

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN DE
UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES**

**SERGIO FERNANDO BALLESTERO OSORIO
JENNY LIZETH VILLAMIZAR ARCHILA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN DE
UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES**

**SERGIO FERNANDO BALLESTERO OSORIO
JENNY LIZETH VILLAMIZAR ARCHILA**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
ISNARDO GONZALEZ JAIMES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios por regalarme la vida y permitirme llegar a este momento.

A mis padres María del Carmen Archila por su amor, apoyo incondicional y ser el amor de mi vida y Salustiano Villamizar por inspirarme a estudiar esta hermosa carrera.

A Alejandro por su apoyo, comprensión y cariño.

A mis amores Laura Pedraza y Cristian Pedraza.

A mis amigos y personas que hicieron parte de este proyecto.

Lizeth Villamizar

A mi mamá, María Rubiela Osorio Cano, como motivación principal, por su ejemplo, su paciencia, dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional durante mi desarrollo personal y profesional.

A mi papá, Rodrigo Ballesteros Rey, quien mediante sus consejos me enseñó a resolver muchos problemas durante este camino profesional.

A mi familia, por su apoyo, pero, principalmente como ejemplo y motivación para seguir adelante pese a las dificultades.

A mis amigos, a todos y cada uno de ellos, por hacer parte de este camino, su apoyo y consejos fueron siempre bien recibidos.

Sergio Fernando Ballesteros Osorio

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Isnardo González, por su dedicación como director de proyecto, su enseñanza, su confianza, su apoyo y su amistad, en este proceso de desarrollo personal y profesional.

A Javier Archila como representante de la empresa INDARS S.A.S, por su apoyo a los estudiantes universitarios, al desarrollo de la región mediante sus proyectos de investigación, y por sus enseñanzas.

A “Don Cristian”, como jefe de planta de la empresa INDARS S.A.S, quien nos apoyó en momentos críticos del proyecto y nos enseñó el arte de la metalmecánica.

Al Cristian Jerez, como ingeniero de la empresa INDARS S.A.S, quien amablemente y con profesionalismo, nos ayudó en varias etapas del proyecto.

A la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, que, bajo sus estándares de excelencia, nos brindó la posibilidad de formarnos como ingenieros mecánicos.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	21
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 ANTECEDENTES HISTORICOS	23
1.4.1 Ubicación	24
1.5 PRINCIPIOS DE LA EMPRESA INDARS S.A.S.	25
1.5.1 Misión	25
1.5.2 Visión	25
2. DISEÑO CONCEPTUAL DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE LA SECCION DE MEZCLA Y EXTRUSION	26
2.1 ETAPAS TÍPICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTO CONCENTRADO EN FORMA DE PELLETS	26
2.1.1 Etapa de molienda	27
2.1.2 Etapa de mezclado	28
2.1.3 Etapa de acondicionamiento	29
2.1.4 Etapa de extrusión	30
2.1.5 Etapa de secado – enfriado	31
2.2 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR	32
2.3 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑADOR	33
2.4 MATRIZ DE CALIDAD	33
2.5 PONDERACION DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN	34
2.6 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARTICULARES	37
2.6.1 Alternativas para el subsistema de mezclado.	37
2.7 DESCRIPCION DE LA SOLUCIÓN	40
2.7.1 Subsistema de mezclado	40
2.7.2 Subsistema de acondicionamiento	40
2.7.3 Subsistema de extrusión	41
3. DISEÑO BÁSICO DE LAS MÁQUINAS PRINCIPALES DE LA PLANTA	42
3.1 DISEÑO DE LA MEZCLADORA	42

