

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PELETIZADORA PARA LA
GRANJA PORCÍCOLA EL LUCERO

EDWARD DUVAN ACOSTA PINILLA
KEVIN MANUEL CARRILLO REMOLINA

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

2024

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PELETIZADORA PARA LA
GRANJA PORCÍCOLA EL LUCERO

EDWARD DUVAN ACOSTA PINILLA
KEVIN MANUEL CARRILLO REMOLINA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

Isnardo González Jaimes

Ingeniero Mecánico

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

2024

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por darme las herramientas y el entendimiento necesario para ejecutar esta tarea. A mis padres Víctor Manuel Carrillo Quintero y Blanca Cecilia Remolina Mayorga por su apoyo incondicional al igual que a mi hermana María Ximena Carrillo Remolina. A las personas involucradas en este proyecto que mediante sus consejos ayudaron a hacer posible esta encomienda.

Kevin Manuel Carrillo Remolina

A mis padres Edgar Acosta Velandia y Luz Eliyer Pinilla Pinilla, quienes con su ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo, del trabajo y la perseverancia y siempre me han apoyado en todos mis proyectos. A mi hermano Edgar Santiago Acosta Pinilla, por siempre estar conmigo en los momentos de adversidad y por ser mi equipo en este camino que se llama vida. A mis abuelos Luz Marina, Epigmenio Pinilla y María Crisanta por su amor y cariño, y por siempre ser un refugio en momentos de crisis. A toda mi familia por su apoyo, por ser un ejemplo y por creer en mí. Finalmente, a mis amigos y todas las personas que hicieron parte de esta etapa de mi vida.

Edward Duvan Acosta Pinilla

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Isnardo González, por sus consejos, confianza y apoyo a lo largo de este proceso.

Al profesor Edgar Acosta Velandia por brindarnos de su conocimiento en cuanto a la producción Porcicola y por permitirnos desarrollar nuestro proyecto de grado.

A los técnicos de la escuela de Ingeniería Mecánica, Cesar, Don Henry, Juan José, Don Freddy por su colaboración y apoyo, importante en la fabricación y en el desarrollo de este proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, por formarnos como ingenieros mecánicos.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN.....	20
1. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	21
1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	21
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo General.....	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
2. SISTEMAS MECÁNICOS DE PELETIZADO.....	25
2.1 PELLETS DE ALIMENTO CONCENTRADO	25
2.2 PROCESO DE PELETIZADO.....	26
2.2.1 Subsistema de alimentación.	27
2.2.2 Subsistema de acondicionamiento.	28
2.2.3 Subsistema de peletización.	29
2.2.4 Subsistema de enfriamiento.	30
3. DISEÑO CONCEPTUAL.....	32
3.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)	32
3.1.1 Requerimientos del cliente.....	32
3.1.2 Matriz de calidad.....	33
3.1.3 Ponderación de resultados.	34
3.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	35

3.2.1 Alternativa 1. Peletizadora de matriz fija.....	35
3.2.2 Alternativa 2. Peletizadora de matriz giratoria.....	35
3.2.3 Alternativa 3. Peletizadora de matriz fija con 3 rodillos.....	36
3.2.3 Evaluación de alternativas del subsistema de compactación (peletizado).....	37
4.DISEÑO DE DETALLE	41
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALIMENTO.....	41
4.2 DISEÑO DEL ALIMENTADOR.....	44
4.2.1 Parámetros básicos del tornillo alimentador.....	44
4.2.2 Dimensionamiento de la carcasa.....	45
4.2.3 Análisis de fuerzas en la carcasa.....	46
4.2.4 Análisis de la resistencia de la carcasa.....	47
4.2.5 Diseño y análisis del listón del tornillo alimentador.....	48
4.2.5.1 Análisis estático de los soportes de las alas del listón.....	50
4.2.5.2 Análisis a la fatiga de los soportes de las alas del listón.....	53
4.2.6 Cálculo de la potencia requerida por el tornillo.....	54
4.2.7 Diseño de la transmisión del alimentador.....	55
4.2.7.1 Cálculo del número de hileras de la transmisión y verificación de la potencia de la transmisión.....	56
4.2.8 Diseño del eje alimentador.....	57
4.2.8.1 Análisis estático del eje de control.....	59
4.2.8.2 Análisis de fatiga del eje de control.....	61
4.2.8.3 Análisis estático del eje central.....	62
4.2.8.4 Análisis de fatiga del eje central.....	63
4.2.9 Estructura del alimentador.....	65
4.3 DISEÑO DEL ACONDICIONADOR	65

4.3.1 Cálculos térmicos del acondicionador.....	65
4.3.2 Diseño del cabezal de vapor.....	66
4.3.2.1 Diseño de la tubería de distribución de vapor que conecta el cabezal al acondicionador.	68
4.3.3 Diseño de la artesa.....	68
4.3.4 Diseño del eje con paletas.....	69
4.3.5 Diseño de las paletas.....	70
4.3.6 Verificación del eje de paletas.....	74
4.3.7 Potencia requerida para el acondicionador.....	75
4.3.8 Selección de los rodamientos.....	76
4.4 DISEÑO DE LA CÁMARA DE PELETIZADO.....	78
4.4.1 Tolva.....	78
4.4.2 Sistema de rodillos.....	79
4.4.2.1 Rodillos.....	79
4.4.2.2 Eje rodillos.....	81
4.4.2.3 Selección de los rodamientos en los rodillos.....	83
4.4.3 Diseño de la matriz.....	84
4.4.4 Diseño de las cuchillas.....	86
4.4.5 Plato saca-pellets.....	87
4.4.6 Sistema de transmisión.....	88
4.4.6.1 Parámetros principales de la transmisión.....	88
4.4.6.2 Cálculo de las correas.....	89
4.4.6.3 Eje principal.....	91
4.4.6.4 Selección de rodamientos en el eje principal.....	95
4.5 DISEÑO DEL ENFRIADOR.....	97
4.5.1 Funcionamiento del enfriador.....	97

4.5.2 Cálculos térmicos del enfriador.....	99
4.5.3 Selección del ventilador.	100
4.5.3.1 Cálculo del flujo de aire requerido por el ventilador.	100
4.5.4 Cálculo del espacio mínimo requerido para los pellets a enfriar.	102
4.5.5 Selección de rejilla para salida de aire caliente.	103
4.5.6 Mecanismo para el desplazamiento del pellet.	105
4.5.6.1 Cálculo del diámetro de los pasadores	106
4.5.6.2 Cálculo de la resistencia de la barra del mecanismo	106
4.5.7 Estructura de soporte. Los análisis realizados a la estructura del enfriador se muestran detalladamente en el anexo M.....	107
4.6 DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS DE PELETIZADOS	107
4.6.1 Análisis de resistencia de la estructura de soporte de la peletizadora y el acondicionador.	110
5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA PELETIZADORA.....	114
5.1 HOJAS DE RUTA	115
5.1.1 Matriz.....	115
5.1.2 Portacuchillas	116
5.1.3 Rodillos	117
5.2 MONTAJE DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA PELETIZADORA	120
5.2.1 Hoja de ensamble del sistema de rodillos.....	120
5.2.2 Hoja de ensamble Sistema de Peletizado	121
6. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	124
6.1 PRUEBAS.....	124
6.1.1 Verificación de las dimensiones del prototipo y revisión del montaje.....	124

6.1.2 Funcionamiento sin carga.....	125
6.1.3 Funcionamiento con carga.....	127
6.2 RESULTADOS	128
7. VIABILIDAD E IMPACTO ECONOMICO DE LA PELETIZADORA.....	131
7.1 COSTOS DE LA MÁQUINA PELETIZADORA.....	131
7.1.1 Costos de materiales.	131
7.1.2 Costos de maquinado.....	131
7.1.3 Costos de montaje.....	132
7.1.4 Costos totales de la peletizadora.....	132
7.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD	132
7.2.1 Flujo de caja proyectado.....	132
7.2.2 VPN y TIR.....	133
7.2.3 Payback.....	134
8. CONCLUSIONES	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137
ANEXOS.....	139

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Cuarto de cerdas de gestación y cría	21
Figura 2. Preparación del alimento en la Granja El Lucero	21
Figura 3. Comedero con alimento preparado no consumido	22
Figura 4. Etapas de producción de alimento concentrado	26
Figura 5. Alimentador de tornillo sin fin inclinado.....	28
Figura 6. Acondicionador de paletas.....	29
Figura 7. Peletizadora de matriz anular marca Metalteco S.A.S	30
Figura 8. Enfriador a contraflujo.....	31
Figura 9. Alternativa de peletizadora de matriz fija	35
Figura 10. Alternativa de peletizadora de matriz giratoria.....	36
Figura 11. Alternativa de matriz fija con 3 rodillos.....	37
Figura 12. Rodillos de peletizadora de matriz giratoria.....	38
Figura 13. Alternativa de equipo de peletizado con todos los subsistemas	39
Figura 14. Soportes del listón	49
Figura 15. Factor de seguridad de la hélice del tornillo	49
Figura 16. Reacciones en los soportes de las alas del listón	50
Figura 17. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la reacción crítica en la dirección “x”	51
Figura 18. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la reacción crítica en la dirección “z”	52
Figura 19. Diagramas de cortante y momento flector en el plano “XY” en MDSolids 4.0	60
Figura 20. Diagramas de cortante y momento flector en el plano “XZ” en MDSolids 4.0	61
Figura 21. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano XY	72

Figura 22. Diagrama de fuerzas en el plano XZ	73
Figura 23. Diagrama de torque en el eje del acondicionador	73
Figura 24. Diagrama de fuerza axial en el eje del acondicionador	74
Figura 25. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje de los rodillos	82
Figura 26. Plato saca-pellets	88
Figura 27. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano YZ en la sección de los rodamientos y el sistema de transmisión del eje principal	93
Figura 28. Diagrama de torques en el eje principal de la cámara de peletizado	94
Figura 29. Representación gráfica de los diferentes componentes para el funcionamiento lógico del enfriador.....	98
Figura 30. Esquema del funcionamiento del enfriador.....	99
Figura 31. Curvas características P vs Q de los ventiladores HEP-31	102
Figura 32. Esquema del enfriador.....	102
Figura 33. Esquema del enfriador con dos rendijas de disipación de aire caliente	105
Figura 34. Mecanismo de barras para el desplazamiento de pellets	105
Figura 35. Diseño final de las máquinas que componen el equipo de peletizado	108
Figura 36. Disposición de los equipos de peletizado	109
Figura 37. Reacciones generadas en la estructura del acondicionador y la peletizadora	110
Figura 38. Factor de seguridad en la estructura de soporte del conjunto peletizadora-acondicionador	111
Figura 39. Desplazamientos ocasionados en la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador	111
Figura 40. Deformación unitaria del conjunto peletizadora-acondicionador	112
Figura 41. Análisis de pandeo de la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador en SolidWorks.....	112
Figura 42. Estudio de frecuencia para la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador	113

Figura 43. Montaje final del prototipo de la máquina peletizadora.....	125
Figura 44. Consumo de corriente del motor sin carga	126
Figura 45. Consumo de corriente del motor con carga.....	127
Figura 46. Pellet como producto terminado	128
Figura 47. Pellet producido en un minuto	129
Figura 48. Máquina Funcional	130

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Requisitos fisicoquímicos del alimento completo para cerdos	25
Tabla 2. Calificación de la función de calidad QFD	33
Tabla 3. Matriz QFD del equipo de peletizado	34
Tabla 4. Ponderación de resultados.....	34
Tabla 5. Matriz QFD Subsistema de compactación (Peletizado).....	37
Tabla 6. Ingredientes de la mezcla para la elaboración del alimento.....	41
Tabla 7. Formula inicial de la granja el lucero	42
Tabla 8. Formula Final Para Caracterizar	42
Tabla 9. Demostración de experimento para obtener la densidad de la mezcla	43
Tabla 10. Datos experimentales para obtener la densidad de la mezcla	43
Tabla 11. Dimensionamiento básico del tornillo alimentador	44
Tabla 12. Dimensionamiento de la carcasa	45
Tabla 13. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre la carcasa	46
Tabla 14. Análisis de la resistencia de la carcasa	47
Tabla 15. Análisis estático de los soportes de las alas del listón	50
Tabla 16. Análisis a la fatiga de los soportes	53
Tabla 17. Cálculo de la potencia requerida por el transportador.....	54
Tabla 18. Dimensionamiento de la transmisión del alimentador	55
Tabla 19. Verificación de los requisitos de potencia de la transmisión	57
Tabla 20. Análisis del eje en conjunto	58
Tabla 21. Eje de control	59
Tabla 22. Análisis de fatiga al eje de control	61

Tabla 23. Análisis estático del eje central	62
Tabla 24. Análisis de fatiga del eje central	64
Tabla 25. Parámetros térmicos del acondicionador	66
Tabla 26. Dimensionamiento del cabezal de vapor	67
Tabla 27. Dimensionamiento de la artesa del acondicionador	68
Tabla 28. Cálculo del eje con paletas	69
Tabla 29. Análisis de resistencia de las paletas	70
Tabla 30. Análisis de fuerzas en el eje de paletas	71
Tabla 31. Cálculo del diámetro del eje de paletas	74
Tabla 32. Cálculo de la potencia en el acondicionador	75
Tabla 33. Información del rodamiento escogido	76
Tabla 34. Selección de los rodamientos del acondicionador	77
Tabla 35. Cálculos para el dimensionamiento de la tolva	78
Tabla 36. Cálculos para el dimensionamiento de los rodillos.....	80
Tabla 37. Cálculos para el eje de los rodillos.....	81
Tabla 38. Datos del rodamiento escogido.....	83
Tabla 39. Cálculos para los rodamientos en los rodillos	83
Tabla 40. Cálculos para el dimensionamiento de la matriz	85
Tabla 41. Validación de malla de la matriz.....	86
Tabla 42. Cálculos para el dimensionamiento de las cuchillas	87
Tabla 43. Cálculo de los parámetros principales de la transmisión	88
Tabla 44. Cálculo del número de correas y de las tensiones y torques generados en la transmisión	90
Tabla 45. Cálculos para el diseño del eje principal	92
Tabla 46. Datos del rodamiento escogido.....	95
Tabla 47. Cálculos para los rodamientos en el eje principal	95

Tabla 48. Cálculos térmicos del enfriador	99
Tabla 49. Ventilador seleccionado para el enfriador	101
Tabla 50. Información técnica de la rejilla 50 FR-1	104
Tabla 51. Dimensionamiento de los pasadores del mecanismo	106
Tabla 52. Análisis de resistencia del mecanismo del enfriador	106
Tabla 53. Fotografías de las piezas manufacturadas para el prototipo.....	118
Tabla 54. Fabricación de algunos elementos de la máquina	119
Tabla 55. Ensamble del Prototipo de máquina peletizadora	122
Tabla 56. Inspección de la máquina peletizadora	124
Tabla 57. Inspección del funcionamiento de la peletizadora sin carga	125
Tabla 58. Consumo de potencia del motor sin carga	126
Tabla 59. Inspección del funcionamiento de la peletizadora cuando tiene carga	127
Tabla 60. Consumo de potencia del motor con carga.....	128
Tabla 61. Costos de los materiales de la peletizadora.....	131
Tabla 62. Costos de maquinado de la máquina peletizadora	131
Tabla 63. Costos de montaje de la máquina peletizadora	132
Tabla 64. Costos totales de la peletizadora	132
Tabla 65. Cantidad de cerdos vendidos en promedio al mes	133
Tabla 66. Flujo de caja trazado a 1 año	133
Tabla 67. Cálculo del VPN y la TIR.....	134
Tabla 68. Payback	135

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos)

- Anexo A. Selección de alternativa sistema de alimentación
- Anexo B. Selección de alternativa sistema de acondicionamiento
- Anexo C. Selección de alternativa sistema de enfriamiento
- Anexo D. Formulación del alimento y cálculo de la cantidad de alimento diaria requerida
- Anexo E. Cálculos del alimentador
- Anexo F. Cálculos del Acondicionador
- Anexo G. Cálculos de la Peletizadora 500 Kg/h
- Anexo H. Tablas ANSI/CEMA Standard No. 350
- Anexo I. Tablas utilizadas del catálogo de Martín
- Anexo J. Tablas del catálogo SKF para selección de rodamientos
- Anexo K. Tablas del catálogo industrial DUNLOP
- Anexo L. Cálculos del prototipo de la cámara de peletizado para una capacidad de 50 Kg/h
- Anexo M. Cálculos del enfriador
- Anexo N. Hojas de ruta y construcción de los elementos de la máquina
- Anexo O. Costos involucrados por la construcción y puesta en marcha de la máquina peletizadora
- Anexo P. Planos del prototipo de la peletizadora de 50 Kg
- Anexo Q. Planos del alimentador
- Anexo R. Planos del acondicionador
- Anexo S. Planos la peletizadora de 500 Kg
- Anexo T. Planos del enfriador
- Anexo U. Planos del montaje del equipo de peletizado
- Anexo V. Video de la primera prueba del funcionamiento del prototipo
- Anexo W. Video de la prueba final del funcionamiento del prototipo

Anexo X. Video de la máquina funcionando en la granja “El Lucero”

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PELETIZADORA PARA LA GRANJA PORCÍCOLA EL LUCERO*

AUTOR: EDWARD DUVAN ACOSTA PINILLA, KEVIN MANUEL CARRILLO REMOLINA**

PALABRAS CLAVE: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, PELLETS, ALIMENTADOR, ACONDICIONADOR, PELETIZADORA, ENFRIADOR.

DESCRIPCIÓN:

La Granja “El Lucero”, ubicada en la vereda Tierra de Castro del municipio de Monquirá (Boyacá), se dedica a la producción de cerdos en todas sus etapas. Cuenta con alrededor de 40 cerdas de cría cuya capacidad pretende aumentar; y, asimismo, prepara el alimento con las materias primas que se encuentran en la granja debido al alto costo que poseen actualmente los concentrados en el mercado.

Con el propósito de tecnificar y mejorar las formas de producción de alimento para los cerdos en la granja, se diseñan los equipos involucrados en el proceso de peletizado (alimentador, acondicionador, cámara de peletizado y enfriador) para una capacidad de 500 Kg/h. Para demostrar los beneficios de la tecnificación se construye un prototipo de la peletizadora para una capacidad de 50 Kg/h. Además, se realiza un análisis económico para estudiar el impacto que provoca el proyecto en la granja.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica. Programa académico.

Director: Isnardo González Jaimes. Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF PELLETIZING MACHINE FOR THE EL LUCERO PORCEL FARM *

AUTHOR: EDWARD DUVAN ACOSTA PINILLA, KEVIN MANUEL CARRILLO REMOLINA**

KEY WORDS: DESIGN, CONSTRUCTION, PELLETS, CONVEYOR, CONDITIONER, PELLET MACHINE, COOLER.

DESCRIPTION:

The “El Lucero” Farm, located in the Tierra de Castro village of the municipality of Moniquirá (Boyacá), is dedicated to the production of pigs in all its stages. It has around 40 breeding sows whose capacity it intends to increase; and, likewise, prepares the food with the raw materials found on the farm due to the high cost that concentrates currently have on the market.

With the purpose of modernizing and improving the ways of producing feed for pigs on the farm, the equipment involved in the pelleting process (feeder, conditioner, pelletizing chamber and cooler) is designed for a capacity of 500 Kg/h. To demonstrate the benefits of modernization, a prototype of the pellet mill is built for a capacity of 50 Kg/h. In addition, an economic analysis is carried out to study the impact that the project has on the farm.

*Bachelor Thesis

**Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Mechanical Engineer Isnardo González Jaimes.

INTRODUCCIÓN

La falta de tecnificación en ciertas áreas como la porcícola puede acarrear problemas a los pequeños empresarios dedicados a esta actividad económica. En este caso, se presenta a la granja “El Lucero”, dedicada a la producción de cerdos. La falta de tecnificación en la granja ha acarreado problemas en su producción porcícola, específicamente lo referente al tema de la alimentación. Debido a los altos precios que se manejan en el mercado del alimento concentrado actual y a los contratiempos que genera la búsqueda de este, debido a la ubicación de la finca, la granja ha optado por generar su propio alimento. Actualmente, este problema de alimentación ha traído consigo consecuencias en el producto como la falta de uniformidad en los cerdos, debido a que no se asegura la calidad de estos, y problemas de contaminación y salubridad, debido al desperdicio que genera la forma de alimentación actual de estos animales.

Para solucionar esta situación, se le ha propuesto a la granja el diseño de un equipo de peletizado que se encargue de generar alimento concentrado a sus cerdos con el fin de garantizar la uniformidad en su producción, debido a los escasos recursos con los que cuenta la finca actualmente no se pueden permitir la construcción de todas las máquinas constituyentes de un equipo de peletizado, es por eso que se llegó a un acuerdo con el objetivo de que financien la construcción de un prototipo de la máquina encargada de generar de pellets, con el fin de que vean de primera mano el tipo de alimento que la tecnificación les puede proporcionar, adicional a eso se hace un análisis de viabilidad económica para que vean como impactaría monetariamente el uso de esta maquinaria en su actividad económica, todo con el propósito de que comprendan los beneficios del uso del equipo de peletizado y consideren invertir en la construcción de los equipos restantes pertenecientes al proceso de peletizado.

1. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

La Granja El Lucero, ubicada en la vereda Tierra de Castro del municipio de Moniquirá (Boyacá), se dedica a la producción de cerdos en todas sus etapas, cría, ceba y reproducción. Cuenta con alrededor de unas 40 cerdas de cría cuya capacidad proyecta aumentar; y asimismo, prepara el alimento con las materias primas que se encuentran en la granja debido al alto costo que poseen actualmente los concentrados en el mercado.

Figura 1. Cuarto de cerdas de gestación y cría



Actualmente, la granja está economizando el costo del concentrado para cerdos mezclándolo con alimentos producidos en la finca tales como: racimos y bellotas de plátano, plantas forrajeras (ramio, confrey, forraje verde hidropónico), melaza, obtenida de los trapiches del municipio, harinas (maíz, arroz, soya, palmiste), sales minerales, núcleo proteico y vitaminas como se evidencia en la figura 2.

Figura 2. Preparación del alimento en la Granja El Lucero



En la actualidad, la preparación del alimento conlleva diariamente alrededor de unas tres horas en tareas, como: la recolección, la molienda o el picado y la mezcla. El alimento se debe consumir de una vez, ya que, si se deja pasar varios días almacenado, puede atraer plagas y se puede fermentar, generando problemas sanitarios que son perjudiciales tanto para los animales como para el operario mismo. Además, la granja no cuenta con una bodega óptima para la conservación y almacenamiento del alimento en esas condiciones.

Cuando el operario distribuye el alimento este se desperdicia debido a las siguientes causas:

- La contextura del alimento es casi líquida.
- Las porciones no son equitativas para cada cerdo.
- Los comederos están diseñados para alimentos granulados como el pellet.
- Los cerdos no se comen la totalidad del alimento como se ve en la figura 3.

Estos factores influyen directamente en un mayor tiempo del desarrollo de cada animal y la disminución en la producción de lechones debido a que el cerdo aprovecha el alimento de mejor manera en forma granulada.

Figura 3. Comedero con alimento preparado no consumido



Por lo anterior, si se implementa una máquina peletizadora, ¿Disminuiría los tiempos de producción del alimento y mejoraría el desarrollo de los cerdos de La Granja El Lucero?

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Con el propósito de disminuir los costos de producción de cerdos en la Granja El Lucero, y seguir con la propuesta de producción de su propio alimento, resulta necesario la maquinaria para el proceso de peletizado. Ello, debido a que los cerdos no aprovechan el alimento por completo como se está realizando actualmente (alimento molido, fresco y mezclado con melaza), que conlleva más tiempo para que salga al mercado¹; además que los porcinos aprovechan mejor el alimento de manera granular (en forma de pellets), lo que les permite absorber mejor los nutrientes, a la par, que se disminuye los gastos energéticos en el proceso de digestión que se ven representados en el aumento del peso del animal.

Con la implementación de esta maquinaria, la Granja El Lucero podría producir el alimento en días estratégicos de la semana con el fin de que el operario pueda realizar más actividades laborales; y de este modo, se mejore la productividad sin tanto desgaste físico, ya que actualmente se desperdicia mucho tiempo y energía en la alimentación de los cerdos.

La producción del alimento en forma de pellet permite un almacenamiento adecuado, ya que es más fácil guardarlo en recipientes, por ejemplo, canecas, con el fin de aislarlo de las plagas y otras condiciones ambientales como la humedad; además, se aumenta la duración y conservación del alimento.

Debido al alto costo de estos equipos, la Granja El Lucero solicitó los servicios a la Universidad Industrial de Santander para diseñar y fabricar un prototipo de máquina peletizadora con el fin de suplir esta necesidad; el proyecto desarrolló las etapas de diseño con el objeto de construir dicho prototipo, fundamental para futuras investigaciones y el posible mejoramiento de maquinarias de peletizado.

¹ CABALLERO GARAY, Daniel José. Efecto del uso de alimentos balanceados peletizado desde el inicio hasta el engorde en la granja porcina el Hobo, Santa Cruz de Yojoa, Honduras. Trabajo de grado ingeniero en Agroindustrial alimentaria. San Antonio de oriente: Universidad Zamorano. Carrera de agroindustria alimentaria, 2010. P. 12-15.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un equipo de peletizado que mejore el proceso de producción de alimentos para los cerdos de la Granja El Lucero y construir un prototipo funcional del subsistema de máquina peletizadora de matriz plana.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un equipo de peletizado de alimento concentrado para La Granja Porcicola El Lucero con capacidad de 500 Kg/h que contenga los siguientes subsistemas:
 - Alimentación.
 - Cámara de acondicionamiento del alimento.
 - Peletizadora de matriz plana.
 - Cámara de enfriamiento del pellet.

Con sus respectivas memorias de cálculo junto con los planos de fabricación y montaje.

- Fabricar un prototipo del subsistema de máquina peletizadora de matriz plana con capacidad de 50 Kg/h cuyo pellet tenga un diámetro de 5 mm y longitud de 10 mm.
- Evaluar el impacto económico que genera la peletizadora en la Granja el Lucero.

2. SISTEMAS MECÁNICOS DE PELETIZADO

A continuación, se definirá qué es el pellet de alimento y el proceso utilizado en la producción de pellets para cerdos, además de describir las maquinarias empleadas en la fabricación de concentrado.

2.1 PELLETS DE ALIMENTO CONCENTRADO

El pellet es un alimento de forma cilíndrica de diferentes diámetros y longitudes con una formulación específica que dependen directamente de la etapa en la que se encuentra el cerdo, se puede clasificar como se evidencia en la tabla 1 según la norma NTC 1839 alimento para animales – alimento completo para cerdos.

Tabla 1. Requisitos fisicoquímicos del alimento completo para cerdos

Requisitos	Alimento completo para cerdos (Fracción en masa, en %)											
	Etapa de iniciación		Etapa de levante		Etapa de engorde y finalización		Etapa de gestación		Etapa de lactancia		Reproductores	
	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max
Humedad		13		13		13		13		13		13
Proteína	20		18		14		14		17		15	
Grasa	4		3		3		3		3		3	
Fibra		5		7		8		12		8		8
Cenizas		10		9		9		9		9		9

Fuente: ICONTEC, Norma Alimento para animales – Alimento completo para cerdos, NTC 1839.

La Granja El Lucero ya cuenta con una formulación específica con la que alimenta sus cerdos y que le ha proporcionado buenos “resultados”, el factor que les falta es que el alimento se produzca de manera granular debido que actualmente se genera muchos desperdicios.

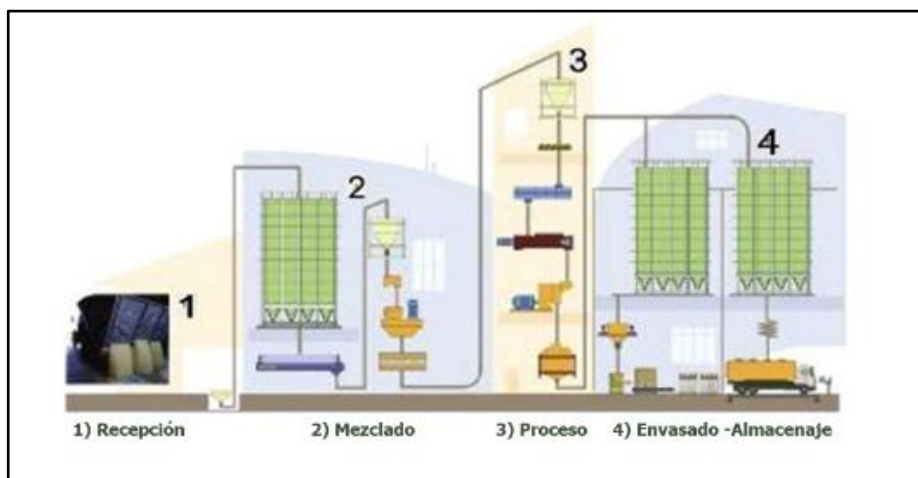
2.2 PROCESO DE PELETIZADO

Para poder producir pellets es necesario que la materia prima que ingresa al sistema pase por una serie de etapas con el fin de que el alimento este correctamente compactado y con la distribución adecuada de sus componentes.

Las etapas de una planta peletizadora de alimento concentrado, como aparece en la figura 4 son las siguientes:

- Recepción de las materias primas
- Molienda
- Mezclado
- Acondicionamiento
- Peletizado
- Enfriamiento
- Tamizado del pellet
- Adición de líquidos post peletizado (Grasas, melazas, encimas, sabores)
- Envasado y almacenaje del producto final

Figura 4. Etapas de producción de alimento concentrado



Este proyecto se enfocó principalmente en el proceso de peletizado que cuenta con los siguientes subsistemas:

- Subsistema de alimentación.
- Subsistema de acondicionamiento.
- Subsistema de peletización.
- Subsistema de enfriamiento.

2.2.1 Subsistema de alimentación. La función principal de este subsistema es suministrar de manera controlada la mezcla de alimento previamente hecha al acondicionador, garantizando un flujo constante y uniforme del alimento, dicho subsistema tiene ventajas como:

- Facilita la carga de la mezcla, permite que se disminuyan los esfuerzos por parte del operario y ayuda a que el proceso sea ergonómico.
- Permite que el flujo de la mezcla sea constante y controlado, manteniendo la estabilidad del proceso de producción.
- Evita atascos u obstrucciones que pueden sobrecargar las siguientes máquinas evitando paradas no planificadas.

Existen una gran variedad de alimentadores en la industria del peletizado como lo son los de banda transportadora, de cadena, de placas, entre otros; pero, por lo general, para estos procesos se utilizan los transportadores de tornillo sin fin que se dividen en: horizontales, inclinados y verticales; igualmente, cuentan con un canal por donde pasa la mezcla, y esta es empujada gracias a la rotación y al paso de la hélice del tornillo.

Figura 5. Alimentador de tornillo sin fin inclinado

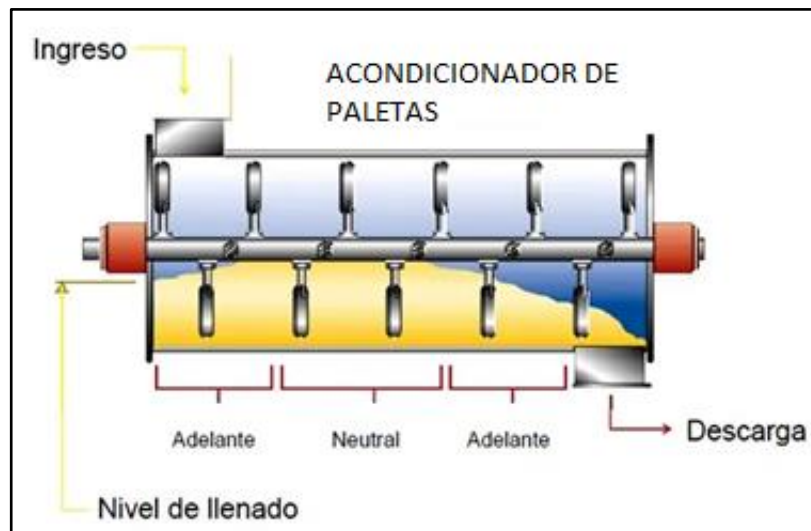


Fuente: <https://n9.cl/sg4hy>

2.2.2 Subsistema de acondicionamiento. Se encarga de llevar la materia prima del alimentador al subsistema de peletización mediante un eje con paletas. Mientras se va transportando, se agrega vapor de agua a unas condiciones definidas de presión y temperatura con un tiempo de retención preestablecido con el propósito de calentar y adicionar el porcentaje de humedad adecuado al alimento para que este adquiera las propiedades plásticas necesarias para producir pellets consistentes y resistente. Este subsistema cuenta con las siguientes ventajas:

- Reduce el consumo de potencia y el desgaste de la matriz durante el proceso de peletizado, debido a que la mezcla se calienta y se humedece disminuyendo la fricción y, por lo tanto, requiere de menor fuerza para ser extruido.
- Mezcla, hidrata y calienta el alimento con vapor saturado con el fin de gelatinizar los almidones y activar las proteínas de la mezcla de alimentos, y así, mejorar la digestibilidad de los cerdos.
- Minimiza la contaminación de la mezcla debido a los patógenos y los microorganismos en descomposición del alimento.

Figura 6. Acondicionador de paletas

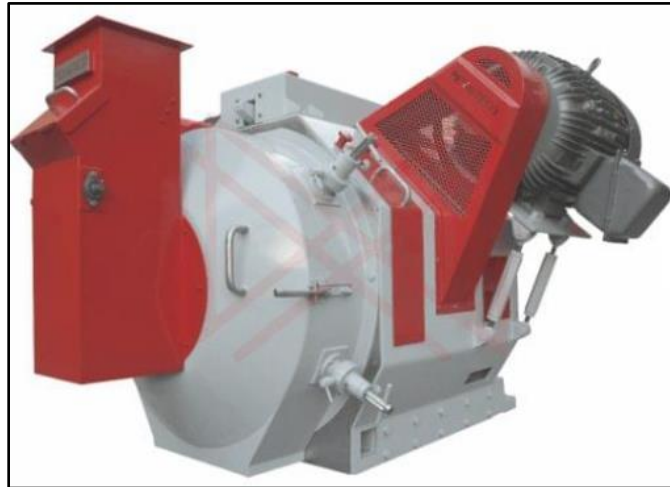


Fuente: <https://n9.cl/rh74w>

2.2.3 Subsistema de peletización. Es el encargado de compactar, extruir y cortar el alimento con las características requeridas. Esta es la etapa crítica, la que se encarga de darle forma de pellet a la materia prima y definir sus dimensiones geométricas. Existen diferentes tipos de peletizadora cuyo funcionamiento puede ser por rodillos o por medio de un tornillo extrusor el cual empujan la mezcla hacia una matriz con varios agujeros, que, en últimas, le dan la forma cilíndrica al pellet y son cortados con unas cuchillas que le proporcionan la longitud necesaria. Este subsistema cuenta con las siguientes ventajas:

- Facilita el almacenamiento y el transporte debido a que sale compacto y uniforme de la máquina; también, permite una mayor facilidad para que el operario alimente a los cerdos.
- Reduce los desperdicios y pérdidas de alimento lo que se ve representado en los costos de producción de la Granja o de una empresa en general.
- Ayuda a mejorar la digestibilidad de los cerdos lo cual se ve representada en un menor tiempo de consumo y gastos de energía innecesarios que, en últimas, se refleja en un mayor peso y en una disminución de la salida del animal al mercado.

Figura 7. Peletizadora de matriz anular marca Metalteco S.A.S



Fuente: <https://n9.cl/kt8rx>

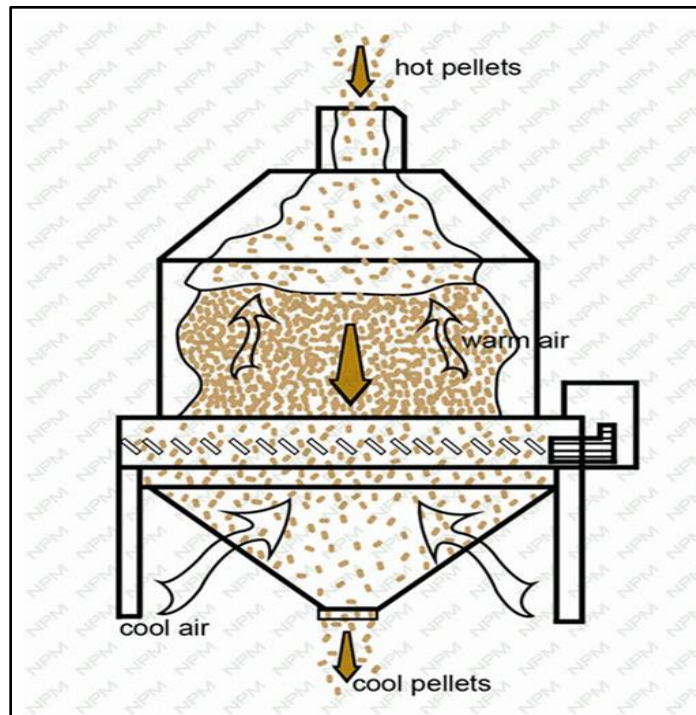
2.2.4 Subsistema de enfriamiento. Su función es disminuir la temperatura del pellet y el exceso de humedad con el fin de evitar que el formado del mismo se vea afectado, así como la aparición de finos. Hay distintos tipos de enfriadores en el mercado; sin embargo, para este caso se indagó en los enfriadores de contraflujo dado que estos son los que se suelen utilizar por su disponibilidad en el mercado.

