

METODOLOGÍA DE CASA DE CALIDAD APLICADA A LA INGENIERÍA
MECÁNICA: DISEÑO DE UNA COMPACTADORA DE RUMEN PARA
FRIGORÍFICOS

CAMILO MARTÍNEZ CABEZAS
MICHAEL JOSÉ TORRES ESPITIA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
MECANICA
INGENIERIA MECANICA
MONTERIA
2023

METODOLOGÍA DE CASA DE CALIDAD APLICADA A LA INGENIERÍA
MECÁNICA: DISEÑO DE UNA COMPACTADORA DE RUMEN PARA
FRIGORÍFICOS

CAMILO MARTÍNEZ CABEZAS

MICHAEL JOSÉ TORRES ESPITIA

Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECANICO

Asesor

LUIS GUILLERMO RIVEROS ALMANZA

INGENIERO MECANICO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
MECANICA
INGENIERIA MECANICA
MONTERIA

2023

CONTENIDO

| | | |
|---|---|----|
| 1 | RESUMEN: | 9 |
| | 1.1 Abstract: (resumen en inglés) | 9 |
| 2 | INTRODUCCIÓN: | 10 |
| | 2.1 Objetivo General..... | 12 |
| | 2.1.1 Objetivos Específicos..... | 12 |
| 3 | MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE: | 12 |
| | 3.1 Planta De Beneficio..... | 12 |
| | 3.2 Contenido Ruminal..... | 13 |
| | 3.3 Aprovechamientos Del Contenido Ruminal..... | 13 |
| | 3.4 Tipos De Compactadores..... | 14 |
| | 3.4.1 Compactadora De Pistón..... | 15 |
| | 3.4.2 Compactadora De Tornillo:..... | 16 |
| | 3.4.3 Compactadora Hidráulicas Y Neumáticas:..... | 17 |
| | 3.4.4 Compactadora De Rodillo: | 18 |
| | 3.5 Diseño..... | 19 |
| | 3.6 Diseño Mecánico..... | 19 |
| | 3.7 Diseños De Compactadoras..... | 20 |
| 4 | METODOLOGÍA | 21 |
| | 4.1 Análisis funcional..... | 23 |
| 5 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN: | 25 |
| | 5.1 Matriz De Casa De Calidad | 25 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.1.1 | Estudio De La Casa De Calidad..... | 26 |
| 5.1.2 | Deducción De La Casa De Calidad..... | 29 |
| 5.1.3 | Diseño conceptual..... | 29 |
| 5.2 | Selección De Tipo De Compactación..... | 31 |
| 5.2.1 | Conclusión De Las Propuestas De Solución..... | 32 |
| 6 | DISEÑO MECÁNICO DE LOS COMPONENTES. | 32 |
| 6.1 | Consideraciones Para El Diseño Del Tornillo Sin Fin..... | 33 |
| 6.1.1 | Diámetro..... | 33 |
| 6.1.2 | Longitud..... | 34 |
| 6.1.3 | Paso De La Rosca..... | 34 |
| 6.1.4 | Angulo De Filete..... | 34 |
| 6.1.5 | Holgura..... | 34 |
| 6.1.6 | Anchura Del Filete..... | 35 |
| 6.1.7 | Producción Del Tornillo..... | 35 |
| 6.1.8 | Flujo De Presión..... | 35 |
| 6.1.9 | Flujo De Arrastre..... | 35 |
| 6.1.10 | Flujo De Pérdidas..... | 36 |
| 6.1.11 | Geometría De La Boquilla..... | 36 |
| 6.1.12 | Cálculo De Flujo Volumétrico..... | 37 |
| 6.2 | Diseño De La Cubierta..... | 37 |
| 6.3 | Selección del grupo motriz..... | 38 |
| 6.3.1 | Velocidad de giro..... | 38 |
| 6.3.2 | Potencia eléctrica..... | 39 |
| 6.3.3 | Selección de motorreductor Coaxial..... | 39 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.3.4 | Torsión | 41 |
| 6.3.5 | Acople motriz..... | 41 |
| 6.3.6 | Chumacera..... | 41 |
| 6.3.7 | Cuñeros..... | 42 |
| 6.4 | Estudio estático del tornillo sin fin..... | 44 |
| 6.4.1 | Análisis del estudio estático del tornillo sin fin..... | 45 |
| 6.5 | Sistema de estructura..... | 45 |
| 6.5.1 | Estudio estático del sistema de estructura..... | 46 |
| 6.5.2 | Análisis del estudio del sistema de estructura..... | 48 |
| 6.6 | Análisis económico..... | 48 |
| 7 | PROTOTIPO A ESCALA REDUCIDA DE LA COMPACTADORA. | 49 |
| 8 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: | 52 |
| 8.1 | Conclusiones | 52 |
| 8.2 | Recomendaciones | 52 |
| 9 | BIBLIOGRAFÍA | 53 |
| 10 | ANEXOS | 55 |

Índice de imágenes

| | |
|---|----|
| Imagen 1. Consumo aparente per cápita anual de carnes. (FEDEGAN, 2022)..... | 11 |
| Imagen 2. Compactadora de pistón. (COMAP, n.d.) | 16 |
| Imagen 3. Compactadora de tornillo sin fin. (Hidrometálica, n.d.)..... | 17 |
| Imagen 4. Prensa hidráulica. (Logística Inversa, n.d.) | 18 |
| Imagen 5. Compactadora de rodillos. (YENCHEN, 2016) | 19 |
| Imagen 6. Nivel 0 estructura funcional. Elaboración propia | 23 |
| Imagen 7. Nivel 1 estructura funcional. Elaboración propia | 24 |
| Imagen 8. Nivel 2 estructura funcional. Elaboración propia | 24 |
| Imagen 9. Nivel 3 estructura funcional. Elaboración propia | 25 |
| Imagen 10. Matriz de casa de calidad. Elaboración propia | 28 |
| Imagen 11. Programa de fabricación. (COTRANSA, n.d.) | 40 |
| Imagen 12. Ejecución, dimensiones, formas constructivas. (COTRANSA, n.d.) | 40 |
| Imagen 13. Análisis de tensiones del tornillo sin fin. Elaboración propia | 44 |
| Imagen 14. Análisis de desplazamiento del tornillo sin fin. Elaboración propia | 45 |
| Imagen 15. Análisis de factor de seguridad del tornillo sin fin. Elaboración propia | 45 |
| Imagen 16. Sistema de estructura. Elaboración propia..... | 46 |
| Imagen 17. Análisis de tensiones en el sistema de estructura. Elaboración propia | 47 |
| Imagen 18. Análisis de desplazamiento del sistema de estructura. Elaboración propia | 47 |
| Imagen 19. Análisis de factor de seguridad del sistema de estructura. Elaboración propia | 48 |

| | |
|---|----|
| Imagen 20. Prototipo de estructura a escala reducida..... | 50 |
| Imagen 21. Prototipo de cubierta y boquilla de descarga a escala reducida. | 50 |
| Imagen 22. Prototipo de soporte de cubierta a escala reducida..... | 51 |
| Imagen 23. Prototipo de tornillo sin fin a escala reducida. | 51 |
| Imagen 24. Prototipo de ensamble de compactadora a escala reducida. | 51 |

Índice de tablas

| | |
|--|----------------|
| Tabla 1. Análisis del contenido ruminal. (Rhenals-Julio et al., 2021)..... | ¡Error! |
| Marcador no definido. | |
| Tabla 2. Valoración ponderados de criterios. Elaboración propia | 31 |
| Tabla 3. Velocidad de giro del tornillo. (Rodríguez Galbarro, n.d.) | 39 |
| Tabla 4. Análisis económico. Elaboración propia..... | 49 |

Ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Diámetro del tornillo sin fin..... | 33 |
| Ecuación 2. Longitud del tornillo sin fin..... | 34 |
| Ecuación 3. Paso de la rosca. | 34 |
| Ecuación 4. Angulo de filete. | 34 |
| Ecuación 5. Holgura..... | 35 |
| Ecuación 6. Anchura del filete. | 35 |
| Ecuación 7. Flujo de presión..... | 35 |
| Ecuación 8. Flujo de arrastre..... | 36 |
| Ecuación 9. Flujo de perdidas. | 36 |
| Ecuación 10. Geometría de la boquilla. | 36 |

| | |
|---|----|
| Ecuación 11. Flujo volumétrico..... | 37 |
| Ecuación 12. Esfuerzo permisible..... | 37 |
| Ecuación 13. Espesor pared delgada. | 38 |
| Ecuación 14. Comprobación pared delgada. | 38 |
| Ecuación 15. Potencia eléctrica. | 39 |
| Ecuación 16. Torsión. | 41 |
| Ecuación 17. Fuerza eje del tornillo sin fin. | 43 |
| Ecuación 18. Longitud cuña eje del tornillo sin fin. | 43 |
| Ecuación 19. Fuerza eje del motorreductor. | 44 |
| Ecuación 20. Longitud cuña eje del motorreductor..... | 44 |

1 Resumen:

El contenido ruminal es el producto del post sacrificio del ganado, siendo parte del alimento que no cumplió todo su proceso de digestión, este puede ser procesado para diferentes beneficios los cuales pueden ser fertilizantes, residuo potencial para la alimentación de animal, base para suplemento de alimento y como biomasa para generar energía. Se realizaron investigaciones sobre los métodos de compactación y para obtener una vista objetiva se empleó el método de la casa de calidad que tiene en cuenta las características del mercado y los requerimientos de la máquina, esta metodología nos dio como resultados las variables de diseño como que la variable que representa más importancia es la de compactar el contenido ruminal en un 32,2%, el criterio de la economía tiene un 16,7%, la seguridad del operador 13,3% y un fácil manejo de 12%. Con base en estas se utiliza el método ponderado para la elección adecuada del diseño que es la de tornillo sin fin, posteriormente se realizar un sistema de detalles, estudios por medio de herramienta computacional SolidWorks ® y debido a lo anterior se utilizó un motorreductor coaxial con una potencia eléctrica de 7,5 KW a una velocidad de salida de 40,6 rpm y generando un torque aproximado de 1764 N*m, la compactadora tiene una capacidad de flujo volumétrico de 1,2 m³/h y finalizando con un prototipo a escala reducida con el fin de mostrar los componentes y funcionamiento siendo de un material diferente al de escala natural.

Palabras claves: Compactadora, contenido ruminal, industria cárnica.

1.1 Abstract: (resumen en inglés)

The rumen content is the product of the post-slaughter of cattle, being part of the feed that did not complete its digestion process, this can be processed for different benefits which can be fertilizers, potential residue for animal feed, base for feed supplement and as biomass to generate energy. Research on compaction methods was carried out and to obtain an objective view, the quality house method was used, which takes into account the characteristics of the market and the requirements of the machine. This methodology gave us as results the design variables such as the variable that represents more importance is to compact the rumen content in 32.2%, the criterion of economy has 16.7%, operator safety 13.3% and easy handling 12%. Based on these criteria, the weighted method is used for the appropriate choice of design, which is the worm screw, then a system of details and studies were carried out by means of the computational tool SolidWorks ® and due to the above, a coaxial geared motor was used with an electrical power of 7.5 KW at an output speed of 40.6 rpm and generating an approximate torque of 1764 N*m, the compactor has a volumetric flow capacity of 1.2 m³/h and ending with a prototype on a reduced scale in order to show the components and operation being of a different material than full scale.

Keywords: Compactor, rumen content, meat industry.

2 Introducción:

En la industria de consumo cárnico, este ha ido aumentando sus ventas por la alta demanda, por lo cual se tienen que aumentar las producciones de este, al momento del sacrificio se tiene que aprovechar todos los productos que se obtengan de este proceso, del sacrificio de reses no solo se obtiene alimento, también otros productos como lo son el cuero, astas, cascos, cuerpo esquelético y el contenido ruminal.

Dicho esto, dando una perspectiva de margen mundial tal como lo presenta la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), el cual realiza la función de recolectar, verificar y dar a conocer al mundo datos sobre la alimentación y la agricultura, se hace referencia en dos estudios que realizó esta organización y nos enfocaremos en la evolución de la producción de carne, en un primer informe el cual menciona que en el año 2030 aumentará cerca de un 6% la producción de carne vacuno, sosteniendo un crecimiento lento pero continuo, también describiendo los factores que afectan directamente el consumo de este producto como lo son la cultura, la zona demográfica, religiones que se practican, intereses éticos y ambientales, etc. Algo que menciona el informe es que el consumo de carne vacuno per cápita se mantendrá estable a medida del crecimiento de la población mundial, ahora bien, teniendo en cuenta un estudio más reciente desde 2021 hasta el año 2030, en el cual señalan que la productividad va en ascenso al pasar los años gracias a la mayor demanda y esto reflejándose en 10 años con un 6% de aumento. Uno de los mayores productores según el informe sería China, en segunda instancia Brasil y finalizando con Estados Unidos. De acuerdo con el estudio de la FAO se sacrificaron más de 62.2 millones de toneladas de reses en canal, teniendo en cuenta que se incrementan anualmente en un 2,5 y 0,6%. En los últimos años el consumo de estos productores fue de un total de 65,8% y los principales países en consumo son en primera instancia Estados Unidos con 20,2%, seguido de Unión Europea con 13,4%, China 13,1%, Brasil 13,1 %, India 4,6% y finalizando con México con un 3,1%. (OCDE-FAO, 2017; OECD-FAO, 2021)

Ahora bien, tomando la situación a nivel internacional como lo cita uno de los informes de posición del departamento de agricultura de USA, se estima que el peso de canal se tiende a ubicarse en 58,2 millones de toneladas, en el año 2022, se determinó que Brasil puede ocupar un 17% de ese volumen. En Estados Unidos superó el 3% y los 10 mil millones de volumen de producción de carne de res, en Japón subió un 5% y en Corea del Sur un 14%. (Hybu Cig Cymru, 2022)

En Europa más específicamente en España, teniendo en cuenta lo que es el año 2020, se alcanzó una cifra de 7,6 millones de toneladas de carne lo que produce un 5.1% aumento con respecto a la del año 2019, estos datos son obtenidos de la encuesta de sacrificio de ganado del Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación. Por lo cual, ha conllevado a que sea el 4to productor europeo de vacuno 677.000 toneladas. (El Norte de Castilla, 2021)

En México el consumo per cápita se realizaron para los años 2015 que fue de 15,2%, mientras que en 2019 fue de 15,3% y finalizando en el año 2020 con 15,2% como se mostraba iba creciendo, pero el tema de la pandemia afectó este aumento en el año 2020. Ahora específicamente en el consumo, se estimó que para el año 2015 fue de 1.852.738 y en el año 2019 fue de 1.948.991 aumentando el 0,4% en toneladas. (Consejo Mexicano de la Carne, 2019)

Por otro lado, en Colombia, las ventas de carne y animales vivos de origen local, según los datos proporcionados por el DANE, alcanzaron un total de 267,1 millones de dólares, lo que representa el doble de la cifra registrada en 2019, que fue de 132 millones de dólares, Demostrando un aumento en el desempeño de la industria, se resalta la relevancia y las perspectivas favorables que el país posee al ampliar la variedad de productos que exporta. También tomando en cuenta lo que es el consumo per cápita de la carne de res demuestra que iba incrementando desde el 2017 hasta el 2019 la cual alcanzó un máximo de 18,6 kg por habitante, y podemos observar la caída del consumo en el año 2020 por la pandemia del COVID-19 el cual golpeó muy fuertemente el sector económico del país y se disminuyó hasta un 17,1 kg por habitante pero en el 2021 volvió a tomar la tendencia de ir creciendo según datos recolectados por la Federación Colombiana De Ganaderos como lo muestra la imagen 1. (FEDEGAN, 2022, 2023)