3.1.1 Capacidad y dimensionamiento de la mezcladora	42
3.1.2 Sistema de mezclado	47
3.1.3 Potencia requerida	60
3.1.4 Sistema de transmisión de potencia	61
3.1.5 Ejes del rotor	65
3.1.6 Rodamiento y soporte para rodamiento	76
3.1.7 Consideraciones finales	78
3.2 DISEÑO DEL ACONDICIONADOR	79
3.2.1 Capacidad y dimensionamiento del acondicionador	80
3.2.2 Sistema de mezclado	85
3.2.3 Selección de rodamientos	98
3.2.4 Selección del motor del acondicionador	99
3.2.5 Análisis de vapor del acondicionador	100
4. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN	105
4.1 CARACTERIZACION GENERAL DE LA PLANTA	105
4.1.1 Capacidad de producción de la planta requerida	105
4.1.2 Capacidad de almacenamiento	106
4.1.3 Capacidad de producción complementaria	106
4.2 SELECCIÓN DE MAQUINAS Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	106
4.2.1 Extrusora	106
4.2.2 Caracterización de la tolva de almacenamiento	110
4.2.3 Elevador de cangilones	112
4.2.4 Enfriador – secador	113
4.3 DISTRIBUCIÓN CONCEPTUAL DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN	115
4.3.1 Diseño de la distribución de la planta	117
5. PLANEACION DE LA FABRIACION Y ENSAMBLE	119
5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MEZCLADORA	120
5.1.1 Hoja de ruta de la carcasa.	120
5.1.2 Hoja de la cinta externa.	120
5.2 MONTAJE DE LA MEZCLADORA	121
5.2.1 Hoja de ensamble del cuerpo de la mezcladora.	121
5.2.2 Hoja de ensamble del rotor de la mezcladora.	122
5.3 FOTOGRAFÍAS DE PIEZAS Y ENSAMBLES DE LA MEZCLADORA	123
5.4 CONSTRUCCIÓN DEL ACONDICIONADOR	125
5.4.1 Hoja de ruta de la carcasa.	125
5.4.2 Hoja de ruta de la paleta.	125
5.5 MONTAJE DEL ACONDICIONADOR	126
5.5.1 Hoja de ensamble del rotor de paletas.	126
5.5.2 Hoja de ensamble de la carcasa del acondicionador.	127
5.6 FOTOGRAFÍAS DE PIEZAS Y ENSAMBLES DE DEL ACONDICIONADOR	128
5.7 HOJA DE ENSAMBLE DE LA PLANTA PILOTO	130

5.7.1 Hoja de ensamble de la distribución conceptual de la planta.	130
6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS DISEÑADAS	131
6.1 PRUEBAS DE LA MEZCLADORA	131
6.1.1 Revisión de las dimensiones de la máquina	131
6.1.2 Prueba de funcionamiento sin carga	132
6.1.3 Prueba de funcionamiento bajo carga requerida	133
6.1.4 Producto mezclado obtenido	135
6.2 PRUEBAS DEL ACONDICIONADOR	138
6.2.1 Revisión de las dimensiones de la máquina	138
6.2.2 Prueba de funcionamiento sin carga	139
6.2.3 Prueba de funcionamiento bajo carga requerida	140
7. ANALISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD DEL PROYECTO	143
7.1 COSTOS DEL PROYECTO	143
7.1.1 Costos aproximados de la mezcladora.	143
7.1.2 Costo total del acondicionador.	146
7.1.3 Costos aproximados de la extrusora.	147
7.1.4 Costos aproximados del enfriador.	147
7.1.5 Costos aproximados del sistema de transporte de material.	147
7.1.6 Costos aproximados del sistema de almacenamiento.	148
7.1.7 Costos totales de la sección de mezcla y extrusión de la planta.	148
7.2 COSTOS DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES	149
7.2.1 Flujo de caja proyectado	150
7.2.2 Valor presente neto (VPN) y Tasa interna de retorno (TIR)	151
8. CONCLUSIONES	153
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	157

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Instalaciones Industria Archila S.A.S.	19
Figura 2. Pozos para criadero de peces en el municipio de Lebrija, Santander.	20
Figura 3. Comida para peces en forma de pellet	21
Figura 4. Instalaciones industrias Archila S.A.S	24
Figura 5. Ubicación de las instalaciones Industrias Archila S.A.S.	24
Figura 6. Diagrama de flujo básico de las etapas principales de una planta productora de alimento para peces.	27
Figura 7. Molino de martillos.	28
Figura 8. Mezcladora horizontal de cintas.	29
Figura 9. Acondicionador de paletas.	30
Figura 10. Extrusora.	31
Figura 11. Secador – enfriador horizontal rotatorio.	31
Figura 12. Subsistemas de la planta piloto.	35
Figura 13. Subsistemas de acondicionamiento.	35
Figura 14. Subsistemas de mezclado.	36
Figura 15. Subsistemas de extrusión.	36
Figura 16. Mezcladora de doble cinta.	37
Figura 17. Mezcladora de tornillo sin fin vertical.	38
Figura 18. Mezcladora de paletas.	39
Figura 19. Canal en U.	42
Figura 20. Rotor de cintas helicoidales.	47
Figura 21. Factor de seguridad obtenido para la cinta externa.	49
Figura 22. Patrón de esfuerzos fluctuantes sobre las cintas.	50
Figura 23. Descripción de la relación de tensión usada por SolidWorks Simulation.	51
Figura 24. Parámetros para el análisis de fatiga de la cinta externa.	51
Figura 25. Curva S-N del material de referencia (acero austenítico, cromo -níquel).	52
Figura 26. Curva S-N del material de referencia, curva S-N del acero inoxidable.	52
Figura 27. Mensaje de SolidWorks Simulation, después del análisis de fatiga de la cinta externa.	53
Figura 28. Gráfica de porcentaje de daño del sólido.	53
Figura 29. Fuerzas resultantes sobre los soportes horizontales.	55
Figura 30. Fuerzas resultantes sobre los soportes verticales.	55
Figura 31. Diagrama de cuerpo libre (fuerzas flectoras), fuerza cortante (V) y momento flector (M) en el soporte de las cintas, respecto a los ejes x y z.	57
Figura 32. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante (V) y momento flector (M) del eje de la punta de mando, respecto a los ejes y y z.	68