En la figura 8 se muestra un enfriador de contraflujo de la empresa ABC Machinery, el proceso consiste básicamente en que los pellets entran al sistema de enfriamiento y se ubican sobre unas placas rotatorias que están organizadas paralelamente, cuando la cantidad de pellets alcanza un sensor ubicado en la parte superior de la cámara, las placas rotan y dejan caer a los pellets almacenados. A continuación, el aire frío intercambia calor con los pellets fríos, el aire caliente intercambia calor con los pellets calientes; esto ayuda a evitar que el pellet cambie bruscamente de temperatura dado que puede provocar baja rigidez en los pellets aumentando la posibilidad de la formación de finos.

Resumiendo, los beneficios de usar un enfriador en el proceso de peletizado son los siguientes:

- Permite un almacenamiento prolongado.
- Reduce el exceso de humedad.
- Evita la formación de finos.

Figura 8. Enfriador a contraflujo



Fuente: <https://n9.cl/dgsnvl>

3. DISEÑO CONCEPTUAL

Este tipo de máquinas existen actualmente en el mercado, pero para producción en masa de toneladas hora. Para el caso de la Granja El Lucero, se requiere diseñar la maquinaria con la capacidad máxima de cerdos que tienen proyectados en su visión; cabe resaltar, que esta granja es de tipo integral, ya que actualmente, también se dictan cursos agropecuarios; por lo cual, dicha integración con la producción de alimentos concentrados resulta una innovación que serviría como ejemplo para el mediano productor de cerdos al cual también va enfocado.

Este equipo de producción de pellet debe ser capaz de peletizar la mezcla de alimentos que actualmente se está realizando en La Granja El Lucero, con el fin de ser almacenada una vez haya salido de la máquina con condiciones similares de dureza, diámetros y longitudes de los concentrados que se venden en el mercado. Eso quiere decir que la mezcla debe ser sometida a condiciones de temperatura y humedad, compresión y enfriamiento para que pueda adquirir las condiciones deseadas del pellet.

A partir de lo anteriormente dicho, se realizó un estudio de posibles alternativas mediante el despliegue de la función de calidad (QFD) y el uso de la matriz Pugh, que se presenta a continuación:

3.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)

3.1.1 Requerimientos del cliente. Al dialogar con el interesado de la máquina se obtuvo las siguientes características del equipo de peletizado:

- Capacidad de producción de 500 Kg/h.
- Seguridad.
- Fácil de encender.

- Fácil de limpiar.
- Económica y con bajo consumo energético.
- Fija o empotrada.
- La salida del pellet quede a unos 50 cm de altura a la boca de un costal de alimento concentrado (para evitar que caiga al piso).
- Resistente.
- Proceso continuo.
- Poco esfuerzo y fácil de operar.

3.1.2 Matriz de calidad. Los requerimientos del cliente anteriormente mencionados fueron evaluados dentro de una matriz QFD. En la columna de la izquierda, se encuentran los requerimientos del cliente y se ordenan de mayor a menor según la prioridad, siendo el más alto, el más importante. También, se establecieron unos requerimientos ingenieriles ubicados en las siguientes columnas que fueron calificados con base en los requerimientos del cliente de la siguiente manera:

Tabla 2. Calificación de la función de calidad QFD

Calificación	
9	Alto
3	Medio
1	Bajo
0	Nulo

Se escogieron los 4 requerimientos ingenieriles con mayor puntuación para proceder con la siguiente fase de diseño.

Tabla 3. Matriz QFD del equipo de peletizado

EQUIPO DE PELETIZADO	PRIORIDAD	SUBSIST. ALIMENTACIÓN		TRANSMISIÓN		SUBSIST. COMPACTACIÓN		PARTE ESTRUCTURAL		SUBSIST. ENFRIAMIENTO		SUBSIST. ACONDICIONAMIENTO		SUBSIST. ELÉCTRICO Y DE CONTROL	
PRODUCTIVA 500 Kg/h	9	3	27	3	27	9	81	1	9	3	27	3	27	1	9
PELLET DURADERO	8	0	0	0	0	9	72	0	0	9	72	9	72	0	0
BAJO CONSUMO	7	1	7	3	21	3	21	1	7	1	7	1	7	9	63
MANTENIBILIDAD	6	1	6	3	18	9	54	9	54	3	18	3	18	1	6
SEGURIDAD	5	3	15	9	45	9	45	3	15	3	15	9	45	3	15
ERGONOMÍA	4	9	36	1	4	9	36	3	12	3	12	1	4	0	0
FACILIDAD PARA OPERAR	3	9	27	3	9	3	9	1	3	3	9	1	3	3	9
FACILIDAD PARA LIMPIAR	2	3	6	3	6	9	18	3	6	1	2	3	6	0	0
BUEN ASPECTO	1	3	3	1	1	3	3	9	9	1	1	3	3	3	3
TOTAL		127		131		339		115		163		185		105	

3.1.3 Ponderación de resultados. Al desarrollar la matriz de la calidad, se obtuvo que el sistema de compactación (Peletizado) es el requerimiento más importante, seguido por el subsistema de acondicionado, el subsistema de enfriamiento y el subsistema de alimentación, estos cuatro son los más relevantes para el diseño del equipo de peletizado.

Tabla 4. Ponderación de resultados

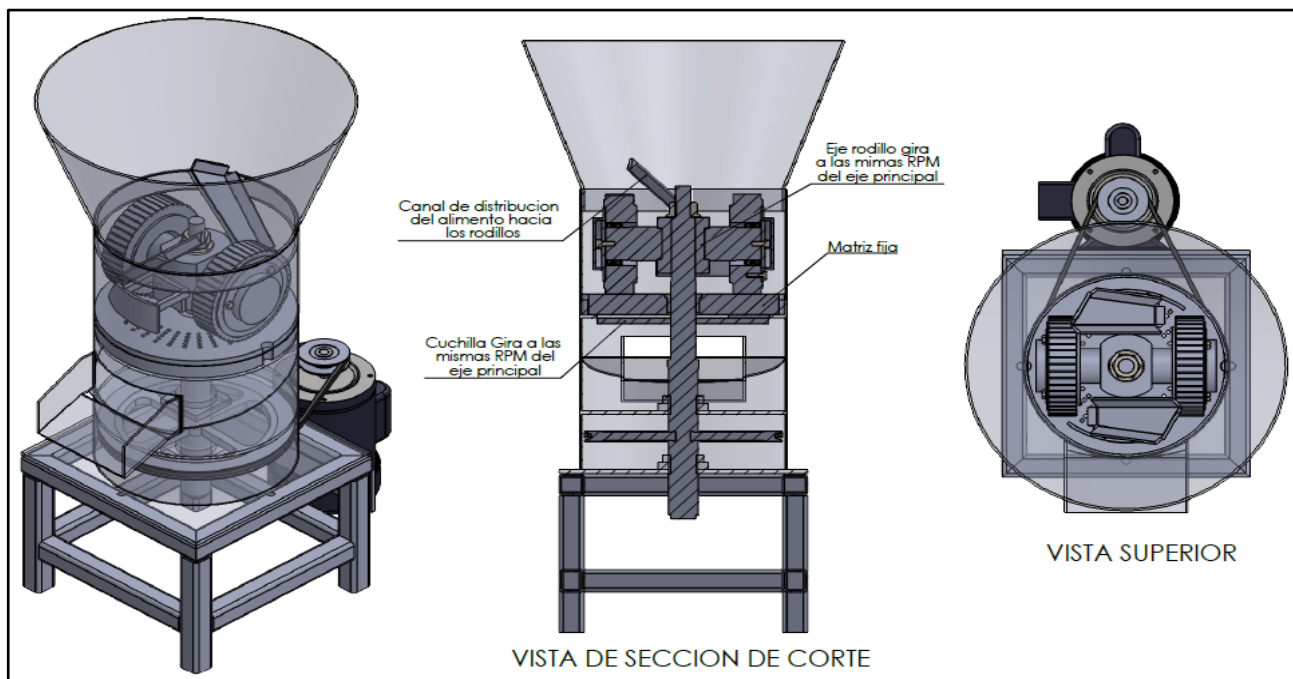
PONDERACIÓN DE RESULTADOS		
SUBSISTEMAS	VALORACIÓN	PORCENTAJE [%]
SUBSISTEMA DE COMPACTACIÓN (PELETIZADO)	339	41.65
SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO	185	22.73
SUBSISTEMA DE ENFRIAMIENTO	163	20.02
SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN	127	15.60
TOTAL	814	100.00

Al observar la tabla 4, se puede evidenciar que el subsistema más crítico para la producción de pellet es el de compactación (peletizado), es por eso por lo que dicha fase de fabricación del prototipo se completó, mientras que en los otros subsistemas solo se alcanzó la fase de diseño de detalle.

3.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

3.2.1 Alternativa 1. Peletizadora de matriz fija. Este tipo de peletizadora funciona mediante la rotación de los rodillos a las mismas rpm del eje principal, manteniendo estática la matriz; a medida que los rodillos giran sobre la matriz, van comprimiendo la mezcla de alimentos; y mediante unos canales que están unidos al eje de los rodillos, van distribuyendo el alimento de manera uniforme sobre los agujeros de la matriz; permitiendo que se peletice en su totalidad, sin dejar que el alimento se quede pegado en las paredes de la carcasa; después, de que es extruido, unas cuchillas que giran a las mismas rpm del eje de los rodillos, van cortando los pellet a la longitud deseada.

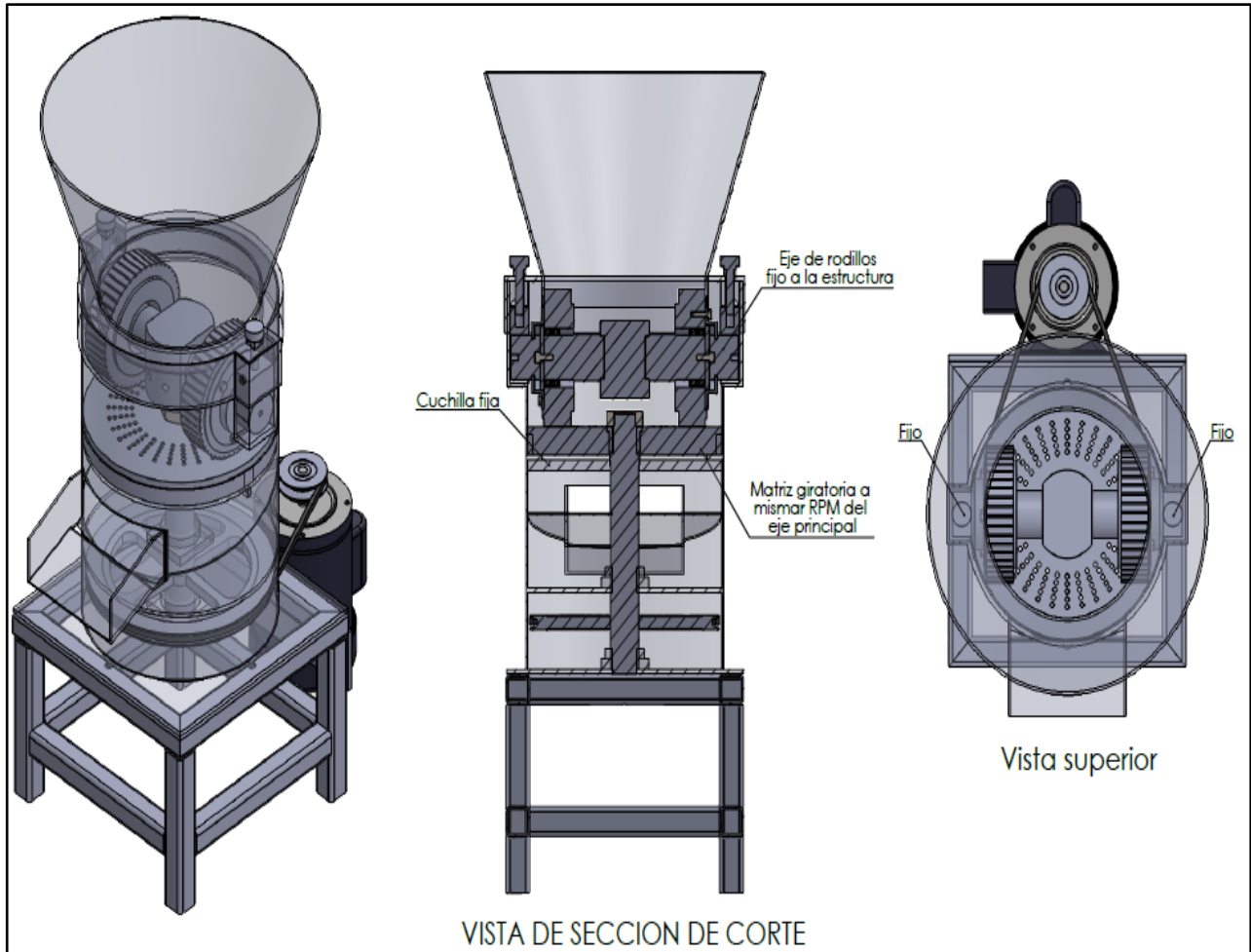
Figura 9. Alternativa de peletizadora de matriz fija



3.2.2 Alternativa 2. Peletizadora de matriz giratoria. Este tipo de peletizadora funciona mediante la rotación de la matriz, que gira a las mismas rpm del eje principal; los rodillos en este caso solo giran alrededor su eje que está unido a la estructura; es decir, el eje de los rodillos permanece estático y, gracias a los rodamientos internos de los rodillos y a la rotación de la matriz, que le transmite un movimiento de rotación, se empuja el alimento hacia la matriz

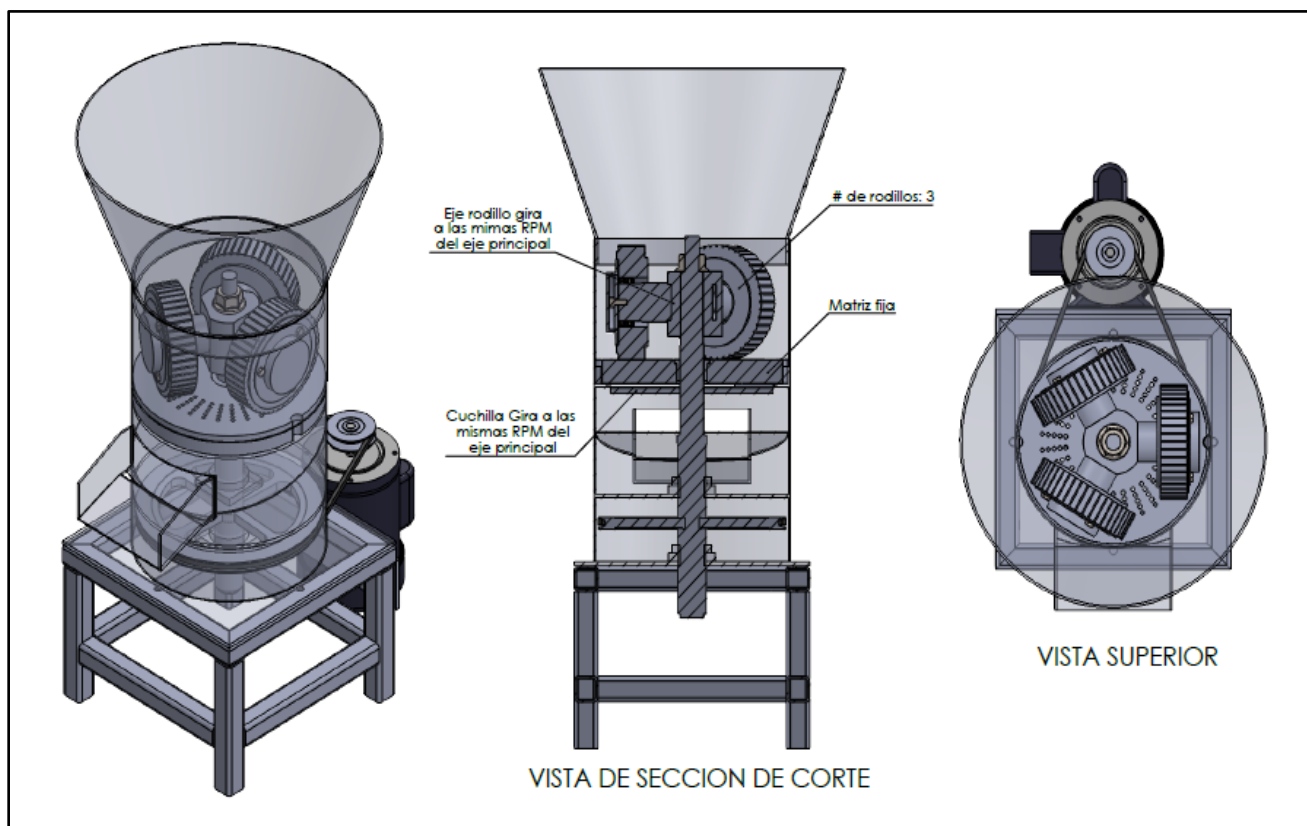
generando una fuerza de extrusión que forma el pellet. Como la matriz está rotando la cuchilla permanece fija cortando los pellets a la longitud deseada.

Figura 10. Alternativa de peletizadora de matriz giratoria



3.2.3 Alternativa 3. Peletizadora de matriz fija con 3 rodillos. Este tipo de peletizadora funciona mediante la rotación de los 3 rodillos a las mismas rpm del eje principal, manteniendo estática la matriz; a medida que los rodillos giran sobre la matriz, van comprimiendo la mezcla de alimentos; después, de que es extruido, unas cuchillas que giran a las mismas rpm del eje de los rodillos, van cortando los pellet a la longitud deseada.

Figura 11. Alternativa de matriz fija con 3 rodillos



3.2.3 Evaluación de alternativas del subsistema de compactación (peletizado). Mediante el uso de la matriz de Pugh se desarrolla la evaluación de las tres alternativas planteadas. Como se evidencia en la tabla 5, resultado ganadora la opción de peletizadora de matriz plana fija.

Tabla 5. Matriz de Pugh del subsistema de compactación (Peletizado).

PELETIZADORA	PRIORIDAD	MATRIZ FIJA		MATRIZ ROTATIVA		MATRIZ FIJA CON 3 RODILOS	
		9	72	3	24	9	72
PRODUCTIVA_500 Kg/h	8	9	72	3	24	9	72
PELLET DURADERO	7	9	63	9	63	9	63
MENOR PÉRDIDA DE POTENC	6	9	54	1	6	1	6
BAJO CONSUMO	5	3	15	1	5	1	5
MANTENIBILIDAD	4	9	36	3	12	1	4
SEGURIDAD	3	3	9	3	9	3	9
FACILIDAD PARA OPERAR	2	3	6	3	6	3	6
FACILIDAD PARA LIMPIAR	1	9	9	1	1	1	1
TOTAL		264		126		166	

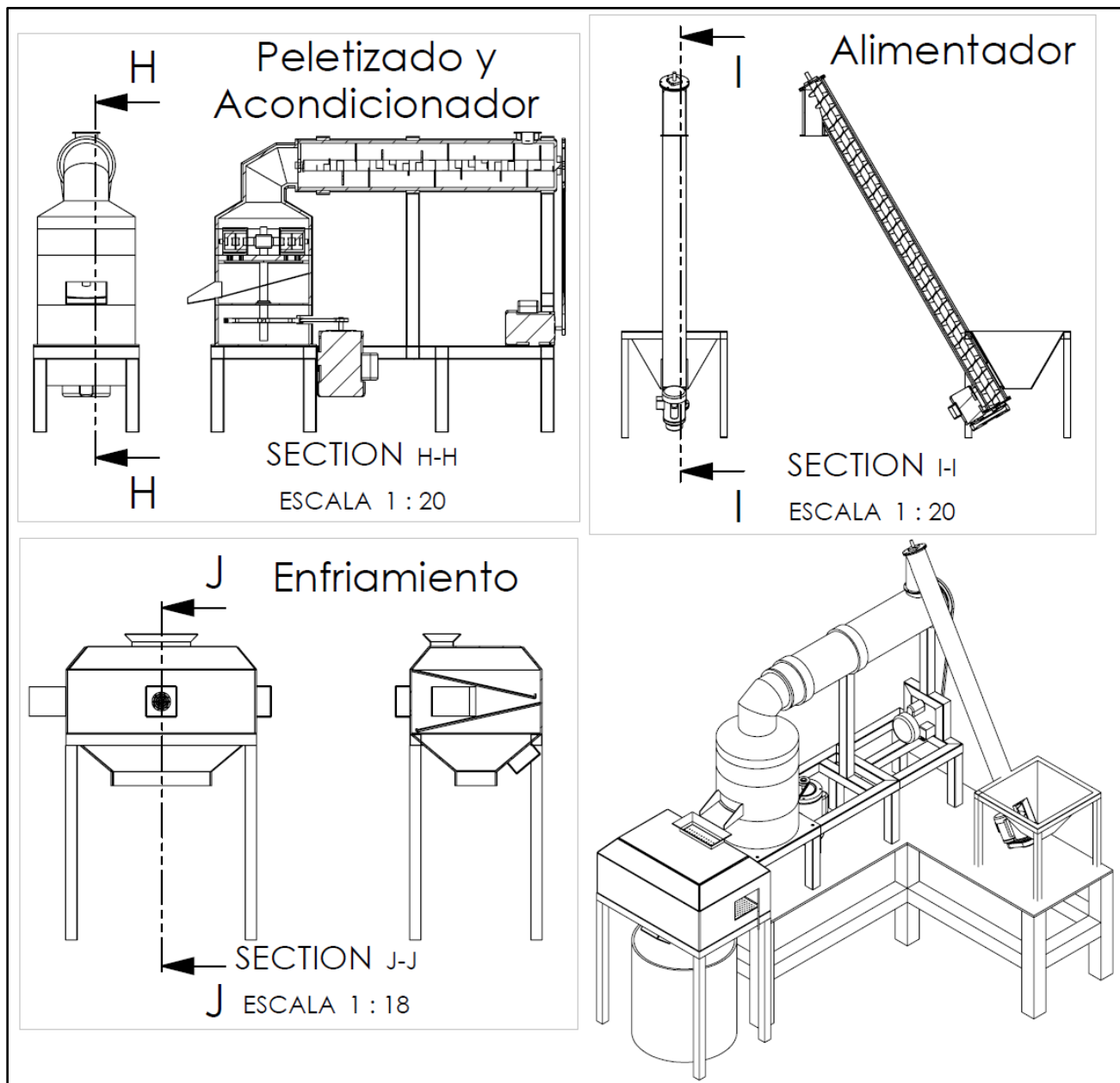
Otro factor para la selección de que la matriz de la peletizadora quede fija fue que a la hora de realizar una inspección a la peletizadora de matriz giratoria del laboratorio de combustión industrial se evidencio que hay un incremento de potencia debido a que el alimento se queda estático en la parte fija del eje de los rodillos y en las paredes de la carcasa por lo cual este se solidifica cuando deja de operar, frenando los rodillos por lo cual hace que no opere de manera adecuada, es decir, hace que la máquina no tenga una buena mantenibilidad como se evidencia en la figura 12.

Figura 12. Rodillos de peletizadora de matriz giratoria



El procedimiento anteriormente realizado también se planteó para el subsistema de acondicionado, el subsistema de enfriado y para el subsistema de alimentación del equipo de peletizado, sino que por cuestiones de espacio se muestran en la sección A, B, C de los anexos. A continuación, se presenta en la figura 13 la alternativa completa del equipo de peletizado con todos sus subsistemas.

Figura 13. Alternativa de equipo de peletizado con todos los subsistemas



Funciona así: El alimento ingresa a la tolva del alimentador mezclado con ayuda de un operario, sube con un tornillo sin fin a la cámara de acondicionamiento que contiene en su interior un eje con paletas que ayuda a mezclar el vapor y el alimento agregándole las propiedades plásticas que garanticen la calidad del pellet. Después el alimento se dirige a la cámara de peletizado que consta de una matriz plana con agujeros y dos rodillos que giran encima de la matriz permitiendo la extrusión del alimento. En la parte inferior de la matriz

cuenta con una cuchilla que permite cortar el pellet. Por ultimo los pellets producidos se dirigen a un enfriador que regula la temperatura por medio de ventiladores que se encuentran distribuidos en la cámara de enfriamiento, cabe resaltar que dentro de este cuenta con dos laminas agujeradas e inclinadas que tienen como objetivo retener y aumentar el tiempo de exposición del pellet al proceso de enfriamiento.

4.DISEÑO DE DETALLE

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALIMENTO

La granja el lucero utiliza las materias primas que se identifican en la tabla 6 para alimentar los cerdos, donde previamente se pican con una picapasto y se mezclan hasta que queda una masa homogénea.

Tabla 6. Ingredientes de la mezcla para la elaboración del alimento

INGREDIENTES PARA LA MEZCLA PARA PELETIZAR		
Melaza	Afrecho de yuca	Harina de pepa de guayaba
		
Harina de Maíz	Maro	Bore
		
Bellota de plátano	Plátano	Mezcla de los ingredientes
		

La granja cuenta con una formulación en base a los alimentos anteriormente mostrados, estos alimentos se llevaron al laboratorio de combustión industrial de la Escuela de ingeniería mecánica y se realizó la mezcla con los porcentajes indicados por el propietario de la granja con el fin de observar el comportamiento de la mezcla a la hora de ser peletizado, en la tabla 7 se evidencia el resultado obtenido.

Tabla 7. Formula inicial de la granja el lucero


FORMULACIÓN INICIAL DE LA GRANJA EL LUCERO		
Ingredientes	Peso	%
Maro	250	13%
Plátano	200	10%
Bore	200	10%
Bellota	180	9%
Harina de Guayaba	210	11%
Afrecho de Yuca	335	17%
Harina de maíz	525	26%
Melaza	100	5%
TOTAL	2000	100%



Como se puede evidenciar la fórmula que se contempló inicialmente es demasiado húmeda por lo cual la peletizadora del laboratorio de combustión industrial no pudo peletizar la mezcla. Se opto por agregarle más porcentaje de ingredientes secos como las harinas de guayaba y maíz con el fin de obtener la formulación que se evidencia en la tabla 8. El paso a paso para obtener esta formulación se muestra en el anexo D.

Tabla 8. Formula Final Para Caracterizar

FORMULACIÓN FINAL		
Ingredientes	Peso	%
Maro	395	12%
Plátano	395	12%
Bore	494	15%
Bellota	99	3%
Harina de Guayaba	658	20%
Afrecho de Yuca	395	12%
Harina de maíz	724	22%
Melaza	132	4%
TOTAL	3290	100%



Como se puede ver, la contextura del pellet es aceptable. Con base en esta formulación se caracterizó la mezcla con el fin de tomar partida con los cálculos, en este caso hay que tener la densidad de la mezcla, un parámetro fundamental para el diseño de las máquinas.

La densidad de la mezcla se obtuvo de manera experimental con la ayuda de una probeta y una gramera. El experimento consistió en pesar cierta cantidad de la mezcla y agregarla dentro de la probeta que ya estaba llena con cierta cantidad de volumen de agua, lo que se buscó fue el diferencial de volumen de agua que representa el volumen de la mezcla, y por medio de la ecuación de masa/volumen poder determinar la densidad de la mezcla. Este experimento se realizó con 5 pesos de mezcla y volúmenes de agua diferentes con el fin de obtener una densidad promedio de la formulación.

Tabla 9. Demostración de experimento para obtener la densidad de la mezcla

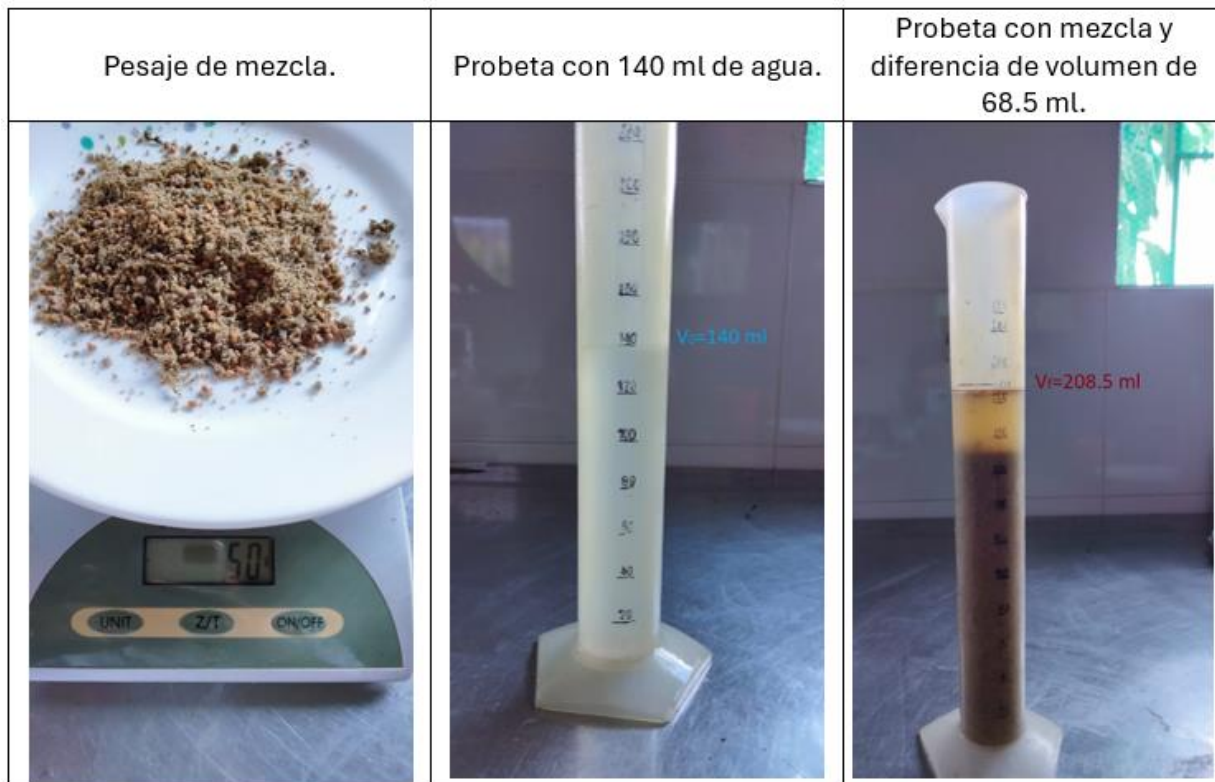


Tabla 10. Datos experimentales para obtener la densidad de la mezcla

Datos experimentales para obtener la Densidad						
M [g]	V_0 [ml]	V_f [ml]	ΔV [ml]	ρ [g/ml]	ρ [Kg/m ³]	ρ_{Prom} [Kg/m ³]
50	140	208.5	68.5	0.72993	729.93	729.89
60	140	222.1	82.1	0.73062	730.62	
70	140	235.9	95.9	0.72956	729.56	
80	140	249.6	109.6	0.73012	730.12	
90	140	263.4	123.4	0.72922	729.22	

Al observar la tabla 10 se puede evidenciar una densidad promedio de 729.89 Kg/m³ de la mezcla de alimento que se pudo peletizar, para los cálculos se tomó una densidad de 730 Kg/m³ con el fin de redondear este valor a un número entero.

4.2 DISEÑO DEL ALIMENTADOR

Dentro del conjunto de máquinas y/o equipos que comprende el proceso de peletizado de alimento concentrado, el alimentador es el encargado de dosificar el alimento que entra como materia prima con el fin de garantizar un flujo controlado y constante hacia los demás equipos involucrados en el proceso de transformación del alimento.

Considerando las condiciones y el ambiente al que estará sometido el alimentador y todos los equipos, hay que sopesar que sus diseños estén orientados a que no sean solamente resistentes, sino también sencillos de operar y fáciles en cuanto al desarrollo de tareas relacionadas al mantenimiento.

Tomando en cuenta que alimentador es de tipo transportador helicoidal hay que considerar parámetros de diseño tales como: la capacidad máxima de alimento a transportar, la capacidad por revolución del tornillo, la cantidad de alimento dosificada, la longitud del tornillo, el volumen ocupado por el alimento, el material a utilizar, entre otros.

4.2.1 Parámetros básicos del tornillo alimentador. El cálculo y las relaciones utilizadas para el dimensionamiento básico del tornillo se pueden ver en la tabla 11.

Tabla 11. Dimensionamiento básico del tornillo alimentador

Dimensionamiento básico del tornillo alimentador		
$L = \frac{N * p * t}{12}$	$S = \lambda * \frac{\pi * D_{s-m}^2}{4}$	$Q = 3600 * S * V * \rho$
$N = \frac{C}{C_{1rpm}}$	$V = \frac{p_m * N}{60}$	

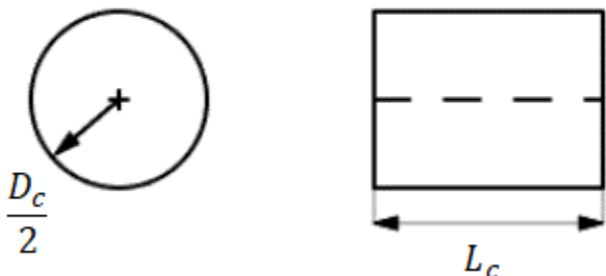
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
C	24.17	ft ³ /h	Capacidad del alimentador
D_s	6	in	Diámetro del tornillo
C_{1rpm}	0.535	ft ³ /h	Capacidad del alimentador a 1 rpm
t	0.5	min	Tiempo de retención del material en el alimentador
p	6	in	Paso del tornillo
$D_{s,m}$	0.1524	m	Diámetro del tornillo en unidades SI
p_m	0.1524	m	Paso del tornillo alimentador tipo estandar en unidades SI
ρ	0.73	t/m ³	Densidad del alimento a transportar
λ	0.32	-	Coefficiente de relleno para carga ligera y poco abrasiva

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
L	11.29	ft	Longitud del tornillo
L_m	3.443	m	Longitud del tornillo en SI
N	45	rpm	Velocidad de operación
S	0.006	m ²	Área de relleno del canalón que ocupa el alimento
V	0.115	m/s	Velocidad de desplazamiento del transportador
Q	1.760	t/h	Capacidad de flujo del alimento transportado

Para el dimensionamiento del tornillo se tomó como referencia valores de la norma ANSI/CEMA Standard No.350, en el anexo H.

4.2.2 Dimensionamiento de la carcasa. Tomando en cuenta los resultados dados en la tabla 11 se procede a dimensionar la carcasa, esta se diseña con forma tubular, en la tabla 12 se ve en mayor detalle su desarrollo.

Tabla 12. Dimensionamiento de la carcasa

Dimensionamiento de la carcasa	
$\rho = \frac{m_{al}}{V_{al}}$ $V_{al} = A_c * L_c$ $A_c = \frac{\pi}{4} * D_c^2$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
ρ	730	Kg/m ³	Densidad del alimento
m_{al}	45	Kg	Cantidad dosificada de alimento a transportar
L_c	3.4	m	Longitud de la carcasa
m_T	500	Kg	Masa total de alimento a transportar

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
V_{al}	0.06	m ³	Volumen que ocupa el alimento a transportar
A_c	0.01813	m ²	Área requerida para la carcasa
D_c	0.152	m	Diámetro de la carcasa

Se puede concluir a partir de estos cálculos que el alimento a transportar se dosifica en cantidades de 45 Kg bajo las dimensiones definidas.

4.2.3 Análisis de fuerzas en la carcasa. Para determinar las fuerzas a las que va a estar sometida la carcasa se procede a suponer que el alimento transportado se comporta como un fluido que descansa sobre la carcasa, esto con el fin de poder realizar un análisis de fuerzas hidrostáticas que actúan sobre superficies curvas sumergidas.

Tabla 13. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre la carcasa

Análisis de fuerzas en la carcasa	
$F_V = \rho * g * A_c * L_c$ $\bar{y} = \frac{2 * D_c}{3 * \pi}$ $\bar{x} = \bar{y}$ $F_H = \rho * g * \frac{D_c}{2} * L_c * \bar{y}$ $y_{c_p} = \bar{y} + \frac{D_c^2}{48 * \bar{y}}$ $F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_V}{F_H}\right)$	<p>Diagrama que muestra un arco circular de diámetro D_c en un sistema de coordenadas x-y. El arco está en el cuadrante superior izquierdo. Se muestra el centro de gravedad C_p y el centro de presión c_p. Las fuerzas F_V (vertical), F_H (horizontal) y F_R (resultante) actúan sobre el arco. El ángulo θ se muestra entre F_R y F_H. El eje x apunta a la derecha y el eje y hacia abajo.</p>

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
ρ	730	Kg/m ³	Densidad del alimento
g	9.81	m/s ²	Aceleración de la gravedad
A_c	0.01813	m ²	Área requerida para la carcasa
L_c	3.4	m	Longitud de la carcasa
D_c	0.15	m	Diámetro de la carcasa

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
F_V	441.45	N	Componente vertical de la fuerza
\bar{y}	0.03	m	Centroide en el semicírculo en la dirección y
\bar{x}	0.03	m	Centroide en el semicírculo en la dirección x
F_H	59.6	N	Componente horizontal de la fuerza
y_{C_p}	0.047	m	Distancia vertical al centro de presión
F_R	445.5	N	Fuerza resultante
θ	82.3	°	Ángulo de la fuerza resultante respecto la horizontal

4.2.4 Análisis de la resistencia de la carcasa. Una vez determinadas las fuerzas a las que está sometida la carcasa se procede a medir su resistencia suponiendo que la carcasa actúa como una viga empotrada de sección rectangular y espesor “b” la cual está sometida a la fuerza resultante “FR” calculada en la tabla 13. En la tabla 14 se presenta el procedimiento utilizado.