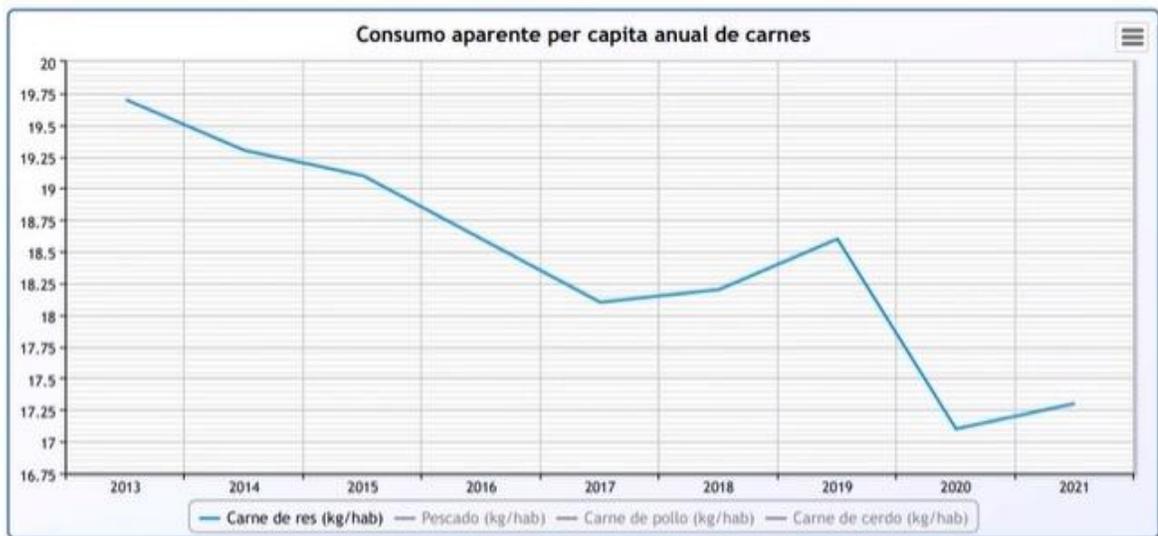


Imagen 1. Consumo aparente per cápita anual de carnes. (FEDEGAN, 2022)

Aparte de la carne, la res también posee unos subproductos los cuales son el cuero, contenido ruminal y materiales no consumibles para el ser humano. El contenido ruminal también llamado rumen, tiene diversas funciones en la cual se puede aprovechar como materia prima y estas son: fertilizante, residuo potencial para la alimentación de animal, base para suplemento de alimento y como biomasa para generar energía (Uicab-Brito; L.A & Sandoval Castro; C.A, 2003)

En el departamento de Córdoba, hay tres plantas de beneficio certificadas. Estas frigoríficas están ubicadas en puntos estratégicos: la primera se localiza en la vía ciénaga de oro la cual antes tenía el nombre de Red Cárnica y actualmente es Minerva Foods, la segunda ubicada en el municipio de Cereté que tiene por nombre Frigocer Expocol y la tercera situada en Montería nombrada Frigosinú.

En esta última planta que se encuentra en la capital de Córdoba, tiene un papel fundamental en la cadena de producción. Se encargan del sacrificio de reses y desposte de reses para exportación y distribución de la carne. Esta empresa funciona desde 1978, y se ha consolidado su presencia a lo largo del tiempo, en el interior de estas instalaciones se realizan diferentes procesos que son: sacrificio, desposte, tratamientos de las aguas residuales y manejos de residuos sólidos para abonos, al momento de realizar el sacrificio de reses no solo deja como resultado la producción de carne si no de otros elementos, los cuales tienen que tener un correcto aprovechamiento y manejo, uno de los residuos es el contenido ruminal por lo cual se tiene la necesidad de un equipo el cual pueda deshumedecer el volumen de humedad ya que es necesario para el correcto aprovechamiento.

2.1 Objetivo General.

Diseñar un compactador de rumen para su uso en la línea de beneficio animal de frigoríficos a partir de la metodología de la casa de calidad.

2.1.1 Objetivos Específicos.

- Identificar las condiciones de producción del contenido ruminal y analizar sus propiedades físicas y mecánicas. Investigar diversas técnicas de compactación para desarrollar un diseño conceptual aplicable al material seleccionado. Además, definir las variables de diseño y establecer los rangos operativos.
- Diseñar el sistema de detalle seleccionada por medio del software de diseño SolidWorks ®.
- Realizar un prototipo de la máquina a escala reducida demostrando su funcionamiento y elementos que compone el ensamble.

3 Marco teórico/estado del arte:

3.1 Planta De Beneficio.

Es una línea de cadena en la que está ordenada de edificaciones, maquinaria, las cuales cumplen de manera general unas condiciones que nos habilitan para poder lograr el correcto sacrificio, el retiro de piel, por ultimo los productos cárnicos

comestibles y no comestibles de un animal cumpliendo los requisitos. (Zapata Ontibón, n.d.)

A continuación, se toma en cuenta las normas sanitarias que regularizan el desarrollo de beneficio de animales en Colombia:

- Decreto 1017 de 2015.
- Decreto 1500 de 2017.
- Decreto 2270 de 2012.
- Resolución 240 de 2013 (Bovinos y Porcinos).
- Resolución 241 y 242 de 2013 (Aves).

3.2 Contenido Ruminal.

El contenido ruminal el cual es un subproducto originado del sacrificio que al momento de su muerte contiene todo el material que no alcanzó a ser digerido. Su consistencia es de una papilla, con un color amarillo verdoso y un olor característico muy intenso, posee una gran cantidad de flora y fauna microbiana y productos de la fermentación ruminal, por esto se puede decir que es una alternativa para la alimentación de rumiantes, pollos y cerdos de engorde, por sus características químicas, biológicas, bromatológicas y su amplia disponibilidad. (Trillos et al., 2006)

El beneficio bovino genera cantidades de contenido ruminal además de esto, las plantas de beneficio animal llevan a cabo procesos en las cuales sacrifican a un animal de manera que se evite el sufrimiento, con el propósito de utilizar la carne de este con sus partes para el consumo humano. Esto conlleva múltiples procesos fundamentales de la cadena cárnica, la cual se compone de las fases de producción, transporte, beneficio en plantas de sacrificio y comercialización. Tras el sacrificio del animal, se produce la extracción de la carne, vísceras, despojos, contenido ruminal, grasa y cuero. (Ramírez Pérez, 2020)

3.3 Aprovechamientos Del Contenido Ruminal.

Como lo menciona Gerly José Ramírez Pérez el contenido ruminal se puede aprovechar de múltiples formas, mencionando que en el Cesar trimestralmente generó más 58 toneladas del subproducto al mes. En la búsqueda de cómo se puede transformar este subproducto para la economía y con un beneficio del ganado, se encontró como resultado la transformación de un residuo por el bovino en un producto con múltiples nutrientes y adecuado para la alimentación de los animales de engorde con un 30% de harina de maíz. Para esto, los procedimientos para una transformación de contenido ruminal bovino en un suplemento alimenticio llamado Paletización, así como los pellets tienen mayor ventaja sobre otros alimentos balanceados debido a una menor cantidad de polvo, demostrando una nutrición equilibrada. En suceso de la adición de harina de maíz al 30% se prefiere para un sabor del producto final, también por el aporte proteico y energético.

Reflejándose en el costo bajo a comparación de otros productos y arrojando 70% en pasta romanizada y 30% en harina maíz. (Ramírez Pérez, 2020)

Como lo menciona Rhenals Julio en su evaluación en frigoríficos, se puede aprovechar la combustión de contenido ruminal-metano. Para esto se hicieron muestreo del contenido ruminal, curvas de secado, densidad aparente y real de la biomasa, porosidad de la biomasa con su análisis de granulometría y modelados de las cinemáticas de la combustión. El cual realizó curvas de secado del material ruminal, y estas fueron distintas a temperaturas fijas con solo un peso de 18 gr, pero con una humedad de la materia a 74,5% y arrojando como resultados diferentes resultados con base a la homogeneidad hasta llegar a una en estabilidad. Siguiendo a esto, se muestra la densidad real del contenido ruminal en la Frigorífica en la cual se obtuvo gracias a múltiples estudios como lo menciona el evaluador. Influyendo la temperatura y la variación de peso se determinó que la humedad real de esta es 1,631 g/cm³ gracias a un valor el cual fue determinado de 0,750 g/cm³, y calculando la porosidad reflejada de 53,80%. Los resultados anteriores le permitieron al evaluador determinar el material adecuado para el proceso de combustión debido a su alta volatilidad. Gracias a la baja humedad interna, este posee múltiples propiedades internas que son aprovechados energéticamente, debido a volátiles y carbón fijo. Por otro lado, debido al alto contenido de nitrógeno de acuerdo con los estudios realizados, este elemento no es deseado por efectos de contaminación, y se demostró que es rico en oxígeno lo cual conlleva a ser eficiente seguido del carbono y el hidrógeno. (Rhenals-Julio et al., 2021)

Tabla 1. Análisis del contenido ruminal. (Rhenals-Julio et al., 2021)

| Análisis Contenido Ruminal Empresa Frigosinú | | |
|--|----------------|-----------|
| Determinación | Como se recibe | Base seca |
| Humedad total [%] | 11,96 | |
| Poder calorífico [kcal/kg] | 2153 | 2445 |
| Material Volátil [%] | 54,73 | 52,16 |
| Carbono Fijo [%] | 12,79 | 14,53 |
| Azufre [%] | 0,38 | 0,43 |
| Cenizas [%] | 20,52 | 23,31 |

3.4 Tipos De Compactadores.

Tomando en cuenta en la realización de un proyecto se desarrolló un estudio de diferentes tipos de compactadores. (Camacho Muncha, 2019)

3.4.1 Compactadora De Pistón.

En este tipo de compactadora funciona gracias a un movimiento generado en el pistón, en la que un volante de inercia está ubicado sobre la materia a compactar, esta es compactada sobre una placa en la cual se encuentran orificios con dicho perfil del bloque de la materia compactada. Este tipo de compactadora tiene una alta presión a la hora de su funcionamiento, con humedades de materia prima expulsadas de 15% hasta 17%, con densidades obtenidas de 1000 Kg/m³ hasta 1200 Kg/m³. Todo esto gracias a la producción que es de 200 Kg/h hasta 1500 Kg/h comprimiendo.

Para todo el proceso de funcionamiento, consta de varias partes importantes que trabaja en conjunto para un buen proceso de compactación las cuales son:

- Tolva de alimentación: Es la parte superior de la máquina donde se coloca la biomasa a compactar. Puede tener diferentes tamaños y capacidades según el modelo de la máquina.
- Pistón: Es el componente principal que realiza el proceso de compactación. El pistón se mueve hacia abajo dentro de la cámara de compactación aplicando presión sobre la biomasa, reduciendo su volumen y formando los bloques compactados.
- Cámara de compactación: Es el espacio donde se coloca la biomasa y donde el pistón realiza el proceso de compactación. La cámara de compactación tiene una forma cilíndrica o rectangular y está diseñada para soportar la presión generada durante la compactación.
- Sistema hidráulico: La máquina de compactación de pistón utiliza un sistema hidráulico para mover el pistón hacia abajo con la fuerza necesaria. El sistema hidráulico generalmente consta de una bomba hidráulica, cilindro hidráulico y válvulas de control.
- Motor eléctrico o motor diésel: Proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de la máquina. Puede ser un motor eléctrico que se conecta a una fuente de alimentación eléctrica o un motor diésel que utiliza combustible para generar la energía requerida.
- Panel de control: Es el sistema de control de la máquina donde se encuentran los botones, interruptores y pantallas para operar y monitorear el proceso de compactación. Permite ajustar la presión, la velocidad del pistón y otras configuraciones.
- Sistema de expulsión de los bloques compactados: Una vez que se completa el proceso de compactación, los bloques compactados deben ser expulsados de la máquina. Dependiendo del diseño de la máquina, puede haber un sistema de expulsión automático o manual para liberar los bloques

compactados. (Qué Es Un Sistema Hidráulico, Para Qué Sirve y Cómo Funciona, n.d.)



Imagen 2. Compactadora de pistón. (COMAP, n.d.)

3.4.2 Compactadora De Tornillo:

En este proceso, fundamentalmente es la presión ejercida sobre la materia que se desea compactar mediante un tornillo sin fin de un material adecuado, que gira a velocidades necesarias moviendo así el material que se deseé compactar en una cámara que es la encargada del material en forma cónica, en ciertas máquinas, hay camisetitas térmicas con funcionalidad de aumentar la temperatura siendo como punto positivo al momento de la plastificación del contenido ruminal. Esta es comprendida entre 500 Kg/h y 2500 Kg/h, mediante este proceso se logra bloques con densidades de 1000 Kg/m³ a 1400 Kg/m³. Por otro lado, en las máquinas de calefacción forzada, la humedad de estas partículas está entre 12% y 15%.



Imagen 3. Compactadora de tornillo sin fin. (Hidrometálica, n.d.)

3.4.3 Compactadora Hidráulicas Y Neumáticas:

Ejercen una presión gracias a pistones que pueden ser de uno a tres y son accionados gracias al sistema hidráulicos o neumáticos usándose en trabajos con materiales de calidad baja como el algodón, papel, aserrín húmedo, entre otros. La presión que alcanzan está en un rango de 20 MPa, 40 MPa y 58 MPa. Y a la hora de producir varía entre 50 Kg/h y 500 Kg/h, alcanzando una densidad de 100 Kg/m³ a 800 Kg/m³. Los componentes que tiene una compactadora de hidráulicas son: estructura fija, empujador prensa de compactación el cual es un componente móvil, circuito hidráulico que está constituido por un depósito de aceite, bomba de aceite, válvulas de seguridad, electroválvulas y cilindros de compactación, por último, un circuito eléctrico. (Anglès Nicolás, 2001)

Aunque las prensas hidráulicas no pueden alcanzar las altas velocidades de ciclo logradas por las prensas mecánicas de potencia equivalente, destacan por su mayor versatilidad gracias a su capacidad de ajustar la longitud de carrera, el espacio disponible para la matriz y la presión que pueden generar. Las prensas hidráulicas tienen una ventaja cuando se fabrican piezas con formas complejas y profundas que requieren una alta deformación en el material y no dependen de la velocidad de producción. (STAMTEC, n.d.)



Imagen 4. Prensa hidráulica. (Logística Inversa, n.d.)