Figura 33. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante (V) y momento flector (M) del eje central del rotor, respecto a los ejes z y y.	72
Figura 34. Diagrama de torques (T) del eje central del rotor, respecto al eje x.	73
Figura 35. Estado de cargas y sujeciones para el análisis de los ejes del rotor.	75
Figura 36. Factor de seguridad estático para el conjunto de ejes del rotor.	76
Figura 37. Acondicionador de paletas	80
Figura 38. Acondicionador de paletas.	81
Figura 39. Rotor del acondicionador.	85
Figura 40. Ubicación del centroide de la paleta.	86
Figura 41. Esfuerzos sobre la paleta del acondicionador.	88
Figura 42. Factor de seguridad de la paleta del acondicionador.	88
Figura 43. Eje del acondicionador.	89
Figura 44. Diagrama de fuerzas axiales en el eje del acondicionador.	90
Figura 45. Diagrama de torques en el eje del acondicionador.	90
Figura 46. Diagrama de cortante y momento del eje en el plano X-Z del eje del acondicionador.	91
Figura 47. Diagrama de cortante y momento del eje en el plano X-Y del eje del acondicionador.	92
Figura 48. Puntos críticos del eje del acondicionador.	93
Figura 49. Factor de seguridad para el eje del acondicionador mediante elementos finitos.	97
Figura 50. Funcionamiento del acondicionador.	101
Figura 51. Diseño conceptual de un enfriador horizontal para pellets.	114
Figura 52. Rediseño de un enfriador horizontal para pellets de la empresa INDARS.	114
Figura 53. Diagrama de flujo de la planta productora de alimento para peces.	116
Figura 54. Ubicación de las secciones de la planta piloto.	117
Figura 55. Vista isométrica de la distribución propuesta.	118
Figura 56. Mezcladora de cintas diseñada.	132
Figura 57. Prueba de funcionamiento sin carga de la mezcladora.	133
Figura 58. Materias primas a mezclar (sin moler - molidas).	133
Figura 59. Mezcla obtenida después de 8 minutos.	135
Figura 60. Mezcla seca.	135
Figura 61. Mezcla húmeda.	136
Figura 62. Comparativa visual entre la mezcla húmeda y la mezcla seca.	136
Figura 63. Pesado de los 5 productos a mezclar manualmente.	137
Figura 64. Mezcla de comparación (izquierda) y mezcla obtenida de las pruebas (derecha).	137
Figura 65. Comparativa de las mezclas.	137
Figura 66. Acondicionador diseñado.	139
Figura 67. Prueba de funcionamiento sin carga del acondicionador.	140
Figura 68. Mezcla a la salida del acondicionador.	141
Figura 69. Mezcla dentro del acondicionador.	141
Figura 70. Conjunto extruder- acondicionador.	142
Figura 71. Variación del diámetro y longitud del pellet	143

