reduction Ratio	101	80	9	75	120	57	138	299	331	99	144	12	12	13	39	85	124	40	16	M6	1	22	6	6	3.5	8.5 (10)
H4	CHHM05-5097(-B)-Reduction Ratio	129	90	11	80	150	75	157	342	374	120	180	15	15	14	44	85	124	50	19	M8	2	28	8	7	4	11 (13)
H5	CHHM05-5107(-B)-Reduction Ratio	153	100	11	115	170	83	212	370	402	145	200	15	15	16	52	85	124	58	22	M10	2	32	10	8	5	15 (16)
H6	CHHM05-5107DR(-B)-Reduction Ratio	153	100	11	115	170	83	211	403	435	145	200	15	15	16	52	85	124	58	22	M10	2	32	10	8	5	16 (17)
H7	CHHM05-5117DR(-B)-Reduction Ratio	247	120	14	135	190	95	248	443	475	175	230	20	20	18	60	85	124	68	22	M10	3	38	10	8	5	26 (27)
H8	CHHM05-5127DR(-B)-Reduction Ratio	265	120	14	150	210	102	258	461	493	190	260	20	25	20	65	85	124	75	28	M12	3	42	12	8	5	34 (36)
H9	CHHM05-5127DA(-B)-Reduction Ratio	291	120	14	150	210	102	258	504	536	190	260	20	25	20	65	85	124	75	28	M12	3	42	12	8	5	36 (38)

Anexo C. Catálogo del acople.

Acoplamiento de garras de elastómero sin chavetero GN 2240 – ELESA SpA.



Estrella de acoplamiento



GN 2240-B

Descripción	d1	d2 - d3 H8 Tolerancia de eje recomendada h7	d4	l1	l2 Profundidad de inserción del eje recomendada	l3	l4	s Espaciado de instalación recomendado	⊕
GN 2240-40-B14-14-AL-*	40	14-14	M 5	66	25	8,5	14	2	181
GN 2240-40-B14-15-AL-*	40	14-15	M 5	66	25	8,5	14	2	181
GN 2240-40-B14-16-AL-*	40	14-16	M 5	66	25	8,5	14	2	181
GN 2240-40-B15-15-AL-*	40	15-15	M 5	66	25	8,5	14	2	181
GN 2240-40-B15-16-AL-*	40	15-16	M 5	66	25	8,5	14	2	181
GN 2240-40-B16-16-AL-*	40	16-16	M 5	66	25	8,5	14	2	181
GN 2240-55-B18-18-AL-*	55	18-18	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B18-19-AL-*	55	18-19	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B18-20-AL-*	55	18-20	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B18-25-AL-*	55	18-25	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B19-19-AL-*	55	19-19	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B19-20-AL-*	55	19-20	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B19-25-AL-*	55	19-25	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B20-20-AL-*	55	20-20	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B20-25-AL-*	55	20-25	M 6	78	30	10,5	20	2	414
GN 2240-55-B25-25-AL-*	55	25-25	M 6	78	30	10,5	20	2	414

Anexo D. Catálogo del rodamiento.

Rodamiento rígido de bolas – SKF.



16005

- Producto popular
- SKF Explorer

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

[Tolerancias,](#)

Normales (métricas), P6, P5, Normales (en pulgadas),

[Juego radial interno,](#)

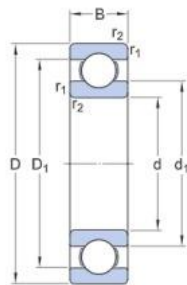
Pares de rodamientos apareados, Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros rodamientos

Interfaces del rodamiento

[Tolerancias de los asientos para condiciones estándares,](#)

[Tolerancias y ajustes resultantes](#)


Especificación técnica



DIMENSIONES

d	25 mm	Diámetro del agujero
D	47 mm	Diámetro exterior
B	8 mm	Ancho
d1	≈33.35 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D1	≈40.4 mm	Diámetro del resalte del aro exterior/diámetro interior de la arandela del soporte
r1,2	min.0.3 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior

Anexo E. Ficha técnica del acero inoxidable AISI 304.

 ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AL Cr-Ni-Mo ACX 240	
DESIGNACIÓN EN	DESIGNACIÓN ASTM
1.4401	316
1.4404	316L
X2CrNiMo17-12-2	S31603

DESCRIPCIÓN Los aceros inoxidable austeníticos del grupo Cr-Ni-Mo contienen Mo para incrementar la resistencia a la corrosión por picaduras. Los del tipo L (bajo contenido en C) tienen, además, menor susceptibilidad a la corrosión intergranular, porque se evita la precipitación de carburos de Cr en aplicaciones que impliquen su uso a temperaturas de sensibilización, como soldaduras.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
≤0,030	≤0,75	≤2,00	≤0,040	≤0,030	16,00-18,00	10,00-12,00	2,00-2,50

APLICACIONES

- Industria química y petroquímica
- Industria alimentaria, farmacéutica y textil
- Adornos arquitectónicos
- Aplicaciones con soldadura
- Tubos y calderería
- Cisternas de vehículos

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO DE RECOCIDO

Rp_{0,2}	> 240 N/mm ²
Rm	540 - 620 N/mm ²
Alargamiento	> 45%
Dureza	< 200 HB

PROPIEDADES FÍSICAS A 20°C presenta una densidad de 8 kg/dm³ y un calor específico de 500 J/kg·K

	20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
Módulo de elasticidad (GPa)	200	194	186	179	172	165
Coefficiente medio dilatación térmica entre 20°C (10⁻⁶ x K⁻¹) y	-	16	16,5	17	17,5	18
Conductividad térmica (W/m·K)	15	16	17,5	19	21	22,5
Resistividad eléctrica (Ω·mm²/m)	0,75	0,82	0,95	1,05	1,12	1,19