3.4.4 Compactadora De Rodillo:

Existe otro tipo de compactadora, conocida como la compactadora de rodillos, que utiliza varios rodillos para lograr una granulación más fina. Los sólidos pasan entre los rodillos, lo que reduce su tamaño, y estos rodillos cuentan con una serie de depresiones en su superficie donde se coloca el material que se desea compactar. Este material se comprime cuando los dos rodillos actúan sobre él. Esta máquina es especialmente útil cuando no se requieren densidades finales extremadamente altas. (Camacho Muncha, 2019)



Imagen 5. Compactadora de rodillos. (YENCHEN, 2016)

3.5 Diseño.

La acción de diseñar es la forma de expresar una idea o un proyecto para cumplir con un requisito o llegar a la finalidad de solucionar problemáticas específicas, si este proyecto tiene la finalidad de realizar una obra físicamente real tiene que cumplir con unas necesidades mínimas. Esta actividad requiere de tener creatividad la cual pueda reformar lo que ya está creado y tenga un alto impacto en la sociedad. (Budynas & Nisbett, 2019)

3.6 Diseño Mecánico.

Debido a que se definió lo que significa el diseño, se procede a centrarnos en diseñar las máquinas mecánicas, por lo cual podemos darle una explicación de que es el desarrollo de agrupar diferentes técnicas y fundamentos científicos con el fin de crear un artefacto, proceso, dispositivo o un sistema que cuente con suficientes especificaciones y aclaraciones para llevarse a cabo. (Norton, 2009)

3.7 Diseños De Compactadoras.

Diseño de un sistema de compactación con una capacidad de 45 kg usando una ecuación de regresión lineal para así poder compactar el forraje de los recipientes usando los resultados de la deformación tangencial obteniendo de esta forma factores de seguridad superiores a 1,03, una deformación total máxima de 0,437 mm y un esfuerzo de Von-Mises máximo de 242,51 MPa, por lo que las dimensiones y los materiales propuestos son los adecuados para utilizarse en este sistema compactador. (Lucero Cintia et al., 2019)

En el proyecto de titulación diseño y construcción de una máquina compactadora de residuos sólidos para la empresa Curtiembre Quisapincha en la cual realiza todos los procesos que se toman en cuenta al momento de diseñar y hasta el punto de construir una máquina compactadora, en esta tesis se realiza un análisis de la situación de la empresa con respecto a los procesos, se hace una investigación y análisis acerca de todos los métodos de compactación de residuos sólidos, y se elige el método de una compactadora de tornillo sin fin, y se efectúan los diseños de los componentes, especificaciones técnicas, sistema por lo cual nos da un apoyo para dar una guía en el desarrollo de este trabajo. (Camacho Muncha, 2019)

Diseño de un proyecto el cual se enfoca en la reducción del consumo de material importado ya que la demanda por el producto aumenta llevando a una necesidad de máquina, convertirlos en una alternativa de mejoramiento de producción, disminución de desperdicio, reducción de esfuerzo físico, ganancias económicas, tras producir briquetas que tengan una densidad de 2,2 kg/dm³, utilizando un sistema mecánico e hidráulico, por lo que fueron aprobadas las propuestas del proyecto. (Cruz Moreno & Santo Remache, 2013)

El diseño de una máquina compactadora se ha concebido utilizando latas de aluminio de bebidas vacías. Estas latas son introducidas en la máquina a través de una rampa que conduce a la cámara de compactación. Dentro de esta cámara, se efectúa un proceso de pre-compactación inicial mediante el uso de un punzón, seguido por una compresión adicional mediante un bloque, empleando un mecanismo de biela-manivela. Este mecanismo, debido a su geometría específica, garantiza que la lata se reduzca a una quinta parte de su volumen original. Este estudio fue llevado a cabo con el propósito de determinar diversos factores, asegurando al mismo tiempo que se cumpliera con el costo deseado establecido en los requisitos del proyecto. (Baltuano Parra, 2013)

La creación de una máquina a partir de elementos en desuso se logró mediante la utilización de materiales necesarios, tales como un circuito hidráulico que comprende componentes como un cilindro de doble efecto procedente de un retroexcavador antiguo, la bomba hidráulica proveniente de un tractor agrícola pequeño y el sistema de control oleo-hidráulico recuperado de un retroexcavador. Esta máquina fue construida aprovechando la disponibilidad de estos elementos en desuso, lo que demuestra la capacidad de reutilizar y reciclar componentes para crear nuevas soluciones prácticas. (López Cascante & Bajaña Haro, 2016)

Charlton S. Inao as a project “Design and Development of Waste Compactor for plastic bottles, Metal Cans, and Papers” whose purpose is the design of this compactor compressing solid waste such as paper, PET bottles, cans and aluminum cans to alleviate the worsening of waste management conditions. The compactor that compressed the waste into a final cubic shape of 190 mm (L) x 190 mm (W) x 160 mm (H), with a compression density of 1,500 kg/m, includes three main operations namely, compaction, lifting and dumping, all of which were driven by cylinders and directional control valves. Structural and material analyzes were performed so that the entire structure became robust. The relay ladder logic diagram was designed to optimize all compaction system operations. the research team still manages to do the actual manufacturing and prototype using pneumatics. (compressed air) instead of hydraulics (compressed oil). (Inao et al., n.d.)

En esta investigación se centró en la restauración de una máquina que presentaba problemas. En un principio, se llevó a cabo un estudio exhaustivo del funcionamiento de la máquina, con un enfoque particular en su sistema hidráulico. La empresa de reciclaje asumió los costos de la reparación a través de un proveedor externo, quien se encargó de corregir las partes dañadas en las bombas, pistones y válvulas. Respecto al sistema eléctrico y de control, se emprendió la tarea de reparar y sustituir los componentes que estaban en mal estado, tales como el motor, los arrancadores, los relevadores, los sistemas de protección, las botoneras, los PLC y los cables eléctricos. En relación con la programación del PLC, se realizó una verificación minuciosa para asegurar el correcto funcionamiento de las entradas, salidas, interruptores de límite y válvulas eléctricas, con el fin de operar y controlar la enfardadora. Además, se llevó a cabo una evaluación y simulación de la programación antes de cargarla y ejecutarla en el PLC. Como resultado de estos esfuerzos, la empresa logró recuperar su capacidad de producción, lo que representó un beneficio significativo. (Hernández Reyes et al., 2014)

El diseño y la simulación de una máquina para compactar fardos de heno o pasto verde se desglosa en tres secciones, donde se analiza el comportamiento de la máquina. Tras realizar los cálculos pertinentes, se determinó que la construcción de esta máquina es factible tanto en términos de eficacia como de seguridad. Mediante el uso de software de ingeniería, se pudo verificar que la diferencia promedio entre los resultados de los cálculos teóricos y los simulados oscila en un rango del 20 al 30 por ciento. Los resultados obtenidos en los cálculos teóricos son menores a los simulados debido a las condiciones físicas que adoptamos en la simulación de cada elemento, esto es, en la parte teórica consideramos como un elemento rígido (ideal) mientras que en el software considera todas las características físicas y geométricas del elemento. (Pichucho Quishpe & López Moreta, 2012)

4 Metodología

Para este proyecto se llevó a cabo la metodología mixta, usando el método de la herramienta DFA (diseño para el ensamble), centrándose en el diseño de la frigorífica, llegando desde unas condiciones a un prototipo para la simulación de lo

planteado y así se evaluó su rendimiento en funcionamiento. Para esto se realizó el método de la casa de calidad la cual es un procedimiento para analizar y mejorar la calidad que se emplea en los diseños y producción de productos o servicios, como tal es la construcción “casa” de forma gráfica que implica las necesidades del cliente en ese caso de una frigorífica, las cuales se componen de los diferentes elementos, características y atributos del producto; para llevar a cabo esta metodología se tienen que tener en cuenta varios pasos ya que el levantamiento se divide en identificar las necesidades del cliente, en este paso se debe investigar, seleccionar las necesidades y perspectivas de la frigorífica en relación al producto, después se establecen los requisitos técnicos que a partir de la información obtenida de las necesidades se obtienen los requisitos específicos que se deben tener en cuenta para satisfacer este requerimiento de la empresa para obtener la calidad que se espera, puesto que con estos conocimientos se crea la primera parte de la casa de calidad; también se compone de un tejado en la cual se representan las relación que se obtiene de las necesidades con los requerimientos. (IONOS, 2020)

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se propuso 4 etapas para el desarrollo del proyecto, las cuales son:

La primera etapa está basada en la investigación para poder identificar los parámetros de condición y las propiedades del contenido ruminal realizado por el proceso de sacrificio en una frigorífica, por lo cual se realizan revisiones de diseños o sistemas que cumplan con el proceso para poder tener en cuenta que tipo de sistemas de compactación existen, qué métodos se utilizaban, cuál era el medio por el cual se transportaba el rumen, que sistema de alimentación se usa, el mecanismo por el cual el rumen salía, qué problemas se pueden presentar, también indagar sobre las propiedades físicas del rumen y con base en todo este estudio ejecutar un análisis. Toda la investigación se realizó explorando la base de datos de la Biblioteca UPB también en portal de revistas y en el repositorio Institucional, para casos con las condiciones similares que se centren en la compactación de residuos. Se examinaron las alternativas de diseño adecuadas para la compactación del rumen, y se indaga sobre qué necesidades y propiedades se deberían tomar para que el proceso se cumpla.

En la segunda etapa se efectúa la metodología de la casa de calidad teniendo en cuenta toda la investigación que se realizó previamente, por lo cual nos dará los parámetros y la importancia de cada uno, ya que se deberán tener en cuenta para la elección del tipo de sistema de compactación, con estos factores se empleó la metodología del criterio ponderado para la selección del tipo de máquina compactadora, esto se tomó en cuenta para tener la potestad de elegir el diseño que cumpla con los requisitos de una empresa. Al momento de tener certeza en el tipo se ejecutó el diseño conceptual del sistema seleccionado en la que se tuvieron que tomar en cuenta la problemática que estaba presentando una frigorífica que no aprovechara correctamente el contenido ruminal para tener beneficios de este desecho del sacrificio.

En la tercera etapa se desarrolló el diseño de detalle, por lo cual se empezó por el diseño mecánico de todas las piezas que componen al sistema de compactación, como lo son tolva, tornillo sin fin, cilindro, etc. Y al terminar todos los cálculos y dimensiones que tendrá la compactadora se procede a realizar en el software de diseño CAD 3D SolidWorks®. También se selecciona los materiales que se usarán en los componentes teniendo en cuenta el uso que se le dará, seguidamente ya con los componentes en el software se procede a realizar análisis de, estudios de movimientos y térmicos con el fin de validar los parámetros en los cuales trabajará el diseño, posteriormente se creó una vista explosionada en la cual se pueda observar claramente todos los componentes, los cuales no se pueden ver tan detalladamente en el plano general y planos individuales.

En la cuarta y última etapa se realizó un prototipo del diseño de detalle a escala reducida para realizar evaluación y validez del diseño, esto ayuda a identificar qué posibles errores se puedan presentar por lo cual nos dará una retroalimentación antes de efectuar el diseño a una escala mayor, también con el fin de mostrar el proyecto y la buena comprensión de sus diferentes elementos.

4.1 Análisis funcional.

Para un buen análisis es necesario ser meticuloso con el oficio principal de la compactadora para luego dividirlos en sub-pasos, estos pasos son a detalle. Los módulos deben ir conectados con interfaces los cuales pueden ser mecánica energética, de transferencia de residuos o señales.

Desarrollo de la estructura funcional.

En este punto se planifican las funciones y sus subfunciones dependiendo los niveles propios establecidos.

NIVEL 0:

El nivel 0 lo principal a compactar con el funcionamiento de la máquina la cual se representa en la imagen 6.

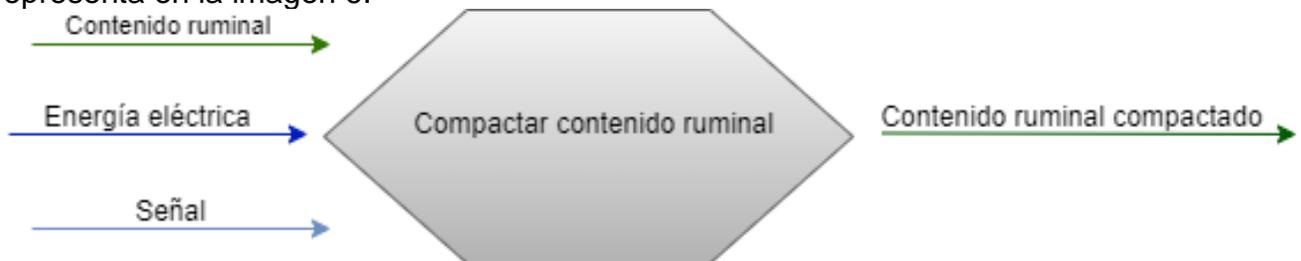


Imagen 6. Nivel 0 estructura funcional. Elaboración propia

Nivel 1:

El nivel 1 busca ilustrar los principales componentes para su funcionamiento de manera general.

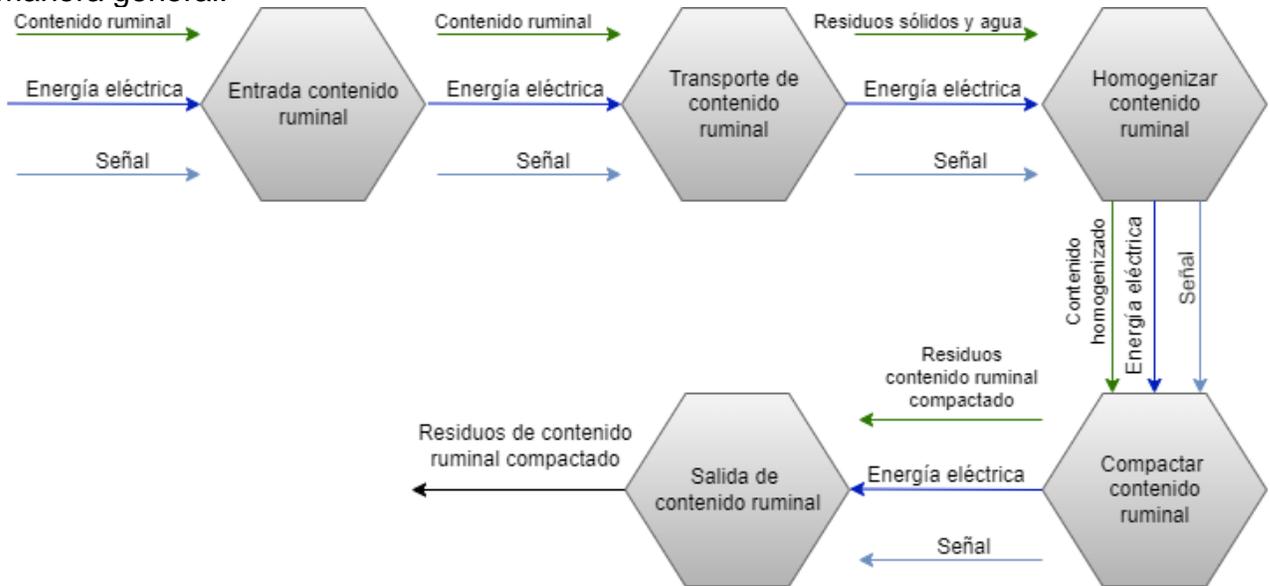


Imagen 7. Nivel 1 estructura funcional. Elaboración propia

Nivel 2:

El nivel 2 se tiene presente las sub-pasos que tendrá que realizar cada función del nivel 1, favoreciendo así un proceso adecuado en la compactadora. busca ilustrar los principales componentes para su funcionamiento de manera general.