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz de calidad sección de mezcla y extrusión.	34
Tabla 2. Subsistemas más influyentes en la planta piloto.	34
Tabla 3. Evaluación de las alternativas propuestas para el subsistema de mezclado.	39
Tabla 4. Dimensionamiento de la carcasa de la mezcladora.	43
Tabla 5. Calculo para la altura de la carcasa de la mezcladora.	44
Tabla 6. Fuerza resultante que actúa sobre la carcasa de la mezcladora.	45
Tabla 7. Calculo del espesor de la carcasa de la mezcladora.	46
Tabla 8. Medidas generales de la cinta helicoidal externa.	48
Tabla 9. Soporte para las cintas helicoidales.	54
Tabla 10. Análisis estático del soporte de las cintas.	57
Tabla 11. Análisis de fatiga del soporte de las cintas.	58
Tabla 12. Calculo de potencia requerida para la mezcladora.	60
Tabla 13. Cálculo del sistema de transmisión.	62
Tabla 14. Verificación de la selección de la cadena.	63
Tabla 15. Análisis estático del conjunto rotor.	65
Tabla 16. Análisis estático de la punta de eje de mando.	67
Tabla 17. Análisis de fatiga de la punta de eje de mando.	69
Tabla 18. Análisis estático del eje central del rotor.	71
Tabla 19. Análisis de fatiga del eje central del rotor.	74
Tabla 20. Cálculos para el rodamiento seleccionado.	77
Tabla 21. Dimensionamiento de la carcasa del acondicionador.	81
Tabla 22. Cálculo de la fuerza resultante que actúa sobre la carcasa del acondicionador.	82
Tabla 23. Análisis mecánico de la carcasa del acondicionador.	84
Tabla 24. Análisis mecánico para las paletas del acondicionador.	87
Tabla 25. Análisis de puntos críticos considerados para el eje del acondicionador.	94
Tabla 26. Análisis del punto crítico B	95
Tabla 27. Análisis del punto crítico C y E.	96
Tabla 28. Factor de carga F_w para la selección del rodamiento.	98
Tabla 29. Cálculos para la selección de rodamientos.	98
Tabla 30. Potencia requerida para el acondicionador.	99
Tabla 31. Análisis de vapor del acondicionador.	104
Tabla 32. Matriz QDF para la máquina extrusora.	107
Tabla 33. Ficha técnica extrusora Jinan.	108
Tabla 34. Ficha técnica extrusora Henan Penghui Machiner.	108
Tabla 35. Ficha técnica extrusora JSM.	109
Tabla 36. Selección de alternativa para la extrusora.	109

Tabla 37. Capacidad de material en la tolva disponible por hora.	110
Tabla 38. Dimensionamiento de la tolva de almacenamiento.	111
Tabla 39. Selección del elevador de cangilones.	112
Tabla 40. Especificaciones del enfriador horizontal para pellets de la empresa INDARS.	115
Tabla 41. Fotografías de algunas piezas de la mezcladora.	123
Tabla 42. Fotografías de algunos ensambles de la mezcladora.	124
Tabla 43. Fotografías de algunas piezas del acondicionador.	128
Tabla 44. Fotografías de algunos ensambles del acondicionador.	129
Tabla 45. Revisión general de las dimensiones y ensamble de la mezcladora.	131
Tabla 46. Prueba de funcionamiento sin carga.	132
Tabla 47. Prueba de funcionamiento bajo carga requerida.	134
Tabla 48. Potencia consumida por la mezcladora a carga requerida.	134
Tabla 49. Revisión general de las dimensiones y ensamble del acondicionador.	138
Tabla 50. Funcionamiento del acondicionador sin carga.	139
Tabla 51. Prueba de funcionamiento bajo carga requerida.	140
Tabla 52. Potencia eléctrica consumida por el acondicionador.	142
Tabla 53. Costo de la materia prima usada en la construcción de la mezcladora.	143
Tabla 54. Costo del maquinado realizado en la construcción de la mezcladora.	145
Tabla 55. Costo de ensamble en la construcción de la mezcladora.	145
Tabla 56. Costo de ingeniería de la mezcladora.	145
Tabla 57. Costo total aproximado de la mezcladora.	146
Tabla 58. Costo total aproximado del acondicionador.	146
Tabla 59. Costo de la extrusora seleccionada.	147
Tabla 60. Costo del enfriador.	147
Tabla 61. Costo del elevador de cangilones.	147
Tabla 62. Costo de la tolva de almacenamiento.	148
Tabla 63. Costo de ensamble de la sección de mezcla y extrusión.	148
Tabla 64. Costo total de la sección de mezcla y extrusión.	148
Tabla 65. Costo total aproximado de la planta productora de alimento para peces.	149
Tabla 66. Flujo de caja proyectado.	151
Tabla 67. VPN y TIR que demuestran la viabilidad del proyecto.	152

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Información de interés sobre la empresa INDARS S.A.S.	157
Anexo B. Generalidades de la fabricación de alimento concentrado para peces	163
Anexo C. Evaluación de alternativas para el subsistema de acondicionamiento y subsistema de extrusión	173
Anexo D. Tablas, gráficas, catálogos y ecuaciones usadas en el diseño de la mezcladora y el acondicionador	179
Anexo E. Selección de equipos para la planta piloto	203
Anexo F. Hojas de ruta de las piezas más relevantes y fotografías de la mezcladora y el acondicionador	204
Anexo G. Información complementaria para el análisis de costos y viabilidad del proyecto	217
Anexo H. Planos de las máquinas diseñadas y la distribución conceptual de la planta	227

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSION DE UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES*

AUTOR: SERGIO FERNANDO BALLESTEROS OSORIO, JENNY LIZETH VILLAMIZAR ARCHILA**

PALABRAS CLAVES: Diseño, construcción, pellets, mezcladora, acondicionador, extrusora, Indars.