Tabla 14. Análisis de la resistencia de la carcasa

Cálculo de la resistencia de la carcasa	
$\sigma_f = \frac{M_c}{I} \frac{y}{C}$ $\frac{I}{C} = \frac{L_c * b^2}{6}$ $N_y = \frac{S_y}{\sigma_f}$	<p style="text-align: center;">DCL</p> <p style="text-align: center;">Estática</p> $\sum M_c = 0$ $M_c = F_H * \left(\frac{D_c}{2} - y_{C_p}\right) + F_V * \bar{x}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
D_c	0.15	m	Diámetro del semicírculo la carcasa
\bar{x}	0.03	m	Centroide en el semicírculo en la dirección x
y_{c_p}	0.047	m	Distancia vertical al centro de presión
F_H	59.6	N	Componente horizontal de la fuerza
F_V	441.45	N	Componente vertical de la fuerza
L_c	3.4	m	Longitud de la carcasa
b	0.004	m	Espesor de la carcasa
S_y	276	Mpa	Resistencia a la fluencia del acero inoxidable

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
M_c	15.95	Nm	Momento generado sobre la carcasa
σ_f	1.76	Mpa	Esfuerzo generado por flexión
N_y	156.88	-	Factor de seguridad a la fluencia
I/C	0.0000091	m ³	Módulo para una sección transversal rectangular

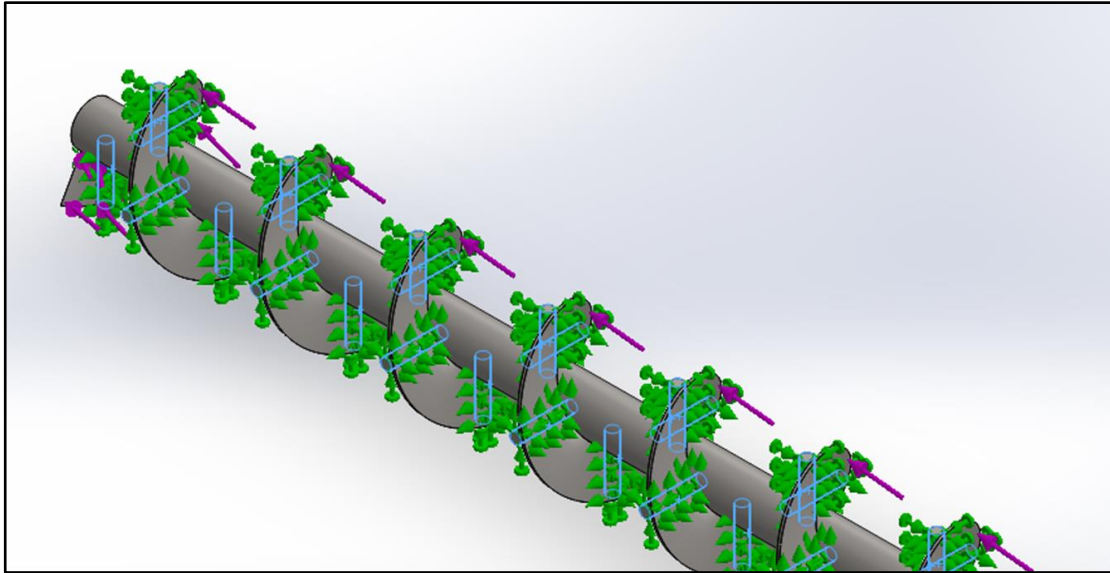
4.2.5 Diseño y análisis del listón del tornillo alimentador. El listón y/o hélice del tornillo transportador se dimensiona como uno tipo estándar (paso del listón igual al diámetro del tornillo) y se establece un espesor de ala de 3mm.

Para su análisis se opta por usar SW (Solidworks), debido a la geometría del listón. Se hace uso del módulo "Simulation", la carga a la que se somete el tornillo en la simulación es la fuerza resultante calculada en la tabla 8 de 446 N, sin embargo, debido a que el tornillo tendrá una inclinación considerable la carga a la que estará sometida va a ser mayor, por esa razón se opta por aumentar el valor de esa carga en un 30% dando 579 N esto para incluir los efectos de la inclinación.

El listón suele unirse al eje directamente mediante soldadura, sin embargo, debido a la geometría que presenta, el software no fue capaz de procesarlo, para solventar este problema, se supone que la hélice en vez de estar unida directamente al eje está sujeta a barras macizas

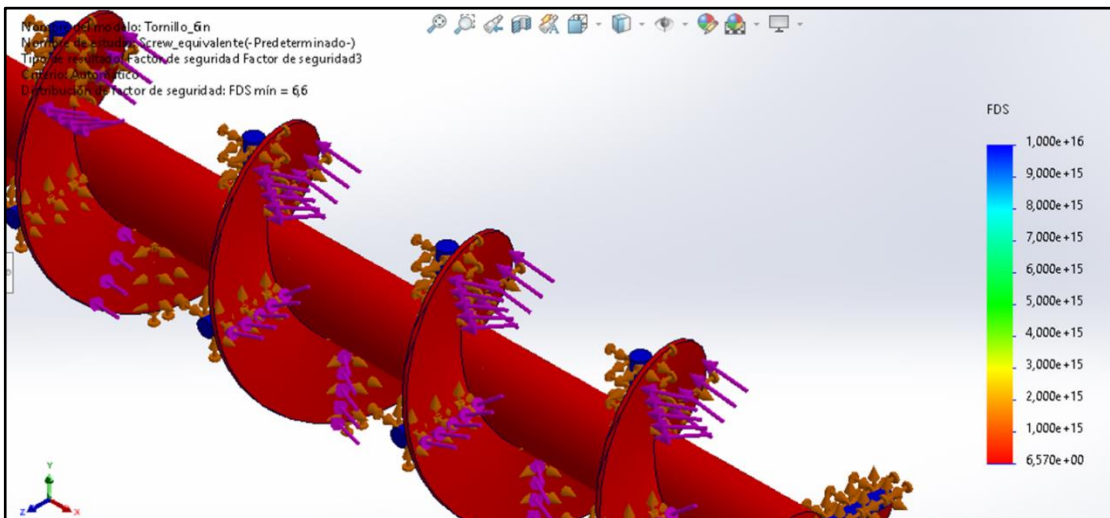
de 1/2" que actúan como soportes y están situados a 90° por toda la hélice. Cada ala de la hélice tiene 4 soportes. En la figura 14 se muestran las sujeciones.

Figura 14. Soportes del listón



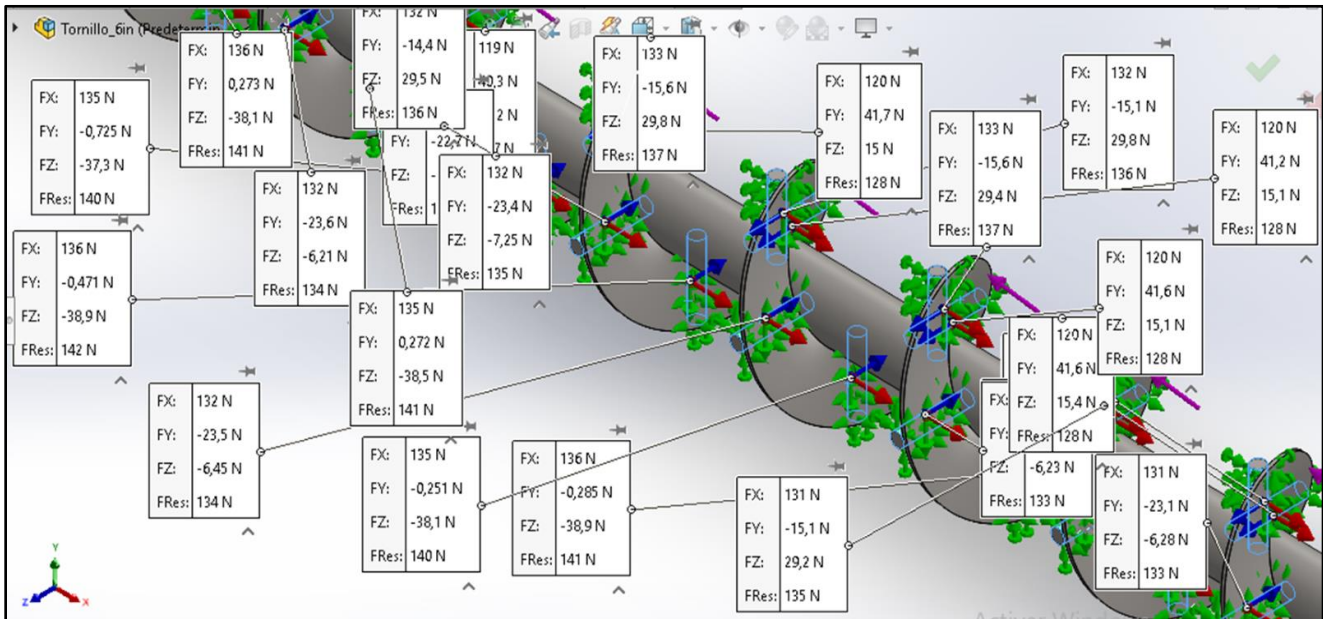
Luego, se procede a crear y ejecutar la malla. Una vez hecho eso, se ejecuta el análisis de estudio y se procede a observar los resultados. Se observa que el factor de seguridad obtenido por el programa para la hélice del tornillo es de 6.6, figura 15.

Figura 15. Factor de seguridad de la hélice del tornillo



Finalmente, se determinan las reacciones a las que se someten los soportes de los tornillos, para determinar su nivel de resistencia más adelante. En la figura 16, se exponen los valores de estas reacciones.

Figura 16. Reacciones en los soportes de las alas del listón



4.2.5.1 Análisis estático de los soportes de las alas del listón. De los valores obtenidos de las reacciones calculadas en la sección anterior, se escogen las 3 reacciones más críticas horizontalmente y las 3 más críticas verticalmente para observar y comparar para finalmente determinar el valor más crítico, esto para saber el nivel de resistencia de los soportes, en la tabla 15 se expone detalladamente el proceso.

Tabla 15. Análisis estático de los soportes de las alas del listón

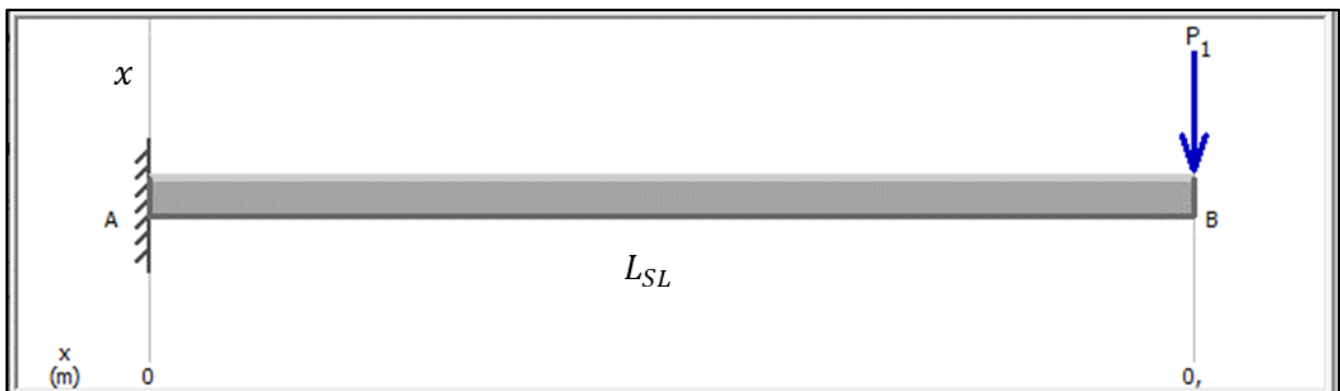
Análisis estático de los soportes del listón del tornillo alimentador	
$M_{o_{1,2}} = F_{x,y} * L_{SL}$ $M_o = \sqrt{M_{o_1^2} + M_{o_2^2}}$ $A_{SL} = \frac{\pi}{4} * \phi_{SL}^2$ $I/C = \frac{\pi}{32} * \phi_{SL}^3$ $\sigma_{max} = \frac{F_{ax}}{A_{SL}} \pm \frac{M_o}{I/C}$ $N_y = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$	<p><i>DCL para análisis del soporte por flexión</i></p> <p><i>DCL para análisis del soporte por fuerza axial</i></p>

Variables de entrada								
Parámetro	Magnitud						Unidades	Descripción
	HO1	HO2	HO3	VE1	VE2	VE3		
F_R	473	136	135	455	142	141	N	Fuerza resultante del soporte n-ésimo
F_x	333	135	132	249	136	136	N	Componente de la fuerza en la dirección "x"
F_y	182	-21.1	-23.4	-330	-0.328	0.145	N	Componente de la fuerza en la dirección "y"
F_z	282	-3.54	-6.11	-190	-38.2	-38.8	N	Componente de la fuerza en la dirección "z"
L_{SL}	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	m	Longitud del soporte
ϕ_{SL}	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	m	Diámetro del soporte
S_y	276	276	276	276	276	276	Mpa	Resistencia a la fluencia del AISI 304

Variables de salida								
Parámetro	Magnitud						Unidades	Descripción
	HO1	HO2	HO3	VE1	VE2	VE3		
M_{O_1}	12.89	5.22	5.11	9.64	5.26	5.26	Nm	Momento generado por la fuerza F_x
M_{O_2}	10.9	-0.1	-0.2	-7.4	-1.5	-1.5	Nm	Momento generado por la fuerza F_z
M_o	16.887	5.226	5.114	12.121	5.467	5.473	Nm	Momento máximo generado por M_{o1} y M_{o2}
F_{ax}	182.0	-21.1	-23.4	-330.0	-0.3	0.1	N	Fuerza axial del soporte n-ésimo
A_{SL}	0.000127	0.000127	0.000127	0.000127	0.000127	0.000127	m ²	Área transversal del soporte del tornillo
I/C	0.00000020	0.00000020	0.00000020	0.00000020	0.00000020	0.00000020	m ³	Módulo de sección crítica
σ_{max}	85.4	25.8	25.2	57.7	27.2	27.2	Mpa	Esfuerzo máximo generado sobre el soporte
N_y	3.2	10.7	10.9	4.8	10.2	10.1	-	Factor de seguridad a la fluencia del soporte

Se observa que la reacción en HO1 es la más crítica, por lo tanto, los análisis posteriores se realizarán bajo estos valores, en las figuras 17 y 18 se muestra los diagramas de fuerza cortante y momento flector generados por esta reacción.

Figura 17. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la reacción crítica en la dirección "x"



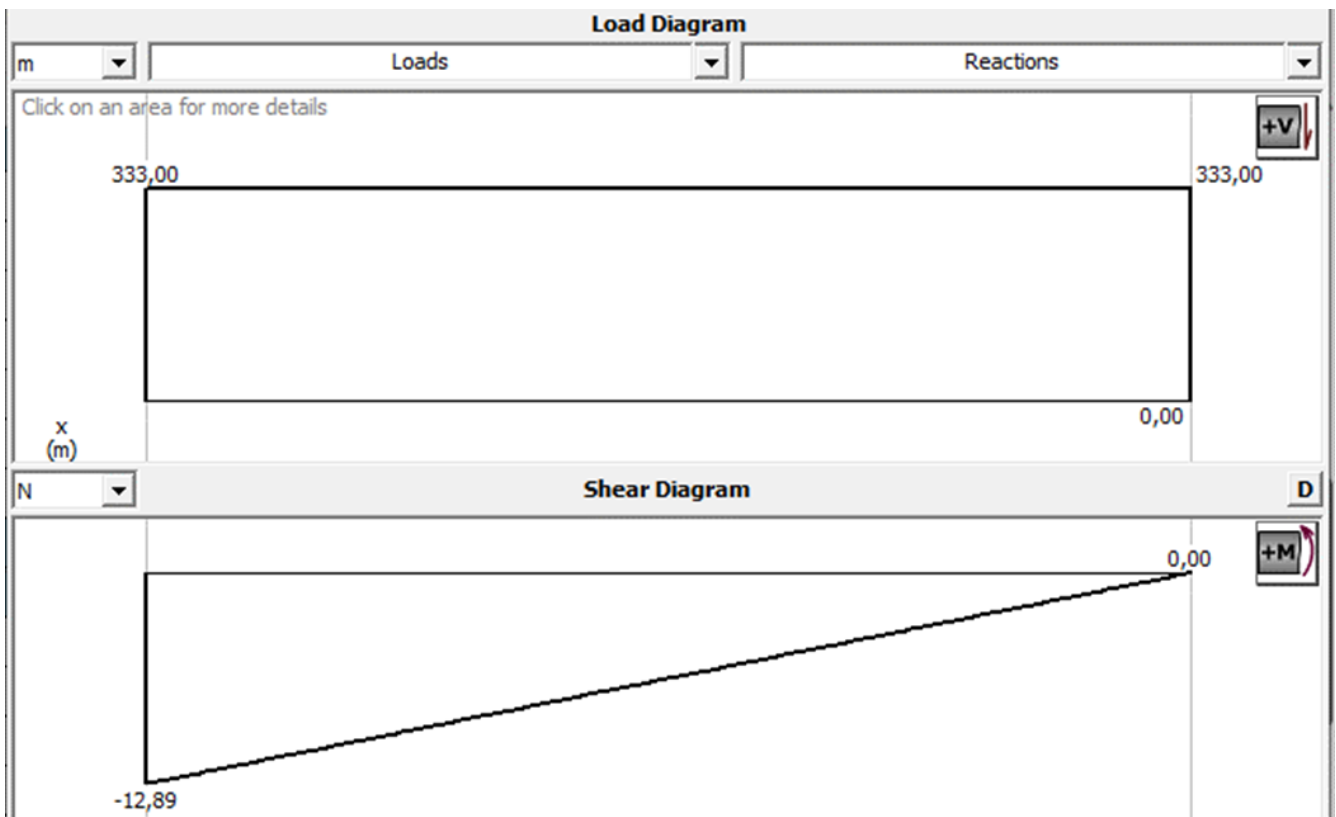
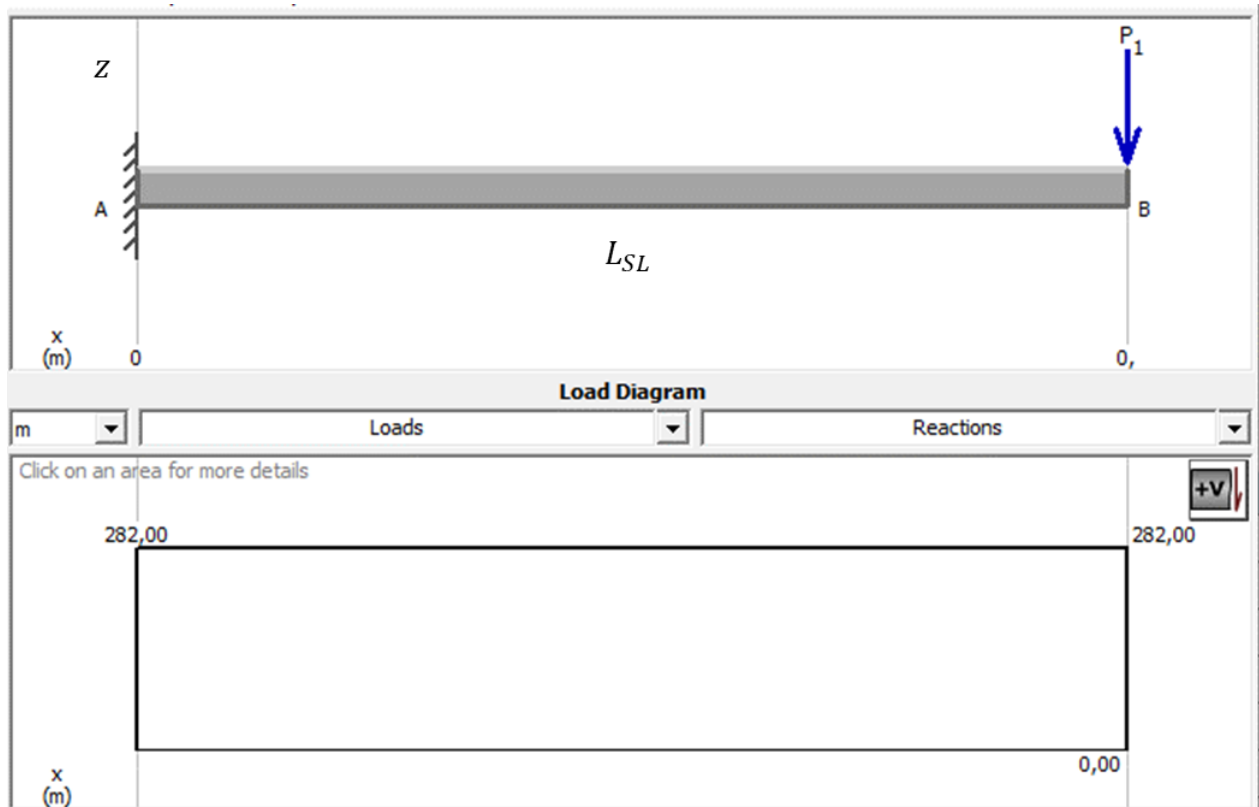
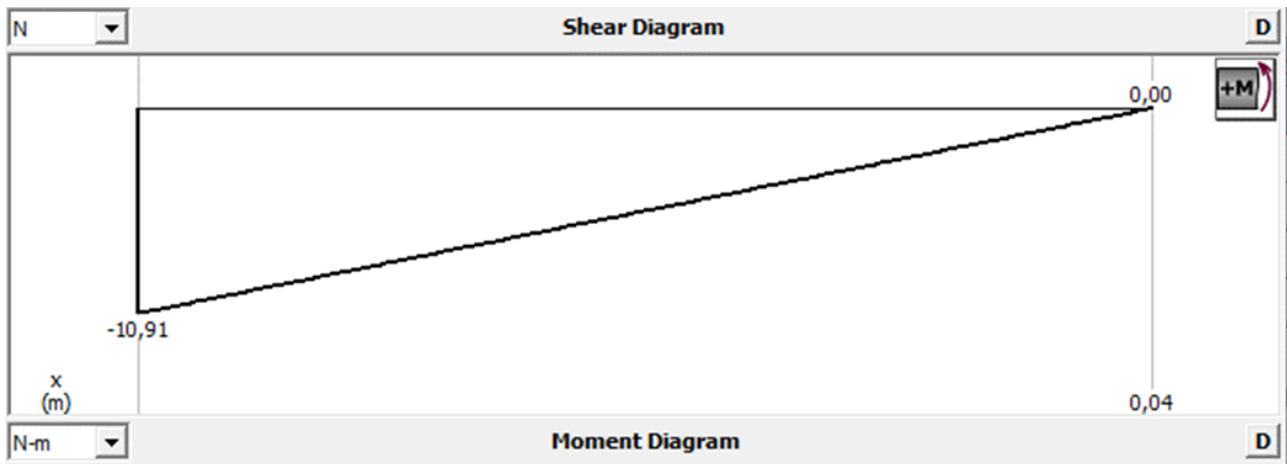


Figura 18. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la reacción crítica en la dirección “z”





4.2.5.2 Análisis a la fatiga de los soportes de las alas del listón. En la tabla 16 se presenta el análisis a la fatiga para los soportes,

Tabla 16. Análisis a la fatiga de los soportes

Análisis de fatiga del listón del tornillo del alimentador		
$k_a = a * S_{ut}^b$ $k_b = 1.24 * \phi_{SL}^{-0.107}$ $S'_N = 0.5 * S_{ut}$ $S_N = k_a * k_b * k_q * k_d * k_g * k_c * S'_N$	$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$	$N_s = \frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_N}\right) + \left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
S_{ut}	638	Mpa	Resistencia última del material AISI 304
a	57.7	-	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
b	-0.718	-	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
ϕ_{SL}	12.7	mm	Diámetro del soporte
k_q	1	-	Factor de tipo de carga
k_g	1	-	Factor de efectos diversos
k_c	0.659	-	Factor para confiabilidad de 99.999
k_d	1	-	Factor de temperatura
σ_{max}	85.4	Mpa	Esfuerzo máximo generado sobre el soporte
σ_{min}	0	Mpa	Esfuerzo mínimo generado sobre el soporte

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
k_a	0.56	-	Factor de superficie
k_b	0.9	-	Factor de tamaño
S'_N	319.00	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el material al ser sometido a flexión
S_N	111.0	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el soporte
σ_a	42.7	Mpa	Esfuerzo alternante
σ_m	42.7	Mpa	Esfuerzo medio
N_s	2.2	-	Factor de seguridad a la fatiga

El análisis arroja un factor de 2.2 para la fatiga, por lo tanto, son admisibles las dimensiones que se han establecido hasta el momento.

4.2.6 Cálculo de la potencia requerida por el tornillo. Considerando el número de soportes y el momento crítico generado en el soporte calculado en la tabla 15 se procede a determinar la potencia que requiere el equipo alimentador, en la tabla 17 se muestran las ecuaciones y cálculos utilizados.

Tabla 17. Cálculo de la potencia requerida por el transportador

Cálculo de la potencia del motor	
$T_{req} = n_{soportes} * M_o$	
$Pot = \frac{T_{req} [lbf * in] * N}{63025}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$n_{soportes}$	90	-	Número de soportes
M_o	16.89	Nm	Momento máximo generado en los soportes
N	45	rpm	Velocidad del tornillo alimentador

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
T_{req}	1519.85	Nm	Torque requerido por el motor
$T_{req.[lbf*in]}$	13450.7	lbf*in	Torque requerido por el motor
Pot	9.6	hp	Potencia requerida por el motor

4.2.7 Diseño de la transmisión del alimentador. El alimentador se acciona mediante transmisión de cadena porque se requiere que sea resistente y fácil de desmontar, ya que el tornillo además de contar con una elevada inclinación tiene una longitud y altura significativa. Por la velocidad a la que gira el tornillo, se le añade al sistema de transmisión un motorreductor para evitar el uso engranajes descomunales. En la tabla 18 se muestran los respectivos cálculos.

Tabla 18. Dimensionamiento de la transmisión del alimentador

Transmisión del alimentador	
	<p><i>Ecuaciones</i></p> $\sum M_R = 0 \quad T_R = T_{req}$ $T_R = F_R * \frac{\phi_R}{2} \quad F_{Ry} = F_R * \sin \theta$ $T_P = F_R * \frac{\phi_P}{2} \quad F_{Rz} = F_R * \cos \theta$
$i = \frac{n_{motor}}{N}$ $z_R = i * z_p$ $\phi_p = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{z_p}\right)}$ $\phi_R = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{z_R}\right)}$	$L_c = N_e * p$ $N_e = 2 * C + \frac{z_p + z_R}{2} + \frac{(z_R - z_p)^2}{4 * \pi^2 * C}$ $A = \frac{z_p + z_R}{2} - \frac{L_c}{p}$ $C = \frac{p}{4} * \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 * \left(\frac{z_R - z_p}{2 * \pi}\right)^2} \right]$ $\theta = \sin^{-1} \frac{\phi_R - \phi_P}{2 * C}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
T_{req}	1519.85	Nm	Torque requerido por el motor
T_R	1519.85	Nm	Torque requerido para la transmisión
N	45	rpm	Velocidad del tornillo alimentador
i	3	-	Relación de velocidades de la transmisión
p_{in}	1.00	in	Paso de la cadena en pulgadas
p	0.0254	m	Paso de la cadena
z_p	30	-	Número de dientes del piñón

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
n_{motor}	135.53	rpm	Velocidad del motor
z_R	90	-	Número de dientes de la rueda
\emptyset_p	0.243	m	Diámetro de paso del piñón
\emptyset_R	0.728	m	Diámetro de paso de la rueda
N_e	147	-	Número de eslabones de la cadena
L_c	3.731	m	Longitud de la cadena
A	-86.89	-	Parámetro para el cálculo de la distancia entre centros
C	1.076	m	Distancia entre centros de la transmisión
θ	13.017	°	Ángulo de contacto de la transmisión
F_R	4176.545	N	Fuerza de tensión en la rueda
T_p	507.442	Nm	Torque generado en el piñón
F_{RY}	940.755	N	Componente "Y" de la fuerza resultante
F_{RZ}	4069.215	N	Componente "Z" de la fuerza resultante

Mediante el uso del catálogo Sedis se seleccionan dos cadenas dobles 215TV de la serie b, la tabla de la selección se encuentra en el anexo E, así como la ficha del motorreductor WEG HU 70A 3C 132S-02F-HT-TH-TF.

4.2.7.1 Cálculo del número de hileras de la transmisión y verificación de la potencia de la transmisión. Determinadas las dimensiones y características del sistema de transmisión de cadena se define ahora el número de cadenas que debe tener la transmisión para suplir los requerimientos de potencia, en la tabla 19 se presentan los resultados.

Tabla 19. Verificación de los requisitos de potencia de la transmisión

Verificación de la transmisión		
$Pot_{adm} = \frac{Pot_{tab} * F_h}{F_s}$	$Pot_{diseño} = Pot_{req} * F_s$	$Pot_{adm} > Pot_{diseño}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Pot_{req}	10.0	hp	Potencia requerida para la transmisión
F_h	3.7	-	Factor de hileras múltiples
F_s	1.3	-	Factor de servicio
Pot_{tab}	4.84	hp	Potencia tabulada

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$Pot_{diseño}$	13.0	hp	Potencia de diseño
Pot_{adm}	13.8	hp	Potencia admisible

4.2.8 Diseño del eje alimentador. Para el diseño del eje del alimentador se optó por separar en tres partes:

- 1. Eje de control:** se encarga de soportar la transmisión del alimentador y un soporte. Este sujeto al tubo central.
- 2. Eje central:** sobre él descansa la hélice del tornillo y el alimento a transportar.
- 3. Eje soporte:** es como el eje de control, pero a diferencia de él, este solo posee un soporte.

Debido a que el eje de control y el eje soporte son simétricos, basta con analizar el eje de control para definir la resistencia de ambos ejes debido a que soporta la carga transmitida por la transmisión además del soporte.

Considerando las fuerzas generadas en el eje por la transmisión se analiza el eje en su totalidad para determinar las reacciones en los puntos de soporte, en la tabla 20 se muestran los cálculos realizados.

Tabla 20. Análisis del eje en conjunto

Análisis de fuerzas y reacciones en el eje	
$\sum F_y = 0$ $R_{Ay} + R_{By} = F_{Ry} + w$ $\sum M_{B;y} = 0$ $(3.44 + 0.1) * F_{Ry} - 3.44 * R_{Ay} + 1.72 * w = 0$ $\sum F_z = 0$ $R_{Bz} = R_{Az} - F_{Rz}$ $\sum M_{B;z} = 0$ $(3.44 + 0.1) * F_{Rz} - 3.44 * R_{Az} = 0$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
F_{Ry}	940.755	N	Componente "Y" de la fuerza generada por la rueda de la transmisión
F_{Rz}	4069	N	Componente "Z" de la fuerza generada por la rueda de la transmisión
m	500	Kg	Masa total a transportar
g	9.81	m/s ²	Aceleración de la gravedad
$w_{alimento}$	4905	N	Peso total soportado sobre el eje

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_{Ay}	3420.60	N	Reacción en el punto "A" en la dirección "Y"
R_{Az}	4187.5	N	Reacción en el punto "A" en la dirección "Z"
R_{By}	2425.2	N	Reacción en el punto "B" en la dirección "Y"
R_{Bz}	118.3	N	Reacción en el punto "B" en la dirección "Z"

4.2.8.1 Análisis estático del eje de control. El eje de control es la sección del eje alimentador que está sometida a las cargas transmitidas por la transmisión y las generadas sobre su soporte. En la tabla 21 se muestra los procedimientos y cálculos utilizados.

Tabla 21. Eje de control

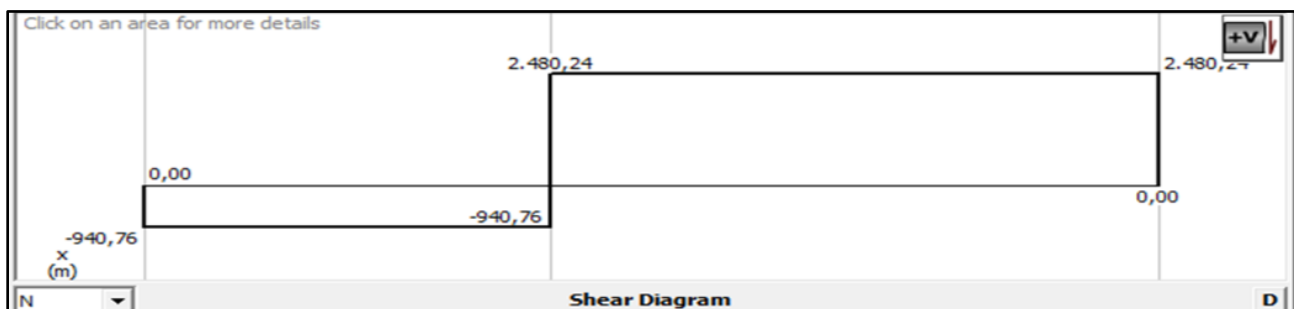
Análisis estático del eje de control	
$M_{max} = \sqrt{MQ_{xy}^2 + MQ_{xz}^2}$ $\frac{I}{C} = \frac{\pi}{32} * \phi_{eje}^3$ $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $T_{max} = T_{req}$ $\frac{J}{C} = \frac{\pi}{16} * \phi_{eje}^3$ $\tau_{max} = \frac{T_{max}}{J/C}$ $\sigma_{max}' = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 * \tau_{max}^2}$ $N_y = \frac{S_y}{\sigma_{max}'}$	<p style="text-align: center;"><i>Plano XY</i></p> $\sum F_y = 0 ; R_{Ay} - F_{Ry} - R_{Qy} = 0$ <p style="text-align: center;"><i>Plano XZ</i></p> $\sum F_z = 0 ; R_{Az} - F_{Rz} - R_{Qz} = 0$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
F_{Ry}	940.75511	N	Fuerza generada por la transmisión en la dirección "y"
F_{Rz}	4069	N	Fuerza generada por la transmisión en la dirección "z"
R_{Ay}	3421	N	Reacción en el punto "A" en el plano "xy"
R_{Az}	4188	N	Reacción en el punto "A" en el plano "xz"
M_{Qxy}	277.96	Nm	Momento generado en el punto "Q" en el plano "xy"
M_{Qxz}	406.90	Nm	Momento generado en el punto "Q" en el plano "xz"
\emptyset_{eje}	0.0450	m	Diámetro del eje de control
T_{req}	1520	Nm	Torque requerido por la transmisión
S_y	276	Nm	Resistencia a la fluencia del acero AISI 304

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_{Qy}	2479.85	N	Reacción en el punto "Q" en la dirección "y"
R_{Qz}	118.3	N	Reacción en el punto "Q" en la dirección "z"
M_{max}	492.8	Nm	Momento máximo generado
I/C	0.00000895	m ³	Módulo de sección crítica de la sección transversal
σ_{max}	55.1	Mpa	Esfuerzo máximo generado
T_{max}	1519.9	Nm	Torque máximo generado
J/C	0.001085	m ³	Módulo de sección crítica de la sección transversal
τ_{max}	1.401	Mpa	Esfuerzo cortante máximo
σ_{max}'	55.1	Mpa	Esfuerzo normal calculado según la teoría de distorsión
N_y	5.0	-	Factor de seguridad contra la fluencia

Los diagramas de cortante y momento flector en las direcciones "x" y "z" sobre el eje de control se muestran en las figuras 19 y 20.

Figura 19. Diagramas de cortante y momento flector en el plano "XY" en MDSolids 4.0



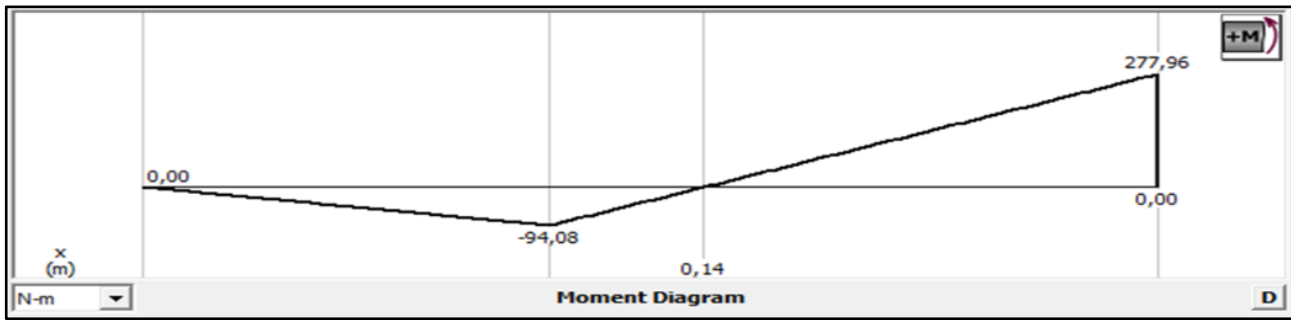
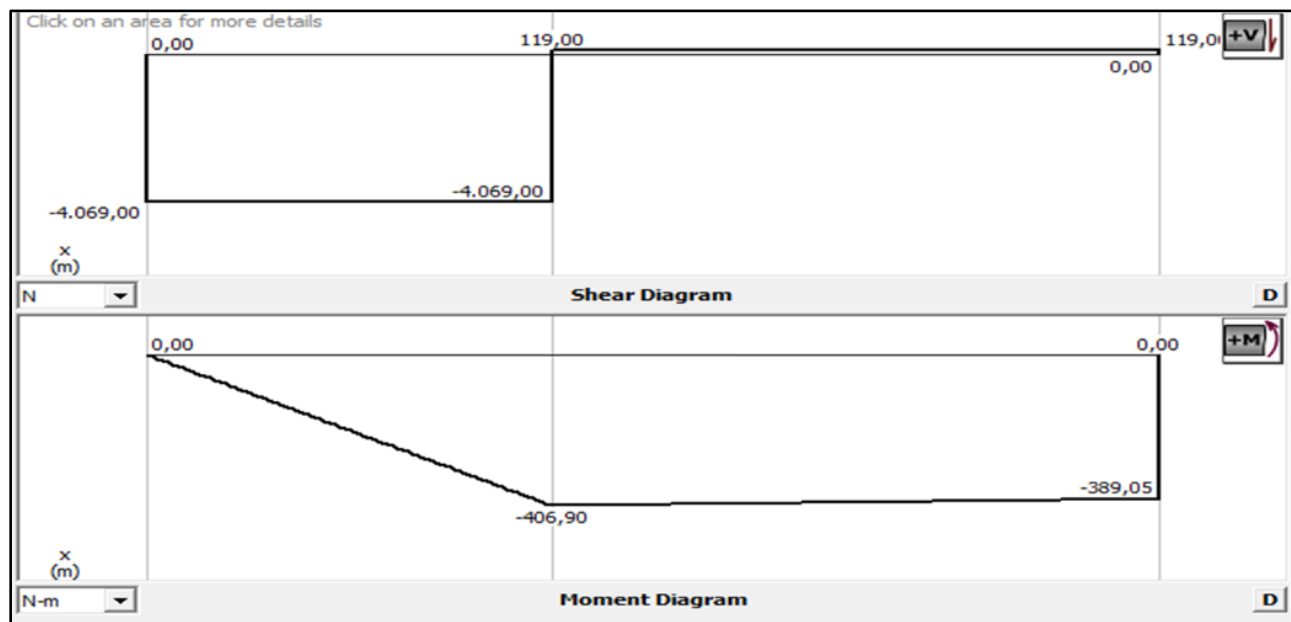


Figura 20. Diagramas de cortante y momento flector en el plano “XZ” en MDSolids 4.0



4.2.8.2 Análisis de fatiga del eje de control. En la tabla 22 se expone el procedimiento utilizado para determinar la seguridad a la fatiga que tiene el eje de control.