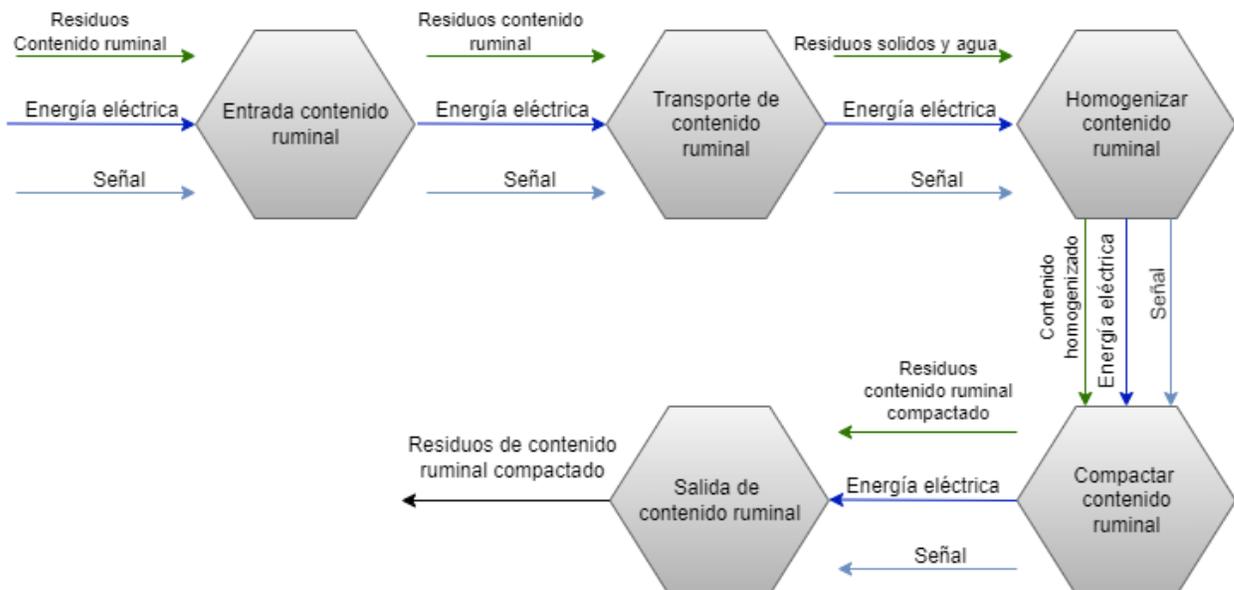


Imagen 8. Nivel 2 estructura funcional. Elaboración propia

Determinación de los módulos señalados

Al ver determinado el nivel 2 del diagrama presentado en la imagen 9, se estableció una guía para el proceso de diseño de la máquina cuyos principales ítems son.

- **ÍTEM 1:** Entrada y salida del residuo sólido de C. Ruminal.
- **ÍTEM 2:** Homogenización de residuo sólido de C. Ruminal.
- **ÍTEM 3:** Compactación y por el cual sale de residuos sólidos de C. Ruminal.

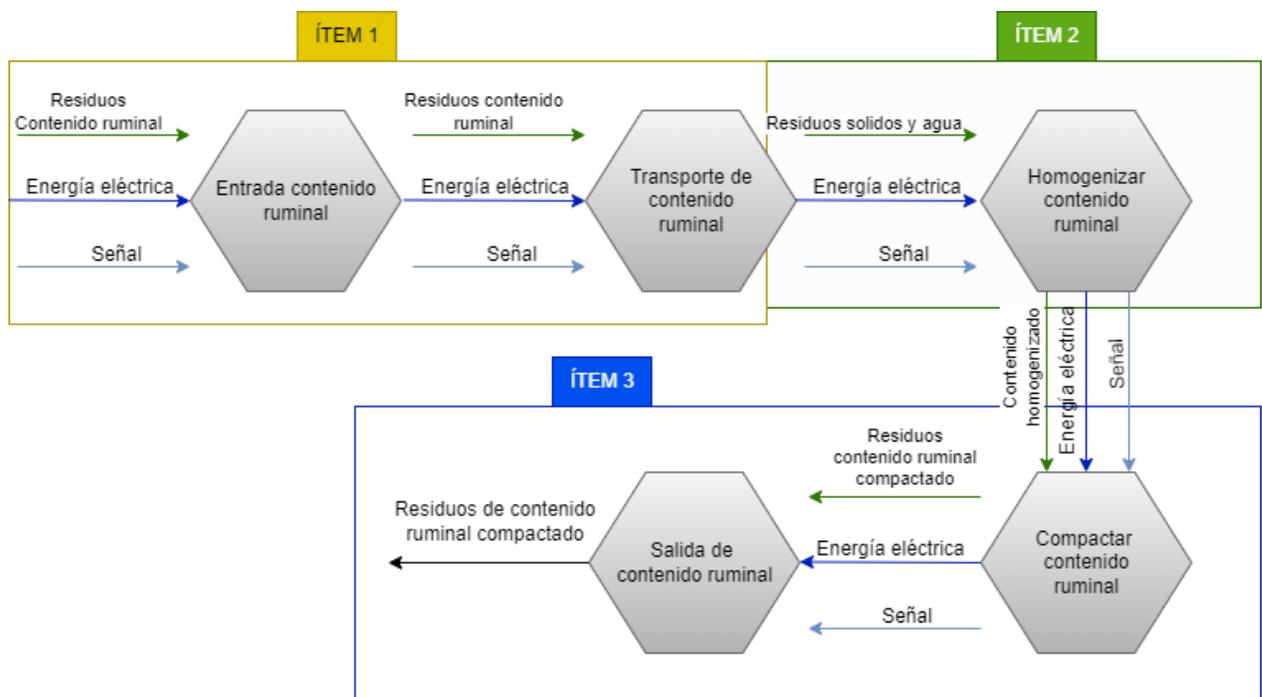


Imagen 9. Nivel 3 estructura funcional. Elaboración propia

5 Resultados Y Discusión:

Para las condiciones de producción sobre la planta de sacrificio se tomaron en cuenta los datos del trabajo el cual menciona que se realiza el sacrificio de 7500 reses al mes de la cual por cada vaca se logra obtener 10,5 kg de contenido ruminal después del secado al aire libre, y su análisis de componentes es que tiene un 33,95 % de carbón, 4,8% de hidrogeno, 36,5 % de oxígeno y 1,01% de nitrógeno todo esto bajo el método ASTM D5373-14ε2. (Fajardo et al., 2020)

5.1 Matriz De Casa De Calidad

Como se mencionó en la metodología se emplea el diseño de la casa de calidad en la cual se toman en cuenta lo que necesita la empresa y lo que una compactadora puede ofrecer en el mercado, en la imagen 10 se evidencia la casa de calidad.

⊙=Relación fuerte

○=Relación media

△=Relación baja

5.1.1 Estudio De La Casa De Calidad.

En el análisis de la Casa de Calidad, se ingresan las necesidades de la empresa en la matriz correspondiente para su desarrollo respectivo. La imagen 10 muestra la matriz de la Casa de Calidad, donde se asigna un factor de repercusión según el grado de cumplimiento de las perspectivas de los requerimientos del usuario. Esta matriz genera resultados clasificados como fortaleza, mediano o débil, permitiendo así la evaluación de cada uno de estos aspectos.

En la selección adecuada en la parte superior de la matriz (techo de la casa), se van señalando los compromisos al ubicar la relación positiva o negativa entre aspectos técnicos. Posteriormente, se establecen los objetivos del diseño orientado a la construcción, siguiendo esta evaluación detallada.

Al momento de la selección de la potencia adecuada de compactación debe ser la adecuada, por cual se elegirán los componentes necesarios que sean los más acordes para su maximización, cumpliendo sus funciones. La descarga de aguas residuales tiene que llevar las etapas de transporte, homogeneización y compactación. Al momento del funcionamiento de esta, tiene que ser semiautomática para un manejo más cómodo.

Definición de cualidades de la casa de calidad.

- **Material inoxidable:** Gracias a los alimentos que produce el rumen como los ácidos acético, propiónico y butírico, es importante la realización de la máquina que cumpla con piezas de acero inoxidable ya que tiene características de ser un metal higiénico, duradero a lo largo del tiempo y anticorrosivo.
- **Seguridad:** La seguridad en el área de trabajo de compactación debe cumplir la norma OHSAS 18001, en el cual todas las empresas tipo micro y macro tienen que garantizar la completa seguridad y salud de sus operadores en sus lugares de trabajo.
- **Bajo Costo:** El interés de llevar a cabo un sistema de costos en una microempresa o macroempresa radica a la hora de controlar los insumos destinados a la producción, además de esto, el sistema permite determinar el costo a la hora de realizar la compactación.

- Alimentación de residuos continuos: Es de vital importancia que, a la hora de realizar su proceso, esta sea semiautomática ya que alimentándose reducirá tiempo en la realización de esta y arrojará como consecuencia en incremento de autonomía.
- Número de mantenimientos al año: La importancia de los mantenimientos es aumentar la vida útil de la compactadora evitando fallas en el proceso y retrasos, disminuyendo así el uso de repuestos y recambios.
- Potencia de compactación: Es la velocidad a la que una máquina proporciona energía realizando así su proceso adecuado. Esto también está relacionado con la eficiencia, ya que en cuanto más eficiencia más económico de operar y menos contaminante.
- Fuente de alimentación: Su fuente de alimentación es la tolva, la cual esta se ubica suspendida a mayor altura vaciando así el material. Al pasar el contenido ruminal dentro de la tolva, y al momento de una saturación, se abre la parte inferior del cono dejando salir su contenido.
- Operador: El operador se va a encontrar siempre al pie de la compactadora para realizar sus tareas, monitorear o algún tipo de actividad.
- Operación semiautomática: Consta del operario el cual es el encargado de llevar a cabo la finalización del proceso ya que la máquina realizará su respectiva tarea llevando lo compactado y el operario recogiendo y empujándola.

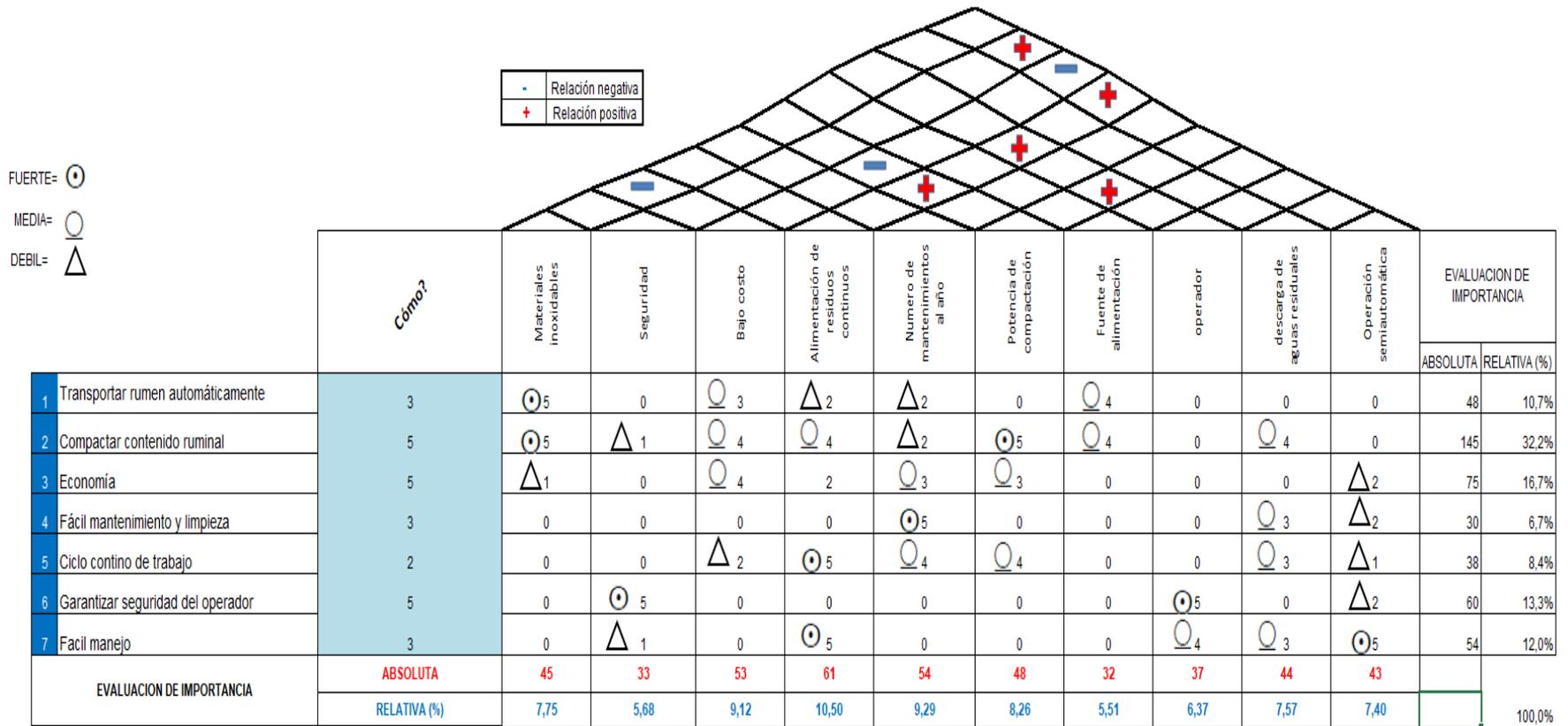


Imagen 10. Matriz de casa de calidad. Elaboración propia

5.1.2 Deducción De La Casa De Calidad.

Los resultados obtenidos fueron acuerdo a las necesidades estándar de producción teniendo en cuenta la bibliografía consultada y a través de los cuales se espera satisfacer los requerimientos de promedio son:

- Transportar rumen automáticamente 10,7 %
- Compactar contenido ruminal 32,2 %
- Economía 16,7 %
- Fácil mantenimiento y limpieza 6,7 %
- Ciclo contenido de trabajo 8,4 %
- Garantizar seguridad del operador 13,3 %
- Fácil manejo 12 %

Posteriormente se decide la evaluación la incidencia de las características técnicas en la optimización, las cuales son:

- Alimentación de residuos continuo
- Potencia de compactación
- Operador
- Operación semiautomática
- Seguridad

5.1.3 Diseño conceptual.

Para la recepción de contenido ruminal que alimentaria a la compactadora se tiene en cuenta que tiene la función de admitir los residuos y homogeneizar por lo cual una posible solución es la realización de una tolva de alimentación que permita el fácil acceso y con ayuda de la gravedad no presente ningún inconveniente, este aparato también funciona como especie de un embudo el cual ayudará de que al momento de verter el residuo haya las menores pérdidas. Esta alternativa nos proporciona una alimentación continua ya que no tiene forma de obstruirse y una carga directa, tiene un fácil mantenimiento, es duradero, fácil de montar, los inconvenientes son que se tienen que realizar limpieza periódicamente y que es un elemento fijo.

Después de compactar el contenido ruminal el cual cuenta con una gran cantidad de humedad se requiere evacuar todo este líquido, se plantea una matriz con perforaciones alrededor del sistema las cuales cumplirían con el escurrir el

excedente de humedad ya que al momento de poner el funcionamiento la máquina el líquido podrá evacuarse en cualquier sentido, las desventajas de este sistema es que requiere un material con un procesado aún más especializado que el resto de los materiales de la máquina, también se tiene que tener en cuenta que tendría una limpieza constante para impedir obstrucciones.

Para la compactación del contenido ruminal se estudiarán diferentes sistemas de compactación y para determinar el más apropiado, se utilizará el método de criterios ponderados los cuales se detallarán después del estudio de cada sistema.

- Solución A: Compactación Hidráulica.

Esta emplea un sistema de prensa hidráulico y se puede definir como una estructura que utiliza un aceite que trabaja bajo presión el cual mueve un vástago, el funcionamiento está bajo el principio del matemático Blaise Pascal en que se afirma que la presión ejercida a un fluido líquido dentro de un recipiente se transmite de la misma intensidad en todas las direcciones. Este sistema usualmente tiene deterioro en lo que son los empaques, bobinas y válvulas por lo cual son averías que se pueden solucionar fácilmente. Normalmente cuentan con dimensiones de 2 metros de alto y de ancho y una profundidad de 1 metro, este sistema requiere de limpieza del fluido, un muy buen mantenimiento ya que trabaja a altas presiones y es un sistema costoso. (Ramos Quintero et al., 2022)

- Solución B: Compactación de sistema neumático.