DESCRIPCIÓN: La empresa INDARS S.A.S se dedicada a la prestación de servicios comerciales de naturaleza metalmecánica definidas en el maquinado convencional (fresadora, torno, rectificando, taladrado, entre otras operaciones afines) de piezas, dirigido principalmente al sector avícola y maquinaria agroindustrial. Se encuentra ubicada la carrera 0 N° 3- 45 Km 2- Vía chimita Girón- zona Industrial.

Gracias a su experiencia en el campo industrial, INDARS S.A.S se plantea generar un proyecto de investigación y desarrollo que supla las necesidades que tienen los piscicultores respecto a la obtención del alimento que emplean para sus peces. En este proyecto se pretende realizar el diseño y la construcción de las máquinas principales en un proceso de producción de alimento extrusado, la selección de maquinaria y la caracterización de equipos complementarios.

Además, se realiza un análisis económico y de viabilidad del proyecto en desarrollo por la empresa INDARS S.A.S, en el cual se discrimina el costo que tendría la planta terminada, el posible precio del alimento a producir y los flujos de caja de un número de periodos finitos, demostrando así, la tasa interna de retorno que tendría un inversionista que decida obtener la planta y dedicarse a producir y comercializar alimento para peces.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director. Ing. Mecánico Isnardo González Jaimes.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE MIXING AND EXTRUSION SECTION OF A PILOT PLANT PRODUCING FISH FOOD *

AUTHOR: SERGIO FERNANDO BALLESTEROS OSORIO, JENNY LIZETH VILLAMIZAR ARCHILA**

KEY WORDS: Design, construction, pellets, mixer, conditioner, extruder, Indars.

SUMMARY: The company INDARS S.A.S is dedicated to the provision of commercial services of a metal-mechanical nature defined in the conventional machining (milling, turning, grinding, drilling, among other related operations) of parts, mainly directed to the poultry sector and agroindustrial machinery. It is located the carrera 0 N ° 3- 45 Km 2- Via Chimita Girón- Zona industrial.

Thanks to its experience in the industrial field, INDARS S.A.S aims to generate a research and development project that meets the needs of fish farmers respect the food they use for their fishes. This project aims to design and build the main machines in an extruded food production process, the selection of machinery and the characterization of complementary equipment.

In addition, an economic and feasibility analysis of the project under development is carried out by the company INDARS SAS, which discriminates the cost of the finished plant, the possible price of the food to be produced and the cash flows of a number of finite periods, thus demonstrating the internal rate of return that an investor who decides to obtain the plant and dedicate to produce and market fish food.

* Project of grade.

** Physic Mechanical Faculty of Engineering, School of Mechanical Engineering, Director. Mechanical Engineer Isnardo González Jaimes.

INTRODUCCIÓN

El alimento para peces que se comercializa actualmente es en forma de pellets, los cuales se producen en plantas sofisticadas, en donde se controla cada detalle de la producción. La formulación del alimento para distintos peces y distintas etapas de su crecimiento conlleva a la realización de estudios arduos hasta encontrar las formulaciones que consideran apropiadas. Contar con la infraestructura para producir el alimento y la experiencia de la formulación hacen que el precio del producto sea elevado y poco atractivo para los pequeños piscicultores, esto sin considerar costos adicionales, especialmente el de transporte del alimento.

La empresa INDARS S.A.S, con la experiencia necesaria para incursionar en proyectos de investigación y desarrollo, entiende la necesidad de los piscicultores de Santander, y decide desarrollar una planta piloto para producir alimento para peces en forma de pellets que sea compacta y de fácil operación para poder ubicarla cerca de las zonas piscicultoras, y así proporcionar alimento de calidad a un menor precio, reduciendo sobrecostos como el transporte.