Tabla 22. Análisis de fatiga al eje de control

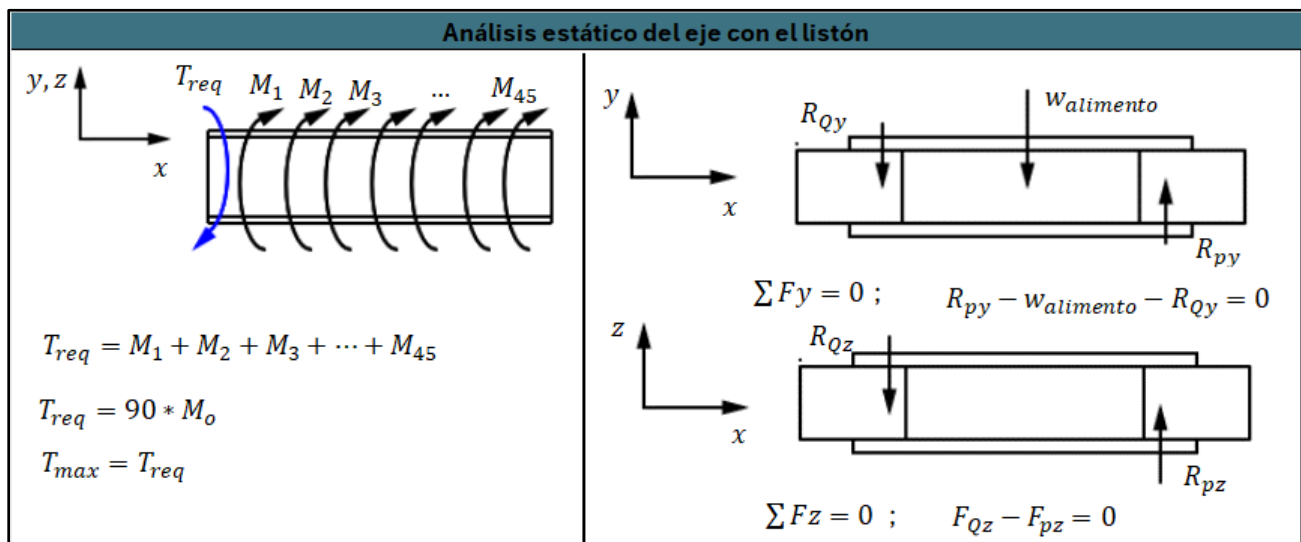
Análisis de fatiga del eje de control			
$k_a = a * S_{ut}^b$	$\sqrt{a_{muesca}} = 1.24 - 2.25 * (10^{-3}) * S_{ut} + 1.60 * (10^{-6}) * S_{ut}^2 - 4.11 * (10^{-10}) * S_{ut}^3$		
$k_b = 1.24 * d_{pm}^{-0.107}$	$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{muesca}}{r}}}$	$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$	$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 * \tau_m^2}$
$S'_N = 0.5 * S_{ut}$	$\sigma_a = k_f * \left(\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}\right)$	$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2}$	$S_m = \frac{S_N}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} + \frac{S_N}{S_{ut}}}$
$S_N = k_a * k_b * k_q * k_d * k_g * k_c * S'_N$			$N_s = \frac{S_m}{\sigma'_m}$
$\tau_m = \tau_{max}$			

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
k_a	0.56	-	Factor de superficie
k_b	0.8	-	Factor de tamaño
S'_N	319.00	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el material al ser sometido a flexión
S_N	96.9	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el eje de la punta de mando
$\sqrt{a_{muesca}}$	0.35	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el soporte
K_f	1.4	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca
σ_a	77.5	Mpa	Esfuerzo alternante
σ_m	0.0	Mpa	Esfuerzo medio
σ'_a	77.5	Mpa	Esfuerzo alternante Von Mises
σ'_m	2.4	Mpa	Esfuerzo medio Von Mises
S_m	3.02	Mpa	Resistencia media Goodman modificado
N_s	1.24	-	Factor de seguridad a la fatiga

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
S_{ut}	638	Mpa	Resistencia última del material AISI 304
a	57.7	-	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
b	-0.718	-	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
d_{pm}	45	mm	Diámetro del eje de la punta de mando
k_q	1	-	Factor de tipo de carga
k_g	1	-	Factor de efectos diversos
k_c	0.659	-	Factor para confiabilidad de 99.999
k_d	1	-	Factor de temperatura
σ_{max}	55.1	Mpa	Esfuerzo máximo generado sobre el eje de la punta de mando
σ_{min}	-55.1	Mpa	Esfuerzo mínimo generado sobre el eje de la punta de mando
r	1	mm	Radio de redondeo en el hombro del eje
K_t	1.55	-	Factor de concentración de esfuerzos por geometría
τ_{max}	1.40056	Mpa	Esfuerzo cortante máximo
τ_m	1.40056	Mpa	Esfuerzo cortante medio

4.2.8.3 Análisis estático del eje central. El eje central consiste en un tubo, a este se le suelda el eje de control y el eje de soporte, el análisis de fuerzas se encuentra en la tabla 23.

Tabla 23. Análisis estático del eje central



$M_{max} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$ $I/C = \frac{\pi}{32} * \left(\frac{\phi_{ext}^4 - \phi_{int}^4}{\phi_{ext}} \right)$	$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $J/C = \frac{\pi}{16} * \left(\frac{\phi_{ext}^4 - \phi_{int}^4}{\phi_{ext}} \right)$	$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{J/C}$ $\sigma'_{max} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 * \tau_{max}^2}$ $N_s = \frac{S_y}{\sigma'_{max}}$
---	---	---

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
T_{req}	1519.85	Nm	Torque generado sobre el eje del listón
$W_{alimento}$	4905	N	Peso del alimento a transportar
R_{Qy}	2480	N	Reacción en el punto "Q" en la dirección "y"
R_{Qz}	118	N	Reacción en el punto "Q" en la dirección "z"
M_{xy}	278	Nm	Momento generado en el plano "xy"
M_{xz}	407	Nm	Momento generado en el plano "xz"
ϕ_{ext}	0.0750	m	Diámetro exterior del eje central
ϕ_{int}	0.0450	m	Diámetro interior del eje central
S_y	276	Mpa	Resistencia a la fluencia del acero aisi 304

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_{py}	7384.85	N	Reacción en el punto "p" en la dirección "y"
R_{pz}	118.3	N	Reacción en el punto "p" en la dirección "z"
M_{max}	492.8	Nm	Momento máximo generado
I/C	0.00003605	m ³	Módulo de sección crítica de la sección transversal
σ_{max}	13.7	Mpa	Esfuerzo máximo generado
T_{max}	1519.9	Nm	Torque máximo generado
J/C	0.000072	m ³	Módulo de sección crítica de la sección transversal
τ_{max}	21.080	Mpa	Esfuerzo cortante máximo
σ_{max}'	39.0	Mpa	Esfuerzo normal calculado según la teoría de distorsión
N_y	7.1	-	Factor de seguridad contra la fluencia

4.2.8.4 Análisis de fatiga del eje central. El procedimiento para calcular la resistencia a la fatiga del eje central se encuentra en la tabla 24.

Tabla 24. Análisis de fatiga del eje central

Análisis de fatiga de la punta del eje central			
$k_a = a * S_{ut}^b$ $A_{tubo} = \frac{\pi}{4} * (\phi_{ext}^2 - \phi_{int}^2)$ $A_{eq} = A_{tubo}$ $A_{eq} = \frac{\pi}{4} * d_{eq}^2$ $k_b = 1.24 * d_{eq}^{-0.107}$ $S'_N = 0.5 * S_{ut}$ $S_N = k_a * k_b * k_q * k_d * k_g * k_c * S'_N$ $\tau_m = \tau_{max}$	$\sqrt{a_{muesca}} = 1.24 - 2.25 * (10^{-3}) * S_{ut} + 1.60 * (10^{-6}) * S_{ut}^2 - 4.11 * (10^{-10}) * S_{ut}^3$		
	$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{muesca}}{r}}}$ $\sigma_a = k_f * \left(\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right)$	$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ $\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2}$	$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 * \tau_m^2}$ $S_m = \frac{S_N}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} + \frac{S_N}{S_{ut}}}$ $N_s = \frac{S_m}{\sigma'_m}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
S_{ut}	638	Mpa	Resistencia última del material AISI 304
a	57.7	-	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
b	-0.718	-	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
ϕ_{ext}	0.0508	m	Diámetro del eje de la punta de mando
ϕ_{int}	0.0381	m	Diámetro del eje de la punta de mando
k_q	1	-	Factor de tipo de carga
k_g	1	-	Factor de efectos diversos
k_c	0.659	-	Factor para confiabilidad de 99.999
k_d	1	-	Factor de temperatura
σ_{max}	39.0	Mpa	Esfuerzo máximo generado sobre el eje de la punta de mando
σ_{min}	-39.0	Mpa	Esfuerzo mínimo generado sobre el eje de la punta de mando
r	1	mm	Radio de redondeo en el hombro del eje
K_t	2.1	-	Factor de concentración de esfuerzos por geometría
τ_{max}	21.0799	Mpa	Esfuerzo cortante máximo
τ_m	21.0799	Mpa	Esfuerzo cortante medio

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
k_a	0.56	-	Factor de superficie
A_{tubo}	0.000887	m^2	Factor de superficie
A_{eq}	0.000887	m^2	Factor de superficie
d_{eq}	33.60	mm	Factor de superficie
k_b	0.9	-	Factor de tamaño
S'_N	319.00	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el material al ser sometido a flexión
S_N	100.0	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el eje de la punta de mando
$\sqrt{a_{muesca}}$	0.35	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el soporte
K_f	1.8	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca
σ_a	70.8	Mpa	Esfuerzo alternante
σ_m	0.0	Mpa	Esfuerzo medio
σ'_a	70.8	Mpa	Esfuerzo alternante Von Mises
σ'_m	36.5	Mpa	Esfuerzo medio Von Mises
S_m	47.75	Mpa	Resistencia media Goodman modificado
N_s	1.31	-	Factor de seguridad a la fatiga

Nota: Por limitación en la extensión del contenido se decidió trasladar el análisis realizado de la tolva del alimentador y la selección de los rodamientos al anexo E.

4.2.9 Estructura del alimentador. La estructura del alimentador se encarga de soportar la tolva y la artesa junto con los componentes que contiene. El anexo E, muestra detalladamente los distintos análisis realizados a la estructura con el fin de determinar su resistencia bajo distintos escenarios.

4.3 DISEÑO DEL ACONDICIONADOR

El acondicionador es el equipo encargado de preparar el alimento proveniente del alimentador antes de entrar a la etapa de compactación y extrusión con el fin de proporcionarle las propiedades necesarias para que el producto terminado pueda cumplir con las características requeridas.

Esta máquina consiste esencialmente en un eje con paletas incrustadas que se encarga de homogeneizar los aditamentos agregados al alimento que se encargan de aglutinarlo con el fin de darle una buena consistencia y resistencia al pellet. Para regular la humedad y la temperatura se hace uso de vapor de agua, el cual es suministrado a una presión y temperatura dada mediante la tubería proveniente del cabezal de vapor. A medida que el alimento va avanzado por el acondicionador su temperatura va aumentando. En las siguientes secciones se presentan los cálculos realizados para el dimensionamiento de este equipo.

4.3.1 Cálculos térmicos del acondicionador. El vapor suministrado del cabezal al acondicionador regula la humedad y la temperatura del alimento, factores que influyen en la calidad del pellet terminado, su respectivo análisis se presenta en la tabla 25.

Tabla 25. Parámetros térmicos del acondicionador

Cantidad de vapor requerido por el alimento	
$\dot{m}_v * h_v + \dot{m}_{ms} * Cp_{alimento} * T_1 + \dot{m}_{\omega 1} * h_1 = \dot{m}_{\omega 2} * h_2 + \dot{m}_{ms} * Cp_{alimento} * T_2$ $\dot{m}_1 = \dot{m}_s + \dot{m}_{\omega 1}$ $\dot{m}_2 = \dot{m}_s + \dot{m}_{\omega 2}$ $\omega_1 = \frac{\dot{m}_{\omega 1}}{\dot{m}_1} \quad \omega_2 = \frac{\dot{m}_{\omega 2}}{\dot{m}_2}$ $h_v = h_{g@p}$ $T_v = T_{sat@p}$ $h_1 = h_{f@T1}$ $h_2 = h_{f@T2}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
\dot{m}_2	535.6	Kg/h	Flujo saliente del acondicionador
T_1	40	°C	Temperatura en la entrada del acondicionador
T_2	90	°C	Temperatura en la salida del acondicionador
ω_1	0.111	-	Humedad a la entrada
ω_2	0.17	-	Humedad a la salida
h_1	167.5	KJ/Kg	Entalpía de agua saturada
h_2	376.9	KJ/Kg	Entalpía de agua saturada
h_v	2703	KJ/Kg	Entalpía de vapor saturado
$Cp_{alimento}$	1.67	KJ/KgK	Calor específico promedio de la mezcla
$\Delta\omega$	0.059	-	Diferencia de porcentaje de humedad
p	185	KPa	Presión de vapor (recomendado 104-206 Kpa)
T_v	117.8	°C	Temperatura de saturación del vapor de agua a 185Kpa

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$\dot{m}_{\omega 2}$	91.052	Kg/h	Flujo másico de humedad a la salida del acondicionador
$\dot{m}_{\omega 1}$	55.5	Kg/h	Flujo másico de humedad a la entrada del acondicionador
\dot{m}_{ms}	444.5	Kg/h	Flujo másico alimento seco
\dot{m}_1	500	Kg/h	Flujo másico de la mezcla a la entrada del acondicionador
\dot{m}_v	22.99	Kg/h	Flujo de vapor

4.3.2 Diseño del cabezal de vapor. El diseño del cabezal de vapor se realiza como un recipiente de presión de pared delgada sometido a la presión del vapor de agua. En la tabla 26 se muestran las relaciones y procedimientos utilizados para su dimensionamiento.

Tabla 26. Dimensionamiento del cabezal de vapor

Dimensionamiento del cabezal de vapor		
$\sigma_1 = \frac{p * r}{t}$	$\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{x1} + \sigma_{y1}$	
$\sigma_2 = \frac{p * r}{2 * t}$	$\theta = 90^\circ - \alpha$	
$\tau_{max} = \frac{\sigma_1}{2}$	$n_y = \frac{S_y}{\sigma_1}$	
$(\tau_{max})_z = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$n_{sy} = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$	
$\sigma_{x1} = \frac{p * r}{4 * t} * (3 - \cos 2\theta)$	$n_{yw} = \frac{S_{yw}}{\sigma_{x1}}$	
$\tau_{x1y1} = \frac{p * r}{4 * t} * \text{sen} 2\theta$	$n_{syw} = \frac{S_{syw}}{\tau_{x1y1}}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
p	185	Kpa	Presión interna del vapor en las paredes del cabezal
r	0.075	m	Radio interior del recipiente
t	0.002	m	Espesor de pared del cabezal
α	60	°	Ángulo del cordón helicoidal de soldadura con el eje longitudinal
S_y	276	Mpa	Esfuerzo de fluencia del AISI 304
S_{sy}	138	Mpa	Esfuerzo de fluencia al cortante por teoría de energía de distorsión
S_{yw}	166	Mpa	Esfuerzo de fluencia para soldadura
S_{syw}	110	Mpa	Esfuerzo de fluencia al cortante para soldadura

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
σ_1	6.94	Mpa	Esfuerzo circunferencial
σ_2	3.47	Mpa	Esfuerzo longitudinal
τ_{max}	3.47	Mpa	Esfuerzo cortante máximo
$(\tau_{max})_z$	1.7	Mpa	Esfuerzo cortante máximo
θ	30.0	°	Ángulo de transformación
σ_{x1}	4.3	Mpa	Esfuerzo normal de transformación en la dirección x1
τ_{x1y1}	1.50	Mpa	Esfuerzo tangencial de transformación
σ_{y1}	6.1	Mpa	Esfuerzo normal de transformación en la dirección y1
n_y	39.8	-	Factor de seguridad a la fluencia
n_{sy}	39.8	-	Factor de seguridad al cortante
n_{yw}	38.2	-	Factor de seguridad a la fluencia de la soldadura
n_{syw}	73.5	-	Factor de seguridad al cortante de la soldadura

4.3.2.1 Diseño de la tubería de distribución de vapor que conecta el cabezal al acondicionador. El cabezal se conecta al acondicionador y distribuye el vapor mediante el uso de 3 tubos. Debido a que los tramos de conexión son inferiores a 1 m, se desprecia la caída de presión generada luego de la válvula reguladora de presión, esto según el manual para distribución de vapor Spirax Sarco.

Tomando en cuenta la cantidad de vapor que se distribuye y la presión que maneja, además de la velocidad recomendada debido a las condiciones que se presentan en esta situación, se escoge un diámetro de 15 mm para la tubería según lo recomendado por el manual de Spirax. Para más información acerca de la selección de la tubería revise el anexo F.

4.3.3 Diseño de la artesa. Considerando la cantidad de alimento a transportar y la densidad del alimento se dimensiona la artesa, al igual que con el alimentador para el cálculo de las fuerzas que se generan sobre la artesa se considera el alimento como un fluido que descansa sobre ella, esto con el fin de realizar el análisis como si se tratara de un caso de fuerzas hidrostáticas en superficies sumergidas. En la tabla 27 se ve este procedimiento con mayor detalle.

Tabla 27. Dimensionamiento de la artesa del acondicionador

Cálculo de la artesa	
$\gamma = \rho * g \quad A = r_A * L$ $h_c = \frac{r}{2}$ $P_c = \gamma * h_c$ $V = A * L$ $F_x = P_c * A$ $F_y = \gamma * V$ $F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
D_A	9.125	in	Diámetro de artesa
r_A	0.116	m	Radio artesa
ρ	730	Kg/m ³	Densidad del alimento
g	9.81	m/s ²	Aceleración de la gravedad
L	1.74	m	Longitud de la artesa y del eje con paletas

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
γ	7161.3	N/m ³	Peso específico del alimento
h_c	0.058	m	Altura de columna vertical
A	0.20184	m ²	Área de proyeccion de la superficie curva sobre eje "y"
P_c	415.36	N/m ²	Presión que se ejerce sobre el centroide
V	0.037	m ³	Volumen de la mezcla
F_x	83.84	N	Fuerza en el eje X sobre la superficie
F_y	263.4	N	Fuerza en el eje Y sobre la superficie
F_R	276.4	N	Fuerza resultante sobre la superficie

4.3.4 Diseño del eje con paletas. Una vez dimensionada la artesa se procede a definir las dimensiones del eje con paletas, para esto es tomada como referencia la norma ANSI/CEMA Standard No.350. De ahí se tomaron relaciones y ecuaciones para el cálculo de parámetros y dimensiones correspondientes de un eje con paletas incrustadas, en la tabla 28 se observa el proceso. Para detallar la información tomada de la norma revisar el anexo H.

Tabla 28. Cálculo del eje con paletas

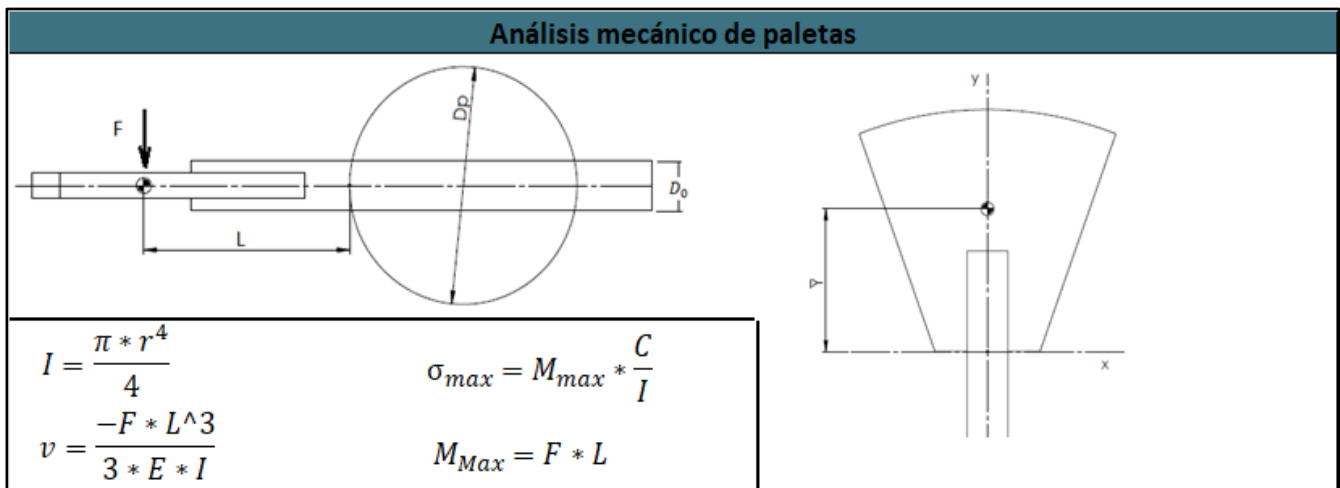
Dimensionamiento del eje de paletas	
$C_E = C_R * C_{F1} * C_{F2} * C_{F3}$ $L = \frac{0,3048 * N * P_P * t}{12}$ $P_P = \frac{P}{\#_P}$ $N = 1,5 * \frac{C_E}{C_P}$ $\frac{C}{RPM} = \frac{0,7854 * (D_S^2 - D_P^2) * P * K * 60}{1728}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
C_R	23.53	ft ³ /h	Capacidad requerida
C_{F1}	1	-	Factor de capacidad de paso del transportador (Paso=Diámetro) (Tabla 2-4 Anexo A)
C_{F2}	1	-	Factor de capacidad para transportador con helicoidal especial (ninguno) (Tabla 2-4 Anexo A)
C_{F3}	1.24	-	Factor de capacidad para transportar con paletas (3 paletas por paso) (Tabla 2-4 Anexo A)
D_S	9	in	Diámetro del tornillo
D_p	2.375	in	Diámetro del eje (Tabla 2-5 Anexo A)
P	9	in	Paso de la hélice del tornillo
R_J	3.375	in	Juego radial (Tabla 2-5 Anexo A)
K	30	%	Porcentaje de carga mínima
t	1	min	Tiempo de retención del alimento
$\#_P$	3	-	Número de paletas por paso

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
D_A	9.125	in	Diámetro de artesa
P_P	3	in	Paso paletas
C_E	29.1772	ft ³ /h	Capacidad equivalente
C	5.55	ft ³ /h@1RPM	Capacidad por revolución
C_P	1.85	ft ³ /h@1RPM	Capacidad por revolución por cada paleta
N	38.0	RPM	RPM del eje con paletas
L	1.84	m	Longitud del eje con paletas

4.3.5 Diseño de las paletas. El análisis de resistencia y el análisis de fuerzas en las paletas del acondicionador se presenta en la tabla 29 y 30.

Tabla 29. Análisis de resistencia de las paletas



Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
F	426	N	Fuerza de la mezcla ejercida sobre la paleta, paralela al eje
L	0.055	m	Distancia del centroide al empotramiento
\bar{y}	4.26E-02	M	Centroide de masa sobre el eje y
E	1.93E+11	N/m ²	Modulo elastico del acero inoxidable AISI 304
D_0	0.0127	m	Diámetro de sección circular de la paleta
r_0	0.00635	m	Radio de seccion circular de la paleta
S_y	5.05E+08	N/m ²	Resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
I	1.28E-09	m ⁴	Momento de inercia de una sección circular
C	0.00635	m	Distancia del eje neutro hasta donde se determina el esfuerzo
F_a	301.23	N	Fuerza axialmente al eje de la paleta, paleta a 45° de inclinación
M_{Max}	23.43	Nm	Momento máximo
v	-9.59E-05	m	Deflexión de las paletas
σ_{max}	116509471.26	N/m ²	Esfuerzo máximo
N	4.334	m ³	Factor de seguridad

Tabla 30. Análisis de fuerzas en el eje de paletas

Análisis de fuerzas en el eje

Coordenadas puntos eje X					
A	0	I	0,68	P	1,32
B	0,12	J	0,75	Q	1,4
C	0,2	K	0,84	R	1,48
D	0,28	L	0,92	S	1,56
E	0,35	M	1	T	1,64
F	0,44	N	1,08	U	1,72
G	0,52	O	1,16	V	1,8
H	0,6	O	1,24		

$$R_{1y} = \frac{6,44 * F_{2y} - 5,88 * F_{3y}}{1,84}$$

$$R_{1z} = \frac{7 * F_1 - 6,44 * F_{3z} - 5,88 * F_{3z}}{1,84}$$

$$\sum F_{MA} = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \quad R_Y = R_{1y} = R_{2y}$$

$$F_Z = F_{2z} = F_{3z} = F * \sin(\theta) \quad F = F_1 = F_2 = F_3$$

$$F_Y = F_{2y} = F_{3y} = F * \cos(\theta) \quad R_Z = R_{2z} = R_{3z}$$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
F	426	N	Fuerza de la mezcla ejercida sobre la paleta, paralela al eje
θ	0.52	Rad	Ángulo De la fuerza con respecto al eje Y
F_Z	213	N	Fuerza de la mezcla sobre el eje Z
F_Y	368.93	N	Fuerza de la mezcla sobre el eje Y

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_Y	112.28	N	Reacción en rodamiento sobre el eje Y
R_Z	194.48	m	Reacción en rodamiento en sobre el eje Z

Los respectivos diagramas de fuerza cortante, momento flector, torque y fuerza axial se muestran en las figuras 21,22,23 y 24.

Figura 21. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano XY

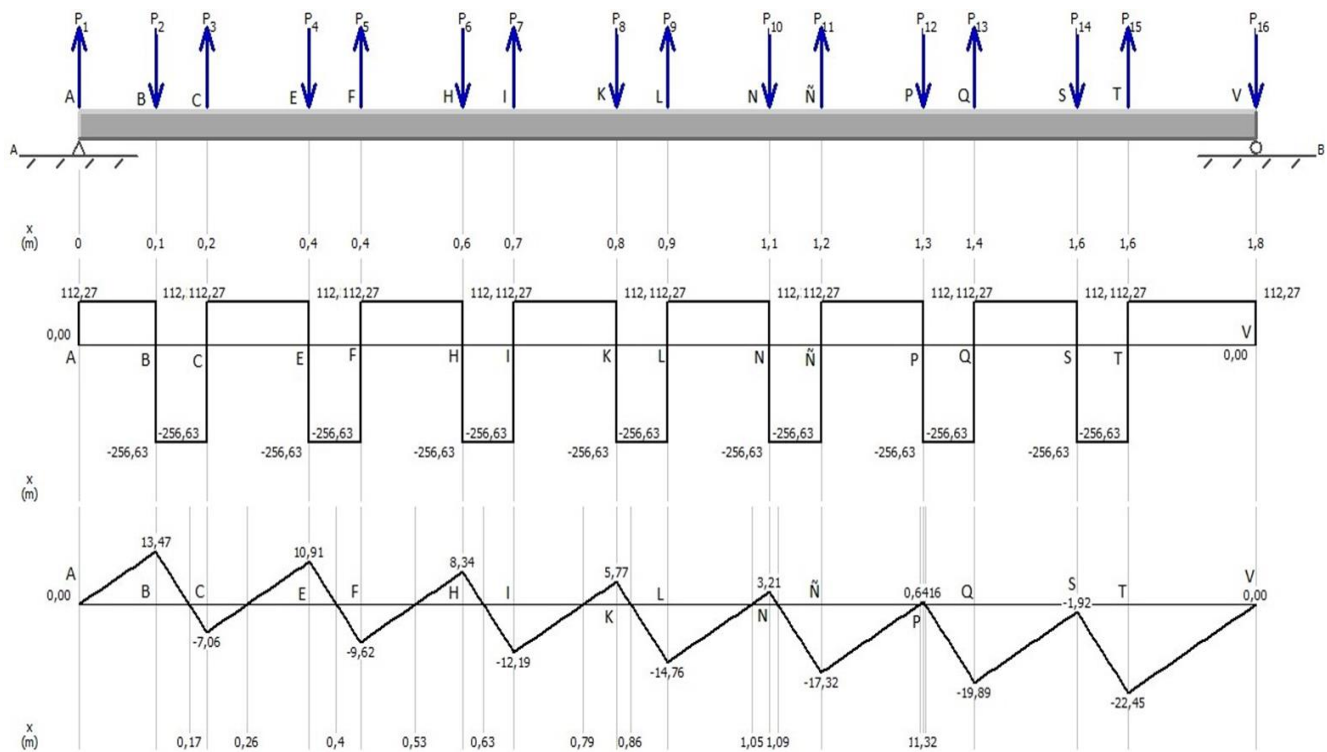


Figura 22. Diagrama de fuerzas en el plano XZ

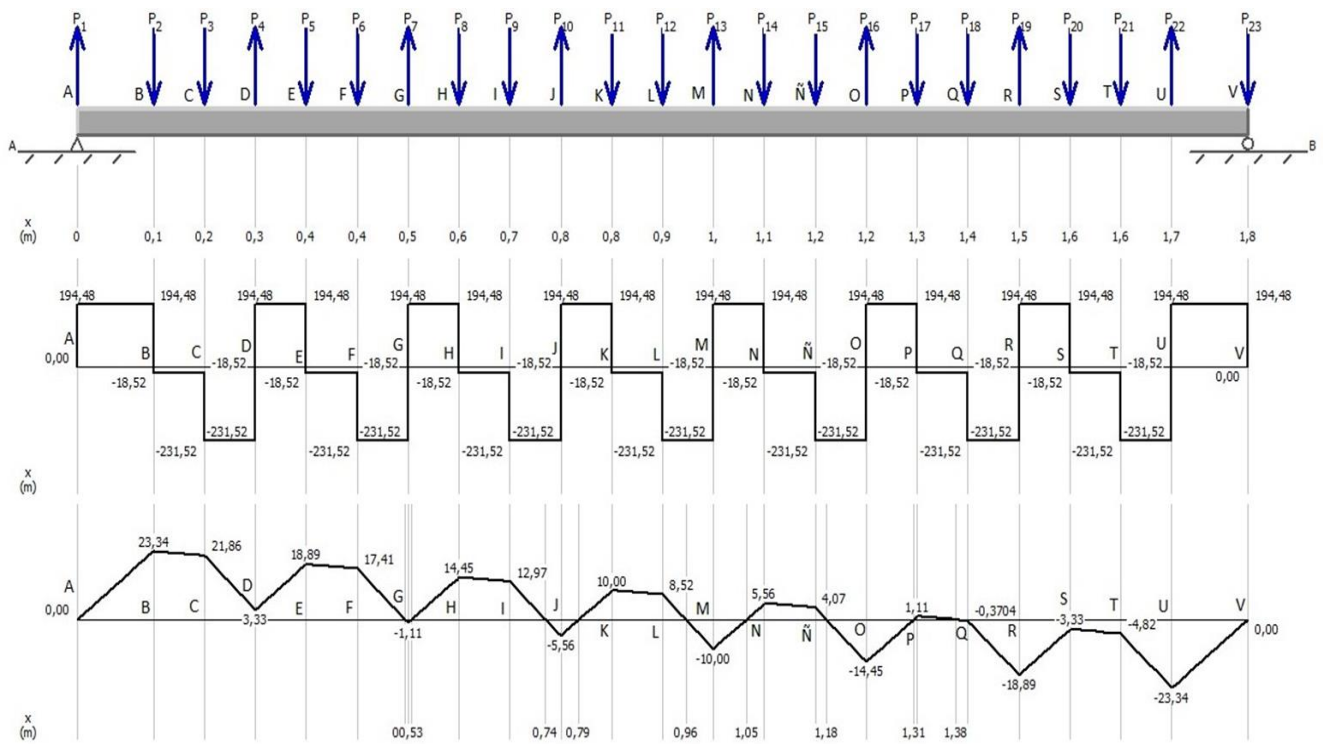


Figura 23. Diagrama de torque en el eje del acondicionador

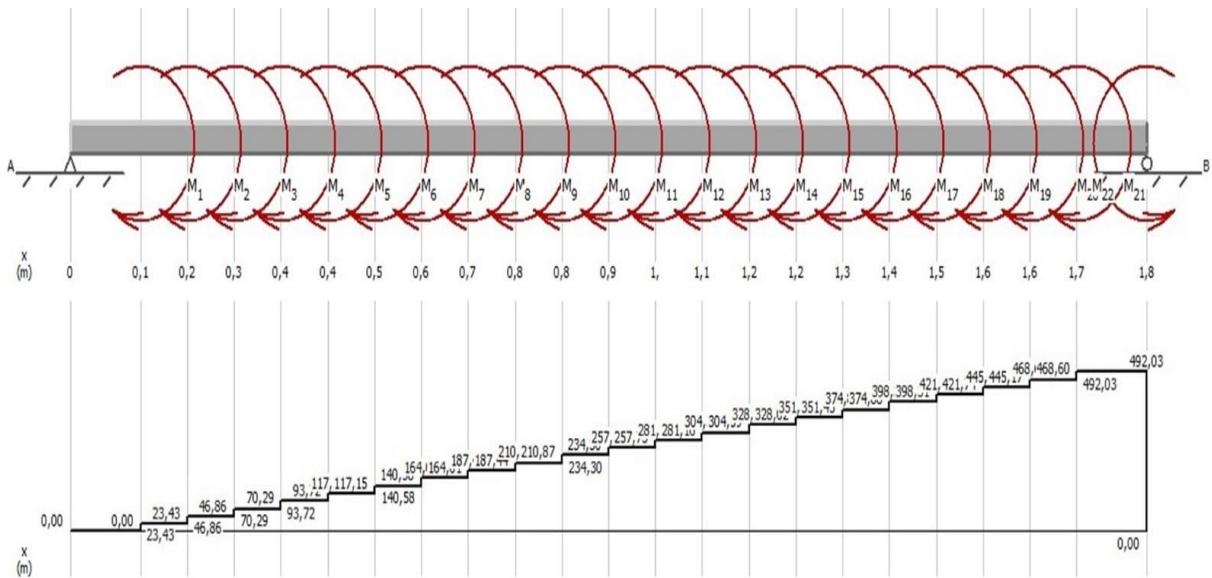
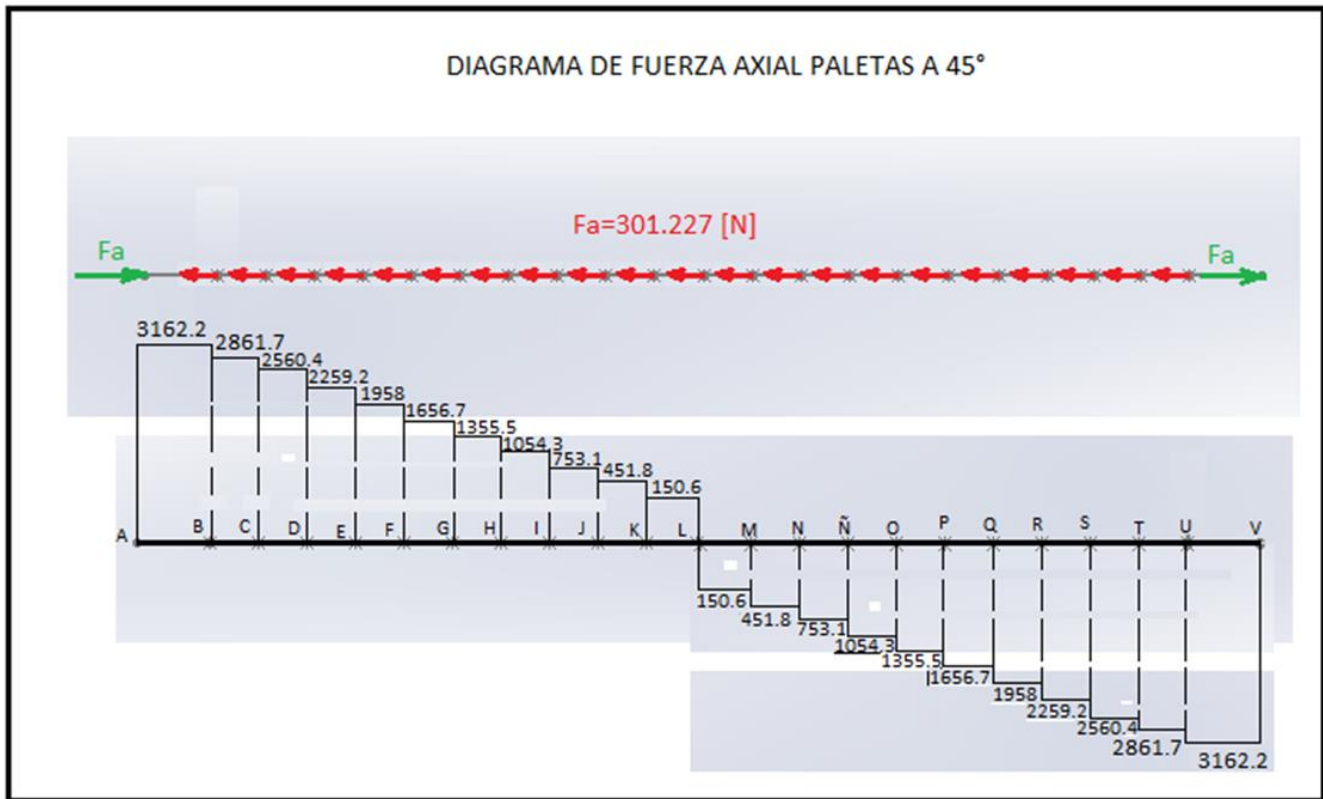


Figura 24. Diagrama de fuerza axial en el eje del acondicionador



4.3.6 Verificación del eje de paletas. Mediante análisis de fatiga se procede a verificar el diámetro del eje de las paletas. En la tabla 31 se muestran las ecuaciones utilizadas.