En este sistema se ejecuta en características controladas con la ayuda de motores y cilindros neumáticos impulsados por un fluido en este caso aire, ejemplos de este sistema son los frenos neumáticos, pistolas de pintura, prensas neumáticas, etc. Las condiciones que debe tener este fluido son bastantes exigentes para el correcto funcionamiento del sistema, ya que si no tienen las propiedades adecuadas puede hasta dañar varios componentes, entre los elementos básicos de este sistema encontramos: compresores, acumuladores y acondicionadores de aire. (Chiluisa Sunta, 2016)

- Solución C: Compactación con tornillo de extrusión.

En este tipo de compactación se emplea un tornillo de sección transversal variable el cual funciona para el empuje del residuo contra las paredes de una matriz, además desde una tolva de alimentación hasta la salida de la matriz, esta provoca la densificación del material en un rango de 1000 Kg/m³ a 1400 Kg/m³. En múltiples ocasiones este método de compactación está acompañado por calentadores la cual cumplen la función de reducir la humedad del residuo.

- Solución D: Compactación de rodillo.

Este tipo de compactación, el material es sometido a una precompresión gracias al efecto de un tornillo con la funcionalidad de ser el transporte del material, mediante una cámara o carcasa. Seguido a esto, el material pasa por dos rodillos los cuales estos giran en sentido opuesto. Este proceso de compactación requiere tamaños de partículas a pequeña escala y aglutinantes externos para tener resultados positivos.

- Solución E: Compactación con pistón mecánico.

Este método se usa para la compactación de residuos agrícolas o de tipo biomasa. Este suele tener un menor consumo energético y la producción de este método es de 2500 Kg/m³, seguido a esto acepta residuos con altos contenidos de humedad para su compactación. El sistema posee un mecanismo de rotación continua que es el que hace empujar la biomasa constantemente a través de una matriz. Este método, depende de los múltiples efectos del impacto del pistón y la fricción en las paredes. (Duque Orobio, 2021)

- Solución F: Compactación tornillo sin fin.

En este proceso, fundamentalmente es la presión ejercida sobre la materia que se desea compactar mediante un tornillo sin fin de un material adecuado, que gira a velocidades necesarias moviendo así el material que se desee compactar en una cámara que es la encargada del material en forma cónica, en ciertas máquinas, hay camisas térmicas con funcionalidad de aumentar la temperatura siendo como punto positivo al momento de la plastificación del contenido ruminal. Esta es comprendida entre 500 kg/h y 2500 kg/h, mediante este proceso se logra bloques con densidades de 1000 kg/m³ a 1400 kg/m³. Por otro lado, en las máquinas de calefacción forzada, la humedad de estas partículas está entre 12% y 15%.

5.2 Selección De Tipo De Compactación.

Para la elección del tipo de compactación se escogerá el método de criterio ponderado, para escoger el modelo más apropiado para el diseño y se utilizaron los pesos y criterios que resultaron de la casa de calidad. En la Tabla 2 se muestran los resultados de este método.

Tabla 2. Valoración ponderados de criterios. Elaboración propia

| Criterios | Ponderados | Solución A | Solución B | Solución C | Solución D | Solución E | Solución F |
|-----------------------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Transportar rumen automáticamente | 10,7% | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Compactar contenido ruminal | 32,2% | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| Economía | 16,7% | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Fácil mantenimiento y limpieza | 7% | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Ciclo contino de trabajo | 8,4% | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| Garantizar seguridad del operador | 13,3% | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| Facil manejo | 12,0% | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Total | | 3,56 | 3,73 | 4,021 | 3,573 | 3,75 | 4,135 |

5.2.1 Conclusión De Las Propuestas De Solución.

Teniendo en cuenta todos los factores y su respectiva importancia en el diseño de la compactadora, se puede afirmar dando respaldo de la Tabla 2 que el método de compactación que mejor se adapta a las necesidades requeridas de este tipo de cuestión es la solución F (Compactación tornillo sin fin), la cual dio un resultado total de 4,135 y es el de mayor rango frente a las otras alternativas, poniendo los criterios de calificación a la hora de operar.

6 Diseño Mecánico De Los Componentes.

Es necesario el comprender el problema para así hallar la solución más adecuada, para esto se ha elaborado la siguiente lista en la cual nos ayudará a tener una mejor comprensión. (León Bayas, 2016)

A) Definir los parámetros como se realizará la operación.

Teniendo todo claro el cómo diseñar la máquina y el funcionamiento de esta, se debe plasmar el resultado que se espera; definir los parámetros de la operación, esto al buscar surgirán consideraciones que se tendrán en cuenta como las vibraciones, requerimientos de seguridad, espacio, materiales, condiciones ambientales, etc. Estos son los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora del diseño de la máquina compactadora los cuales operará durante todo el proceso excepto factores que lo impidan como piezas complejas de conseguir, material costoso, restricciones o temas económicos.

B) Consideraciones para tener en cuenta para el diseño.

Por otro lado, al haber seleccionado el tipo de compactación, debemos definir los elementos que van a construir la máquina, se debe realizar un trabajo rigurosamente ya que así se podrá determinar los elementos críticos de proceso de compactación; en el transcurso del desarrollo nos daremos cuenta si es o no necesario el cálculo de todas las partes de la máquina.

C) Diseños de componentes mecánicos.

Del mismo modo ya teniendo claro y escrito lo relevante de la compactadora, el paso a seguir es diseñar todos los componentes principales como: soportes, tornillo sin fin, vigas, caparazón, canalón, tolva etc. Además, se tiene que escoger un factor de seguridad en nuestro diseño que garantice el bienestar de los operadores y por supuesto la seguridad.

Además, en el diseño se tiene que hacer los estudios de; carga axial la cual se va genera a lo largo del tornillo, además de esto la torsión que viene siendo el torque y es el que va a suministrar el motor de acuerdo con la relación de transmisión, siguiendo a esto La fuerza, esfuerzos y estudios térmicos.

Si por algún motivo detectamos que un elemento presenta fallas en su diseño, tendríamos que analizar los factores que permitan resolver dicho problema o un rediseño.

D) Cálculos de posibles elementos externos.

Los elementos adicionales que actúan como complemento del compactador incluyen soldadura, pernos, engranes, motores, cojinetes, etc.

E) Ensamble de los componentes presentados.

Al estar finalizando las dimensiones de la compactadora, se deben elaborar los planos con todas sus características para su correcta construcción y montaje. Estos deben ser claros y contener toda la información en cada una de sus piezas, como cotas, ajuste, tolerancia, acabados, vistas auxiliares, cortes, requerimiento de pintura y cualquier parámetro o requerimiento para tener en cuenta dura su fabricación y ensamble.

F) Análisis económico.

Al finalizar se debe realizar las cuentas para así determinar los costos de fabricación de la máquina, teniendo en cuenta que el factor económico es supremamente importante en todas las decisiones durante todo el proceso de dicha máquina.

6.1 Consideraciones Para El Diseño Del Tornillo Sin Fin.

Para la consideración del diseño del tornillo sin fin se toma como referencia el libro Transformación de plásticos de Savgorodny. (Savgordony, 1978)

6.1.1 Diámetro.

Para este diseño se toma en cuenta los diámetros de tornillo que se pueden encontrar comercialmente. Considerando las consideraciones del diseño, por lo cual se escogió uno diámetro de 0,1524 m.

$$\varnothing = 0,1524 \text{ m}$$

Ecuación 1. Diámetro del tornillo sin fin.

6.1.2 Longitud.

Teniendo en cuenta los espacios de una frigorífica es un punto positivo para la empresa una longitud de 1,2 metros.

$$L = 1,2 m$$

Ecuación 2. Longitud del tornillo sin fin.

6.1.3 Paso De La Rosca.

La capacidad de producción está influenciada de forma similar por esta variable tomando una alta responsabilidad para el proceso. Ya que el paso de rosca afecta directamente la cantidad y calidad del producto que puede ser compactada en una sola rotación, teniendo en cuenta un paso de rosca muy grande disminuiría la calidad y aumentaría la eficiencia, por otro lado, un paso de rosca más pequeña disminuye la eficiencia, pero aumenta la calidad.

$$t = 0,06 m$$

Ecuación 3. Paso de la rosca.

6.1.4 Angulo De Filete.

Considerando la importancia de este factor al momento de diseñar dado que afecta la compresión de material y la vida útil del tornillo, teniendo en cuenta que es inversamente proporcional a la relación del ángulo de filete con la vida útil del tornillo.

$$h = \text{profundidad del canal} = 0,04 m$$

$$t = \text{paso de rosca} = 0,06 m$$

$$\varphi = \text{angulo de hélice} = 9,64^\circ$$

$$\tan \varphi = \frac{t}{(\varnothing - h) * \pi}$$
$$\varphi = 9,64^\circ \approx 10^\circ$$

Ecuación 4. Angulo de filete.

6.1.5 Holgura.

Es un punto importante ya que la distancia que hay entre el tornillo y el diámetro interno del cilindro puesto que es el juego que tiene el tornillo. Para tener una buena

eficiencia en la compactadora la distancia que debe de haber entre estas dos tiene que ser mínima.

$H = \text{holgura}$

$\emptyset = 0,1524 \text{ m}$

$$H = 0,003 * \emptyset$$

$$H = 0,0004572 \text{ m}$$

Ecuación 5. Holgura.

6.1.6 Anchura Del Filete.

La anchura de un filete en un tornillo sin fin se refiere al ancho (espesor) de la cresta del filete en la rosca del tornillo.

$e = \text{espesor del filete}$

$$e = 0,12 * \emptyset$$

$$e = 0,12 * 0,0508 \text{ m} = 0,006096 \text{ m}$$

Ecuación 6. Anchura del filete.

6.1.7 Producción Del Tornillo.

El flujo volumétrico está caracterizado por tres compuestos los cuales son; Flujo de presión, Flujo de arrastre, Flujo de pérdidas. Estos flujos nos indican el desplazamiento y la pérdida del material al realizar el proceso de compactación, teniendo en cuenta estos tipos de flujo, se tiene una idea más clara de la realización del proceso.

6.1.8 Flujo De Presión.

Movimiento o desplazamiento de un fluido debido a una diferencia de presión, el cual se opone como el llamado "flujo de retorno".

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L}$$

β

$$= \frac{1 * 0,04 \text{ m}^3 * \left(\frac{0,06 \text{ m}}{1} - 0,006096 \text{ m}\right) * \sin(10) * \cos(10)}{12 * 1,2 \text{ m}}$$

Ecuación 7. Flujo de presión.

$$\beta = 4,09694 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

6.1.9 Flujo De Arrastre.

Flujo encargado de arrastrar el material a compactar.

$$\alpha = \frac{\pi * m * \emptyset * h * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \cos^2(\varphi)}{2}$$

α

$$= \frac{\pi * 1 * 0,1524 \text{ m} * 0,04 \text{ m} * \left(\frac{0,06 \text{ m}}{1} - 0,006096 \text{ m}\right) * \cos^2(10)}{2}$$

Ecuación 8.
Flujo de
arrastre.

$$\alpha = 5,00597 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

6.1.10 Flujo De Pérdidas.

Este flujo se presenta cuando un factor o varios tienen fallas causando filtraciones, además pérdidas del material generadas en la holgura entre el cilindro y el tornillo sin fin.

$$\gamma = \frac{\pi^2 * \emptyset^2 * H^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L}$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 * 0,1524 \text{ m}^2 * 0,0004572 \text{ m}^3 * \tan(10)}{10 * 0,006096 \text{ m} * 1,2 \text{ m}}$$

Ecuación 9. Flujo de pérdidas.

$$\gamma = 5,28057 \times 10^{-11} \text{ m}^3$$

6.1.11 Geometría De La Boquilla.

La variable B es la encargada de darle una forma geométrica de la boquilla. Según nuestros criterios tomamos una boquilla con canal cónico teniendo un diámetro de ingreso de 0,1524 m, un diámetro de salida de 0,0508 m y cuya longitud es de 0,45 m.

$$\emptyset_{\text{ingreso}} = \text{ingreso material} = 0,1524 \text{ m}$$

$$\emptyset_{\text{salida}} = \text{salida del material} = 0,105 \text{ m}$$

$$l_{\text{boquilla}} = 0,0205 \text{ m}$$

$$B = \frac{3 * \pi * \emptyset_{\text{ingreso}}^3 * \emptyset_{\text{salida}}^3}{128 * l_{\text{boquilla}} * (\emptyset_{\text{ingreso}}^2 + \emptyset_{\text{ingreso}} * \emptyset_{\text{salida}} + \emptyset_{\text{salida}}^2)}$$

$$B = \frac{3 * \pi * 0,1524_{\text{ingreso}}^3 * 0,105_{\text{salida}}^3}{128 * 0,0205 * (0,1524_{\text{ingreso}}^2 + 0,1524_{\text{ingreso}} * 0,105_{\text{salida}} + 0,105_{\text{salida}}^2)}$$

Ecuación 10.
Geometría de
la boquilla.

$$B = 2,928668228 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

6.1.12 Cálculo De Flujo Volumétrico.

Finalmente, en este apartado teniendo en cuenta la ecuación 11 que se obtendrá la medida del flujo volumétrico con los datos antes obtenidos.

n = revoluciones por minuto

$$Q = \left(\frac{\alpha * B}{B + \gamma + \beta} \right) * n$$

$$Q = \left(\frac{5,00597 \times 10^{-4} \text{ m}^3 * 2,928668228 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{2,928668228 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 5,28057 \times 10^{-11} \text{ m}^3 + 4,09694 \times 10^{-8} \text{ m}^3} \right) * 40 \text{ rpm}$$

Ecuación 11.
Flujo
volumétrico.

$$Q = 0,020021075 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$Q \approx 0,00033368459 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

6.2 Diseño De La Cubierta.

Se llevaron a cabo las siguientes acciones para diseñar el cilindro: se utilizó un tubo de acero galvanizada por inmersión en caliente a 33° que tiene una resistencia a la tracción de 310 MPa y una tensión de fluencia de 230 MPa, ya que como este componente está en contacto directo con el contenido ruminal y trabaja en conjunto con el tornillo sin fin, para iniciar se calcula el esfuerzo permisible y teniendo en cuenta los parámetros del factor de diseño se toma un valor de 1,3 que está en el rango de 1,25 a 2,0 ya que es una estructura que está bajo cargas estáticas. (Mott, 2004)

$$S_y = 230 \text{ MPa}$$

$$N = 1,3$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{230 \text{ MPa}}{1,3}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 176,923 \text{ MPa}$$

Ecuación 12. Esfuerzo permisible.

Para el cálculo del espesor del cilindro, se tomaron en cuenta los valores previamente obtenidos. Para determinar la presión interna, se tomaron en cuenta

dos trabajos de investigación sobre la compactación del papel y cartón que la presión de trabajo era alrededor de 17 MPa y una compactadora de cascarillas de arroz en la cual se tomó una presión de aproximadamente 10 MPa hasta los 24 MPa, ya que no hay investigaciones de la presión que se debe ejercer sobre el contenido ruminal para su aprovechamiento, se optó por una presión de 20 MPa, la cual se encontraba dentro del rango de 10 a 24 MPa. (Arboleda et al., 1986; Coaguila Berrios, 2018)

$$P = 20 \text{ MPa}$$

$$r = 76,43 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{P * r}{t}$$

$$t = \frac{P * r}{\sigma_{\text{permisible}}}$$

$$t = \frac{20 \text{ MPa} * 76,43 \text{ mm}}{20 \text{ MPa}}$$

$$t = 2,87 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$$

Ecuación 13. Espesor pared delgada.