La finalidad del proyecto es presentar el diseño y construcción de las máquinas principales, la selección de la máquina central, que es la extrusora y demás equipos, dimensionándolos en conjunto de la manera más eficiente posible, que cumplan con los requerimientos de producción necesarios, dejando la posibilidad para seguir investigando y desarrollando ideas sobre esta planta, como, por ejemplo, la automatización de los procesos.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Industrias Archila S.A.S, es una organización privada colombiana de carácter familiar dedicada a la prestación de servicios comerciales de naturaleza metalmeccánica definidas en el maquinado convencional (fresadora, torno, rectificador, taladrado, entre otras operaciones afines) de piezas, dirigido principalmente al sector avícola y maquinaria agroindustrial. Se encuentra ubicada la carrera 0 N° 3- 45 Km 2- Vía chimita Girón- zona Industrial.

Figura 1. Instalaciones Industria Archila S.A.S.



Fuente. <http://indars.com.co/>

Industrias Archila con el fin de optimizar y prestar un servicio de calidad a sus clientes se encuentra en un proceso de mejoramiento continuo en los procedimientos de fabricación gracias al ingenio proyectado por el equipo técnico en el desarrollo de nuevas estrategias para dar solución a las necesidades propuestas por los pequeños y medianos piscicultores del sector, quienes presentan problemas en los costos de producción, los factores más relevantes son

la adquisición de tierras, transporte de maquinaria, bodegaje, redes de suministro, alimento (pellets), siendo este el más significativo. En el departamento de Santander se tienen cultivos de cachama, tilapia y trucha con más 1300 m², ubicados en los diferentes municipios promoviendo el crecimiento local y generando empleos directos. La Fabricación de los pellets se realiza por medio de plantas extrusoras de alimento con elevados costos debido a que estas son importadas o algunas diseñadas y fabricadas para empresas ubicadas en zonas industriales lejanas a los criaderos de peces, generando dependencia a dichos proveedores y acarreando los costos de envío a los diferentes municipios provocando un aumento del costo del producto final, sin permitir una competencia justa para los pequeños y medianos productores del departamento de Santander.

Figura 2. Pozos para criadero de peces en el municipio de Lebrija, Santander.



Fuente. <https://www.google.com.co/pisciculturasantander>

Debidos a esta problemática y con el fin de buscar soluciones que permitan cumplir con las expectativas de los clientes para aumentar la competitividad se propone un diseño de una planta piloto productora de pellets para peces, sección de mezcla y extrusión.

Figura 3. Comida para peces en forma de pellet



Fuente. <https://www.google.com.co/comidaparapecespellet>

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Con el propósito de cumplir y contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren los procesos productivos del sector piscicultor en el departamento de Santander se pretende realizar el diseño y la construcción de la sección de mezcla y extrusión de una planta piloto productora de alimento para peces con el fin de facilitar el desarrollo de los pequeños y medianos empresarios del sector, promoviendo la piscicultura y aumentando la competitividad.

Este proyecto permitirá aportar y obtener resultados direccionados a la satisfacción de las necesidades de las empresas piscicultoras, principalmente, las necesidades económicas, permitiendo que la obtención del alimento para los criaderos de peces se realice de manera autónoma, sin representación de sobrecostos de transporte del alimento ya procesado.

Además, se pretende que el diseño de esta planta permita desarrollar nuevos productos de este estilo, no solo para la producción de comida para peces, también

plantas para la obtención de alimento otros tipos de animales, y variantes tecnologías de la misma, ampliando así, el catálogo de productos de la empresa Industrias Archila S.A.S impulsándola y consolidándola en el mercado de la construcción de plantas para la obtención de alimento de animales.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo general. Contribuir, en conjunto con la Universidad Industrial de Santander, en el desarrollo de su propósito misional formando personas de alta calidad ética y profesional, liderando y desarrollando proyectos interdisciplinarios en el área de ingeniería mecánica, como el diseño y la construcción de la sección de mezcla y extrusión de una planta piloto productora de alimento para peces.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar las máquinas de la sección de mezcla y extrusión de una planta piloto para la producción de comida para peces, correspondiente a los siguientes equipos:

- Mezcladora.
- Acondicionador.

Que cumplan con el requerimiento de producción de 50 - 100 [Kg/hora], mediante el desarrollo de conceptos de la ingeniería mecánica usando herramientas computacionales de apoyo tipo CAD/CAE/CAM.

- Seleccionar la máquina extrusora que cumpla con los requerimientos de producción correspondientes a 50 - 100 [Kg/hora] y un pellet de [6 mm - 12 mm] de longitud y [5 mm - 10 mm] de diámetro aproximadamente.
- Planificar la construcción y ensamble de la máquina mezcladora y el equipo acondicionador, correspondientes a la sección de mezcla y extrusión de la planta piloto.