SOLDADURA Los consumibles recomendados son los siguientes:

Electrodos revestidos	Alambres y varillas	Electrodos huecos
E 19 12 3 L	G 19 12 3 L (GMAW)	T 19 12 3 L
ER 316L (Si)	W 19 12 3 L (GTAW)	ER 316L (Si)
ER 317L (Si)	P 19 12 3 L (PAW)	ER 317L (Si)
	S 19 12 3 L (SAW)	
	ER 316 (Si)	
	ER 317 (Si)	

CORROSIÓN BAJO TENSIONES La corrosión bajo tensiones puede ocurrir en los aceros inoxidable austeníticos, cuando están sometidos a esfuerzos de tracción en medios con iones cloruros y temperaturas superiores a 60°C.

AGERINOX, S.A. all rights reserved by Gerinox0315

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	<p>Los aceros inoxidables austeníticos de la familia Cr-Ni-Mo, presentan mejores propiedades de resistencia a la corrosión generalizada y atmosférica que los aceros inoxidables Cr-Ni.</p> <p>Presentan una velocidad de corrosión inferior a 0,10 mm/año cuando están en contacto con los siguientes medios:</p> <ul style="list-style-type: none">- Ácido fosfórico al 20% en ebullición.- Ácido sulfúrico al 20% a temperatura ambiente.- Ácido tartárico al 60% a 80°C.- Ácido acético al 50% en ebullición.- Ácido fórmico al 100% a 60°C.- Cerveza.- Leche.- Ácido oleico al 100% a 180°C.- Gasolina.
ESPECIFICACIONES	<p>Los aceros inoxidables austeníticos del grupo Cr-Ni-Mo están incluidos en las principales normas internacionales.</p> <p>Pueden ser suministrados de acuerdo a los requerimientos de las normas EN, ASTM, ASME, AMS, QQS, MILS.</p> <p>Los inoxidables del grupo Cr-Ni-Mo están homologados según:</p> <ul style="list-style-type: none">- PED (Pressure Equipment Directive), DGRL 97/23/EG de acuerdo con EN 10028-7 y AD2000 Merkblatt W2 y W10.- Lloyd's Register of Shipping. <p>Cumplen con los requisitos de las directivas europeas de:</p> <ul style="list-style-type: none">- Industria alimentaria, RE 1935/2004.- Cromo hexavalente, ROHS.- Aparatos eléctricos, ROHS.

Anexo F. Tablas de iteración para variables de diseño.

Se registraron algunas de las tablas que hacen referencia al proceso iterativo, donde se puede evidenciar los diferentes resultados que se obtienen al modificar los valores de los parámetros establecidos en el diseño.

	Diámetro interno camisa		
	D= 62 mm	D= 55 mm	D= 70 mm
Caudal [kg/h]	10,11	8,71	11,69
Presión máx. [Mpa]	131,7	155,5	251,9
Potencia [W]	375,7	306,8	462,7
Torque [Nm]	71,76	58,59	88,36

	RPM		
	rpm= 50	rpm= 70	rpm= 30
Caudal [kg/h]	10,11	14,57	5,6
Presión máx. [Mpa]	131,7	276,6	118,6
Potencia [W]	375,7	526	225,4
Torque [Nm]	71,76	71,76	71,76

	Longitud tornillo		
	L= 200 mm	L= 150 mm	L= 250 mm
Caudal [kg/h]	10,11	9,77	10,32
Presión máx. [Mpa]	131,7	148,2	247
Potencia [W]	375,7	375,7	375,7
Torque [Nm]	71,76	71,76	71,76

	Paso final tornillo		
	Paso= 16 mm	Paso= 10 mm	Paso= 20 mm
Caudal [kg/h]	10,11	5,2	13,2
Presión máx. [Mpa]	131,7	252,9	168,6
Potencia [W]	375,7	322,7	411,4
Torque [Nm]	71,76	61,63	78,57

	Ancho de la hélice		
	b1= 4 mm	b2= 8 mm	b3= 1 mm
Caudal [kg/h]	10,11	6,4	12,9
Presión máx. [Mpa]	131,7	131,7	247
Potencia [W]	375,7	375,7	375,7
Torque [Nm]	71,76	71,76	71,76

Anexo G. Cotizaciones de material.

Material	Varilla o barra de acero inoxidable 304
Dimensiones	Ø2 ^{1/2} " x 1 metro
Precio	\$510.000
Fecha de cotización	agosto de 2021

Material	Varilla o barra de acero inoxidable 304
Dimensiones	Ø2 ^{1/2} " x 1 metro
Precio	\$565.000
Fecha de cotización	agosto de 2021

Material	Varilla o barra de acero inoxidable 304
Dimensiones	Ø3" x 1 metro
Precio	\$730.000
Fecha de cotización	agosto de 2021

Material	Lámina de 3 mm de acero inoxidable 304
Dimensiones	1.22 x 2.44 metros
Precio	\$1.055.000
Fecha de cotización	agosto de 2021

Material	Lámina de 3 mm de acero inoxidable 304
Dimensiones	1.20 x 2.40
Precio	\$1.072.330
Fecha de cotización	agosto de 2021

*Todos los precios tienen el IVA incluido.

Anexo H. Planos del prototipo – prensa extractora de aceites vegetales.

A continuación, se consignan los planos correspondientes al modelo del prototipo de prensa extractora diseñado, los cuales contienen:

- Vista isométrica
- Vista explosionada
- Vista de corte
- Planos de piezas de fabricación

Este anexo se compone de 9 planos.