Para comprobar que el espesor de la pared de la cubierta cuenta como una pared delgada se utiliza la siguiente relación.

$$\frac{r}{t} > 10$$

$$\frac{76,43}{3} > 10$$

Ecuación 14. Comprobación pared delgada.

6.3 Selección del grupo motriz.

Para la selección del grupo motriz se tiene que determinar la velocidad de giro del tornillo, la cual va a depender de la condición del material a compactar que en nuestro caso es el contenido ruminal. Por lo cual se usará a aproximadamente una velocidad de giro.

6.3.1 Velocidad de giro.

Gracias a nuestro diámetro del tornillo se escogerá un rango de 65 rpm a 30 rpm. Nosotros escogeremos 40 rpm ya que el material a compactar es semi abrasivo y tiene pequeños tamaños en lo que compone la mezcla.

Materiales de Clase I – Clase III

Estos materiales son principalmente pulverulentos, no abrasivos.

Materiales de Clase IV – Clase V

Estos materiales son semi - abrasivos

Tabla 3. Velocidad de giro del tornillo. (Rodríguez Galbarro, n.d.)

| Diámetro del tornillo (mm) | Velocidad máxima (r.p.m) según la clase de material | | | | |
|-------------------------------|---|----------|-----------|----------|---------|
| | Clase I | Clase II | Clase III | Clase IV | Clase V |
| 100 | 180 | 120 | 90 | 70 | 30 |
| 200 | 160 | 110 | 80 | 65 | 30 |
| 300 | 140 | 100 | 70 | 60 | 25 |
| 400 | 120 | 90 | 60 | 55 | 25 |
| 500 | 100 | 80 | 50 | 50 | 25 |
| 600 | 90 | 75 | 45 | 45 | 25 |

6.3.2 Potencia eléctrica.

Potencia eléctrica= $P_{\text{eléctrica}}$

Presión= P

Flujo volumétrico= Q

$$P_{\text{eléctrica}} = P * Q$$

$$20 \text{ Mpa} * 0,00033368459 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,0066736 \text{ Mw}$$

Ecuación 15. Potencia eléctrica.

$$P_{\text{eléctrica}} = 0,0066152 \text{ Mw} = 6,6736 \text{ Kw}$$

6.3.3 Selección de motorreductor Coaxial.

Este tipo de motorreductor tiene una múltiple aplicación en la industria, pero centrándonos en nuestro objetivo este motorreductor opera para altas cargas axiales y radiales puesto que hacen que sea más conveniente para transportadores de tornillos.

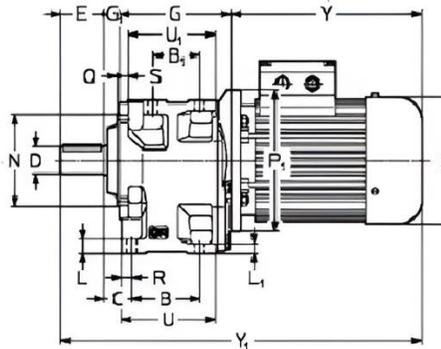
| P_1 KW | n_2 min ⁻¹ | M_2 daN m | f_s | Reductor - Motor Réducteur - Moteur | i |
|-------------|----------------------------|----------------|-------|--|------|
| 1) | | | | 2) | |
| 7,5 | 18,1 | 380 | 1,9 | MR 3I 160 - 132 MC 6 | 49,7 |
| | 37,6 | 183 | 1,32 | MR 3I 125 - 132 M 4 | 37,2 |
| | 37,6 | 183 | 1,7 | MR 3I 126 - 132 M 4 | 37,2 |
| | 40,6 | 169 | 1,06 | MR 3I 101 - 132 M 4 | 34,5 |
| | 41,1 | 167 | 2,8 | MR 3I 140 - 132 M 4 | 34 |
| | 41,9 | 164 | 1,6 | MR 3I 125 - 132 M 4 | 33,4 |
| | 41,9 | 164 | 2 | MR 3I 126 - 132 M 4 | 33,4 |

Imagen 11. Programa de fabricación. (COTRANSA, n.d.)

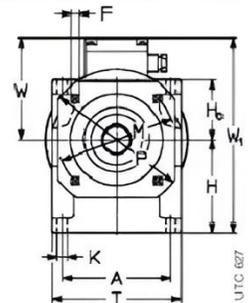
Se seleccionó este motorreductor **MR 3I 101 – 132 M** marca COTRANSA, el cual trabaja con una potencia de 7,5 kW, un factor de servicio de 1,06 y una velocidad de salida de reductores de 40,6 rpm.

10 - Ejecuciones, dimensiones, formas constructivas y cantidades de lubricante

10 - Exécutions, dimensions, positions de montage et quantités de lubrifiant



MR 2I, 3I 50 ... 180



Ejecución¹⁾ normal

Forma constructiva B3, B6, B7, B8, V5, V6

Exécution¹⁾ normale

Position de montage B3, B6, B7, B8, V5, V6

UC2A

| Tamaño Taille red. red. | motor moteur | A | B | B1 | C | D | E | F | G | G1 | H | Hc | K | L | L1 | M | N | P | R | S | T | U | U1 | P1 | X | Y | Y1 | W | W1 | Masa Masse kg | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-----|-----|-----|-------|----|-----|-----|-----|----|-----|----------|----|------|----|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | h11 | h11 | Ø | Ø | h6 | Q 0-2 | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | Ø | |
| 100 101 | 90 | 240 | 160 | 119 | 51,5 | 48 | 82 | 14 | 242 | 27 | 195 | 132 | 18 | 28,5 | 20 | 265 | 230 | 300 | 22,5 | 16 | 260 | 214 | 198 | 200 | 176 | 287 | 366 | 638 | 717 | 141 | 336 | 62 | 81 | 87 |
| | 100 | | | | (100) | | | | | | | | | | | | | 260 | 194 | | | | | 260 | 194 | 310 | 405 | 661 | 756 | 151 | 346 | 62 | 88 | 92 |
| | 112 | | | | 55 | | | | | | | | | | | | | 260 | 218 | | | | | 260 | 218 | 336 | 435 | 687 | 786 | 163 | 358 | 62 | 97 | 104 |
| | 132 | | | | (101) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 300 | 257 | 445 | 553 | 796 | 904 | 134 | 389 | 62 | 131 | 140 |
| | 160 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 350 | 314 | 573 | 640 | 940 | 1007 | 258 | 453 | 62 | 185 | 176 |
| 180M | | | | | | | | | 258 | | | | | | | | | | | | | | 350 | 354 | 613 | 640 | 980 | 1007 | 278 | 473 | 62 | 197 | 186 | |

Imagen 12. Ejecución, dimensiones, formas constructivas. (COTRANSA, n.d.)

Las dimensiones del motorreductor seleccionado son las siguientes; Eje de salida de motorreductor diámetro de 55 mm y longitud del eje de salida 82 mm.

6.3.4 Torsión

H = potencia (w)

τ = Torsión (N*m)

w = velocidad angular (rad/s)

$$\tau = \frac{H}{W}$$

Ecuación 16. Torsión.

$$\tau = \frac{7500 \text{ watt}}{4,2516220579 \text{ rad/s}} = 1764,032 \text{ N * m}$$

6.3.5 Acople motriz

Se seleccionó un acople de cadena, ya que se ajusta a nuestra necesidad la cual es prolongar la línea de transmisión de los ejes, esto con el fin de conectar el eje del motorreductor y del tornillo sinfín con la debida alineación para que el desarrollo sea el más adecuado, se escogió un acople de referencia A60 – 22 del fabricante Intermecc, el cual soporta un torque máximo de 2370 Nm.

| | |
|----------------|--------|
| Referencia | A60-22 |
| Eje piloto | 18 |
| Eje máximo | 71 |
| Ød | 152 |
| L | 123,5 |
| M | 110 |
| Diseño | AC1 |
| Torque Max. Nm | 2370 |
| Peso (kg) | 10,4 |

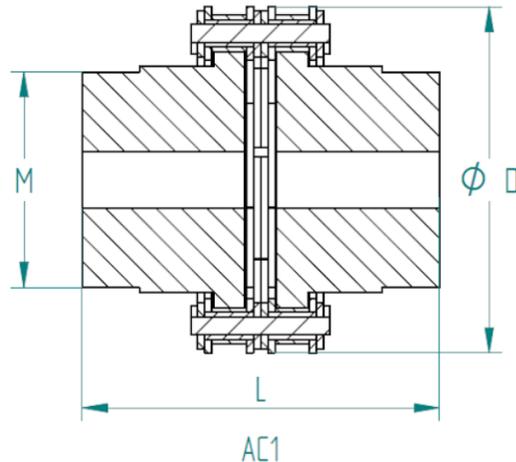


Imagen 13. Acople de cadena. (Intermecc, n.d.)

6.3.6 Chumacera

Se selecciona una chumacera tipo Brida para acoplar de manera correcta y pueda soportar las cargas a las cuales estará sometida, con 50.8 mm de diámetro de

referencia FY 2. TF de la marca SKF. Y tiene la resistencia a los impactos como aplicación en cuanto a puentes grúas, maquinaria de minería y entre otras aplicaciones industriales.

| Designación | Dimensiones | | | | Capacidad de carga básica | | Velocidad límite |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|---------------------------|---------------------|------------------|
| | | | | | dinámica | estática | |
| | d (mm) | J (mm) | L (mm) | T (mm) | C (kN) | C _o (kN) | (r/min) |
| FY 2. TF | 50,8 | 130 | 162 | 64,4 | 43,6 | 29 | 3600 |

Imagen 14. Chumacera. (SKF, n.d.)

6.3.7 Cuñeros

Para el dimensionamiento de los cuñeros se tomaron en cuenta las dimensiones de los ejes del tornillo sin fin y del eje del motorreductor en sus respectivos piñones y se escogió cuñeros cuadrados, los cuñeros de ambos elementos mencionados quedaron con unas dimensiones de ancho $W=12,7$ mm, una altura $H=12,7$ mm.

| Tamaño nominal del eje: | | | Tamaño nominal de la cuña: | | |
|-------------------------|--------|--|----------------------------|-----------|--------------|
| Mas de: | Hasta: | | Ancho, W: | Altura, H | |
| | | | | Cuadrada: | Rectangular: |
| 5/16 | 7/16 | | 3/32 | 3/32 | |
| 7/16 | 9/16 | | 1/8 | 1/8 | 3/32 |
| 9/16 | 7/8 | | 3/16 | 3/16 | 1/8 |
| 7/8 | 1 1/4 | | 1/4 | 1/4 | 3/16 |
| 1 1/4 | 1 3/8 | | 5/16 | 5/16 | 1/4 |
| 1 3/8 | 1 3/4 | | 3/8 | 3/8 | 1/4 |
| 1 3/4 | 2 1/4 | | 1/2 | 1/2 | 5/16 |
| 2 1/4 | 2 3/4 | | 5/8 | 5/8 | 3/8 |
| 2 3/4 | 3 1/4 | | 3/4 | 3/4 | 1/2 |
| 3 1/4 | 3 3/4 | | 7/8 | 7/8 | 5/8 |
| 3 3/4 | 4 1/2 | | 1 | 1 | 3/4 |
| 4 1/2 | 5 1/2 | | 1 1/4 | 1 1/4 | 7/8 |
| 5 1/2 | 6 1/2 | | 1 1/2 | 1 1/2 | 1 |
| 6 1/2 | 7 1/2 | | 1 3/4 | 1 3/4 | 1 1/4 |
| 7 1/2 | 9 | | 2 | 2 | 1 1/2 |
| 9 | 11 | | 2 1/2 | 2 1/2 | 1 3/4 |
| 11 | 13 | | 3 | 3 | 2 |
| 13 | 15 | | 3 1/2 | 3 1/2 | 2 1/2 |
| 15 | 18 | | 4 | | 3 |
| 18 | 22 | | 5 | | 3 1/2 |
| 22 | 26 | | 6 | | 4 |
| 26 | 30 | | 7 | | 5 |

Imagen 15. ASME B17.1-1967. (ASME, 2013)

Para hallar la longitud de la cuña se debe proceder de la siguiente manera. Primero se calcula la fuerza que soportará la cuña en la superficie del eje del tornillo sin fin.

$$F = \frac{\tau}{r} = \frac{1764,032}{0,0508/2} = 69450,07874 \text{ N} \quad \text{Ecuación 17. Fuerza eje del tornillo sin fin.}$$

Para encontrar la longitud se utiliza la siguiente ecuación y se tomó en cuenta un material AISI 1020 con un $S_y=393,001 \text{ MPa}$.

$$l = \frac{2Fn}{tS_y} = \frac{2(69450,07874)(2)}{(0,0127)(393001000)}$$

$$l = 0,055659 \text{ m}$$

$$l = 55,66 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 18. Longitud cuña eje del tornillo sin fin.}$$

Ya que el diámetro del motorreductor es diferente al del eje del tornillo sin fin se procede de la misma forma, pero tomando el radio del eje del motorreductor.

$$F = \frac{\tau}{r} = \frac{1764,032}{0,055/2} = 64146,6181 \text{ N}$$

Ecuación 19. Fuerza eje del motorreductor.

$$l = \frac{2Fn}{tS_y} = \frac{2 (64146,6181)(2)}{(0,0127)(393001000)}$$

$$l = 0,05141 \text{ m}$$

$$l = 51,41 \text{ mm}$$

Ecuación 20. Longitud cuña eje del motorreductor.

Para facilidad de la longitud de la cuña se tomaron 56 mm para el eje del tornillo sin fin y una medida de 52 mm para el eje del motorreductor.

6.4 Estudio estático del tornillo sin fin.

Para verificar la capacidad del tornillo sin fin para resistir las fuerzas a las que estará sometido, se lleva a cabo un análisis estático utilizando Solidworks®. Inicialmente, se consideran los puntos de apoyo, que en este caso corresponden a las chumaceras. Para ello, se procede a realizar un ensamblaje que incluye las dos chumaceras y el tornillo sin fin. Se realiza una sujeción fija en la parte donde se acoplan las chumaceras con el cilindro y la boquilla de descarga. Posteriormente, se aplica una carga de torsión a lo largo de todo el eje del tornillo sin fin. A continuación, se presenta una descripción detallada del proceso de estudio.