- Planificar el montaje general de la sección de mezcla y extrusión correspondiente a la planta piloto productora de alimento para peces, usando herramientas computacionales de apoyo tipo CAD para su ensamble, caracterizando equipos complementarios tales como:
 - Tolvas de recepción y espera.
 - Sistemas de transporte de material.
 - Enfriador-Secador.

1.4 ANTECEDENTES HISTORICOS

Industrias Archila S.A.S fue fundada en enero de 1991, cuya labor inicial estaba enfocada al mantenimiento y al suministro de partes de equipos para la industria avícola y maquinaria agroindustrial, para el año 1995 se establece la adquisición de una planta de proceso galvanizado para darle tratamiento al material o piezas elaboradas. Durante el año 2000 se crea el producto líder denominado criadoras avícolas cuya función es ceder calor al polluelo recién nacido para que crezca en condiciones favorables. En el 2004 se da apertura a una sucursal en Bucaramanga donde actualmente se realizan trabajos de manufactura y mantenimiento sencillos, para el 2005 inicia labores en la zona industrial de chimita el cual cuenta con un área de trabajo de 2000 m^2 con el objetivo de prestar un excelente servicio a sus clientes, dicho cambio asumido trajo consigo nuevos equipos de trabajo utilizando tecnología de punta tipo CNC para corte y doblaje, es en esta sucursal donde se realiza la mayor parte de los procesos manufactureros de INDARS; con el fin de optimizar siempre sus procesos y prestar un servicio de calidad se acreditó en el año 2011 con la norma ICONTEC NTC 6001:2008 como un aporte a la legalización, viabilidad y competitividad para las Micro y Pequeñas Empresas, un año después se registra en el RUP de la cámara de comercio Bucaramanga para participar en contratos con el estado dicha colaboración trae retos en seguridad y salud ocupacional, para ello establecen capacitaciones para los empleados y directivos en programas de

trabajo en alturas, riesgos laborales contando con los estándares exigidos por la legislación colombiana.

Figura 4. Instalaciones industriales Archila S.A.S



Fuente: <http://indars.com.co/>

1.4.1 Ubicación. INDARS S.A.S es una de las empresas líderes de la región en el sector agroindustrial, avícola, industrial y transporte, cuenta actualmente con dos sedes, su principal está localizada en la Vía chimita Zona industrial de Girón donde se realizan la mayor parte de trabajos y la sucursal en el barrio Girardot de la ciudad de Bucaramanga.

Figura 5. Ubicación de las instalaciones Industrias Archila S.A.S.



Fuente: <https://www.google.com.co/map>

1.5 PRINCIPIOS DE LA EMPRESA INDARS S.A.S.

1.5.1 Misión. Industrias Archila es una empresa metalmecánica de carácter familiar dedicada al diseño, fabricación y montaje de maquinaria avícola, agrícola, industrial, de transporte y construcción. Presta servicios de corte y doblaje, cilindrado, corte con plasma, soldadura especializada y maquinados. Además realiza mantenimiento y suministro de partes de equipos para industria avícola y maquinaria agroindustrial.

1.5.2 Visión. Para el año 2020, Industrias Archila será una empresa reconocida a nivel nacional por la gran variedad de soluciones metalmecánicas y de servicios ofrecidos para el sector avícola, agrícola, industrial, construcción y transporte, gracias al ingenio proyectado por el equipo técnico en la creación y mejora de los procesos de fabricación.

Para más información sobre la empresa INDARS S.A.S., ver la sección A de los anexos.

2. DISEÑO CONCEPTUAL DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE LA SECCION DE MEZCLA Y EXTRUSION

Antes de realizar el diseño conceptual de los equipos principales de la sección de mezcla y extrusión, es necesario identificar las etapas típicas que tiene una planta para la elaboración de alimento concentrado en forma de pellets, posteriormente, se identificarán las alternativas y se escogerán para su diseño y selección aquellas que resulten convenientes para los requerimientos de este proyecto.