Tabla 31. Cálculo del diámetro del eje de paletas

Cálculo del diámetro del eje	
$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{muesca}}{r}}}$	$\sqrt{a_{muesca}} = 1,24 - 2,25 \times 10^{-3} * S_{ut} + 1,6 \times 10^{-6} * S_{ut}^2 - 4,11 \times 10^{-10} * S_{ut}^3$
$K_{fs} = 1 + \frac{K_{ts} - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{muesca}}{r}}}$	$\sqrt{a_{muesca}} = 0,958 - 1,83 \times 10^{-3} * S_{ut} + 1,43 \times 10^{-6} * S_{ut}^2 - 4,11 \times 10^{-10} * S_{ut}^3$
$S_N = K_a * K_b * K_q * K_d * K_g * K_c * S'_N$	$d = \sqrt[3]{\frac{16 * n}{\pi} * \left(\frac{2 * (K_f * M_a)}{S_N} + \sqrt{\frac{3 * (K_{fs} * T_m)^2}{S_{ut}}} \right)}$
$S'_N = 0,5 * S_{ut}$	
$K_a = 4,51 * S_{ut}^{-0,265}$	
$K_b = \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,113}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
d	30	mm	Diámetro de eje crítico.
r	2	mm	Radio de redondeo en el hombro del eje
S_{ut}	568	Mpa	Resistencia última del acero inoxidable
T_m	492030	Nmm	Torque máximo
M_a	23340	Nmm	Momento máximo
K_a	0.84	-	Factor de superficie
K_b	0.86	-	Factor de tamaño
K_q	0.557	-	Factor de tipo de carga
K_d	1.02	-	Factor de temperatura
K_g	1	-	Factor de efectos diversos
K_c	0.753	-	Factor de confiabilidad 99.9%
K_t	1.75	-	Factor de concentración de esfuerzos por geometría
K_{ts}	1.45	-	Factor de concentración de esfuerzos por cortante debido a la geometría

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$\sqrt{a_{muesca}}$	0.403	-	Factor de muesca 304<Sut<1700 Mpa
$\sqrt{a_{smuesca}}$	0.305	-	Factor de muesca por cortante 304<Sut<1700 Mpa
S'_N	284	N	Fuerza axialmente al eje de la paleta, paleta a 45° de inclinación
S_N	87.416	Nm	Momento máximo
K_f	1.58	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca
K_{fs}	1.37	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca a cortante
N	1.83		Factor de seguridad del eje

4.3.7 Potencia requerida para el acondicionador. Considerando el número de paletas determinadas para el eje y el torque suministrado a cada paleta, se procede a calcular la potencia requerida por todo el sistema de acondicionamiento. En la tabla 32 se muestra el cálculo realizado.

Tabla 32. Cálculo de la potencia en el acondicionador

Cálculo de la potencia requerida por el motor del acondicionador	
$P = \frac{T_{in} * N}{63025}$	$T_{in} = \#_P * T_P$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$\#_P$	21	N	Número de paletas
T_P	23.43	Nm	Torque de paleta
N	40	rpm	Revoluciones del eje con paletas

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
T_{in}	492.03	Nm	Torque de entrada
T_{in}	4354.47	lb-in	Torque de entrada en Lb-in
P	2.76	hp	Potencia requerida
$P_{normalizada}$	3.0	hp	Potencia normalizada

Del catálogo SEW eurodrive se escoge el motorreductor de tornillo sin fin SF67/II2GDEDRN100LM4/3G/KCC, en el anexo F se encuentra la ficha del motorreductor.

4.3.8 Selección de los rodamientos. Definidas las reacciones en los rodamientos en la tabla 28, se procede a realizar la selección de los respectivos rodamientos utilizando el catálogo SKF. En la tabla 33 se muestra la información de la chumacera FYK 30 TR y en la tabla 34 se muestra las relaciones utilizadas para verificar su selección. En el anexo J se muestra la información utilizada del catálogo.

Tabla 33. Información del rodamiento escogido

Designación	Dimensiones				Capacidad de carga básica		Velocidad límite	
	d [mm]	\uparrow	J [mm]	L [mm]	T [mm]	C [kN]		C_0 [kN]
FYJ 30 TF	30		83	108	40.2	19.5	11.2	6 300
FYJ 35 KF	30		92	118	43.55	25.5	15.3	5 300
FYK 30 LF	30		82.5	108	43.2	19.5	11.2	6 300
FYK 30 TF	30		82.5	108	42.2	19.5	11.2	6 300
FYK 30 TR	30		82.5	108	42.2	19.5	11.2	3 800
FYK 30 WR/VL065	30		82.5	108	50.1	19.5	11.2	3 800

Fuente: <https://www.skf.com/mx/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units#cid-485221>

Tabla 34. Selección de los rodamientos del acondicionador

Cálculo de los rodamientos en el eje de paletas		
$K = \frac{v}{v_1}$	$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * n} \right) * \left(\frac{C}{P} \right)^p$	$d_m = 0,5 * (D + d)$
$F_{aSKF} = n_c * \frac{P_u}{P}$		$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
T	50	°C	Temperatura de operación
C	19.5	N	Capacidad de carga dinámica
P	0.225	KN	Carga dinámica equivalente del rodamiento
p	3	-	Exponente de la ecuación de vida
n	40	RPM	Velocidad de giro
d	30	mm	Diámetro interno de la chumacera FYK 30 TR
D	39.7	mm	Diámetro exterior de la chumacera FYK 30 TR
v	460	mm ² /s	Viscosidad real de funcionamiento del aceite. Aceite ISO VG 460
v_1	400	mm ² /s	Viscosidad nominal de funcionamiento del aceite
n_c	0.2	-	Grado de contaminación. (Contaminación típica)
P_u	0.475	KN	Carga límite de fatiga
a_1	1	-	Factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
L_{10h}	2.71E+09	h	Vida nominal básica con una confiabilidad del 90%
d_m	34.85	mm	Diámetro medio del rodamiento
K	1.15	-	Condición de lubricación del rodamiento
F_{aSKF}	0.42	-	Factor de rodamiento de diseño básico SKF
a_{SKF}	13	-	Factor de modificación de vida util
L_{10mh}	3.53E+10	h	Vida nominal SKF

Según lo calculado,

$$L_{nmh} = 3.53E+10 > 30,000 \text{ h}$$

Por lo tanto, la chumacera FYK 30 TR es la adecuada para este caso.

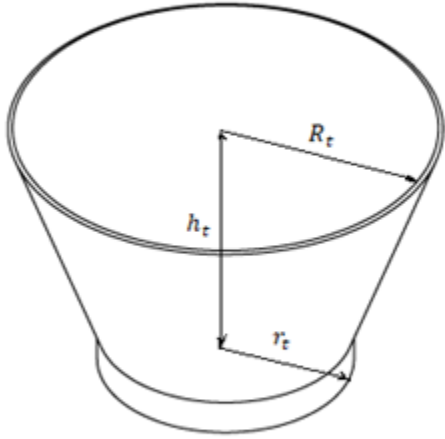
4.4 DISEÑO DE LA CÁMARA DE PELETIZADO

La cámara de peletizado tiene la función de compactar y definir la geometría del pellet. Para su diseño se consideran parámetros tales como la capacidad de alimento que debe procesar, la densidad, la resistencia a la fluencia, la fuerza de compactación que se debe ejercer sobre este para su correcta extrusión, entre otros.

4.4.1 Tolva. Este componente se encarga de canalizar el material que proviene del subsistema de acondicionamiento en la cámara de peletizado.

Como se muestra en la tabla 35, la tolva se modeló con la forma de un cono truncado debido a la facilidad que presenta su fabricación. Para su diseño se consideró el flujo de pellets que entra a la tolva, el diámetro de la matriz que los extruye, las limitaciones de espacio y las propiedades del alimento a peletizar.

Tabla 35. Cálculos para el dimensionamiento de la tolva

Dimensionamiento de la tolva	
$RC = \frac{L_m}{d_{pellet}}$	
$V_{pellet} = \frac{\pi}{4} * d_{pellet}^2 * L_p$	
$v_{específico} = \frac{1}{\rho_{pellet}}$	
$Q = \frac{capacidad * v_{específico}}{3600}$	
$\rho_{pellet} = RC * \rho_{alimento}$	
$V_{tolva} = \frac{\pi}{3} * h_t * (R_t^2 + r_t^2 + (R_t * r_t))$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
L_m	0.025	m	Espesor de la matriz
L_p	0.01	m	Longitud del pellet
d_{pellet}	0.005	m	Diámetro del pellet
capacidad	500	Kg/h	Capacidad de producción de la peletizadora
$\rho_{alimento}$	730	Kg/m ³	Densidad del alimento utilizado para el pellet
h_t	0.25	m	Altura de la tolva
R_t	0.241	m	Radio superior de la tolva
r_t	0.150	m	radio inferior de la tolva

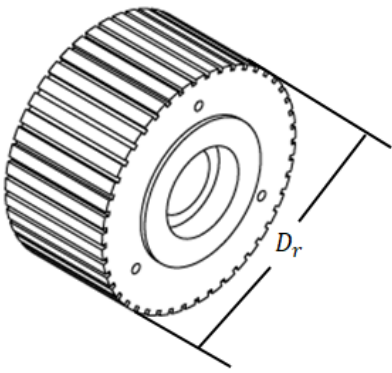
Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
RC	5	-	Relación de compresión del alimento
V_{pellet}	2E-07	m ³	Volumen del pellet
$v_{especifico}$	0.00027	m ³ /Kg	Volumen específico del pellet
Q	3.8E-05	m ³ /s	Flujo volumetrico del alimento
ρ_{pellet}	3650	Kg/m ³	Densidad del pellet
V_{tolva}	0.00981	m ³	Volumen de la tolva

4.4.2 Sistema de rodillos

4.4.2.1 Rodillos. Son los encargados de compactar el alimento y proporcionar la fuerza necesaria para lograr que el alimento pueda ser extruido a través de la matriz de peletizado. Para su diseño se deben considerar parámetros tales como la resistencia de fluencia del alimento, la respectiva fuerza de compactación y de fricción, la presión ejercida por esas fuerzas sobre las paredes de los agujeros de la matriz y la presión adicional que se puede llegar a generar. Los parámetros y las relaciones utilizadas para su cálculo se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Cálculos para el dimensionamiento de los rodillos

Dimensionamiento de los rodillos		
$R_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2}$	$A_o = \pi * R_p^2$	$L = (R_r * (h_o - h_f))^{0.5}$
$w_r \leq \frac{D_r}{2}$	$f_c = P_r * A_o$	$P_c = L * f_c * \omega_r * N_{rodillos}$
$V_r = \pi * R_r^2 * w_r$	$P_a = Y_{alimento} * \frac{2 * h_f}{d_p}$	$T_r = \frac{P_{rc}}{\omega_r}$
$M_r = V_r * \rho_r$	$P_o = \frac{P_a * d_p}{4 * u * h_e}$	
$E_e = a + [b * \ln(RC)]$	$f_f = \mu * P_o * d_p * l_m$	
$P_r = Y_{alimento} * E_e$	$\omega_r = \frac{v_{tr}}{R_r}$	



Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
h_o	0.01472	m	Altura inicial del espesor de la capa de alimento
h_f	0.0002	m	Altura final del espesor de la capa de alimento
μ	0.44	-	Coefficiente de fricción del rodillo
D_r	0.150	m	Diámetro del rodillo
ρ_r	7850	Kg/m ³	Densidad del rodillo
a	0.9	-	Constante de los ángulos de avellanado para los orificios de la matriz entre 50°-60°
b	1.5	-	Constante de los ángulos de avellanado para los orificios de la matriz entre 50°-60°.
RC	5	-	Relación de compresión
$Y_{alimento}$	8.75	Mpa	Esfuerzo de fluencia del alimento
R_p	0.0025	m	Radio del pellet
d_p	0.005	m	Diámetro del pellet
l_m	0.025	m	Longitud de la matriz
$N_{rodillos}$	2	-	Número de rodillos

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_r	0.0750	m	Radio de los rodillos
W_r	0.08	m	Ancho de los rodillos
V_r	0.00133	m ³	Volumen de los rodillos
M_r	10.4041	Kg	Masa de los rodillos
E_e	3.440	-	Deformación de extrusión
P_r	30.10	Mpa	Presión de compresión ejercida por los rodillos
A_o	2E-05	m ²	Área del orificio
f_c	590.99	N	Fuerza de compresión
P_a	0.7	Mpa	Presión adicional
P_o	9.94318	Mpa	Presión en las paredes
f_f	546.875	N	Fuerza fricción
v_{tr}	5.435	m/s	Velocidad tangencial de los rodillos
ω_r	72.4661	rad/s	Velocidad angular de los rodillos
L	0.033	m	Longitud de contacto
P_c	3.79048	hp	Potencia necesaria para el proceso de compactación
T_r	39.0053	Nm	Torque de los rodillos

4.4.2.2 Eje rodillos. Este componente se analiza como una viga en voladizo, en la tabla 37 se muestra las ecuaciones y procedimientos utilizados. La figura 25 expone los diagramas de fuerza cortante y momento flector hechos en el software MDSolid 4.0

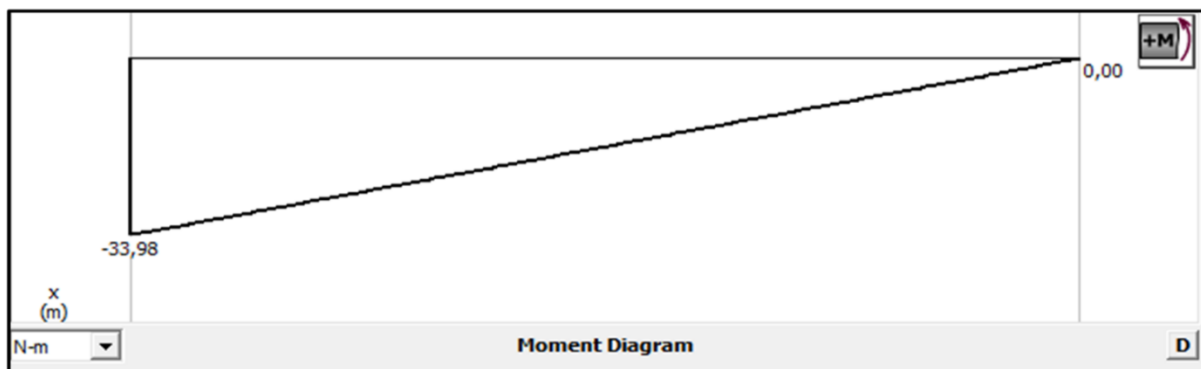
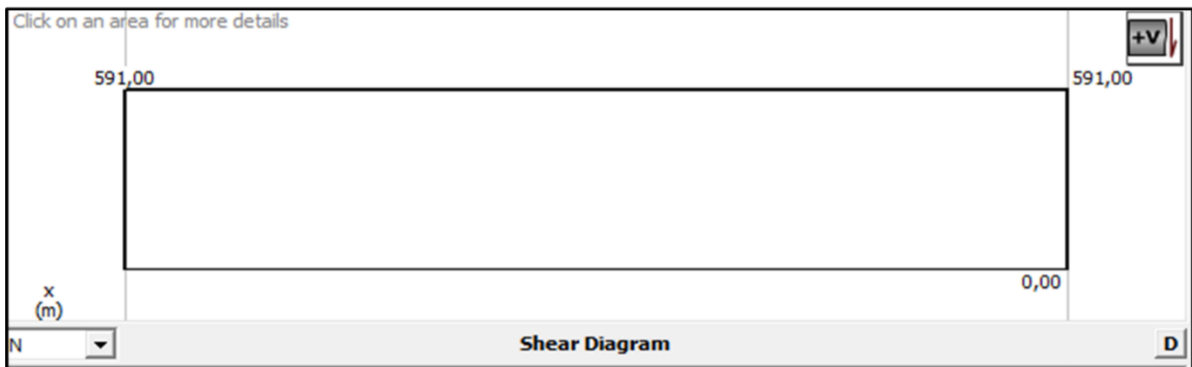
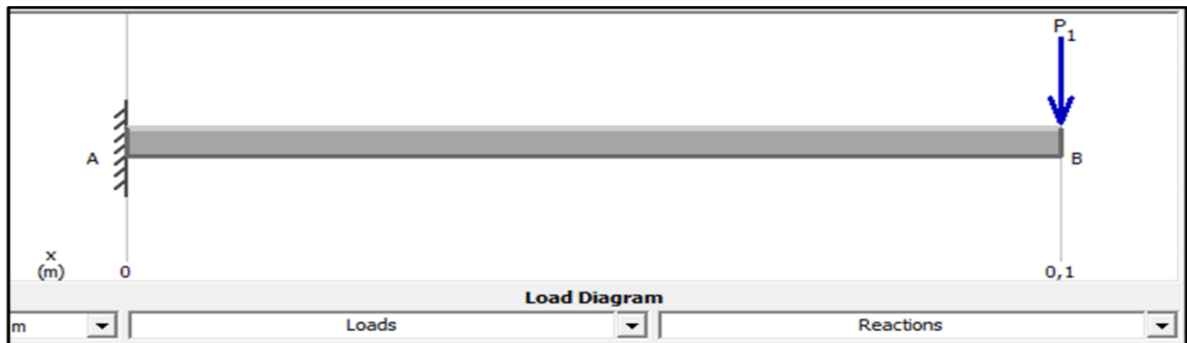
Tabla 37. Cálculos para el eje de los rodillos

Calculo del eje de los rodillos	
<p>DCL</p> <p>Estática</p> <p>$R_{emp} - f_c = 0 \quad ; \quad f_c = p_1$</p> <p>$M_A = R_{emp} * L_{emp}$</p>	$I_{rodillos} = \frac{M_r * R_r^2}{2}$ $\alpha = \frac{\omega_r}{60 s * 1 rpm}$ $T_m = I_{rodillos} * \alpha$ $k_a = a_{eje} * (S_{ut})^{b_{eje}}$ $S'_N = 0.5 * S_{ut}$ $S_N = k_a * k_b * k_q * k_d * k_g * k_c * S'_N$ $\sqrt{a_{muesca}} = 1.24 - 2.25 * (10^{-3}) * S_{ut} + 1.60 * (10^{-6}) * S_{ut}^2 - 4.11 * (10^{-10}) * S_{ut}^3$ $\sqrt{a_{smuesca}} = 0.958 - 1.83 * (10^{-3}) * S_{ut} + 1.43 * (10^{-6}) * S_{ut}^2 - 4.11 * (10^{-10}) * S_{ut}^3$ $K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{muesca}}{r}}}$ $K_{fs} = 1 + \frac{K_{ts} - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{smuesca}}{r}}}$ $d = \sqrt[3]{\frac{16 * n}{\pi} * \left(\frac{2 * (K_f * M_a)}{S_N} + \frac{\sqrt{3 * (K_{fs} * T_m)^2}}{S_{ut}} \right)}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
f_c	591	N	Fuerza de compresión ejercida por los rodillos
L_{emp}	0.0575	m	Longitud de empotramiento
M_r	10.4040713	Kg	Masa de los rodillos
R_r	0.075	m	Radio de los rodillos
ω_r	72.46607054	rad/s	Velocidad angular de los rodillos
$rpm_{rodillos}$	692	rpm	Rpm de los rodillos
r	2	mm	Radio de redondeo en el hombro del eje
a_{eje}	57.7	Mpa	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
b_{eje}	-0.718	Mpa	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
S_{ut}	568	MPa	Resistencia ultima del acero inoxidable
K_t	1.8	-	Factor de concentración de esfuerzos por geometría
K_{ts}	1.57	-	Factor de concentración de esfuerzos por cortante debido a la geometría
n	4.214	-	Factor de seguridad del eje
k_a	0.607510388	-	Factor de superficie
k_b	0.86172702	-	Factor de tamaño
k_q	1	-	Factor de tipo de carga
k_d	1	-	Factor de temperatura
k_g	1	-	Factor de efectos diversos
k_c	0.659	-	Factor para confiabilidad de 99.999

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_{emp}	591	N	Reacción por el empotramiento
M_a	33.98192629	Nm	Momento producido en el eje de los rodillos
$I_{rodillos}$	0.02926	Kg-m ²	Momento de inercia generado en los rodillos
α	835.78	rad/s ²	Aceleración de giro
T_m	24.46	Nm	Par de torsión generado por la inercia de los rodillos
S'_N	284	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el material al ser sometido a flexión
S_N	97.98	MPa	Esfuerzo de fatiga del eje
$\sqrt{a_{muesca}}$	0.40	-	Factor de muesca 340<Sut<1700 Mpa
K_f	1.62	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca
$\sqrt{a_{s_{muesca}}}$	0.30	-	Factor de muesca por cortante 340<Sut<1500 Mpa
K_{fs}	1.47	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca por cortante
d	30.00	mm	Diámetro del eje por criterio de Goodman

Figura 25. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje de los rodillos



4.4.2.3 Selección de los rodamientos en los rodillos. La selección del rodamiento se hace mediante el cálculo de la vida de este. El rango de vida esperada se muestra en el anexo J.

Se prueba inicialmente el rodamiento 61906 con las especificaciones mostradas en la tabla 38 del catálogo SKF.

Tabla 38. Datos del rodamiento escogido

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾
30	42	7	4,49	2,9	0,146	–	9 500	0,025	▶ 61806-2RS1	–
	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	16 000	0,025	▶ 61806-2RZ	–
	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	▶ 61806	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	–	8 500	0,051	▶ 61906-2RS1	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	15 000	0,051	▶ 61906-2RZ	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	▶ 61906	–

Fuente: <https://n9.cl/spyxb6>

A continuación, se presentan los cálculos realizados en la tabla 39 para comprobar si el rodamiento escogido es el adecuado.

Tabla 39. Cálculos para los rodamientos en los rodillos

Cálculo de rodamientos en los rodillos	
$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$	$Factor_{a_{SKF}} = n_c * \frac{P_u}{P}$
$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * L_{10}$	$L_{nm} = a_1 * a_{SKF} * L_{10}$
$dm = 0.5 * (d + D)$	$L_{mh} = \left(\frac{10^6}{60 * n}\right) * L_{nm}$
$K = \frac{v}{v_1}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
C	7.28	kN	Capacidad de carga dinámica básica
P	0.591	kN	Carga dinámica equivalente del rodamiento
p	3	-	exponente de la ecuación de vida
n	692	rpm	Velocidad de giro
d	30	mm	Diámetro interior del rodamiento 61906
D	47	mm	Diámetro exterior del rodamiento 61906
ν	32	mm ² /s	Viscosidad real de funcionamiento del aceite
ν_1	30.36	mm ² /s	Viscosidad nominal
n_c	0.2	-	Grado de contaminación
P_u	0.212	kN	Carga límite de fatiga
a_1	1	-	Factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
L_{10}	1869.19	millones.rev	Vida nominal básica con una confiabilidad del 90%
L_{10h}	45019.1	h	Vida nominal básica con una confiabilidad del 90%
dm	38.50	mm	Diámetro medio del rodamiento
K	1.0540	-	Condición de lubricación del rodamiento
$Factor_{a_{SKF}}$	0.07	-	Factor de rodamientos de diseño básico SKF
a_{SKF}	0.60	-	Factor de modificación de la vida útil
L_{nm}	1121.51	millones.rev	Vida nominal SKF
L_{nmh}	27011.43	h	Vida nominal SKF

Según lo calculado,

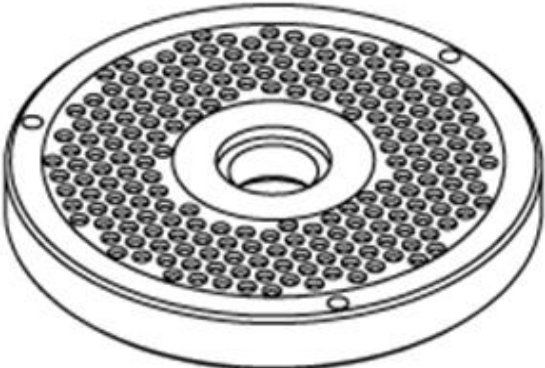
$$L_{nmh} = 20,000 < 27,011.43 < 30,000 \text{ h}$$

Por lo tanto, el rodamiento 61906 es el adecuado para este caso.

4.4.3 Diseño de la matriz. La matriz es el componente encargado de transformar el alimento molido en pellets, le da forma al pellet y establece su diámetro con ayuda de los rodillos que ejercen presión sobre el alimento para que este pase a través de esta.

Para establecer las dimensiones del componente fue necesario considerar la fuerza de compactación ejercida por los rodillos y la fricción generada por estos, así como la velocidad a la que giran, a su vez se consideró la cantidad de material a peletizar, el tiempo, velocidad y aceleración de extrusión para determinar el número de agujeros necesarios, en la tabla 40 se muestran los cálculos realizados y en la tabla 41 la validación de malla hecha en SolidWorks.

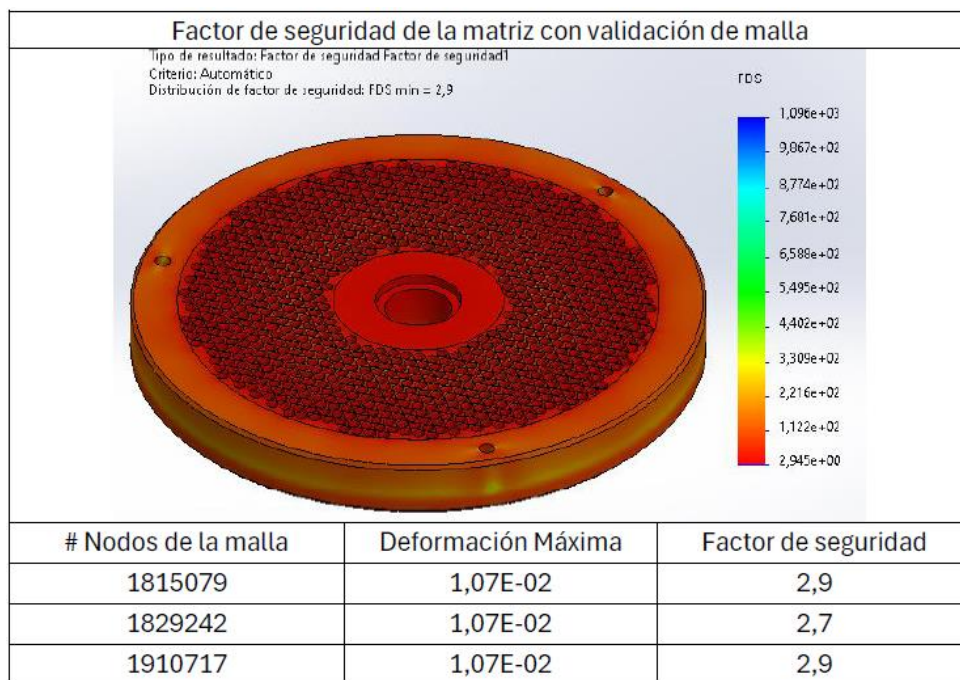
Tabla 40. Cálculos para el dimensionamiento de la matriz

Dimensionamiento de la matriz	
$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{L_p}{R_r}\right)$ $\omega_m = \frac{vt_r}{r_t}$ $t_e = \frac{\theta}{\omega_m}$ $a_e = \frac{f_c - f_f}{m_{pellet}}$ $v_e = a_e * t_e$ $N_{agujeros} = \frac{Q}{v_e * N_{rodillos} * A_o}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
L_p	0.022	m	Espesor de la matriz
R_r	0.05	m	Radio de los rodillos
vt_r	3.036872898	m/s	Velocidad tangencial de los rodillos
r_t	0.15	m	radio inferior de la tolva
f_c	549.3400012	N	Fuerza de compresión de los rodillos
f_f	546.875	N	Fuerza de fricción generada por los rodillos
m_{pellet}	500	Kg	Masa a peletizar
Q	3.80518E-06	m ³ /s	Flujo del alimento
$N_{rodillos}$	2	-	Número de rodillos
A_o	1.9635E-05	m ²	Área del orificio del pellet

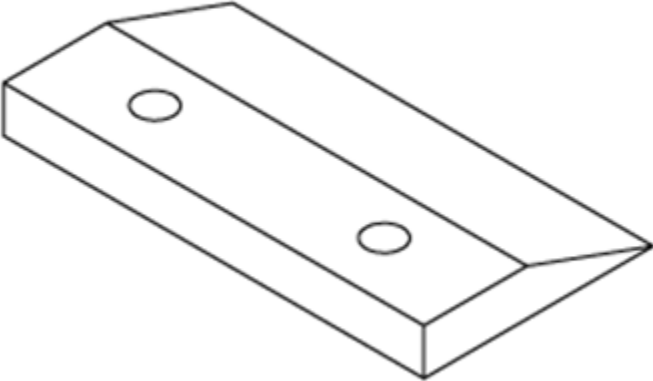
Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
θ	0.414506875	rad	Ángulo de inclinación
ω_m	20.24581932	rad/s	Velocidad angular de los rodillos sobre la matriz
t_e	0.020473702	s	Tiempo de extrusión
a_e	0.004930002	m/s ²	Aceleración de extrusión
v_e	0.000100935	m/s	Velocidad de extrusión
$N_{agujeros}$	960	-	Número de agujeros de la matriz

Tabla 41. Validación de malla de la matriz



4.4.4 Diseño de las cuchillas. La cuchilla es el otro componente aparte de la matriz que limita las dimensiones del pellet, en este caso es el componente que define su longitud. Para su diseño se consideró el número de elementos a cortar y la superficie que debe abarcar para hacerlo, así como el consumo de potencia que requiere y el torque que genera su funcionamiento. La tabla 42 muestra con mayor detalle las relaciones y parámetros necesarios para su cálculo.

Tabla 42. Cálculos para el dimensionamiento de las cuchillas

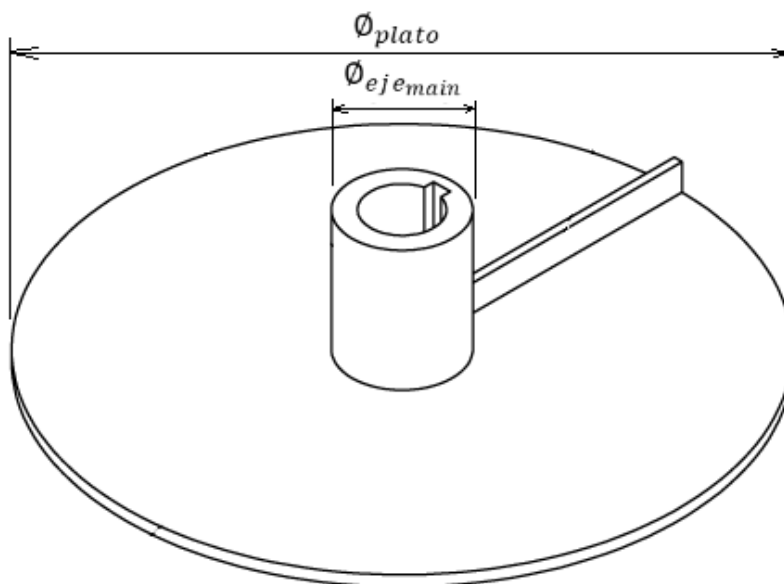
Dimensionamiento de las cuchillas de corte	
$S = \pi * R_p^2 * N_{\text{agujeros}}$ $P_{cc} = \frac{Y_{\text{alimento}}}{2 * (1 + \nu_p)} * S * v_e * N_c$ $T_{cc} = \frac{P_{cc}}{\omega}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_p	0.0025	m	Radio del pellet
N_{agujeros}	960	-	Número de agujeros de la matriz
Y_{alimento}	8.75	Mpa	Esfuerzo de fluencia del alimento
ν_p	0.3	-	Relación de poisson del alimento
v_e	0.00101	m/s	Velocidad de extrusión
N_c	2	-	Número de cuchillas
ω_m	72.4661	rad/s	Velocidad de las cuchillas

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
S	0.01885	m ²	Superficie de pellets cortados
P_{cc}	0.17173	hp	Potencia de las cuchillas de corte
T_{cc}	1.76715	Nm	Torque de las cuchillas de corte

4.4.5 Plato saca-pellets. Con el objetivo de facilitar la salida de los pellets, se agrega al sistema un plato cuyo diámetro es el mismo de la matriz y que mediante la fuerza centrífuga producida por la velocidad de rotación del eje principal hace que los pellets sean dirigidos hacia la salida de la cámara de peletizado. En la figura 26 se muestra el esquema básico.

Figura 26. Plato saca-pellets



4.4.6 Sistema de transmisión. Para el sistema de transmisión de la cámara de peletizado se opta por usar un sistema de correas debido a su bajo precio y su facilidad de montaje. A continuación, se muestran los cálculos realizados.

4.4.6.1 Parámetros principales de la transmisión. En la tabla 43 se muestra la potencia requerida para el diseño de la transmisión en la cámara de peletizado, así como otros parámetros necesarios para su diseño.

Tabla 43. Cálculo de los parámetros principales de la transmisión

Cálculo de los parámetros principales en la transmisión	
$P_{motor1} = P_c + P_{cc} + P_{pc}$	$P_{diseño} = P_{motor1} * fs$
$T_{motor} = \frac{P_{motor} * 745.7}{\omega_{motor}}$	$i_{transm} = \frac{n_{conductor}}{n_{conducido}}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
P_c	3.79	hp	Potencia requerida para la compactación
P_{cc}	0.172	hp	Potencia de las cuchillas de corte
P_{pc}	0.172	hp	Potencia del disco saca-pellets
fs	1.1	-	Factor de servicio
P_{motor}	4	hp	Potencia del motor comercial
ω_{motor}	181.17	rad/s	Velocidad angular del motor escogido
n_{motor}	1750	rpm	Velocidad del motor
$n_{conducida}$	692	rpm	Velocidad de las poleas

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
P_{motorr}	3.96	hp	Potencia del motor
$P_{diseño}$	4.4	hp	Potencia de diseño
T_{motor}	16.46	Nm	Torque del motor
i_{transm}	2.53	-	Relación de velocidades

4.4.6.2 Cálculo de las correas. La transmisión se realiza mediante un sistema de poleas y correas debido a los bajos costos que representan, el tipo de correa utilizado es de perfil en V. Para su selección se usó el catálogo de correas industriales DUNLOP, anexo K. El número de correas requeridas, la distancia entre ejes, etc. Se muestra con mayor detalle en la tabla 44.

Tabla 44. Cálculo del número de correas y de las tensiones y torques generados en la transmisión

Cálculo de correas y poleas		
$d_{ext} = d_p + (2 * k)$	$Pbk = Pb + Ad.i_{transm}$	$T_1 = \frac{F_T}{2} + T_o$
$D_p = d_p * i_{transm}$	$P_e = Pbk * F_{cl} * F_c * \alpha$	$V_{pd_{conducida}} = \omega_{rodillos} * \frac{D_p}{1000 * 2}$
$D_{ext} = D_p + (2 * k)$	$cant. correas = \frac{P_c}{P_e}$	$T_2 = T_o - \frac{F_T}{2}$
$C_{min} = \frac{(i_{transm} + 1) * d_p}{2} + d_p$	$V_{pd} = \frac{2 * \pi}{60} * n_{conductor} * \frac{d_p}{1000 * 2}$	$F_m = T_1 + T_2$
$L_{correa} = 2 * C + 1.57 * (D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 * C}$	$F_T = \frac{P_{motor}}{V_{pd_{conducida}}} * 745.7$	$T_{polea} = \frac{(T_1 - T_2) * \frac{D_p}{2}}{1000}$
$\alpha = 180 - \frac{57 * (D_p - d_p)}{L_{correa}}$	$T_o = \frac{F_T}{2 * \delta}$	
$V_t = \frac{\pi * d_p * n_{conductor}}{60 * 1000}$		

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
d_p	112	mm	Diámetro primitivo de la polea conductora
k	3.3	mm	Altura mínima de la garganta de la polea sobre la línea primitiva
i_{transm}	2.53	-	Relación de velocidades
$n_{conductor}$	1750	rpm	Velocidad del motor
P_b	2.53	hp	Prestación base
$Ad.i_{transm}$	0.29	hp	Prestación adicional por relación de transmisión
F_{cl}	0.932	-	Factor de corrección de largo
F_c	0.9177	-	Factor de corrección en función del arco de contacto
P_c	4.40	hp	Potencia corregida
$\omega_{rodillos}$	72.4660705	rad/s	Velocidad de los rodillos
δ	0.8	-	Coefficiente de fricción de la correa y la polea

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
d_{ext}	115.30	mm	Diámetro exterior de la polea conductora
D_p	283.236994	mm	Diámetro primitivo de la polea conducida
D_{ext}	290	mm	Diámetro exterior de la polea conducida
C_{min}	310	mm	Distancia entre centros mínima entre poleas
L_{correa}	1263.44	mm	Longitud de la correa
L_{correa}'	1280	mm	Longitud de la correa normalizada A49
C	318.00	mm	Distancia entre centros normalizada
α	149.31	°	Arco de contacto de la correa sobre la polea menor
V_t	10.26	m/s	Velocidad de la correa
P_{bk}	2.82	hp	Prestación base adicional
P_e	2.41	hp	Potencia efectiva por correa
<i>cant. correas</i>	1.82	-	Cantidad de correas
V_{pd}	10.26	m/s	Velocidad lineal en la polea conductora
$V_{pd_{conducida}}$	10.26	m/s	Velocidad lineal en la polea conducida
F_T	290.65	N	Fuerza de tensado
T_o	181.66	N	Tensado inicial
T_1	326.98	N	Fuerza de tensión en el ramal tirante
T_2	36.33	N	Fuerza de tensión en el ramal flojo
F_m	363.31	N	Tensión total T1 y T2
T_{polea}	41.16	Nm	Torque en la polea conducida

4.4.6.3 Eje principal. En la tabla 45 se muestran los cálculos necesarios para diseñar el eje principal, primero se analiza la sección del eje que está comprendida entre los dos soportes en el plano YZ que está sometida por la fuerza de tensión de las correas de la transmisión en la figura 27 se muestra los diagramas de fuerza cortante y momento flector. Para el análisis de los torques se considera el eje principal en su totalidad, en la figura 28 se muestra el diagrama de torques correspondiente. El eje se diseña con acero inoxidable debido a que este puede entrar en contacto con el alimento.