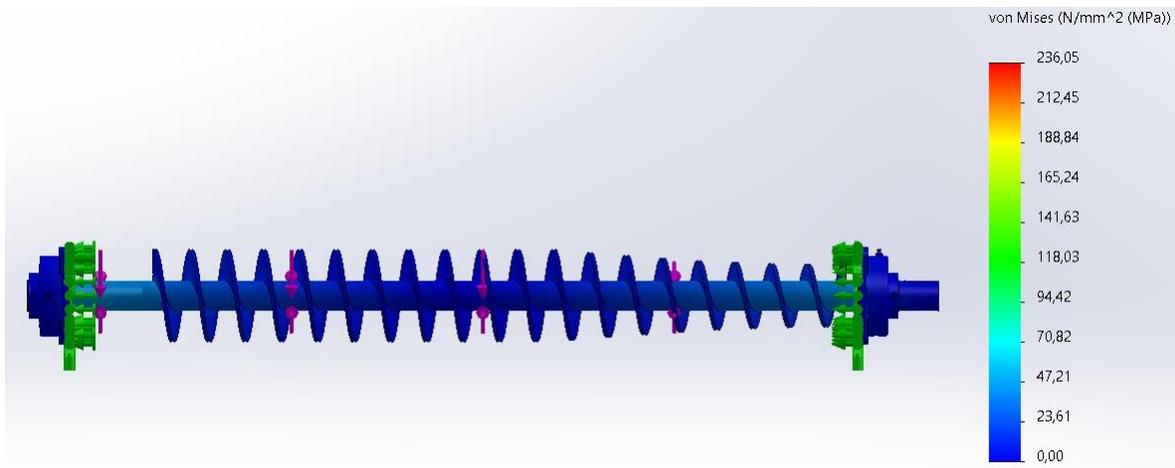


Imagen 13. Análisis de tensiones del tornillo sin fin. Elaboración propia

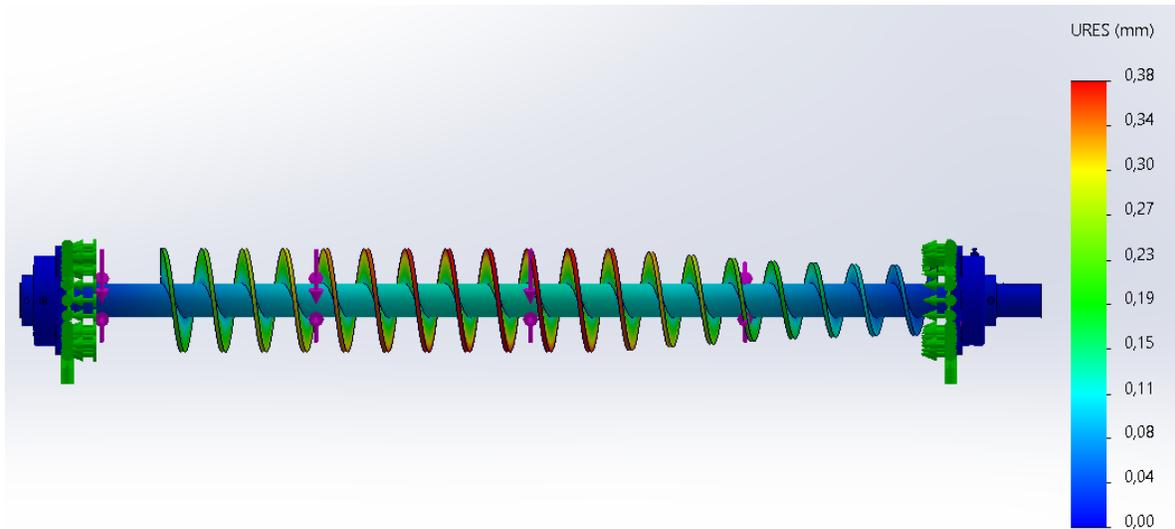


Imagen 14. Análisis de desplazamiento del tornillo sin fin. Elaboración propia

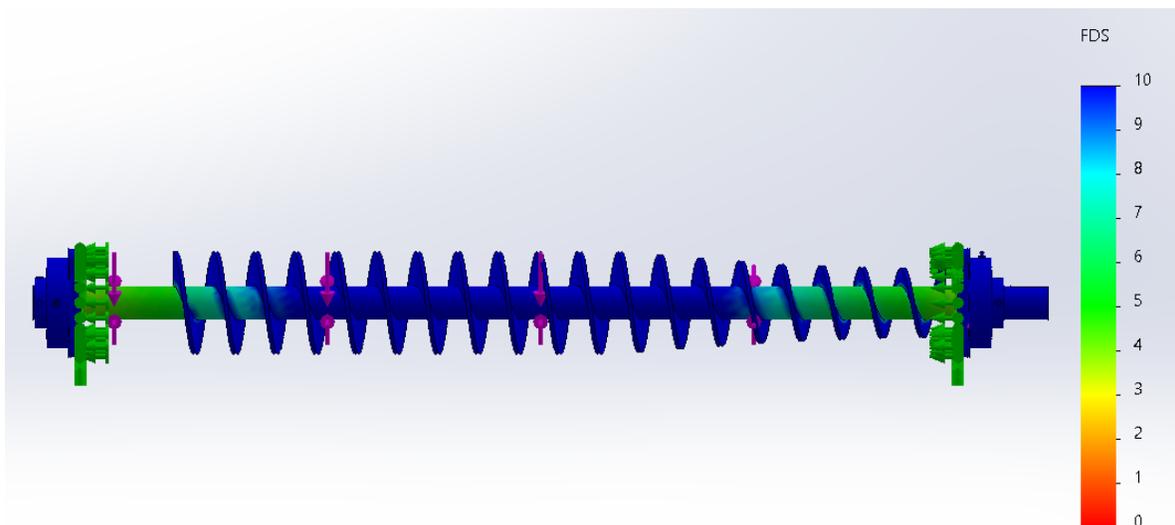


Imagen 15. Análisis de factor de seguridad del tornillo sin fin. Elaboración propia

6.4.1 Análisis del estudio estático del tornillo sin fin.

En el estudio de tensiones se presenta una tensión máxima de 236,05 MPa que estaría ubicado entre el eje y la chumacera que conecta con la boquilla de descarga, no obstante en la mayoría del cuerpo se evidencia una tensión mínima, esto afirma que el tornillo sin fin no tendrá ningún problema para soportar la carga de torsión en la cual estará sometida, en el análisis de desplazamiento podemos evidenciar un que se desplaza máximo 0,38 mm en la parte exterior de la hélice en la mitad del tornillo sin fin, y se afirma que debe ser entre 3 y 4 el factor de seguridad mínimo.

6.5 Sistema de estructura.

Se diseñó una estructura con la función principal de soportar las cargas generadas por todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la compactadora que sería el peso de cada elemento. Se optó por usar un perfil estructural de canal C 100x10X1,5 mm por su facilidad de adquisición. Para lograr un diseño ergonómico y accesible, para que se adapte a las cualidades de cualquier operario se consideraron varios parámetros esenciales.

En primer lugar, se estableció una altura óptima que garantizara la comodidad del operario al verter el contenido ruminal a través del sistema de alimentación. Esta altura fue cuidadosamente seleccionada para evitar tensiones innecesarias en la postura del operador durante la operación.

Además, se aplicaron criterios rigurosos para determinar la longitud de la estructura. Dado que la compactadora incluye dos canales de desagüe, se garantizó que la anchura de la estructura fuera suficiente para que estos canales no experimentaran obstrucciones. Esto es crucial para mantener el flujo constante del contenido ruminal sin interrupciones ni contacto continuo. A continuación, se muestra la estructura diseñada en Solidworks®.

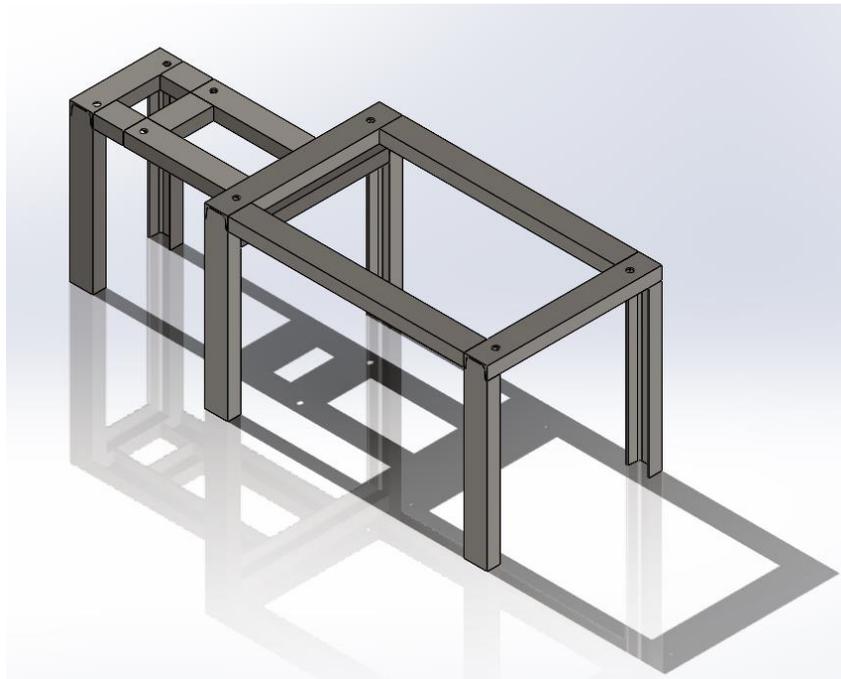


Imagen 16. Sistema de estructura. Elaboración propia

6.5.1 Estudio estático del sistema de estructura.

Para confirmar que la estructura soportara correctamente la carga y no exista un peligro por deformación que comprometa la integridad del sistema, se utilizó un

análisis de estudio estático en Solidworks® con las cargas correspondientes, los resultados se evidencian a continuación.

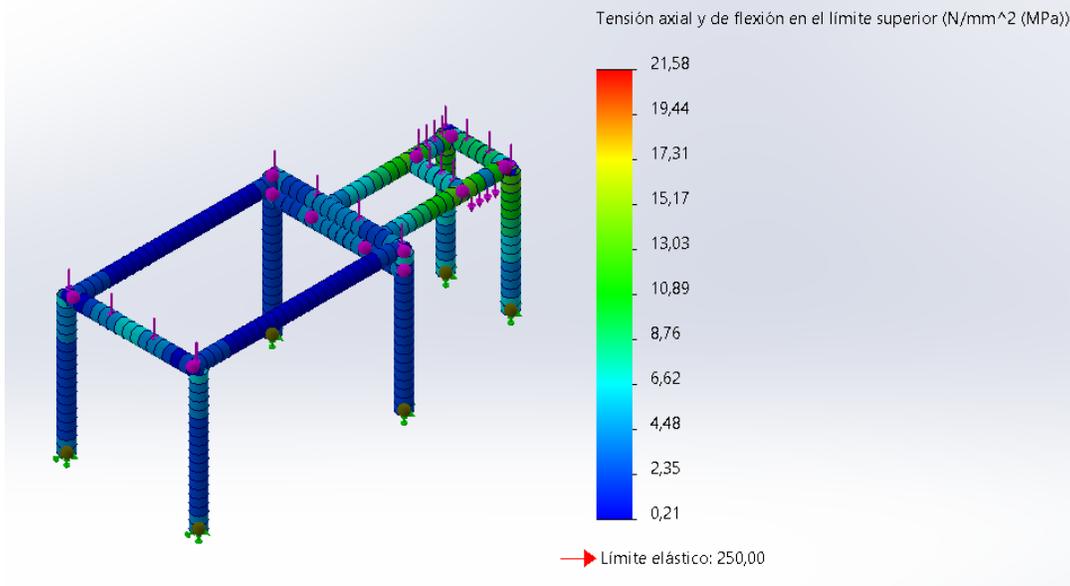


Imagen 17. Análisis de tensiones en el sistema de estructura. Elaboración propia

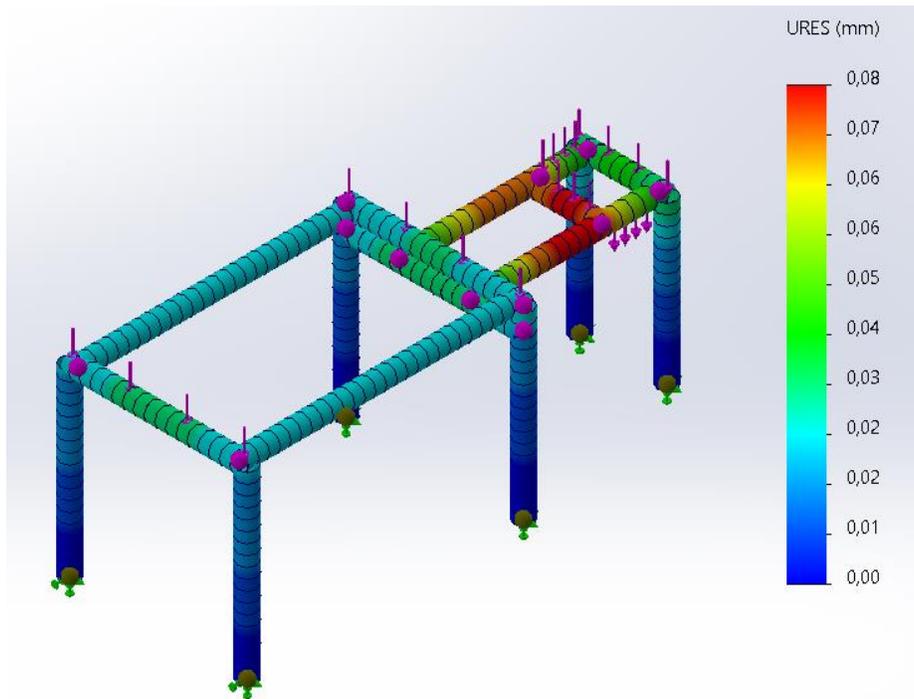


Imagen 18. Análisis de desplazamiento del sistema de estructura. Elaboración propia

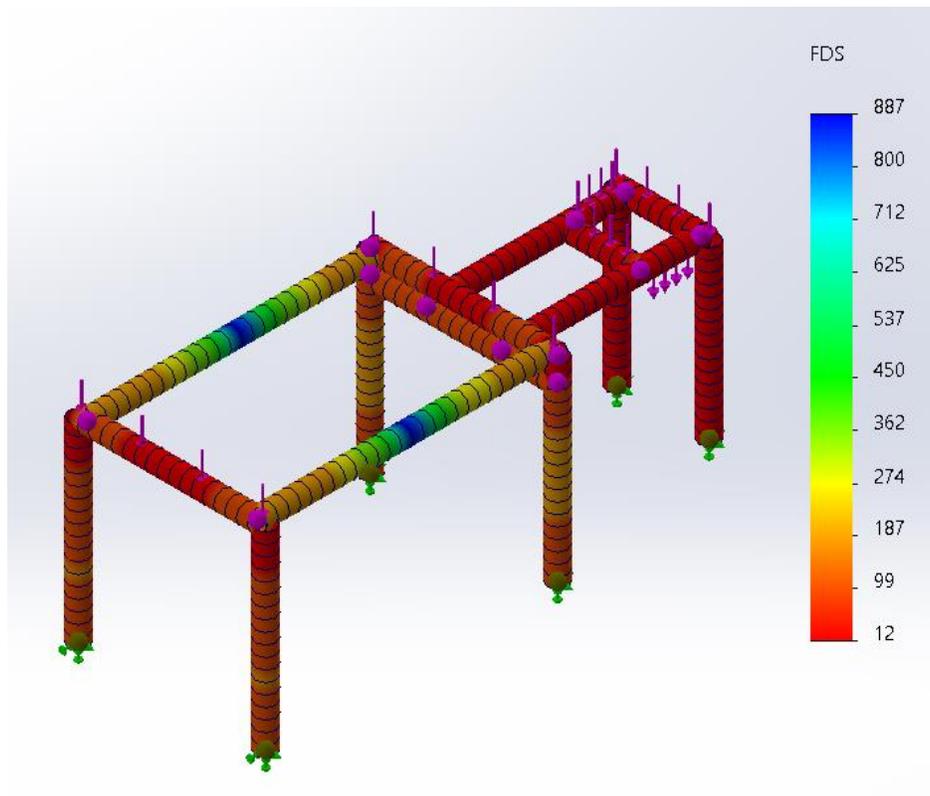


Imagen 19. Análisis de factor de seguridad del sistema de estructura. Elaboración propia

6.5.2 Análisis del estudio del sistema de estructura.

Como resultado del análisis en las tensiones la estructura soportaría una tensión máxima de 21,58 MPa cerca de la parte donde estaría acoplado el motorreductor y una tensión mínima de 0,21 MPa que sería en la parte lateral de la estructura, con esto podemos afirmar que la estructura puede soportar la carga sin ningún inconveniente y no habría una ruptura. En el análisis de desplazamiento se evidencia un desplazamiento máximo de 0,08 mm en la parte que conecta el motorreductor con la estructura principal y nos da un factor de seguridad mínimo de 12.