Tabla 45. Cálculos para el diseño del eje principal

Cálculo del eje principal	
<p style="text-align: center;">DCL</p> <p style="text-align: center;">Estática – Segmento AB</p> <p style="text-align: center;">$125 * R_B - 62.5 * P_1 = 0 ; P_1 = F_m$</p> <p style="text-align: center;">$R_A + R_B - P_1 = 0$</p>	$\frac{r}{d} = 0.0438$ $k_a = a_{eje} * (S_{ut})^{b_{eje}}$ $k_b = 1.24 * d^{-0.107}$ $S'_N = 0.5 * S_{ut}$ $\sqrt{a_{muesca}} = 1.24 - 2.25 * (10^{-3}) * S_{ut} + 1.60 * (10^{-6}) * S_{ut}^2 - 4.11 * (10^{-10}) * S_{ut}^3$ $\sqrt{a_{smuesca}} = 0.958 - 1.83 * (10^{-3}) * S_{ut} + 1.43 * (10^{-6}) * S_{ut}^2 - 4.11 * (10^{-10}) * S_{ut}^3$ $K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{muesca}}{r}}}$ $K_{fs} = 1 + \frac{K_{ts} - 1}{1 + \sqrt{\frac{a_{smuesca}}{r}}}$ $S_N = k_a * k_b * k_q * k_d * k_g * k_c * S'_N$ $d = \sqrt[3]{\frac{16 * n}{\pi} * \left(\frac{2 * (K_f * M_a)}{S_N} + \frac{\sqrt{3 * (K_{fs} * T_m)^2}}{S_{ut}} \right)}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
F_m	363.31	N	Fuerza media de las tensiones en la polea
T_m	41.16	Nm	Torque medio
M_a	11.35	Nm	Momento alternante
r	1	mm	Radio de redondeo en el hombro del eje
a_{eje}	57.7	Mpa	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
b_{eje}	-0.718	Mpa	Parámetro del factor de superficie por laminado en caliente
S_{ut}	568	MPa	Resistencia ultima del acero inoxidable
K_t	2	-	Factor de concentración de esfuerzos por geometría
K_{ts}	1.63	-	Factor de concentración de esfuerzos por cortante debido a la geometría
n	1.68	-	Factor de seguridad del eje
k_a	0.608	-	Factor de superficie
k_b	0.92	-	Factor de tamaño
k_q	1	-	Factor de tipo de carga
k_d	1	-	Factor de temperatura
k_g	1	-	Factor de efectos diversos
k_c	0.659	-	Factor para confiabilidad de 99.999

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
R_A	181.66	N	Reacción por el soporte en el punto A
R_B	181.66	N	Reacción en el soporte del punto B
S'_N	284	Mpa	Esfuerzo de fatiga generado en el material al ser sometido a flexión
S_N	104.12	MPa	Esfuerzo de fatiga del eje
$\sqrt{a_{muesca}}$	0.40	-	Factor de muesca 340<Sut<1700 Mpa
K_f	1.71	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca
$\sqrt{a_{S_{muesca}}}$	0.30	-	Factor de muesca por cortante 340<Sut<1500 Mpa
K_{fs}	1.48	-	Factor de concentración de esfuerzo de sensibilidad a la muesca por cortante
d	17.00	mm	Diámetro del eje por criterio de Goodman

Figura 27. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano YZ en la sección de los rodamientos y el sistema de transmisión del eje principal

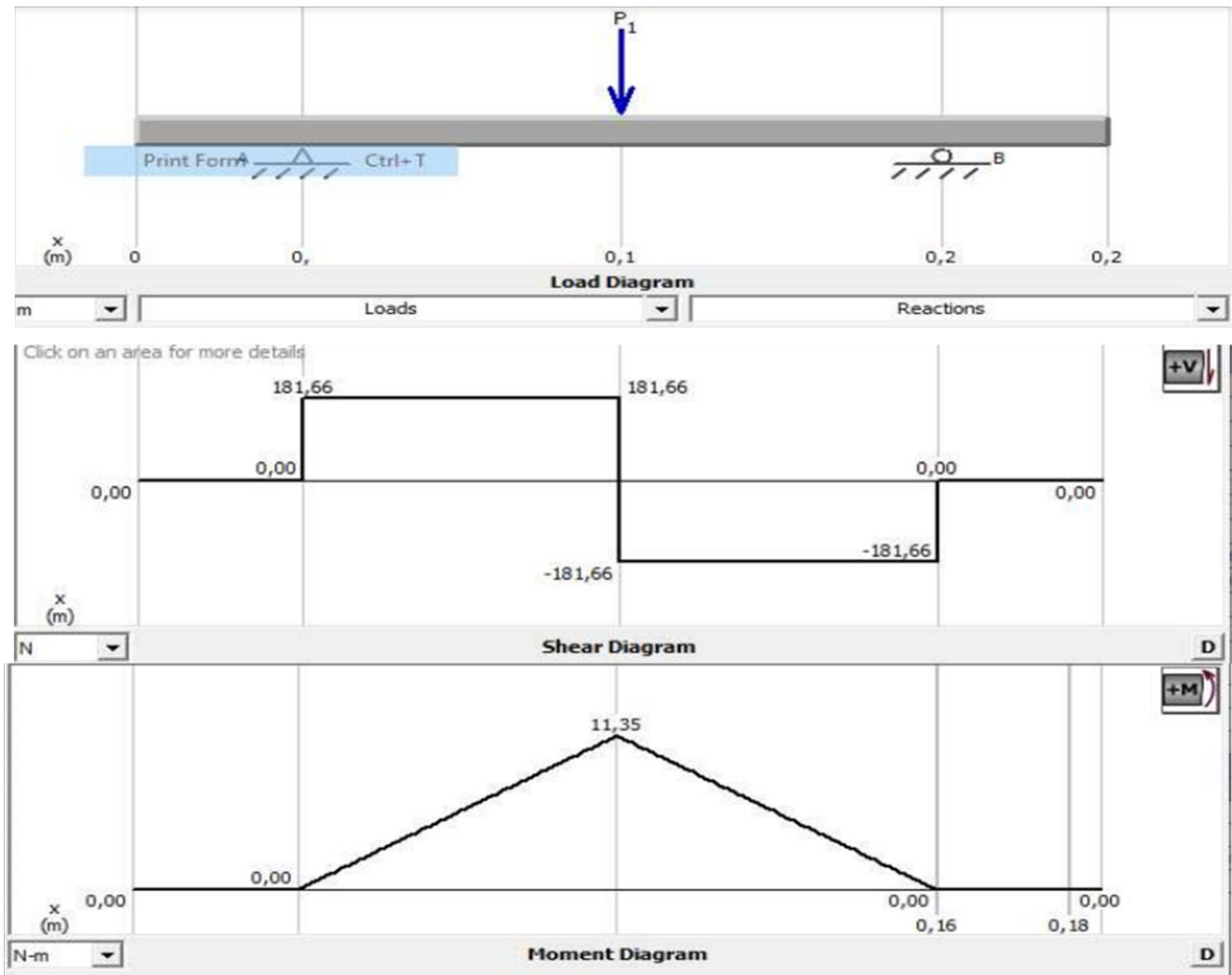
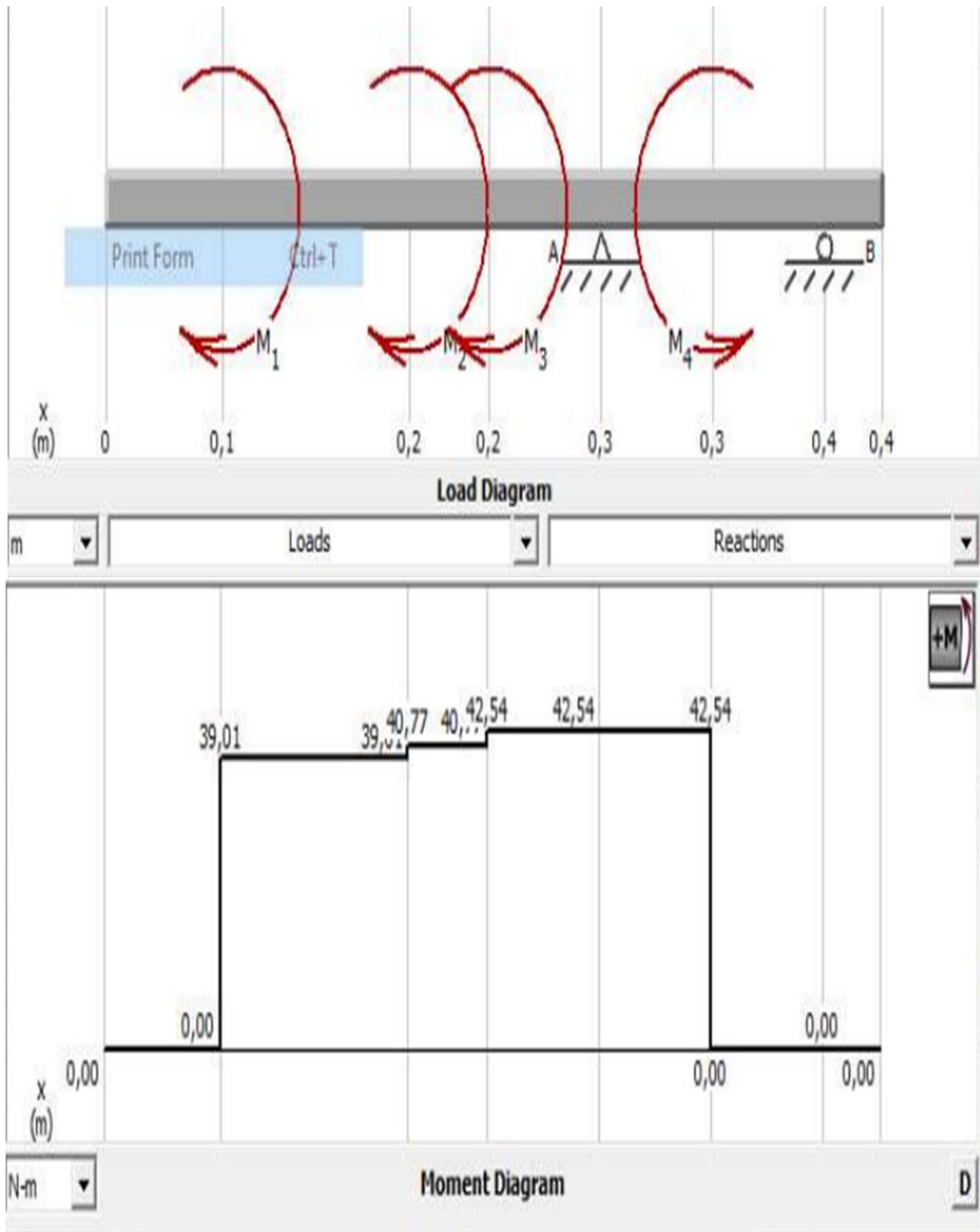


Figura 28. Diagrama de torques en el eje principal de la cámara de peletizado



4.4.6.4 Selección de rodamientos en el eje principal. Se prueba con el rodamiento 61806 con las especificaciones mostradas en la tabla 46 del catálogo SKF. El rango de vida esperada se muestra en el anexo J.

Tabla 46. Datos del rodamiento escogido

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾
30	42	7	4,49	2,9	0,146	–	9 500	0,025	▶ 61806-2RS1	–
	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	16 000	0,025	▶ 61806-2RZ	–
	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	▶ 61806	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	–	8 500	0,051	▶ 61906-2RS1	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	15 000	0,051	▶ 61906-2RZ	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	▶ 61906	–

Fuente: <https://n9.cl/spyxb6>

A continuación, se presentan los cálculos realizados en la tabla 47 para comprobar si el rodamiento escogido es el adecuado.

Tabla 47. Cálculos para los rodamientos en el eje principal

Calculo de rodamientos en el eje principal	
$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$ $L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * L_{10}$ $dm = 0.5 * (d + D)$ $K = \frac{v}{v_1}$	$Factor_{a_{SKF}} = n_c * \frac{P_u}{P}$ $L_{nm} = a_1 * a_{SKF} * L_{10}$ $L_{mh} = \left(\frac{10^6}{60 * n} \right) * L_{nm}$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
C	4.49	kN	Capacidad de carga dinámica básica
P	0.182	kN	Carga dinámica equivalente del rodamiento
p	3	-	exponente de la ecuación de vida
n	692	rpm	Velocidad de giro
d	30	mm	Diámetro interior del rodamiento 61806
D	42	mm	Diámetro exterior del rodamiento 61806
v	46	mm ² /s	Viscosidad real de funcionamiento del aceite
v_1	34.6	mm ² /s	Viscosidad nominal
n_c	0.2	-	Grado de contaminación
P_u	0.146	kN	Carga limite de fatiga
a_1	1	-	Factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
L_{10}	15100.48	millones.rev	Vida nominal básica con una confiabilidad del 90%
L_{10h}	363691.6	h	Vida nominal básica con una confiabilidad del 90%
dm	36.00	mm	Diámetro medio del rodamiento
K	1.3295	-	Condición de lubricación del rodamiento
$Factor_{a_{SKF}}$	0.16	-	Factor de rodamientos de diseño básico SKF
a_{SKF}	1.10	-	Factor de modificación de la vida útil
L_{nm}	16610.52	millones.rev	Vida nominal SKF
L_{nmh}	400060.79	h	Vida nominal SKF

Según lo calculado,

$$L_{nmh} = 400,060 > 30,000 \text{ h}$$

Por lo tanto, el rodamiento 61806 es más que adecuado.

Nota: El cálculo de las estrías, chaveteros y tornillería se encuentra en el anexo G.

4.5 DISEÑO DEL ENFRIADOR

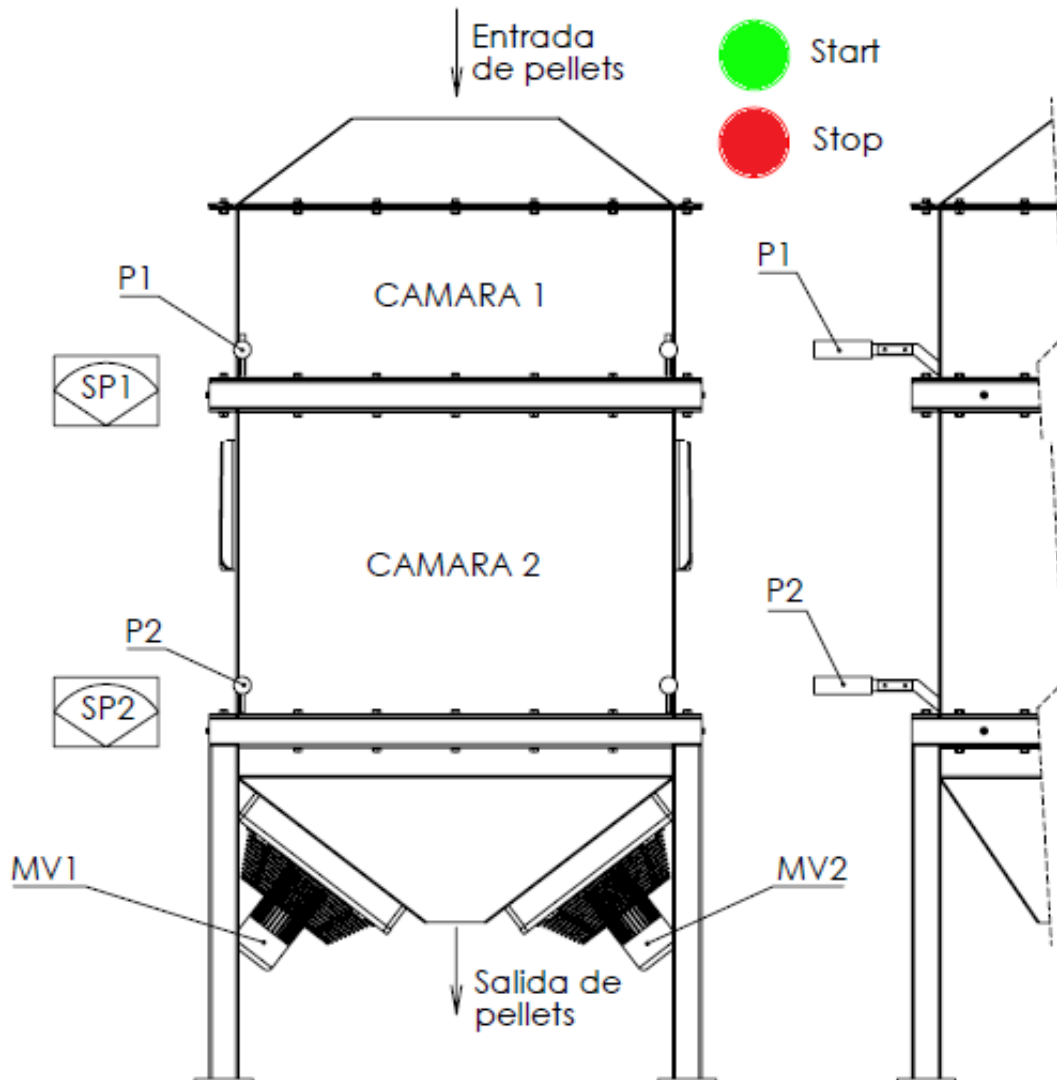
El enfriador es el equipo encargado de regular la humedad y la temperatura de los pellets para que cumplan con los estándares de calidad deseados. El enfriador diseñado es de tiro a contraflujo. Las condiciones de entrada se pueden ver en tabla 48 junto con las relaciones y procedimientos utilizados para su dimensionamiento.

4.5.1 Funcionamiento del enfriador. El proceso de funcionamiento del enfriador se inicia mediante el pulsador **START** que es el encargado además de activar toda la planta de peletizado.

Los pellets que provienen de la peletizadora ingresan a la primera fase de enfriamiento que consiste en el llenado de alimento en la cámara 1 hasta que el sensor **SP1** registre un pesaje de 100 Kg.

Al detectar el pesaje dado, el alimento pasa a la cámara 2 mediante el accionamiento de la palanca **P1**. Ahora, el alimento se almacena en la cámara 2 hasta que el sensor **SP2** registra el pesaje de los 100 Kg, una vez el sensor detecte esa cantidad, se accionan simultáneamente los dos ventiladores industriales mediante la activación sus respectivos motores **MV1** y **MV2**. Los ventiladores desplazarán el aire caliente hacia las rejillas mostradas en la figura 29 durante 12 minutos, haciendo que los pellets se enfríen en el proceso, una vez transcurrido ese tiempo, se acciona la palanca **P2** y el alimento se desplaza a la salida del enfriador, concluyendo así el proceso de enfriamiento, en la figura 30 se presenta el esquema de su funcionamiento. Ante cualquier problema que se presente en el enfriador se puede acudir al pulsador **STOP** para detener el proceso.

Figura 29. Representación gráfica de los diferentes componentes para el funcionamiento lógico del enfriador



P1: Palanca que permite el flujo de alimento de la cámara 1 a la cámara 2.

P2: Palanca que permite el flujo de alimento de la cámara 2 a la salida del enfriador.

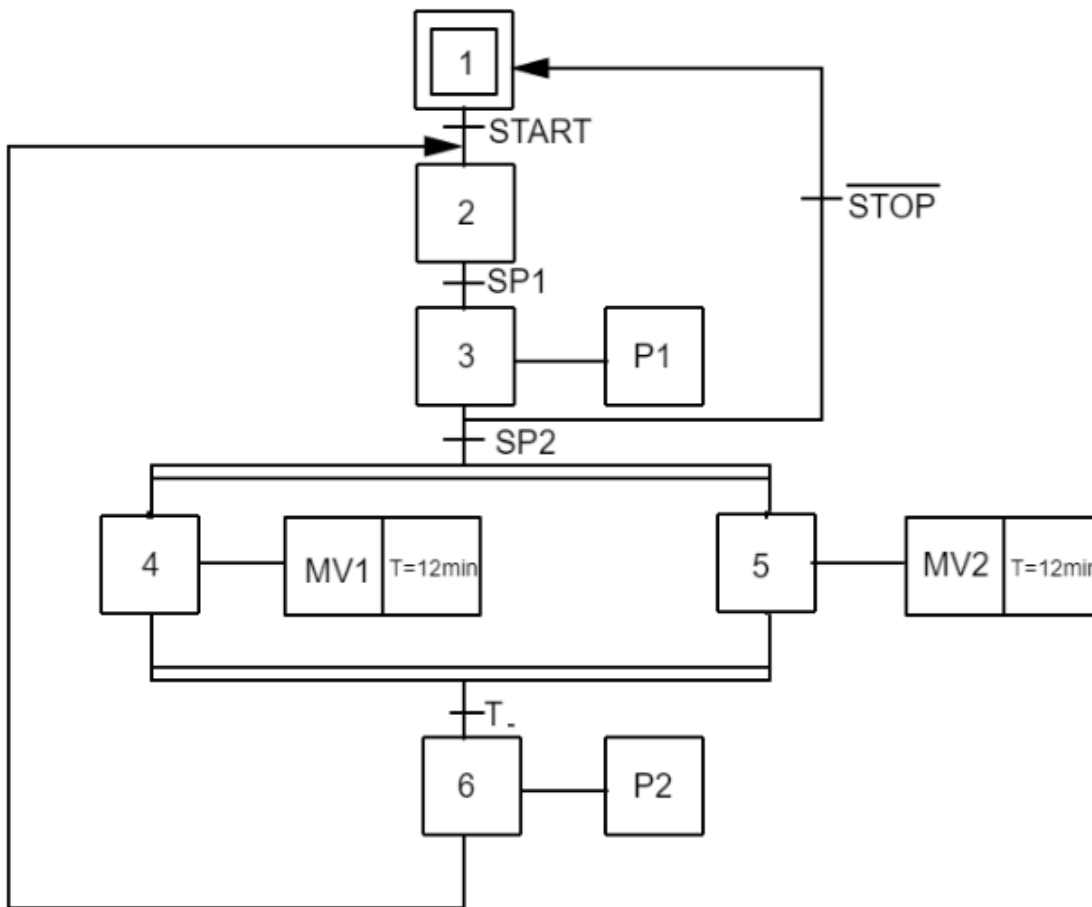
SP1: Sensor que indica que el pesaje del alimento ha alcanzado los 100Kg en la cámara 1.

SP2: Sensor que indica que el pesaje del alimento ha alcanzado los 100Kg en la cámara 2.

MV1: Motor del ventilador 1.

MV2: Motor del ventilador 2.

Figura 30. Esquema del funcionamiento del enfriador



4.5.2 Cálculos térmicos del enfriador

Tabla 48. Cálculos térmicos del enfriador

Cálculos térmicos del enfriador	
$\dot{m}_s * C_s * T_1 + \dot{m}_{\omega 1} * h_1 = \dot{m}_s * C_s * T_2 + \dot{m}_{\omega 2} * h_2 + 2 * \dot{Q}_{\text{ventilador}}$ $\dot{m}_1 = \dot{m}_s + \dot{m}_{\omega 1} \qquad \dot{m}_2 = \dot{m}_s + \dot{m}_{\omega 2}$ $\dot{m}_1 = \dot{m}_{\omega 1} - \dot{m}_{\omega 2} \qquad \omega_2 = \frac{\dot{m}_{\omega 2}}{\dot{m}_2}$ $\omega_1 = \frac{\dot{m}_{\omega 1}}{\dot{m}_1}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
T_1	95	°C	Temperatura de entrada del pellet al enfriador
T_2	25.62	°C	Temperatura de salida del pellet al enfriador
h_1	398.09	kJ/kg	Entalpía de entrada
h_2	107.4	kJ/kg	Entalpía de salida
C_s	1.67	kJ/kgK	Calor específico del alimento
ω_1	0.17	-	Humedad específica a la entrada
ω_2	0.13	-	Humedad específica a la salida
\dot{m}_1	535.6	Kg/s	Flujo de alimento a la entrada
$\dot{m}_{\omega 1}$	91.1	Kg/s	Flujo de alimento con vapor de agua a la entrada
$\dot{m}_{\omega 2}$	66.43	Kg/s	Flujo de alimento con vapor de agua a la salida
\dot{m}_s	444.5	Kg/s	Flujo de alimento seco

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
\dot{m}_{H_2O}	24.63	Kg/s	Flujo de vapor de agua eliminado del alimento
\dot{m}_2	511	Kg/s	Flujo de alimento a la salida
$\dot{Q}_{ventilador}$	40305	kJ/s	Calor removido por el ventilador

4.5.3 Selección del ventilador. En la tabla 48 se calculó la cantidad de calor a remover, a continuación, se procede a determinar el flujo de aire necesario y la potencia requerida por el ventilador.

4.5.3.1 Cálculo del flujo de aire requerido por el ventilador. Partiendo de los parámetros determinados en la tabla 48 y considerando que el proceso de enfriamiento debe tardar 12 minutos aproximadamente, se tiene que:

$$\dot{Q}_{ventilador} = \frac{40305 \text{ KJ}}{720 \text{ s}} = 55.98 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

Ahora,

$$\dot{Q}_{ventilador} = \dot{m}_{ventilador} * c_{p_{aire;95^\circ C}} * |\Delta T| \quad \text{donde: } c_{p_{aire;95^\circ C}} = 1.01 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}$$

$$\dot{V}_{aire} = \frac{\dot{Q}_{ventilador}}{\rho_{aire} * c_{p_{aire;95^{\circ}C}} * |\Delta T|}$$

Considerando que el diseño del enfriador se hace para que funcione en el municipio de Monquirá hay que tomar en cuenta que:

$$\text{Altura}=1669 \text{ m } \text{ y } \text{Presión}= 0.8171 \text{ atm } \therefore \rho = 0.7839 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo tanto,

$$\dot{V}_{aire} = \frac{55.98 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}}{0.7839 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.01 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} * |20 - 95| \text{K}}$$

$$\dot{V}_{aire} = 0.94273 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

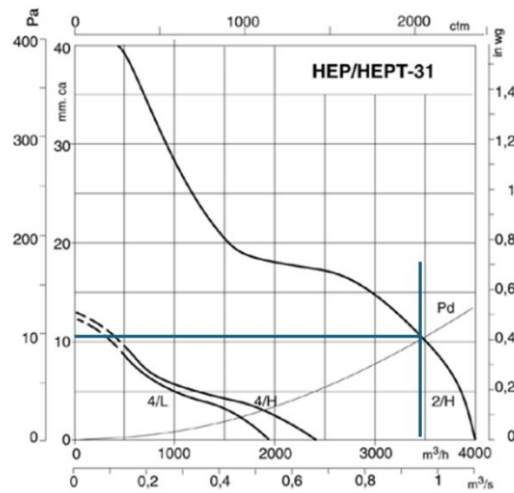
El flujo volumétrico de aire que debe manejar el ventilador es por lo tanto de 0.94273 m³/s que es equivalente a 3394 m³/h. Mediante el uso del catálogo de ventiladores SODECA, se encuentra que el ventilador HEP-31-2T/H se ajusta a los requerimientos, la tabla 49 y la figura 31 lo confirma.

Tabla 49. Ventilador seleccionado para el enfriador

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia absorb. desc. libre (W)	Caudal máximo (m ³ /h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)		
		220V	380V				HEP	HEPT	
HEP-31-2T/H	HEPT-31-2T/H	3168	1,54	0,89	495	4000	74	7	7,4
HEP-31-2M/H	HEPT-31-2M/H	3168	2,3	-	515	4000	74	7	7,4
HEP-31-4T/H	HEPT-31-4T/H	1692	0,69	0,4	115	2400	55	5,7	6,2
HEP-31-4M/H	HEPT-31-4M/H	1692	0,75	-	140	2400	55	5,7	6,2
HEP-31-4T/L		1716	0,69	0,4	100	1950	54	5,1	-
HEP-31-4M/L		1704	0,7	-	110	1950	54	5,1	-
HEP-35-2T/H	HEPT-35-2T/H	3348	2,16	1,25	650	6020	76	8,8	9,4
HEP-35-2M/H	HEPT-35-2M/H	3210	2,8	-	690	6020	76	8,8	9,4

Fuente:https://tic.uis.edu.co/ava/pluginfile.php/3003703/mod_folder/content/0/CT11_60Hz_2012ES.pdf?forcedownload=1

Figura 31. Curvas características P vs Q de los ventiladores HEP-31

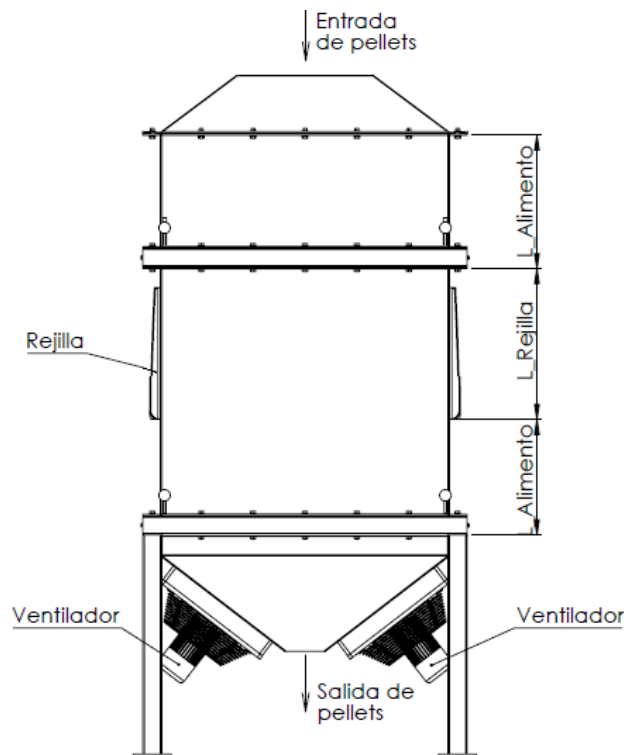


Fuente: <https://n9.cl/zwyuz>

Por tanto, el ventilador HEP-31-2T/H es el adecuado para este caso.

4.5.4 Cálculo del espacio mínimo requerido para los pellets a enfriar. Considerando factores como el rango de pellets que cubre el ventilador, así como la densidad y la masa que poseen, se procede a delimitar el tamaño que ocupan en el enfriador.

Figura 32. Esquema del enfriador



Primero, se determina la cantidad de pellets que entran al enfriador en 12 minutos:

$$m_{\text{pellets}} = \frac{500\text{Kg}}{h} * \frac{1}{60} \frac{h}{\text{min}} * 12 \text{ min} = 100\text{Kg}$$

$$m_{\text{pellets}} = \rho_{\text{pellets}} * V$$

$$V = \frac{m_{\text{pellets}}}{\rho_{\text{pellet}}}$$

$$V = \frac{100 \text{ Kg}}{730 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0.13698 \text{ m}^3$$

Las medidas de la base del enfriador se fijan $50 \times 100 \text{ cm}^2$, debido a cuestiones de espacio, la situación radica ahora en calcular las longitudes L_{alimento} y L_{rejilla} , mostradas en la figura 32.

Tomando en cuentas estas condiciones, se tiene que:

$$0.5 * 1 * L_{\text{alimento}} = 0.136986 \text{ m}^3$$

$$L_{\text{alimento}} = 0.274 \text{ m}$$

Estimando que la suma de las longitudes mostradas en la figura 32 sea 100 cm, se procede a calcular la longitud L_{rejilla} de la siguiente manera:

$$2 * L_{\text{alimento}} + L_{\text{rejilla}} = 1$$

$$L_{\text{rejilla}} = 0.452 \text{ m}$$

4.5.5 Selección de rejilla para salida de aire caliente. El flujo volumétrico de aire generado por la cantidad de aire proporcionado por el ventilador es alto, por lo cual se decidió agregar otras dos rejillas para distribuir mejor el flujo de aire y por lo tanto utilizar rejillas de tamaños más adecuados.

Suponiendo una distribución uniforme, con el uso de otra rejilla adicional, se espera que haya un flujo de aire de:

$$V_{rejilla} = \frac{V}{2}$$

$$V_{rejilla} = \frac{0.94253 \frac{m^3}{s}}{2} = 0.4714 \frac{m^3}{s} * 3600 \frac{s}{h} = 1696.9 \frac{m^3}{h}$$

Mediante el uso del catálogo Kool Air 050 se selecciona el tipo de rendija a utilizar para la disipación de aire caliente, tabla 50.

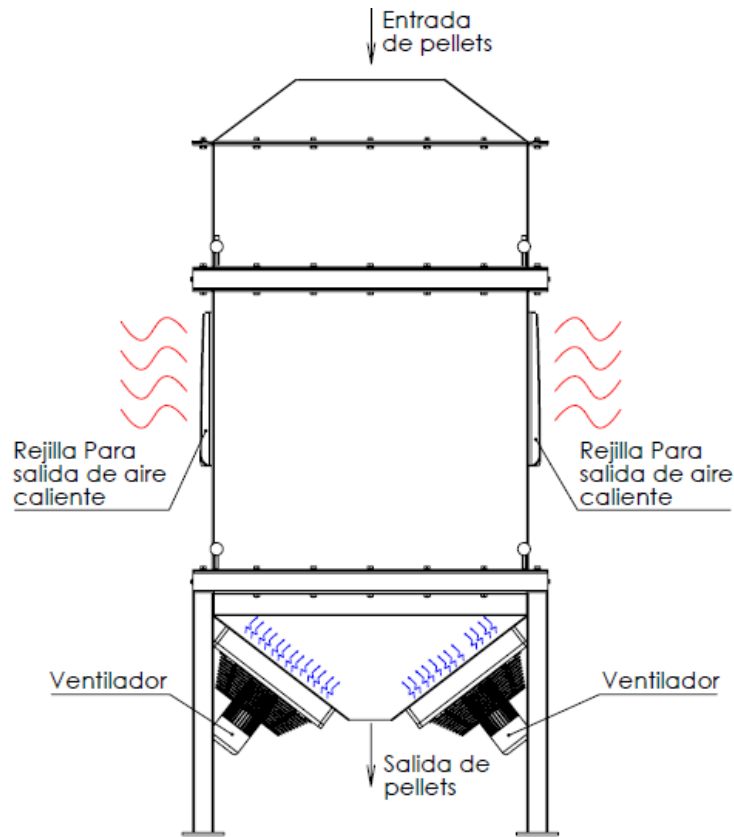
Tabla 50. Información técnica de la rejilla 50 FR-1

CAUDAL		mm	150x150	225x225	300x300	375x375	450x450	525x525	600x600
		tipo	6x6	9x9	12x12	15x15	18x18	21x21	24x24
(m³/h)	(l/s)	A _k	0,0093	0,0209	0,0373	0,0582	0,0838	0,1141	0,1490
1800	500,0	V _k					5,8	4,3	3,3
		X					10,5	9,0	7,9
		p _t					23,5	12,7	7,4
		NR					47	41	35

Fuente: <https://n9.cl/f98rp>

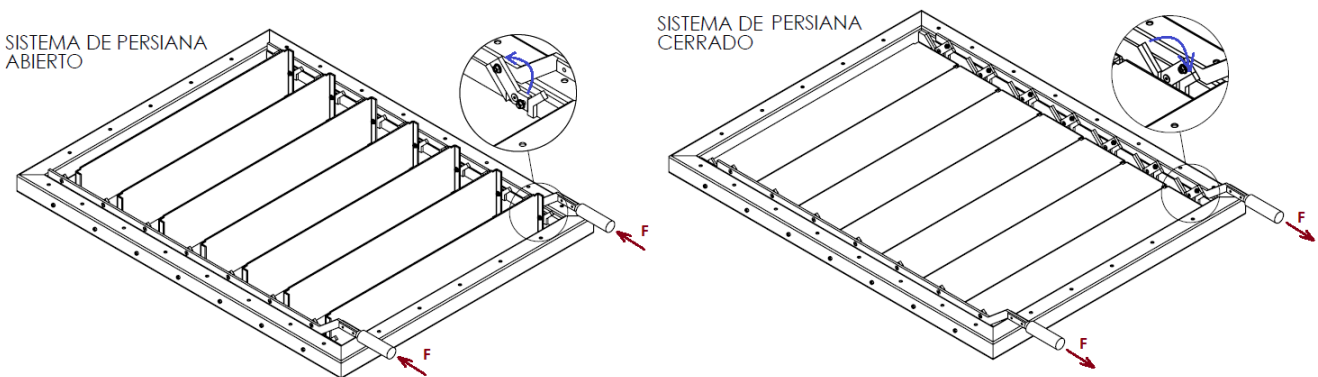
Para un caudal de 1697 m³/h, la rendija 50 FR-1 450x450 mm es la adecuada. En la figura 33, se presenta el esquema del enfriador con las dos rendijas.