6.6 Análisis económico.

Como se muestra en la siguiente Tabla 3 los elementos con sus respectivas dimensiones, peso y material.

Tabla 4. Análisis económico. Elaboración propia

| ÍTEM | SECCIÓN | MATERIAL | DIMENSIONES (m) | CANTIDAD | PESO (Kg) | TOTAL COL \$ |
|---------------|-------------------------|---|-----------------|----------|-----------|--------------|
| 1 | Acople motriz de cadena | AISI SAE1045 | 0,152x0,123 | 1 | 10,300 | \$455.000 |
| 2 | Motorreductor | Fundición | 0,28x0,34 | 1 | 131 | \$10.450.647 |
| 3 | Chumacera de brida | Fundición | 0,143x0,143 | 2 | 1,484 | \$848.406 |
| 4 | Tornillo Sinfin | Acero inoxidable AISI 304 | 1,54107 | 1 | 36,660 | \$1.785.000 |
| 5 | Cubierta | Acero galvanizado por inmersión en caliente a 33° | 1,14503 | 1 | 18,775 | \$450.000 |
| 6 | Boquilla de descargue | Acero galvanizado | 0,14300 | 1 | 7,541 | \$63.900 |
| 7 | Tolva | Acero galvanizado | 0,305 | 1 | 3,868 | \$500.514 |
| 8 | Soporte de cubierta | Acero galvanizado | 0,52754 | 2 | 11,114 | \$341.000 |
| 9 | Estructura | Perfil ASTM A1011 canal C 100x10X1.5M M | 1,5842 | 1 | 67,557 | \$257.800 |
| TOTAL= | | | | | 288,30 | \$15.152.267 |

7 Prototipo A Escala Reducida De La Compactadora.

Para obtener una visión concreta del diseño de la compactadora y verificar su desempeño, se llevó a cabo la construcción de un prototipo a escala reducida. En dicho prototipo, se han detallado diversos componentes fundamentales, entre los que se destacan: la estructura, los dos soportes del cilindro, el cilindro en sí, el tornillo sin fin y la boquilla de descarga. Es importante señalar que, dada la

complejidad y el costo asociado a la adquisición de materiales a escala reducida, se optó por utilizar madera como material principal, lo cual nos permitió cumplir con nuestro tercer objetivo específico.

A continuación, procedemos a presentar en detalle los elementos mencionados anteriormente, así como el ensamblaje completo del prototipo, ofreciendo una visión completa y detallada de nuestra labor en la construcción del modelo reducido de la compactadora.



Imagen 20. Prototipo de estructura a escala reducida.



Imagen 21. Prototipo de cubierta y boquilla de descarga a escala reducida.



Imagen 22. Prototipo de soporte de cubierta a escala reducida.



Imagen 23. Prototipo de tornillo sin fin a escala reducida.



Imagen 24. Prototipo de ensamble de compactadora a escala reducida.

Se llevó a cabo la confección de la estructura y el soporte de la cubierta utilizando madera (Roble) procedente de una carpintería especializada. Por otro lado, los restantes componentes se fabricaron en Aluminio macizo dado que, en virtud de las dimensiones reducidas de la escala, materiales como nailon o madera normal no lograban soportar los esfuerzos, resultando en fallos estructurales y rupturas en su integridad por lo cual quedaban obsoletos.

8 Conclusiones Y Recomendaciones:

8.1 Conclusiones

- La metodología de la casa de calidad nos ayudó a tener una perspectiva objetiva de las propiedades y las necesidades que pueda tener una frigorífica ya que con estas características nos da la justificación para una selección adecuada de los diferentes tipos de compactadoras para residuos, esto nos ayudó para cumplir con el primer objetivo.
- A lo largo del proyecto se cumplió con el diseño y la construcción a escala reducida de una maquina compactadora de rumen para la reducción de volumen en una frigorífica.
- El tornillo sin fin se diseñó para que esta máquina tenga una producción de aproximadamente de $1,2 \text{ m}^3/\text{H}$. Siguiendo lo anterior se usó acero AISI 304 para su construcción debido a las cargas y agentes químicos en los que el tornillo sin fin estará expuesto. Este acero cuenta con propiedades mecánicas adecuadas y una resistencia a la corrosión.
- La velocidad del motorreductor Coaxial es de 40,6 rpm y genera un torque alrededor de $1764 \text{ N}\cdot\text{m}$ tomando en cuenta todos los cálculos y factores que están contemplados en este proyecto de grado.
- El diseño de la cubierta soportara una presión de 20 MPa. La mayoría de los elementos están hechos de acero galvanizado y se pueden conseguir en el mercado colombiano. Esto con el fin de que a la hora de compactar no tenga fallas y cumplan con los parámetros de diseño.
- Por otro lado, es importante recalcar que el diseño del tornillo sin fin al utilizar un diámetro variable de la hélice mejora el compactado del material teniendo en cuenta que se usa menos material si fuera un diámetro constante.

8.2 Recomendaciones

- Hay que tener en cuenta que si se quiere una compactación más segura se tiene que reducir la holgura como se evidencia en el tornillo sin fin y la boquilla por la cual sale el material compactado.

- Si se quiere un compactado más seco con un bajo porcentaje de humedad, se recomienda la implementación de un sistema de calentamiento por resistencias eléctricas por el cual va recubriendo la cubierta (cilindro).
- Se puede realizar una búsqueda de un material que cumpla con las especificaciones requeridas como lo es principalmente la resistencia a la abrasión, tomando en cuenta una soldabilidad más sencilla y que sea más rentable.

9 Bibliografía

- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2013). ASME B17.1-1967. ASME.
- Anglès Nicolás, J. L. (2001). *Diseño y Automatización de una Compactadora de Residuos Sólidos Urbanos*.
https://www.academia.edu/en/23925060/Dise%C3%B1o_y_Automatizaci%C3%B3n_de_una_Compactadora_de_Residuos_S%C3%B3lidos_Urbanos
- Arboleda, D., Correa, M., & Otoya, F. (1986). *Diseño y construcción de una máquina compactadora de papel y cartón* [Corporación Universitaria Autónoma de Occidente].
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/4741/T0002552.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baltuano Parra, E. A. (2013). *Diseño de una máquina compactadora de latas de bebidas de aluminio* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ].
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4950/BALTUANO_EDWIN_DISE%C3%91O_MAQUINA_COMPACTADORA_LATAS_BEBIDAS_ALUMINIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Décima edición).
https://www.academia.edu/44547589/Dise%C3%B1o_en_ingenier%C3%ADa_mec%C3%A1nica_de_Shigley_Richard_G_Budynas_J_Keith_Nisbett_10a
- Camacho Muncha, R. E. (2019). *Diseño y construcción de una máquina compactadora de residuos sólidos para la empresa Curtiembre Guisapincha* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20073/1/CD-9512.pdf>
- Chiluisa Sunta, D. A. (2016). *Estudio de la compactación de residuos sólidos en el proceso de raspado del cuero en la fábrica ecuatoriana de Curtidos Salazar S.A. para reducir su volumen* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/21751/1/Tesis%20I.M.%20323%20-%20Chiluisa%20Sunta%20Darwin%20Agosto.pdf>
- Coaguíla Berrios, H. E. (2018). *Diseño de un Sistema de Control Semiautomático para una Compactadora Horizontal Oleohidráulica de Cascarrillas de Arroz* [Universidad Tecnológica Del Perú].
https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1545/H%c3%adpolito%20Coagu%c3%adla_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_T%c3%adtulo%20Profesional_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- COMAP. (n.d.). *Compactadora x30 con 30 toneladas de presión y único diseño con pistones cruzados*. COMAP. Retrieved August 30, 2023, from <https://comapitalia.it/schiacciabidoni-sb5/>
- Consejo Mexicano de la Carne. (2019). *Compendio Estadístico*. <https://comecarne.org/wp-content/uploads/2020/08/industria-carnica-en-cifras.pdf>
- COTRANSA. (n.d.). *Reductores y motorreductores de engranajes y coaxial*. CONTRANSA. Retrieved August 20, 2023, from <https://www.cotransa.net/docs/CRE21-REDUCTORES-MOTORREDUCTORES-COAXIALES-SERIE-MAX.pdf>
- Cruz Moreno, R. G., & Santo Remache, L. G. (2013). *Diseño de un prototipo de máquina compactadora para la recuperación de viruta de aluminio que se genera en la empresa corporación ecuatoriana de aluminio de la ciudad de Latacunga CEDAL S.A [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1348/1/T-UTC-0940.pdf>
- Duque Orobio, J. A. (2021). *Desarrollo y evaluación energética de un sistema para compactación de residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC)*.
- El Norte de Castilla. (2021). *La producción de carne en España alcanzó una cifra récord en 2020 con 7,6 millones de toneladas*. El Norte de Castilla. <https://www.elnortedecastilla.es/somoscampo/produccion-carne-espana-20210612195433-nt.html>
- Fajardo, J., Barreto, D., & Morales, O. (2020). *Thermal energy replacement potential in a slaughter plant from rumen pellets*.
- FEDEGAN. (2022a). *Comportamiento del sacrificio y acopio*. https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Comportamiento_Sacrificio_Acopia_Diciembre_2022.pdf&iIdFiles=876
- FEDEGAN. (2022b). *Consumo apatente per capita anual de carnes*. FEDEGAN. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>
- FEDEGAN. (2023). *Comercio internacional*. https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Comercio_Internacional_UV_a_Junio_2023_Sin_emp.pdf&iIdFiles=943
- Hernández Reyes, V. A., Vargas Arauz, I. J., & Vázquez López, I. (2014). *Rehabilitación de Máquina Compactadora [INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL]*. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13217/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hidrometalica. (n.d.). *Escurridor Compactador Sinfin*. Hidrometalica. Retrieved August 30, 2023, from <https://www.hidrometalica.com/escurridor-compactador-sinfin/>
- Hybu Cig Cymru. (2022). *Global Red Meat Production Trends*. https://meatpromotion.wales/images/resources/Global_Red_Meat_Production_Trends_-_FINAL_-_11-04-22_-_ENGLISH.pdf
- Inao, C. S., Herman Corey, A. V., & Mekonnen, A. (n.d.). *Design and Development of Waste Compactor for Plastic Bottles, Metal Cans, and Papers*. Retrieved August 25, 2022, from https://www.academia.edu/37291860/Design_and_Development_of_Waste_Compactor_for_Plastic_Bottles_Metal_Cans_and_Papers
- Intermec. (n.d.). *Acoples de Cadena*. Intermec. Retrieved October 16, 2023, from <https://www.intermec.com.co/productos5.php?referencia=A60-22>
- IONOS. (2020, July 13). *La casa de la calidad (House of Quality) en el desarrollo de productos*. Digital Guide. <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/house-of-quality/>
- León Bayas, D. E. (2016). *Diseño de una prensa de tornillo sinfín de paso variable para la deshidratación de plumas de aves en proceso de producción de harina de plumas [Escuela Superior Politécnica Del Litoral]*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/34441/DCD88307.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Logistica Inversa. (n.d.). *Compactadora E&G-10*. Logistica Inversa. Retrieved August 30, 2023, from <https://www.logisticainversa.co/e&g-10.html>
- López Cascante, C. E., & Bajaña Haro, J. A. (2016). *Diseño y construcción de un compactador de latas y envases de PET*. [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13386/1/UPS-GT001750.pdf>

- Lucero Cintia, H., Meneses Joaquín, P., Ángela, M., Jiménez Grajales, M., & Jöns, S. A. (2019). *Diseño de sistema compactador de forraje para el uso de pequeños productores*. http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A1_21.pdf
- Mott, R. L. (2004). *Diseño De Elementos De Máquinas* (Cuarta edición). <http://libreria-universitaria.blogspot.comwww.FreeLibros.com>
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria* (Cuarta edición). <https://lsbunefm.files.wordpress.com/2018/10/disec3b1o-de-maquinaria-robert-l-norton-4.pdf>
- OCDE-FAO. (2017). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026*. OECD. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es
- OECD-FAO. (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Pichucho Quishpe, L. R., & López Moreta, M. F. (2012). *Diseño y simulación de una máquina compactadora de fardos de heno o pasto verde con una dimensión de 600 x 400 x 300 mm* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3679?mode=simple>
- Qué es un sistema hidráulico, para qué sirve y cómo funciona*. (n.d.). Centro de Formación Técnica Para La Industria. Retrieved May 13, 2023, from <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-hidraulico/>
- Ramírez Pérez, G. J. (2020). *Aprovechamiento del contenido ruminal bovino generado en las plantas de beneficio, para la obtención de un suplemento alimentario peletizado*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37203/gjramirezp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos Quintero, M. T., Campozano Riofrio, R. E., & Naranjo Vargas, E. M. (2022). *Análisis y simulación de fuerzas en el trabajo de una prensa hidráulica a planchas de acero de distintos espesores aplicadas en perfiles estructurales angulares*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8354891.pdf>
- Rhenals-Julio, J. D., Mendoza Fandiño, J. M., de la Vega González, T. de J., & Sofan German, S. J. (2021). Evaluación energética de la co-combustión de contenido ruminal-metano en frigoríficos y mataderos del departamento de Córdoba-Colombia. *Sofan / LADEE*, 2(1), 44–53. <https://doi.org/10.17981/ladee.01.02.2021.5>
- Rodríguez Galbarro, H. (n.d.). *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin*. Ingemecánica. Retrieved August 20, 2023, from <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>
- Savgordony, V. K. (1978). *Transformación De Plásticos*. Editorial Gustavo Gili, S.A. <https://es.scribd.com/document/210970939/Transformacion-de-Plasticos-v-K-Savgorodny>
- SKF. (n.d.). *F4B 200 – FM*. SKF. Retrieved October 16, 2023, from <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-F4B%20200-FM>
- STAMTEC. (n.d.). *Comparación entre prensas mecánicas, servo-prensas y prensas hidráulicas*. STAMTEC. Retrieved August 30, 2023, from <https://www.stamtec.com/es/comparaci%C3%B3n-entre-prensas-mec%C3%A1nicas,-servo-prensas-y-prensas-hidr%C3%A1licas#:~:text=En%20resumen%2C%20las%20prensas%20mec%C3%A1nicas>
- Trillos, G., Plata, O., Mestre, S., & Araujo, G. (2006). Análisis físico-químicos de los contenidos ruminales frescos y ensilados de bovinos sacrificados en el Valle del César. *Engomix*. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/analisis-fisico-quimicos-contenidos-t26583.htm>
- Uicab-Brito; L.A., & Sandoval Castro; C.A. (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2(2), 45–63. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93912118001>
- YENCHEN. (2016). *Compactador De Rodillos*. YENCHEN. <https://www.yenchen.com.tw/es/news/El-video-de-Compactador-de-rodillos/news-026.html>
- Zapata Ontibón, J. H. (n.d.). *Diseño de una planta de beneficio de animales en Colombia*.

10 Anexos