Figura 33. Esquema del enfriador con dos rendijas de disipación de aire caliente



4.5.6 Mecanismo para el desplazamiento del pellet. El mecanismo presentado en la figura 34, tiene la función de permitir el desplazamiento de los pellets en las dos etapas, es de uso mecánico, el operario solo debe tirar de la barra para accionar el mecanismo y pueda caer el alimento, para volver a su estado inicial debe volver a jalar de la barra, para más especificaciones y detalles del mecanismo, consulte los planos adjuntos en los anexos.

Figura 34. Mecanismo de barras para el desplazamiento de pellets



4.5.6.1 Cálculo del diámetro de los pasadores

Tabla 51. Dimensionamiento de los pasadores del mecanismo

Dimensionamiento de los pasadores del mecanismo del enfriador				
$S_{sy} = 0.5 * S_y$	$n = \frac{S_{sy}}{\tau}$	$\tau = \frac{V}{A_s}$	$V = \frac{w}{cant}$	$A_s = \frac{\pi}{4} * \varnothing^2$

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
S_y	276	Mpa	Resistencia a la fluencia del AISI 304
w	490.5	N	Carga total ejercida sobre las platinas
$cant$	7	-	Cantidad de platinas
\varnothing	5	mm	Diámetro del pasador

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
S_{sy}	138	Mpa	Resistencia al cortante por teoría de esfuerzo cortante máximo
V	159.11	N	Fuerza cortante
A_s	19.63495408	mm ²	Área de corte
τ	8.103405759	Mpa	Esfuerzo cortante
n	34.05975317	-	Factor de seguridad

4.5.6.2 Cálculo de la resistencia de la barra del mecanismo

Tabla 52. Análisis de resistencia del mecanismo del enfriador

calculo de la resistencia de la barra del mecanismo del enfriador	
$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad n = \frac{S_y}{\sigma}$ $I = \frac{b * h^3}{12}$	

Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
M	233.9685	Nm	Momento generado
C	0.015	m	Distancia mayor al eje neutro
b	0.015	m	Base de la sección transversal de la viga
h	0.03	m	Largo de la sección transversal de la viga
S_y	276	Mpa	Esfuerzo de fluencia

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
I	3.375E-08	m ⁴	Momento de inercia
σ	103.986	Mpa	Esfuerzo de flexión
n	2.65420345	-	Factor de seguridad

4.5.7 Estructura de soporte. Los análisis realizados a la estructura del enfriador se muestran detalladamente en el anexo M.

4.6 DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS DE PELETIZADOS

En las secciones anteriores se diseñaron los equipos que están involucrados en el proceso de peletizado. Ahora, se procede a mostrar la forma en que estarán dispuestos todos y cada uno, en la figura 35 se muestra el diseño individual de cada máquina y en la figura 36 se muestra la configuración arreglada.

Figura 35. Diseño final de las máquinas que componen el equipo de peletizado

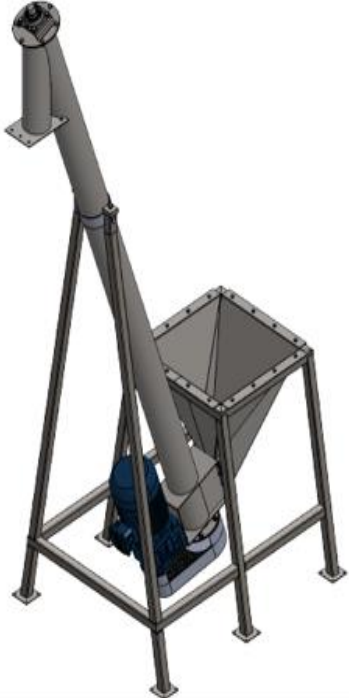
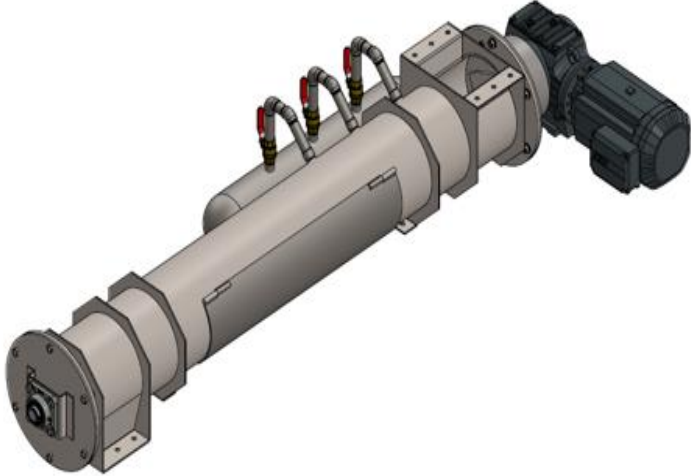
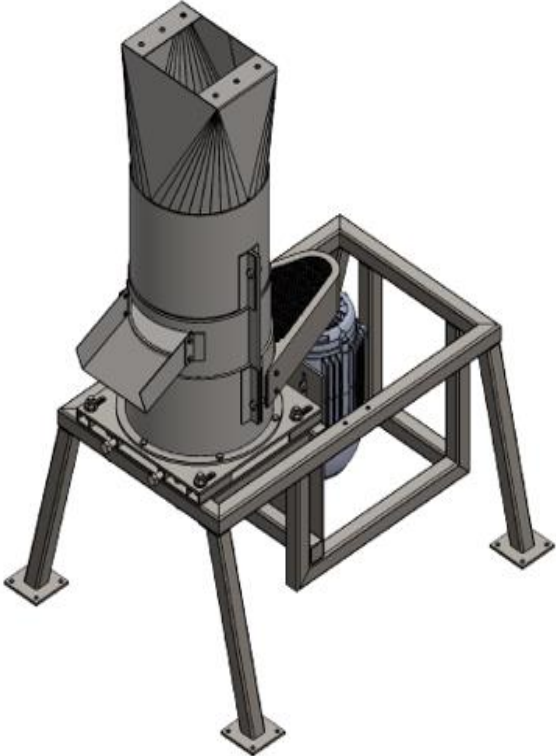
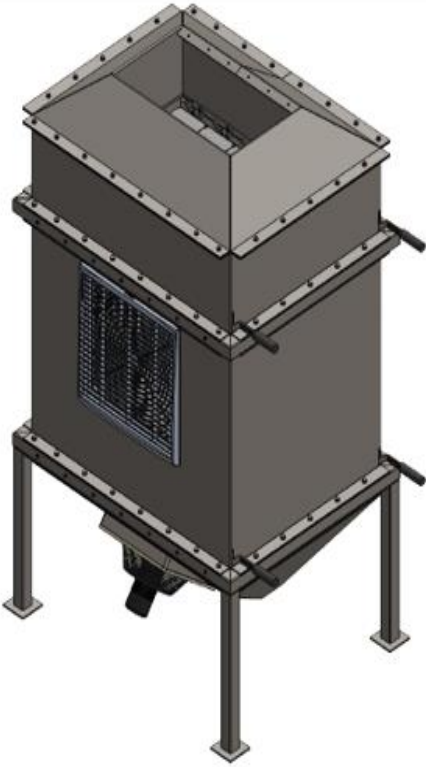
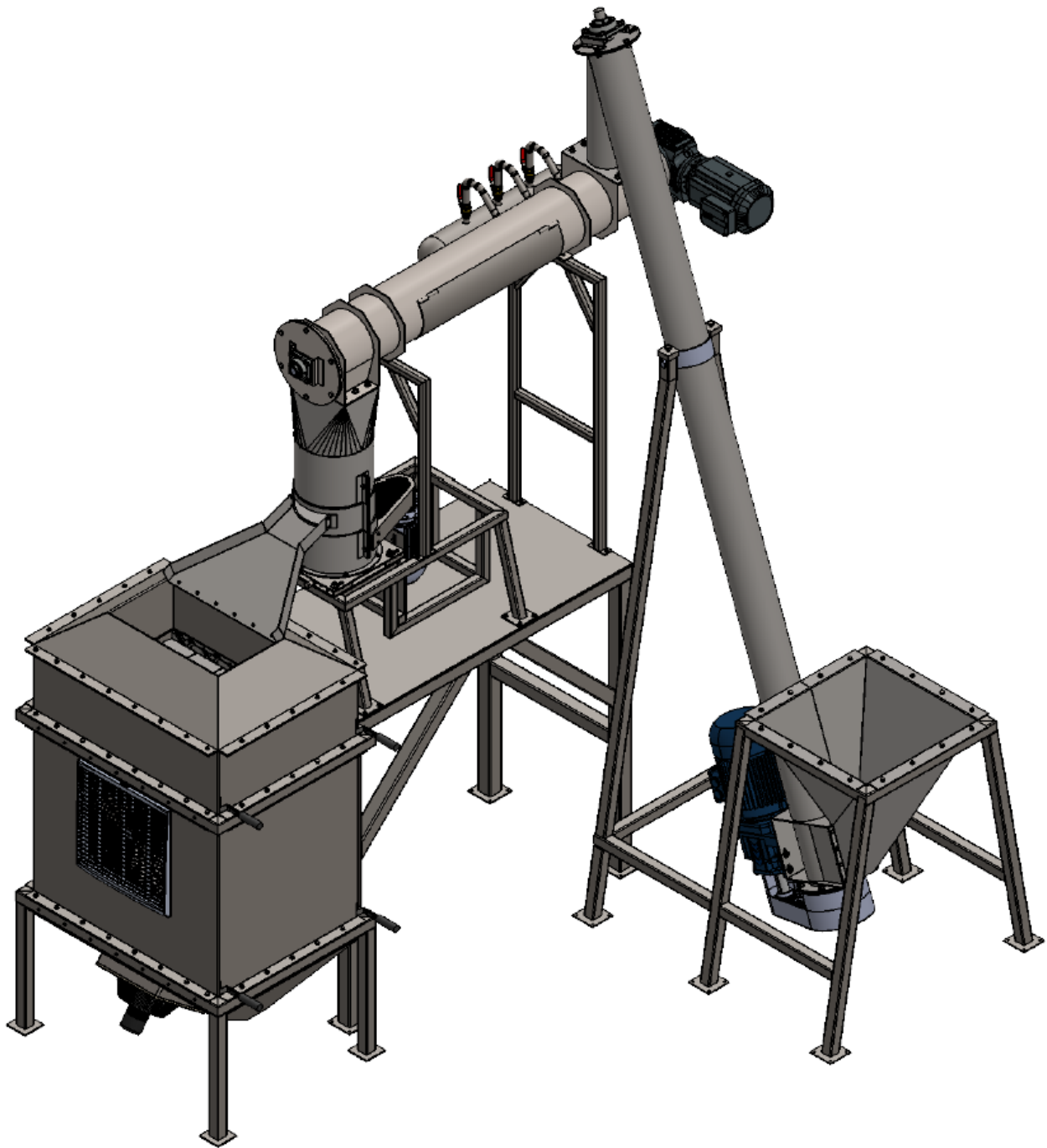
MAQUINAS DISEÑADAS	
Alimentador	Acondicionador
	
Peletizadora	Enfriador
	

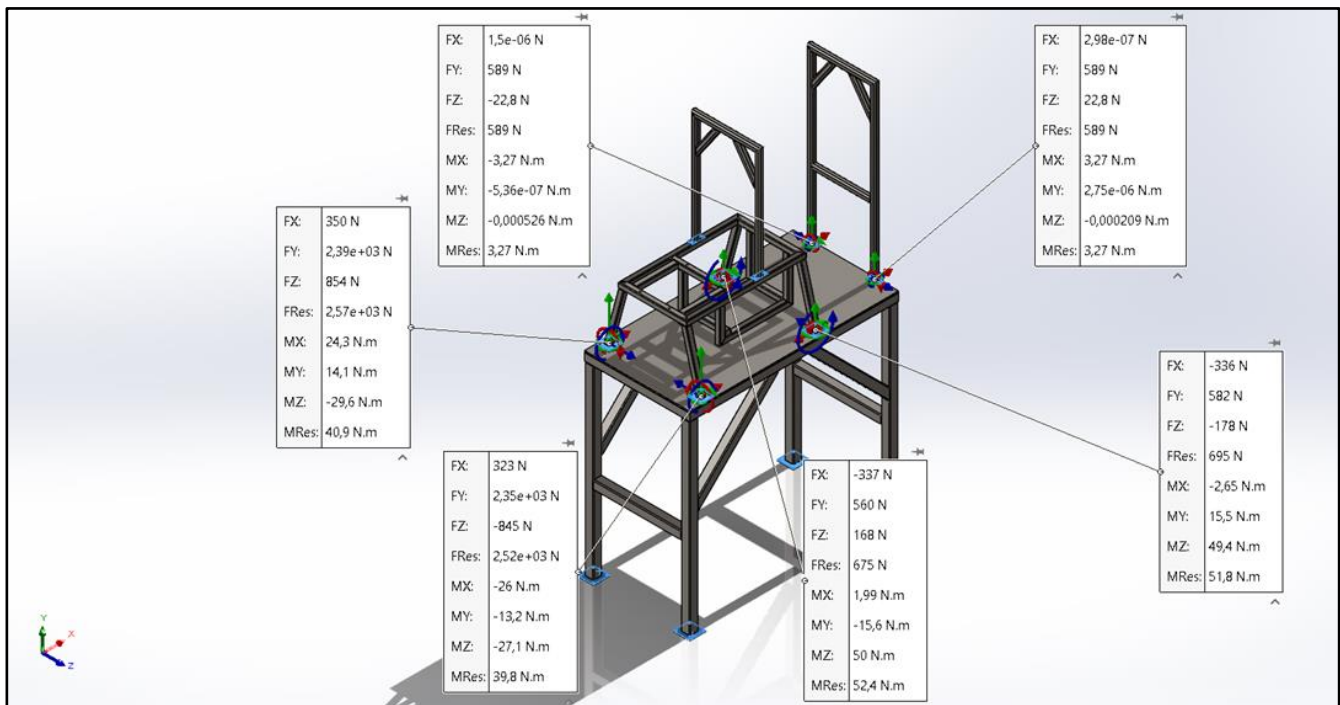
Figura 36. Disposición de los equipos de peletizado



Para más información sobre el dimensionamiento de cada equipo y detalles de diseño, puede ver los planos de diseño en los anexos.

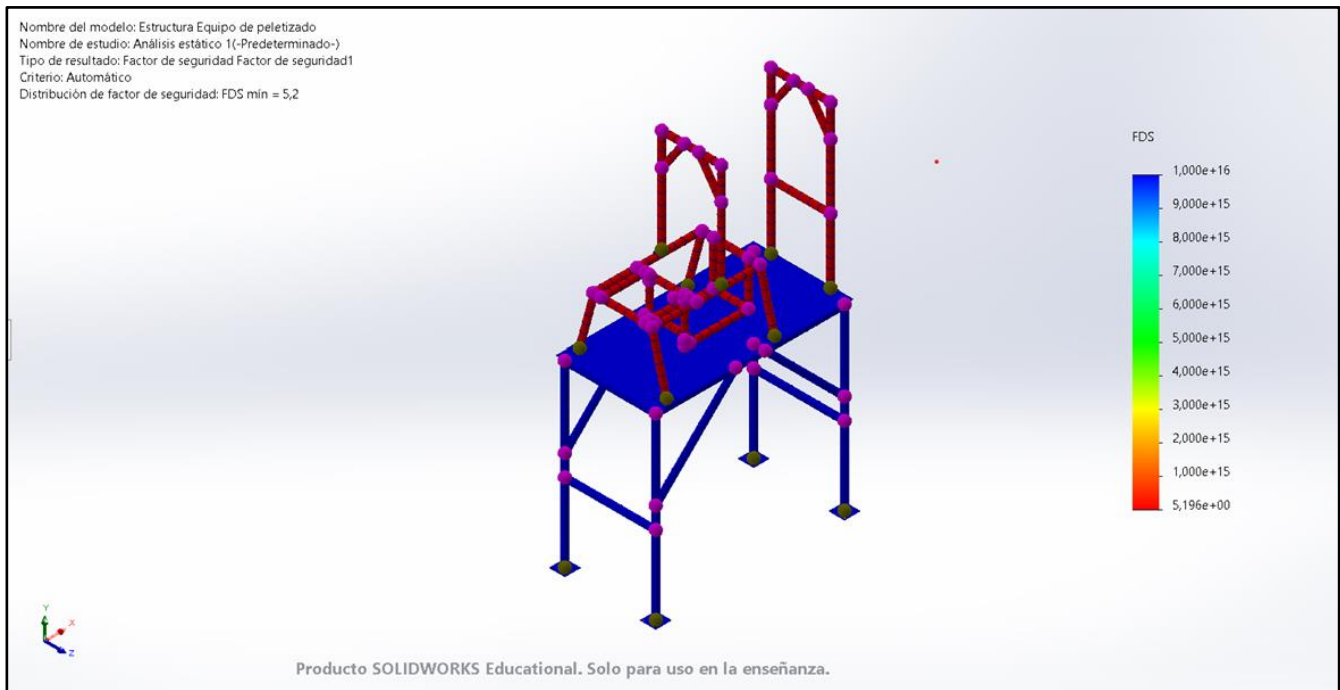
4.6.1 Análisis de resistencia de la estructura de soporte de la peletizadora y el acondicionador. Mediante el uso de SolidWorks se analiza tanto la resistencia de la estructura que soporta el acondicionador bajo una carga de 1177 N, como la que soporta la peletizadora bajo una carga de 1472 N, así como la mesa que resiste a ambas. En la figura 37 se muestran las reacciones generadas por las distintas cargas en la estructura del acondicionador y la peletizadora.

Figura 37. Reacciones generadas en la estructura del acondicionador y la peletizadora



Para determinar si las estructuras pueden soportar las cargas, se halló que el factor de seguridad mínimo para la estructura en su conjunto es de 5.2, en la figura 38 se muestra el factor de seguridad en cada zona de la estructura.

Figura 38. Factor de seguridad en la estructura de soporte del conjunto peletizadora-acondicionador



Los desplazamientos y las deformaciones unitarias generadas en la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador se muestran en la figura 39 y 40.

Figura 39. Desplazamientos ocasionados en la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador

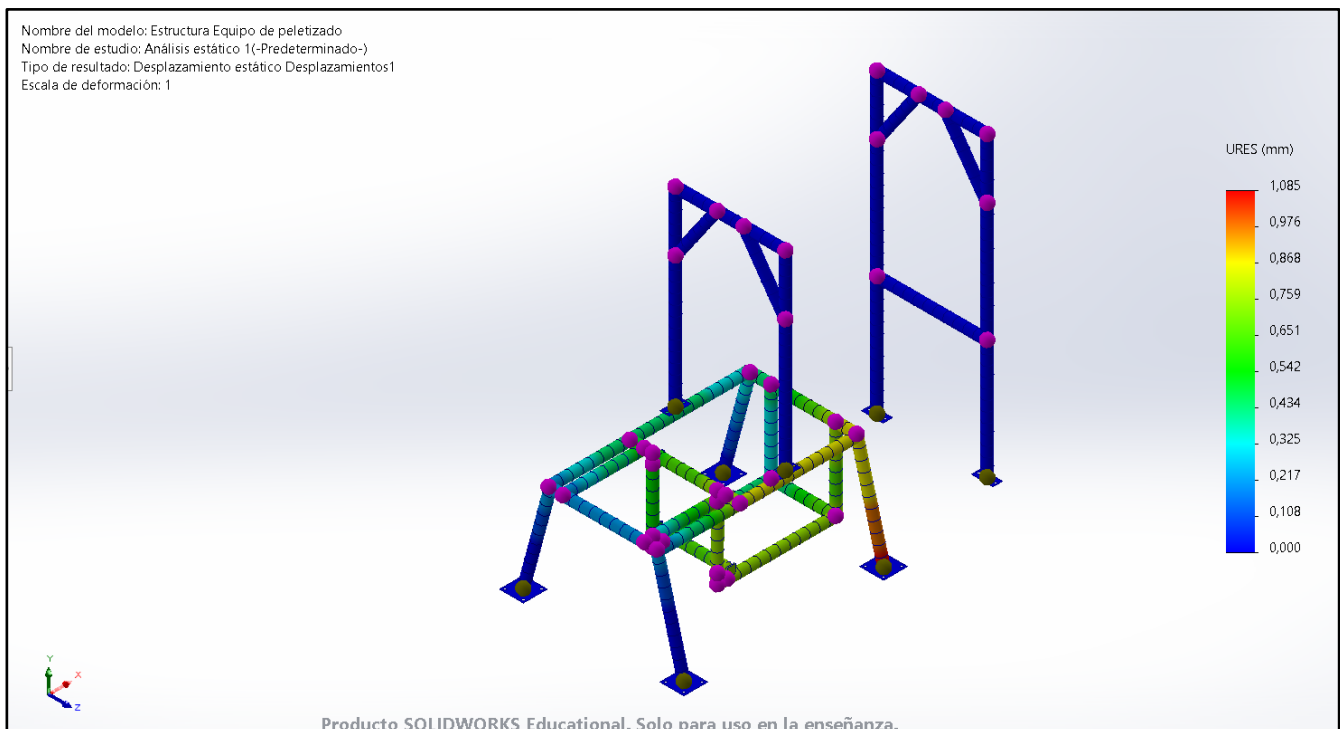
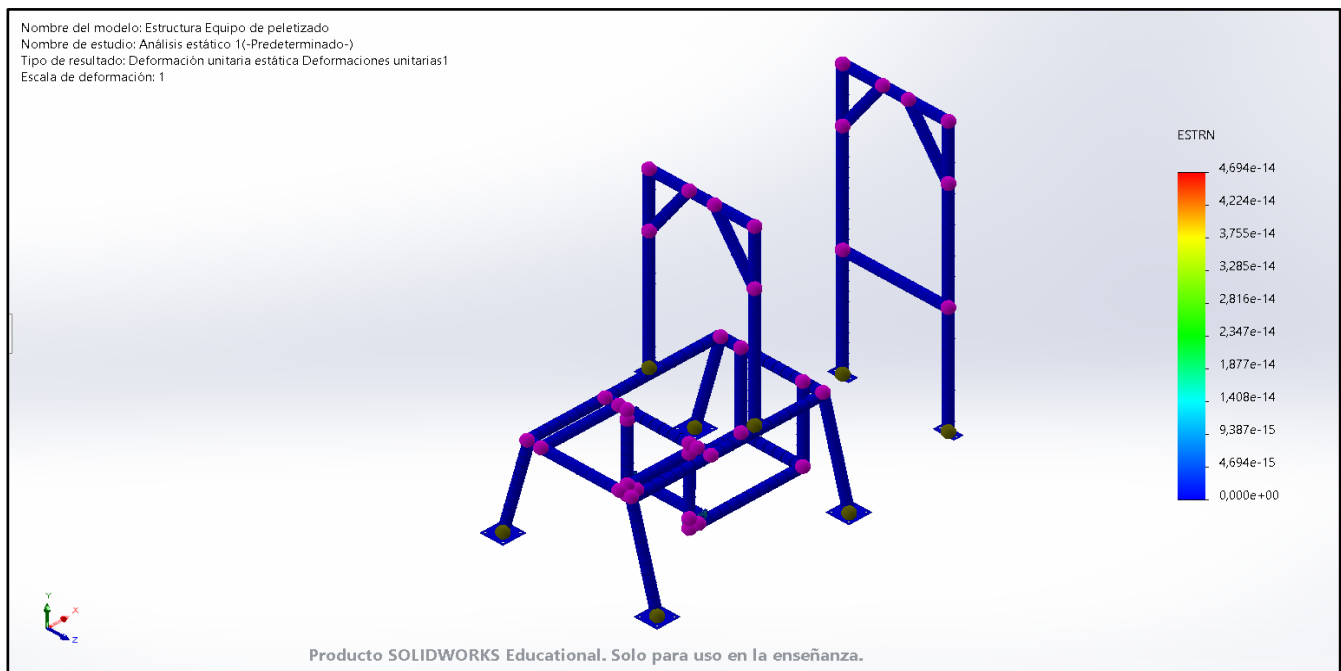
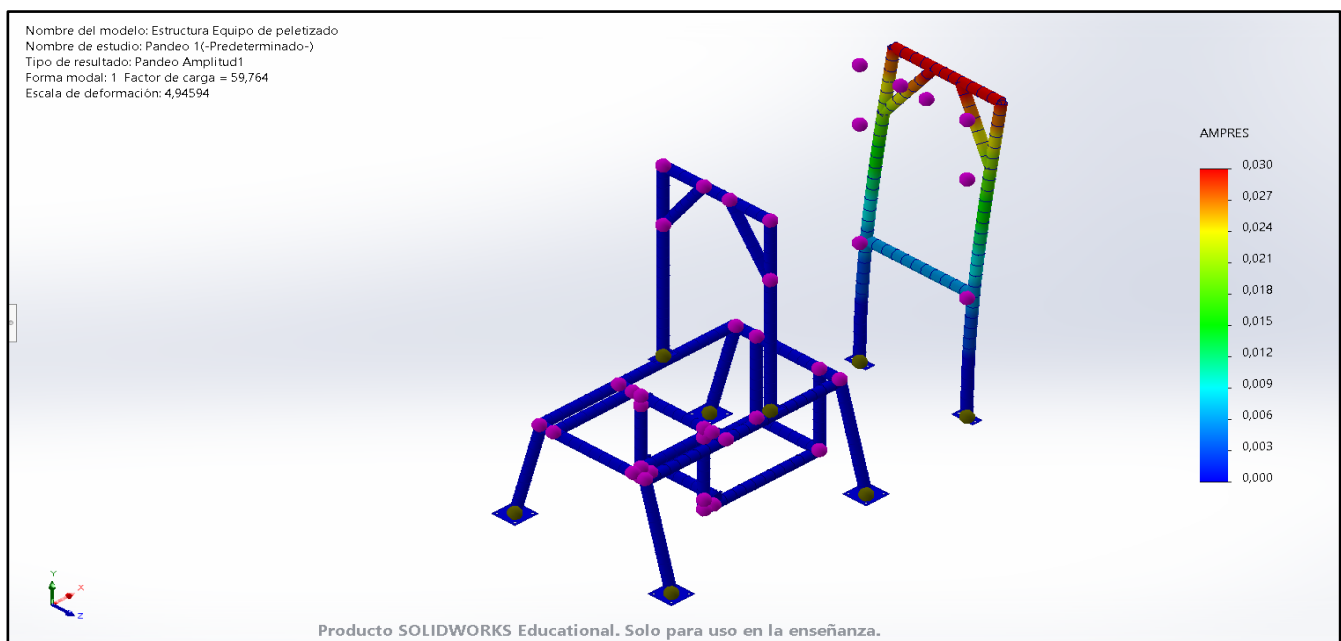


Figura 40. Deformación unitaria del conjunto peletizadora-acondicionador



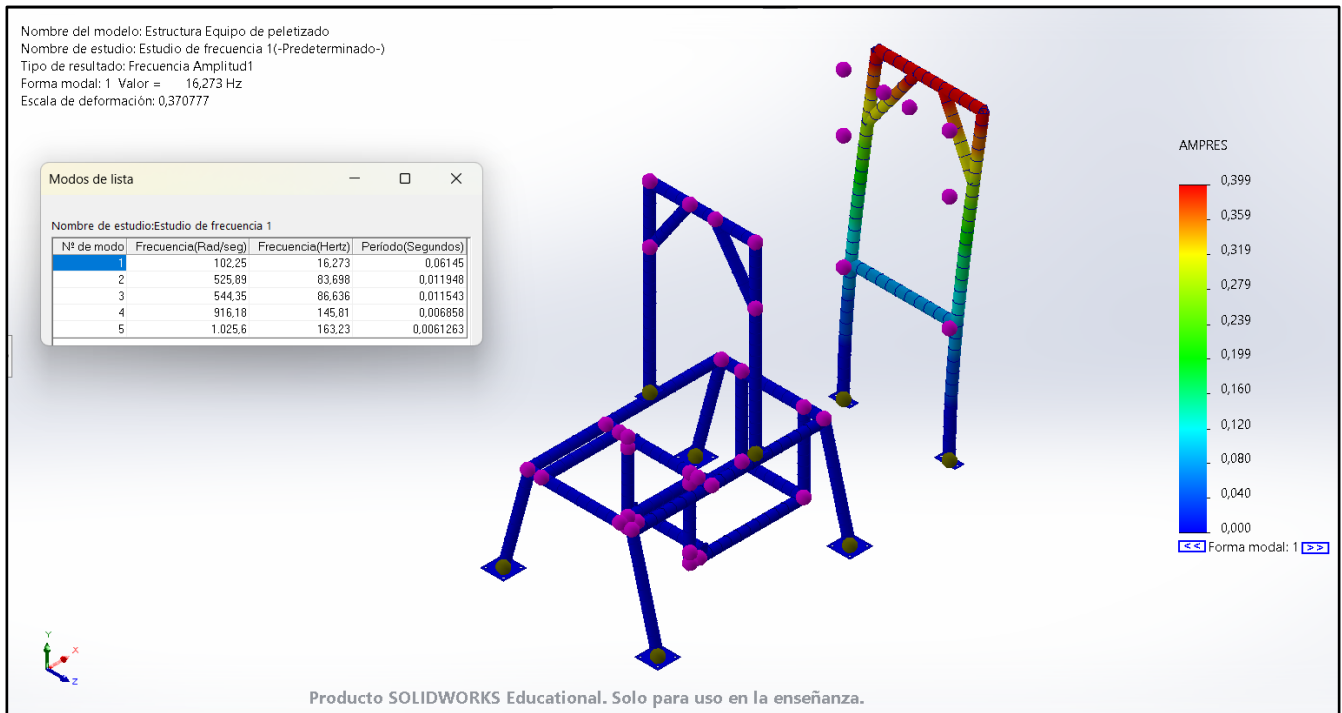
Se comprueba si hay riesgo de inestabilidad en la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador mediante un análisis de pandeo en SolidWorks. El estudio arrojó un factor de carga de 59.764, por lo cual, se prevé que no haya pandeo, figura 41.

Figura 41. Análisis de pandeo de la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador en SolidWorks



Además, se realiza un análisis de frecuencia para confirmar que la estructura no está a una frecuencia cercana a la frecuencia natural, con ayuda de SolidWorks se calculan los modos de frecuencia, figura 42, como se puede ver el nivel de frecuencia más bajo es de 16.273 Hz. El acondicionador opera a 38 rpm es decir, 0.63 Hz y la peletizadora opera a 692 rpm es decir, a 11.53 Hz. Por lo tanto, para la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador no se espera que haya falla por el fenómeno de resonancia.

Figura 42. Estudio de frecuencia para la estructura del conjunto peletizadora-acondicionador



5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA PELETIZADORA

Como cualquier etapa en el proceso de diseño de un producto, es necesario poner a prueba su funcionamiento mediante la construcción de prototipos para determinar si su diseño es adecuado o no. Dado que la máquina peletizadora resulto ser la más crítica entre las máquinas que componen el sistema de peletizado, según la matriz QFD y la tabla de ponderación mostradas en el capítulo 3, se concluyó que la sección de la cámara de peletizado era la que debía construirse.

El prototipo de la cámara de peletizado se escaló para una capacidad de producción de pellets de 50 Kg/h. Los cálculos realizados se pueden ver en el anexo E.

La fabricación del prototipo de la máquina peletizadora se llevó a cabo en el taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la universidad, el cual cuenta con los equipos necesarios, como tornos, fresadoras, equipos de soldadura y herramientas, que facilitaron la construcción y el ensamblaje del prototipo.

A continuación, se presentan tres hojas de ruta para la fabricación de piezas importantes de la máquina, así como la hoja de ruta principal para el ensamblaje total de la misma. También se incluyen fotos de los elementos de máquina fabricados y del ensamblaje. En el anexo N, se puede revisar las hojas de ruta del resto de componentes que conforman la máquina.

5.1 HOJAS DE RUTA

5.1.1 Matriz

N° de pieza: 16/39	Nombre del conjunto: Prototipo peletizadora Nombre de la pieza: Matriz plana	Número de piezas: 1	Plano de la pieza	
Material: AISI 1045	Dimensiones: Ø: 215mm L:1"	Fecha: 7/05/2024		
Item	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Corte de una lámina de 1" de espesor a 215 mm de diámetro.	Oxicorte	20 min	
20	Refrentado de 0.2mm por ambas caras para ajustar a 25mm de espesor.	Torno	7 min	
30	Cilindrado externo a 210 mm de diámetro.	Torno	8 min	
40	Perforación con broca de ¼".	Mandril – Torno	5 min	
50	Cilindrado interno a 34mm de diámetro.	Barra de alesado – Torno	7 min	
60	Cilindrado interno a 38mm de diámetro y 5mm de longitud.	Barra de alesado – Torno	4 min	
70	Cilindrado Interno a 42mm de diámetro y 11mm de longitud.	Barra de alesado – Torno	4 min	
80	Marcación con laser de los centros de los 290 agujeros.	Marcadora laser CNC	20 min	
90	Punzonado de los centros de los 290 agujeros.	Martillo – Yunque – Punzón	15 min	
100	Perforación de 290 agujeros pasantes con broca de 5mm de diámetro.	Taladro de árbol – Broca 5mm	580 min	
110	Perforación de 290 agujeros con broca de 6mm de diámetro a 5 mm de profundidad.	Taladro Radial – Broca 6mm	180 min	
120	Avellanado de 290 agujeros x 1mm de profundidad.	Taladro Radial – Avellana a 60°	90 min	
130	Perforación de 3 agujeros pasantes con broca de 8mm de diámetro.	Taladro de árbol – Broca 8mm.	8 min	

5.1.2 Portacuchillas







Nº de pieza: 10/39	Nombre del conjunto: Prototipo peletizadora Nombre de la pieza: Cubo porta cuchillas	Número de piezas: 1	Plano de la pieza	
Material: AISI 1045	Dimensiones: Ø: 1 ½" L:28 mm	Fecha: 7/05/2024		
Item	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
1	Corte de material a 28 mm de longitud.	Sierra mecánica	5 min	
2	Refrentado de 0.5mm por ambas caras para ajustar a 27mm.	Torno	2 min	
3	Cilindrado externo a 38 mm de diámetro.	Torno	2 min	
4	Perforación con broca de ¼".	Mandril – Torno	5 min	
5	Cilindrado interno a 24mm de diámetro.	Barra de alesado – Torno	5 min	
6	Fabricación de cuñero.		5 min	
7	Perforación de dos agujeros perpendicular a la superficie con profundidad de 4mm y ½" de diámetro, según plano.	Taladro de árbol	5 min	
Nº de pieza: 11/25	Nombre del conjunto: Prototipo peletizadora Nombre de la pieza: Eje porta cuchilla	Número de piezas: 2		
Material: AISI 1045	Dimensiones: Ø: 5/8" L:74 mm	Fecha: 7/05/2024		
Item	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	<p>NOTA: Esta pieza está compuesta por 3 piezas en total, los ejes encajan en los agujes del cubo y son soldados al Angulo de 10° como lo indica el plano.</p>
1	Corte de material a 74 mm de longitud.	Sierra mecánica	2 min	
2	Refrentado de ambas caras de 0.5mm para ajustar a longitud de 73mm.	Torno	2 min	
3	Cilindrado externo a 14 mm de diámetro.	Torno	5 min	
4	Cilindrado en un extremo a 12.7 mm de diámetro y 4mm de longitud.	Torno	2 min	
5	Aplanado de ambas caras uno con profundidad de 3.9mm y el otro de 2.1mm.	Fresadora	7 min	
6	Perforación de dos agujeros pasantes con broca de 5mm de diámetro según plano.	Taladro o fresadora	5 min	

5.1.3 Rodillos

Nº de pieza: 9/39	Nombre del conjunto: Prototipo peletizadora Nombre de la pieza: Matriz plana		Número de piezas: 1	Plano de la pieza
Material: AISI 1045	Dimensiones: Ø: 2.25" L:51mm	Fecha: 7/05/2024		
Item	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Corte de una barra de 2.25" de diámetro a 21 mm de longitud.	Sierra	5 min	
20	Refrentado de 0.5mm por ambas caras para ajustar a 50mm de longitud.	Torno	5 min	
30	Cilindrado externo a 100 mm de diámetro.	Torno	8 min	
40	Perforación con broca de ¼".	Mandril – Torno	5 min	
50	Cilindrado interno a 21mm de diámetro.	Barra de alesado – Torno	7 min	
60	Cilindrado interno a 28mm de diámetro y 1mm de longitud.	Barra de alesado – Torno	4 min	
70	Cilindrado Interno a 47mm de diámetro y 14mm de longitud.	Barra de alesado – Torno	8 min	
80	Perforación de 3 agujeros de 2.5 mm de diámetro y mm de longitud.	Taladro – Broca de 2.5mm	5 min	
90	Roscado con machuelo M3x0.5.	Prensa – Machuelo M3x0.5	15 min	
100	Planeado perpendicular a la superficie con escariador de ¼" de diámetro y profundidad de 2 mm, realizar las 18 ranuras a 20° cada una.	Fresadora – cabezal divisor – Escariador de ¼"	180 min	

A continuación, se muestra en la tabla 53 algunas fotografías de las piezas que se fabricaron para el prototipo de la máquina peletizadora.

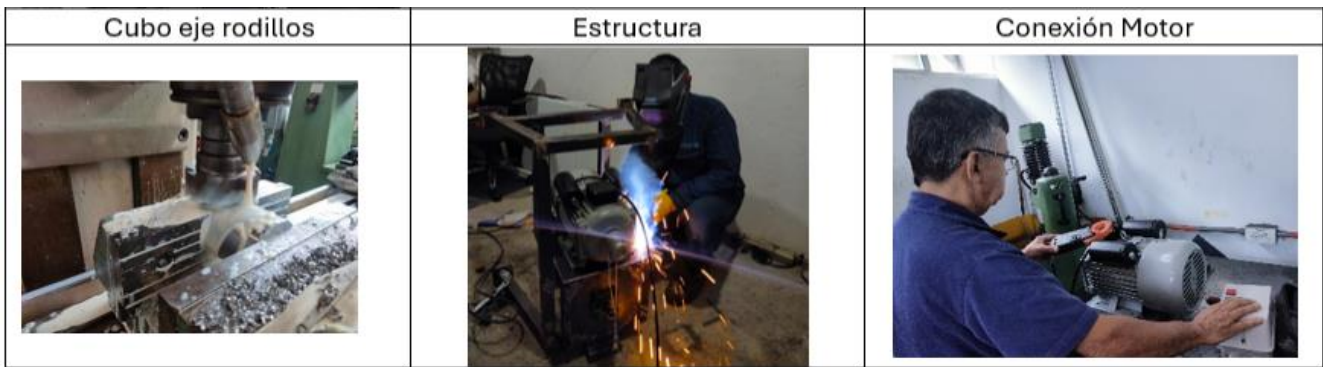
Tabla 53. Fotografías de las piezas manufacturadas para el prototipo

PIEZAS DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA PELETIZADORA		
Matriz	Rodillos	Eje Rodillos
		
Plato Expulsor de Pellet	Cuchilla	Porta cuchillas
		
Buje - Matriz	Eje Principal	Base Chumacera Superior
		
Base Peletizadora Estructura	Base Peletizadora Móvil	Carcasa Inferior
		
Carcasa Salida del Pellet	Carcasa Superior	Tolva

		
Estructura	Polea Eje Principal	Polea Motor
		
Motor	Guarda Motor	Chumacera
		

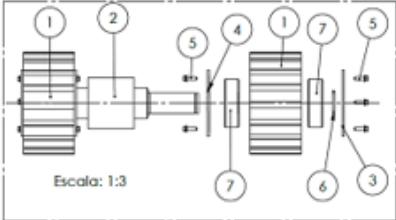
Tabla 54. Fabricación de algunos elementos de la máquina

CONSTRUCCION DE ALGUNAS PIEZAS MAQUINA PELETIZADORA		
Matriz	Rodillos	Templado de Cuchillas
		

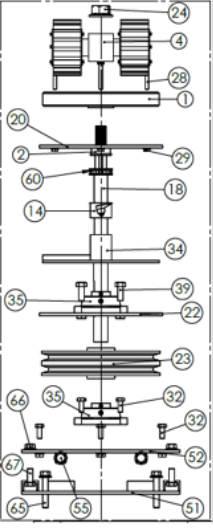
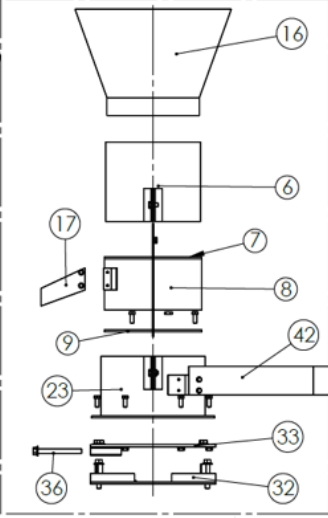
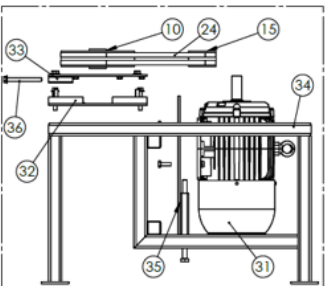


5.2 MONTAJE DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA PELETIZADORA

5.2.1 Hoja de ensamble del sistema de rodillos

Nº de pieza: 8/39		Nombre del conjunto: Peletizadora		Número de piezas: 1		Plano de la pieza																									
Material: A36		Piezas - Eje Rodillos. - Rodillo. - Rodamiento de bolas. - Chaveta de retención.		Fecha: 8/05/2024																											
Ítem	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación																												
10	Acomode los rodillos en la prensa y ubique el rodamiento dentro del agujero del rodillo, accione la prensa y acomode el rodamiento hasta el tope.	Prensa Hidráulica	5 min	 <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>ITEM NO.</th> <th>DESCRIPTION</th> <th>QTY.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Rodillo</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Eje rodillos 50 kg</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Tapa rodillo - Exterior</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Tapa rodillo - Interior</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>AM B18.6.7M 3x10-F-N</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>927.8M - 30M1-15</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>RODAMIENTO SKF 6204-2RS</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>				ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.	1	Rodillo	2	2	Eje rodillos 50 kg	1	3	Tapa rodillo - Exterior	2	4	Tapa rodillo - Interior	2	5	AM B18.6.7M 3x10-F-N	12	6	927.8M - 30M1-15	2	7	RODAMIENTO SKF 6204-2RS	4
ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.																													
1	Rodillo	2																													
2	Eje rodillos 50 kg	1																													
3	Tapa rodillo - Exterior	2																													
4	Tapa rodillo - Interior	2																													
5	AM B18.6.7M 3x10-F-N	12																													
6	927.8M - 30M1-15	2																													
7	RODAMIENTO SKF 6204-2RS	4																													
20	Realice el mismo procedimiento con la otra cara, por rodillo son dos rodamientos.	Prensa Hidráulica	3 min																												
30	Ingrese el eje dentro de la tapa interna y atravesé los rodillos.	Martillo	2 min																												
40	Atornille la tapa interna al rodillo con tornillo y guaza.	Llave Bristol	3 min																												
50	Coloque la chaveta en el extremo del eje y asegúrese que quede arraz del rodamiento externo.	Pinzas para chavetas de retención	3 min																												
60	Atornille la tapa externa al rodillo con tornillo y guaza.	Llave Bristol	3 min																												

5.2.2 Hoja de ensamble Sistema de Peletizado

Nº de pieza: 3-4/39	Nombre del conjunto: Prototipo peletizadora Nombre: Ensamble sistema de peletizado	Número de piezas: Según tabla	PLANO DE ENSAMBLE																																																										
Material: -	Lugar: Taller de mecánica de la Universidad Industrial de Santander	Fecha: 7/05/2024																																																											
Item	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación																																																										
10	Montaje de chumacera en la base móvil de la peletizadora con sus respectivos tornillos y guazas.	Llave fija de ¼"	5 min	 <table border="1" data-bbox="1177 430 1421 745"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>QTY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Matriz plana 50 Kg</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>Buje matriz 50</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>SISTEMA DE RODILLOS</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>CUCHILLAS 50KG</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>Eje Principal</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>Carcasa - superior</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>Soporte matriz</td><td>1</td></tr> <tr><td>8</td><td>Carcasa - Salida pellet</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>Base peletizadora</td><td>1</td></tr> <tr><td>10</td><td>Polea eje principal</td><td>1</td></tr> <tr><td>15</td><td>Polea - motor</td><td>1</td></tr> <tr><td>16</td><td>Tolva</td><td>1</td></tr> <tr><td>17</td><td>Canal de salida</td><td>1</td></tr> <tr><td>25</td><td>Salida del pellet</td><td>1</td></tr> <tr><td>26</td><td>CHUMACERA 1 IN</td><td>2</td></tr> <tr><td>32</td><td>Base peletizadora - Estructura</td><td>1</td></tr> <tr><td>33</td><td>Base peletizadora movil</td><td>1</td></tr> <tr><td>43</td><td>Rodamiento de carga axial de 24 mm</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	ITEM	DESCRIPCION	QTY	1	Matriz plana 50 Kg	1	2	Buje matriz 50	1	3	SISTEMA DE RODILLOS	1	4	CUCHILLAS 50KG	1	5	Eje Principal	1	6	Carcasa - superior	1	7	Soporte matriz	1	8	Carcasa - Salida pellet	1	9	Base peletizadora	1	10	Polea eje principal	1	15	Polea - motor	1	16	Tolva	1	17	Canal de salida	1	25	Salida del pellet	1	26	CHUMACERA 1 IN	2	32	Base peletizadora - Estructura	1	33	Base peletizadora movil	1	43	Rodamiento de carga axial de 24 mm	1
ITEM	DESCRIPCION	QTY																																																											
1	Matriz plana 50 Kg	1																																																											
2	Buje matriz 50	1																																																											
3	SISTEMA DE RODILLOS	1																																																											
4	CUCHILLAS 50KG	1																																																											
5	Eje Principal	1																																																											
6	Carcasa - superior	1																																																											
7	Soporte matriz	1																																																											
8	Carcasa - Salida pellet	1																																																											
9	Base peletizadora	1																																																											
10	Polea eje principal	1																																																											
15	Polea - motor	1																																																											
16	Tolva	1																																																											
17	Canal de salida	1																																																											
25	Salida del pellet	1																																																											
26	CHUMACERA 1 IN	2																																																											
32	Base peletizadora - Estructura	1																																																											
33	Base peletizadora movil	1																																																											
43	Rodamiento de carga axial de 24 mm	1																																																											
20	Montaje de base móvil de la peletizadora en los tornillos de la peletizadora móvil, cerciórese que desplaza suavemente sobre las guías.	Llave fija de ½"	5 min																																																										
30	Monte el plato expulsor dentro del eje hasta el tope de diámetro de 24mm.	Prensa Hidráulica	8 min																																																										
40	Monte le sistema de cuchillas hasta el tope que genera el plato expulsor de pellet.	Prensa Hidráulica	5 min																																																										
50	Montaje de polea en el eje principal con su respectivo cuñero y prisionero.	Llave Bristol de ¼"	7 min																																																										
60	Introduzca el eje con la polea dentro de la carcasa inferior y acomode las correas en la cavidad de la carcasa. Atornille la carcasa a la base móvil de la peletizadora con sus respectivos tornillos tuercas y guazas.	Llave fija de ½"	4 min																																																										
70	Montaje de chumacera en la base de la carcasa salida de pellet.	Llave fija de ¾"	8 min																																																										
80	Atornille la basa de la carcasa salida de pellet a la carcasa inferior con sus respectivos tornillos, guazas y tuercas, Ajuste los prisioneros de las chumaceras al eje.	Llave fija de ½" llave Bristol 1/8"	5 min																																																										
90	Encaje la carcasa de salida de pellet en las guías de la carcasa inferior y asegúrelas con tornillo y tuerca en los agujeros respectivos.	Llave fija # 14	15 min																																																										
100	Monte el rodamiento axial en el eje y que descansa sobre el portacuchillas.	Martillo de Goma	180 min																																																										
110	Monte la matriz en el eje y que descansa sobre el rodamiento de carga axial y la parte superior de la carcasa de salida de pellet, atornille la matriz a la carcasa en los agujeros con sus respectivos tornillos, tuercas y guazas.	Llave fija de ½" - Martillo de Goma																																																											
120	Enrosque las tuercas al eje y apriete los rodillos hasta que queden fijos, los rodillos descansan y giran sobre la matriz.	Llave fija # 28																																																											
130	Monten la carcasa superior sobre las guías y atornille la carcasa de salida de pellet a la superior en los agujeros.	Llave # 14																																																											
140	Monte la tolva encima de la carcasa superior, entra a presión.	Martillo de goma																																																											
				 <table border="1" data-bbox="1242 924 1404 1291"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>QTY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Matriz plana 50 Kg</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>Buje matriz 50</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>SISTEMA DE RODILLOS</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>CUCHILLAS 50KG</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>Eje Principal</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>Carcasa - superior</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>Soporte matriz</td><td>1</td></tr> <tr><td>8</td><td>Carcasa - Salida pellet</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>Base peletizadora</td><td>1</td></tr> <tr><td>16</td><td>Tolva</td><td>1</td></tr> <tr><td>17</td><td>Canal de salida</td><td>1</td></tr> <tr><td>23</td><td>Carcasa - inferior</td><td>1</td></tr> <tr><td>25</td><td>Salida del pellet</td><td>1</td></tr> <tr><td>33</td><td>Base peletizadora movil</td><td>1</td></tr> <tr><td>42</td><td>Guardapoleas</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	ITEM	DESCRIPCION	QTY	1	Matriz plana 50 Kg	1	2	Buje matriz 50	1	3	SISTEMA DE RODILLOS	1	4	CUCHILLAS 50KG	1	5	Eje Principal	1	6	Carcasa - superior	1	7	Soporte matriz	1	8	Carcasa - Salida pellet	1	9	Base peletizadora	1	16	Tolva	1	17	Canal de salida	1	23	Carcasa - inferior	1	25	Salida del pellet	1	33	Base peletizadora movil	1	42	Guardapoleas	1									
ITEM	DESCRIPCION	QTY																																																											
1	Matriz plana 50 Kg	1																																																											
2	Buje matriz 50	1																																																											
3	SISTEMA DE RODILLOS	1																																																											
4	CUCHILLAS 50KG	1																																																											
5	Eje Principal	1																																																											
6	Carcasa - superior	1																																																											
7	Soporte matriz	1																																																											
8	Carcasa - Salida pellet	1																																																											
9	Base peletizadora	1																																																											
16	Tolva	1																																																											
17	Canal de salida	1																																																											
23	Carcasa - inferior	1																																																											
25	Salida del pellet	1																																																											
33	Base peletizadora movil	1																																																											
42	Guardapoleas	1																																																											
				 <table border="1" data-bbox="1226 1428 1388 1711"> <thead> <tr> <th>ITEM NO.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>QTY.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>Polea eje principal</td><td>1</td></tr> <tr><td>15</td><td>Polea - motor</td><td>1</td></tr> <tr><td>23</td><td>Carcasa - inferior</td><td>1</td></tr> <tr><td>24</td><td>Carena</td><td>1</td></tr> <tr><td>31</td><td>MOTOR 1HP</td><td>1</td></tr> <tr><td>32</td><td>Base peletizadora - Estructura</td><td>1</td></tr> <tr><td>33</td><td>Base peletizadora movil</td><td>1</td></tr> <tr><td>35</td><td>Anchete motor</td><td>1</td></tr> <tr><td>42</td><td>Guardapoleas</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	ITEM NO.	DESCRIPCION	QTY.	10	Polea eje principal	1	15	Polea - motor	1	23	Carcasa - inferior	1	24	Carena	1	31	MOTOR 1HP	1	32	Base peletizadora - Estructura	1	33	Base peletizadora movil	1	35	Anchete motor	1	42	Guardapoleas	1																											
ITEM NO.	DESCRIPCION	QTY.																																																											
10	Polea eje principal	1																																																											
15	Polea - motor	1																																																											
23	Carcasa - inferior	1																																																											
24	Carena	1																																																											
31	MOTOR 1HP	1																																																											
32	Base peletizadora - Estructura	1																																																											
33	Base peletizadora movil	1																																																											
35	Anchete motor	1																																																											
42	Guardapoleas	1																																																											

A continuación, se muestra en la tabla 55 algunas fotografías del montaje de la máquina peletizadora.

Tabla 55. Ensamble del Prototipo de máquina peletizadora

ALGUNAS IMÁGENES DEL ENSAMBLE DE LA MAQUINA		
Estructura	Montaje motor	Montaje base peletizadora fija
		
Montaje de chumaceras	Montaje base peletizadora móvil	Montaje portacuchillas y plato
		
Montaje de eje – Polea y correa	Tensión de Correas	Montaje Carcas salida Pellet
		

<p>Rodamiento de carga axial</p> 	<p>Ensamble de rodillos</p> 	<p>Montaje Matriz y Rodillos</p> 
<p>Montaje Carcasa Superior</p> 	<p>Pintada de Piezas</p> 	<p>Ensamble Final</p> 

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 PRUEBAS

Para verificar el estado y el correcto funcionamiento del prototipo de la máquina peletizadora se realizan las siguientes pruebas:

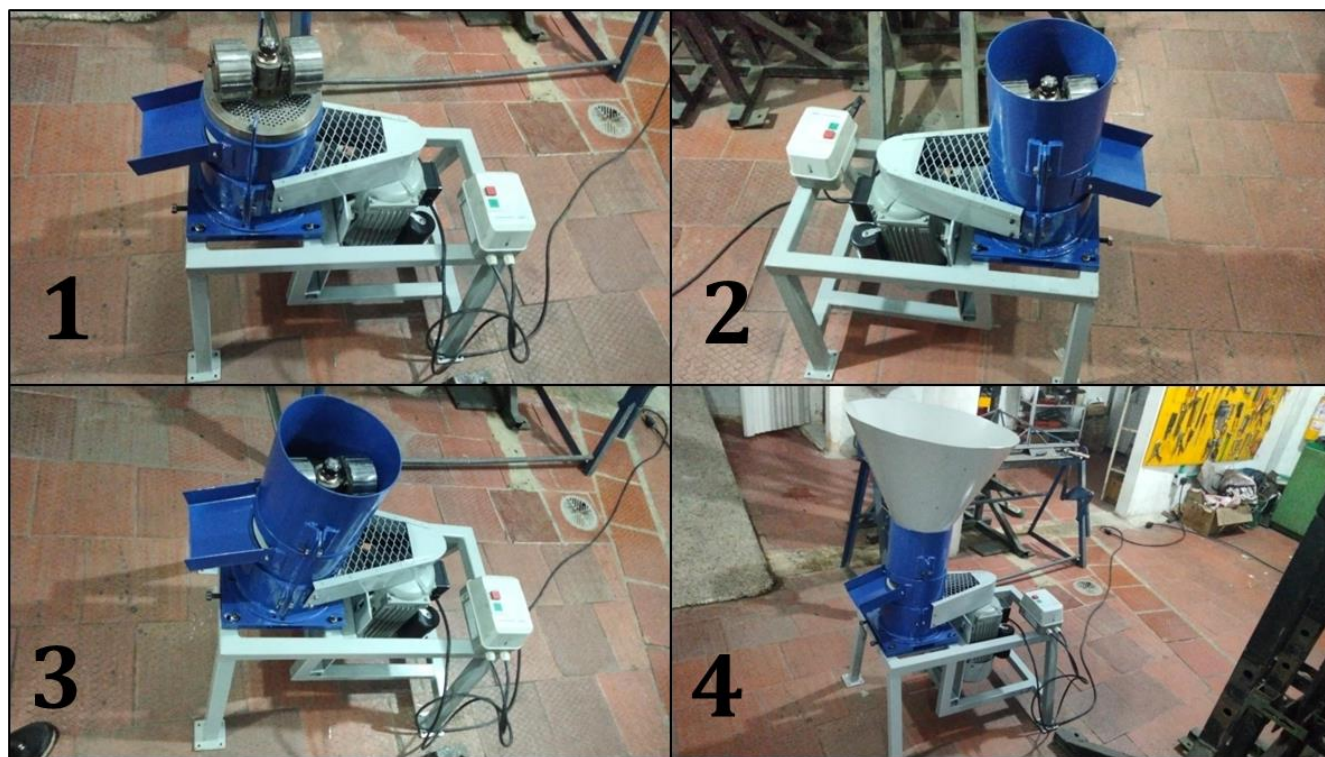
Verificación de las dimensiones de los componentes de la máquina y revisión del montaje, prueba de funcionamiento sin carga, prueba de funcionamiento con carga y verificación del pellet producido por la máquina.

6.1.1 Verificación de las dimensiones del prototipo y revisión del montaje. Antes de encender la peletizadora es importante comprobar que los componentes manufacturados tengan las dimensiones estipuladas en los planos de diseño y construcción. En la tabla 56, se presentan los resultados de la inspección de los componentes de la máquina y su montaje, figura 43.

Tabla 56. Inspección de la máquina peletizadora

INSPECCIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LA PELETIZADORA	
Fecha de inspección: 27/08/2024	
Lugar de inspección: Granja "El Lucero"	
Tiempo de inspección: 25 min	
REFERENCIA	ESTADO
Tolva	OK
Rodillos	OK
Eje rodillos	OK
Matriz	OK
Sistema de corte	OK
Plato saca-pellets	OK
Eje principal	OK
Transmisión	OK
Estructura	OK
Soporte de los rodamientos	OK
Montaje del sistema	OK

Figura 43. Montaje final del prototipo de la máquina peletizadora



6.1.2 Funcionamiento sin carga. Una vez comprobado las dimensiones y el montaje, se procede a inspeccionar y verificar el comportamiento de la máquina cuando esta encendida y no tiene carga. La tabla 57 muestra los resultados de la inspección.

Tabla 57. Inspección del funcionamiento de la peletizadora sin carga

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
Fecha de inspección: 08/09/2024	
Lugar de inspección: Granja "El Lucero"	
Tiempo de inspección: 5 min	
REFERENCIA	ESTADO
Transmisión	OK
Sistema eléctrico	OK
Ruido	OK
Vibraciones	OK

Una vez comprobado el correcto funcionamiento, se procede a verificar el consumo de potencia del motor. En la figura 44 se muestra la corriente que consume el motor sin carga. El procedimiento utilizado para el cálculo de la potencia se muestra en la tabla 58.

Figura 44. Consumo de corriente del motor sin carga



Tabla 58. Consumo de potencia del motor sin carga

Cálculo del consumo de potencia del motor			
$Pot_{motor} = V * I * \eta_{motor}$			
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
V	220	v	Voltaje de la línea
I	4.057	A	Corriente consumida
η_{motor}	0.77	-	Eficiencia del motor
Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Pot_{motor}	0.687256	Kw	Potencia consumida en el motor
Pot_{motor}	0.920923	hp	Potencia consumida en el motor

6.1.3 Funcionamiento con carga. Tras realizar las pruebas anteriores, se carga la máquina con alimento para verificar que su funcionamiento sea el esperado. La tabla 59 muestra los resultados obtenidos de la inspección.

Tabla 59. Inspección del funcionamiento de la peletizadora cuando tiene carga

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CON CARGA	
Fecha de inspección: 08/09/2024	
Lugar de inspección: Granja "El Lucero"	
Tiempo de inspección: 15 min	
REFERENCIA	ESTADO
Transmisión	OK
Sistema eléctrico	OK
Ruido	OK
Vibraciones	OK
Descarga de pellets	OK
Nivel de polvo	OK

El alimento se suministra con paladas constantes en la tolva. Tras comprobar el funcionamiento de la máquina, se verificará el consumo de potencia del motor. En la figura 45 se muestra el consumo de corriente del motor con carga. El procedimiento utilizado para el cálculo de la potencia se muestra en la tabla 60.

Figura 45. Consumo de corriente del motor con carga



Tabla 60. Consumo de potencia del motor con carga

Cálculo del consumo de potencia del motor			
$Pot_{motor} = V * I * \eta_{motor}$			
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
V	220	v	Voltaje de la línea
I	8.720	A	Corriente consumida
η_{motor}	0.77	-	Eficiencia del motor
Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Pot_{motor}	1.477168	Kw	Potencia consumida en el motor
Pot_{motor}	1.979405	hp	Potencia consumida en el motor

6.2 RESULTADOS

La calidad del pellet producido cumple con las dimensiones planteadas en los objetivos. En la figura 46 se muestra el producto terminado.

Figura 46. Pellet como producto terminado



Para medir la capacidad de la máquina se puso en funcionamiento la máquina y se pesó la cantidad de pellet producidos en un minuto y luego se multiplico por 60 para saber la capacidad en Kg/h, en la figura 47 se evidencia un pesaje de 2.27 Kg, esto quiere decir que se obtuvo una capacidad de 136.26 Kg/h, aproximadamente la máquina quedo produciendo 140 Kg/h.

Figura 47. Pellet producido en un minuto



El prototipo quedo totalmente funcional, el sistema de rodillos gira adecuadamente sobre la matriz sin levantarse debido al alimento gracias al rodamiento de carga axial que se ubicó debajo de la matriz, las cuchillas cortan adecuadamente el pellet dejándolo de las dimensiones anteriormente mostradas cabe aclarar que es muy importante la distancia que hay entre la matriz y las cuchillas ya que es la longitud final del pellet. El plato expulsor cumple su función y permite un buen desalojo de pellet de la carcasa.

La peletizadora aunque se diseñó para que pueda soportar una capacidad de flujo de 50 kg/h, al ponerla en funcionamiento se descubrió que tiene una capacidad de producción de 140 kg/h, esto como consecuencia del incremento que se realizó de la cantidad de agujeros en la matriz al momento de fabricarla debido a la cantidad de material que se dejaba en desuso en la matriz.

Figura 48. Máquina Funcional



7. VIABILIDAD E IMPACTO ECONOMICO DE LA PELETIZADORA

7.1 COSTOS DE LA MÁQUINA PELETIZADORA

Para elaborar el análisis económico de la máquina peletizadora es necesario tomar en cuenta los distintos costos involucrados en la construcción de esta de inicio a fin con el objetivo de determinar el valor de la inversión realizada. En las siguientes secciones se presenta con mayor profundidad la naturaleza de los costos implicados.

7.1.1 Costos de materiales. El costo total por concepto de materiales se muestra en la tabla 61. Por cuestiones de espacio la lista detallada de los materiales que se requirieron para la fabricación de la máquina peletizadora se encuentra en el anexo O.

Tabla 61. Costos de los materiales de la peletizadora

COSTO DE LOS MATERIALES		
N°	REFERENCIA	VALOR (COP)
1	Materiales	\$ 2,268,000.00
TOTAL		\$ 2,268,000.00

7.1.2 Costos de maquinado

Tabla 62. Costos de maquinado de la máquina peletizadora

COSTOS DE MAQUINADO				
N°	REFERENCIA	CANT. HORAS	VALOR/HORA	VALOR (COP)
1	Torno	5	\$ 48,000.00	\$ 240,000.00
2	Fresadora	5	\$ 48,000.00	\$ 240,000.00
3	Dobladora	2	\$ 20,000.00	\$ 40,000.00
4	Oxicorte	3	\$ 27,500.00	\$ 82,500.00
3	Taladro	4	\$ 25,000.00	\$ 100,000.00
4	Soldadura	3	\$ 60,000.00	\$ 180,000.00
TOTAL				\$ 882,500.00

7.1.3 Costos de montaje

Tabla 63. Costos de montaje de la máquina peletizadora

COSTOS DE MONTAJE				
N°	REFERENCIA	TIEMPO	VALOR/HORA	VALOR (COP)
1	Técnico	72	\$ 11,293.58	\$ 813,137.76
TOTAL				\$ 813,137.76

7.1.4 Costos totales de la peletizadora

Tabla 64. Costos totales de la peletizadora

COSTOS TOTALES PELETIZADORA		
N°	REFERENCIA	VALOR (COP)
1	Materiales	\$ 2,268,000.00
2	Maquinado	\$ 882,500.00
3	Montaje	\$ 813,137.76
-	SUBTOTAL	\$ 3,963,637.76
4	Imprevistos (5% del subtotal)	\$ 198,181.89
TOTAL		\$ 4,161,819.65

7.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD

Para determinar la viabilidad de la inversión realizada en la peletizadora se hace uso de la información suministrada por los valores de valor presente neto (**VPN**) y la tasa interna de retorno (**TIR**), que, mediante el análisis de los flujos de cajas trazados en un periodo de tiempo determina si un proyecto es rentable o no, y la rentabilidad máxima que se puede obtener.

7.2.1 Flujo de caja proyectado. El análisis del flujo de caja se traza a 1 año, se consideran las entradas y salidas de dinero generadas mensualmente durante ese periodo. Los ingresos considerados mensualmente son los producidos por la cantidad de cerdos vendidos en promedio, tabla 65. Los egresos tomados en cuenta son los ocasionados por la máquina peletizadora. En la tabla 66, se muestra el flujo de caja elaborado.

Tabla 65. Cantidad de cerdos vendidos en promedio al mes

INGRESOS (1 MES)			
REFERENCIA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Venta de cerdos	25	\$ 428,000.00	\$ 10,700,000.00

Tabla 66. Flujo de caja trazado a 1 año

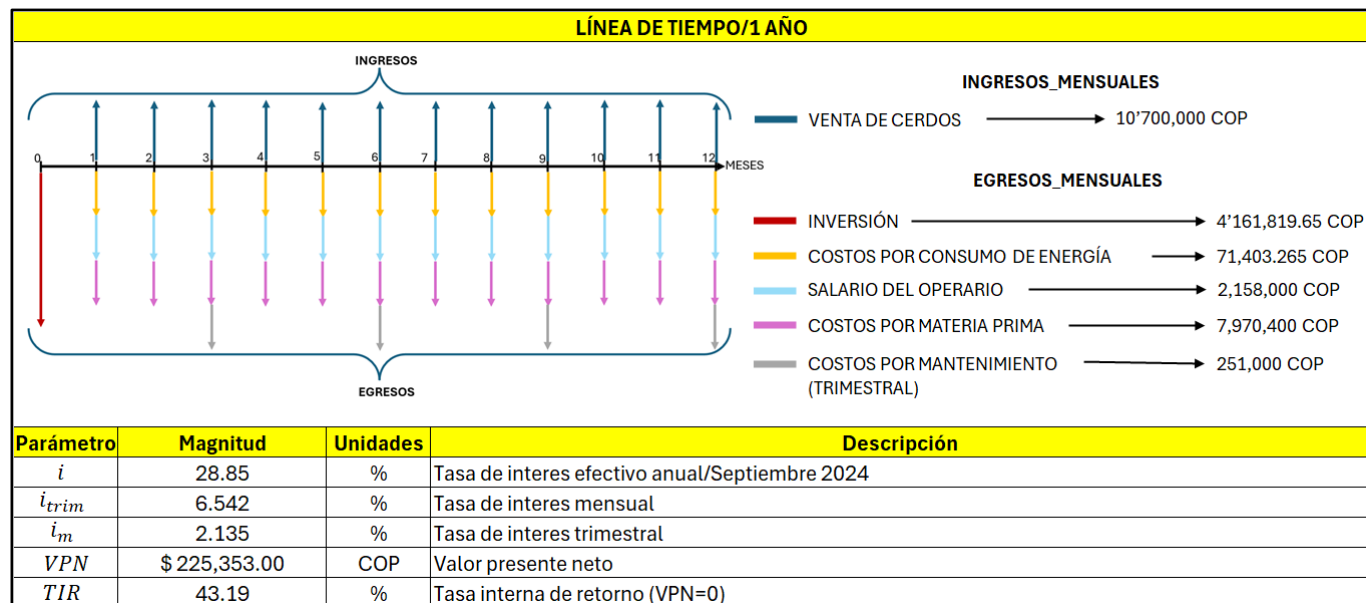
FLUJO DE CAJA PROYECTADO							
# PERIODOS (MENSUALES)	0	1	2	3	4	5	6
Inversión	\$ 4.161.819,65		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Saldo inicial	-\$ 4.161.819,65	-\$ 4.161.819,65	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 249.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73
INGRESOS:							
Venta de cerdos	\$ -	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00
EGRESOS:							
Consumo de energía	\$ -	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27
Mantenimiento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 251.000,00	\$ -	\$ -	\$ 251.000,00
Salario del operario	\$ -	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00
Materia prima	\$ -	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00
TOTAL EGRESOS	\$ -	\$ 10.199.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.450.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.450.803,27
Saldo final	-\$ 4.161.819,65	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 249.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 249.196,73

FLUJO DE CAJA PROYECTADO							
# PERIODOS (MENSUALES)	7	8	9	10	11	12	
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Saldo inicial	\$ 249.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 249.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73
INGRESOS:							
Venta de cerdos	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00
TOTAL INGRESOS	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00	\$ 10.700.000,00
EGRESOS:							
Consumo de energía	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27	\$ 71.403,27
Mantenimiento	\$ -	\$ -	\$ 251.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 251.000,00
Salario del operario	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00	\$ 2.158.000,00
Materia prima	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00	\$ 7.970.400,00
TOTAL EGRESOS	\$ 10.199.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.450.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.199.803,27	\$ 10.450.803,27
Saldo final	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 249.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 500.196,73	\$ 249.196,73

En el anexo O se muestra con detalle la obtención de los valores de los egresos.

7.2.2 VPN y TIR. Una vez realizado el flujo de caja se procede a calcular el VPN y la TIR correspondiente, para su análisis también se consideran los ingresos y egresos generados mensualmente durante 1 año. En la tabla 67 se muestra los cálculos correspondientes.

Tabla 67. Cálculo del VPN y la TIR



Como se puede observar en la tabla 67 el VPN calculado tiene un valor positivo lo que indica que el proyecto si es rentable contrario a lo que habría pasado si hubiera sido negativo, además la TIR calculada fue del 43.19% mayor que la tasa de usura del 28.85% para créditos industriales a microempresarios en el mes de septiembre de este año 2024. En la siguiente sección se expone el tiempo de recuperación de la inversión realizada para saber en cuanto tiempo la granja puede recuperar el dinero.

7.2.3 Payback. Conociendo ahora que el proyecto es rentable se procede a estimar el tiempo que requeriría la granja para recuperar el dinero de su inversión. Para esto se hace uso de los saldos calculados en el flujo de caja hecho en la tabla 66, el proceso se muestra en la tabla 68.

Tabla 68. Payback

PAYBACK	
MES	SALDO INICIAL
0	-\$ 4,161,819.65
1	\$ 500,196.73
2	\$ 500,196.73
3	\$ 249,196.73
4	\$ 500,196.73
5	\$ 500,196.73
6	\$ 249,196.73
7	\$ 500,196.73
8	\$ 500,196.73
9	\$ 249,196.73
0.8257	\$ 413,049.03
TOTAL	\$ -
PAYBACK	9 MESES_25 DÍAS

Como se evidencia en la tabla, el tiempo necesario para que la granja recupere el dinero invertido en la máquina peletizadora a partir de los ingresos generados a partir de las ventas de los cerdos es de 9 meses y 25 días, lo cual indica que no es necesario si quiera que pase 1 año para saldar la inversión.

8. CONCLUSIONES

- Se logró el diseño completo de un equipo de peletizado de alimento concentrado para La Granja Porcícola El Lucero, con una capacidad de 500 kg/h, cumpliendo con los requerimientos establecidos. El diseño abarcó todos los subsistemas planteados: el sistema de alimentación, la cámara de acondicionamiento del alimento, la peletizadora de matriz plana y la cámara de enfriamiento del pellet. Asimismo, se realizaron las memorias de cálculo correspondientes y se desarrollaron los planos de fabricación y montaje detallados.
- El pellet obtenido como producto final del prototipo de la máquina peletizadora cumple con las especificaciones planteadas al inicio del proyecto (5 mm de diámetro y 10 mm de longitud).
- La peletizadora, aunque fue diseñada para una capacidad de producción de 50 kg/h, demostró tener una capacidad real de 140 kg/h al ser puesta en funcionamiento. Este aumento se debe a que, durante el proceso de fabricación, se realizaron ajustes en el diseño, tales como el incremento del número de agujeros en la matriz y en las RPM del sistema.
- Al evaluar el impacto económico de la construcción y puesta en marcha de la máquina peletizadora en la Granja El Lucero, se concluyó que su implementación es viable a largo plazo. La inversión presenta una tasa de retorno del 43.19% y un tiempo de recuperación de la inversión de 9 meses y 25 días, lo que indica que la peletizadora generará beneficios económicos para la granja en el futuro.
- Los costos de la peletizadora fabricada son menores que el costo que implica la compra de una existente en el mercado. La peletizadora fabricada costó alrededor de 4,161,819 COP, se consultó una existente y se encontró que una peletizadora de alimento concentrado tipo Farett y KL 160 con capacidad promedio de 140 Kg/h cuesta 6,609,000 COP, lo cual indica un ahorro en la compra de la máquina por 2,447,181 COP.

BIBLIOGRAFÍA

ALBÁN YÉPES, Edison Fernando y ARIAS ROMO, Ángel Santiago. Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Quito: Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2019. P. 5-10.

ANSI/CEMA Standard No 350. Screw Conveyors for Bulk Materials. <https://n9.cl/yo73n>, 2019.

BUDYNAS, Richard y NISBETT Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: McGraw-Hill, 2021. 1056 p.

BALLESTEROS OSORIO, Sergio Fernando y VILLAMIZAR ARCHILA, Jenny Lizeth. Diseño y construcción de la sección de mezcla y extrusión de una planta piloto productora de alimento para peces. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander sede Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2017. P. 78-100.

CONAFAB. Curso de Peletizado - Parte 1 [video]. YouTube. (1, enero, 2021). 147:16 min. Disponible en Internet: <https://www.youtube.com/watch?v=AUjfkL7oDk>.

CALIFORNIA PELLET MILL. Peletizadora Serie 3000. [https://www.cpm.net/downloads/3000 Series Pellet Mill Brochure es LA web.pdf](https://www.cpm.net/downloads/3000%20Series%20Pellet%20Mill%20Brochure%20es%20LA%20web.pdf), 2020.

EQUIPMASER.CO. Peletizadora de alimento FARETTY KL 160 motor de gasolina MÁSTER 6.5 hp. <https://n9.cl/n9yw2>, 2020.

GONZALEZ GUIO, Renso Alejandro y LLANOS GONZALES, Jairo Javier. Planta peletizadora de alimento concentrado, diseño y construcción. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander sede Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Mecánica, 1990. P. 16-40.

HAMROCK, Bernard J. Elementos de máquinas. México: Mc Graw-Hill, 2000.

LOPEZ BRIZUELA, Osmin Antonio. Rendimiento de una máquina peletizadora con respecto al maíz amarillo y/o maíz blanco. <https://www.engormix.com/balanceados/articulos>, 2018.

MARTIN SPROCKET & GEAR. Catalogo 4000 – Sección H. Texas: Martin & Gear, 2013. P. 4-20.

SPIRAX SARCO. Guía de referencia técnica. Calderas y accesorios. Centro argentino de ingenieros [página web]. [Consultado el 26, julio, 2024]. Disponible en Internet: https://www.cai.org.ar/wp-content/uploads/cursos/2018/eficiencia-energetica/11/Calderas_Spirax_Sarco.pdf