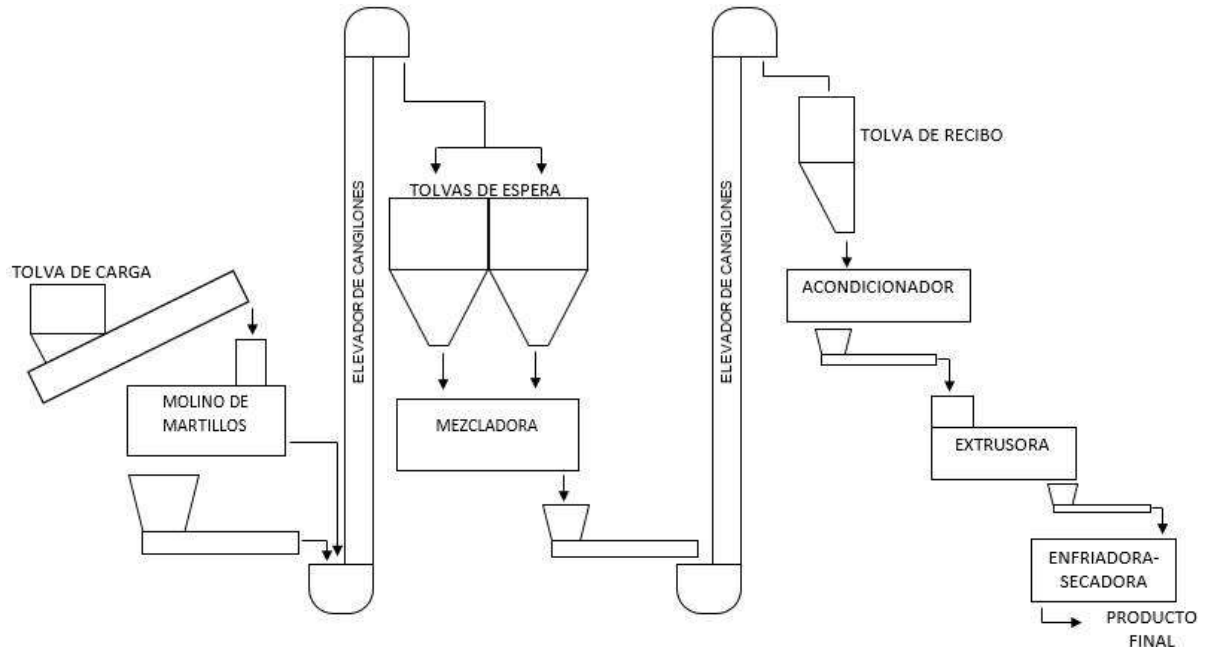
2.1 ETAPAS TÍPICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTO CONCENTRADO EN FORMA DE PELLETS

Para la elaboración de alimento concentrado, es necesario contar con equipos especiales que contribuyan al cambio de las propiedades de la materia prima hasta lograr el producto terminado.

Las etapas básicas que se usan en la planta piloto productora de alimento concentrado para peces son:

- Etapa de molienda.
- Etapa de mezclado.
- Etapa de acondicionamiento.
- Etapa de extrusión.
- Etapa de secado y enfriado.
- Equipos de transporte de material.

Figura 6. Diagrama de flujo básico de las etapas principales de una planta productora de alimento para peces.



2.1.1 Etapa de molienda. Se refiere a la reducción del tamaño de los insumos, tales como granos de cereales, granos de legumbres, raíces, huesos, etc., los cuales tienen tamaños y densidades distintas. Con la molienda se logra:

- Obtención de materia prima homogénea, de tal manera que en la ración diaria se encuentren presentes todos los componentes en la proporción adecuada.
- Facilita la destrucción de factores anti nutricionales termolábiles.
- Aumenta la superficie específica, mejorando de esta manera la digestibilidad de los nutrientes.
- Facilita la penetración de vapor dentro de las partículas.

Existe una gran variedad de molinos para el proceso de molienda, siendo el más utilizado en la industria de concentrados el molino de martillos, en general, consta

de una cámara de molienda en donde se encuentra el rotor que contiene los martillos, en la parte interior y cubriendo la mayor superficie se encuentra una rejilla a manera de tamiz (criba), éstas últimas son intercambiables de acuerdo con el tamaño de partícula deseada.

Figura 7. Molino de martillos.



Fuente: <<https://spanish.alibaba.com/product-detail/sfsp60-water-drop-hammer-mill-322763112.html>>

2.1.2 Etapa de mezclado. Se refiere a la incorporación y mezcla homogénea de todos los componentes que constituyen la fórmula. En esta etapa se espera que todos los principios nutritivos de la fórmula estén presentes en la ración a suministrar. En el proceso de mezclado intervienen varios factores:

- Forma de las partículas: Las formas esféricas y lisas tienen menor asociación que las formas angulosas.

- Tamaño y densidad: Las harinas con tamaño y densidad semejantes son más fáciles de mezclar.
- Proporción y tiempo: Los ingredientes como las vitaminas, minerales, antioxidantes, aglutinantes, etc., necesitan mayor tiempo de mezclado para que su distribución sea homogénea en toda la mezcla.

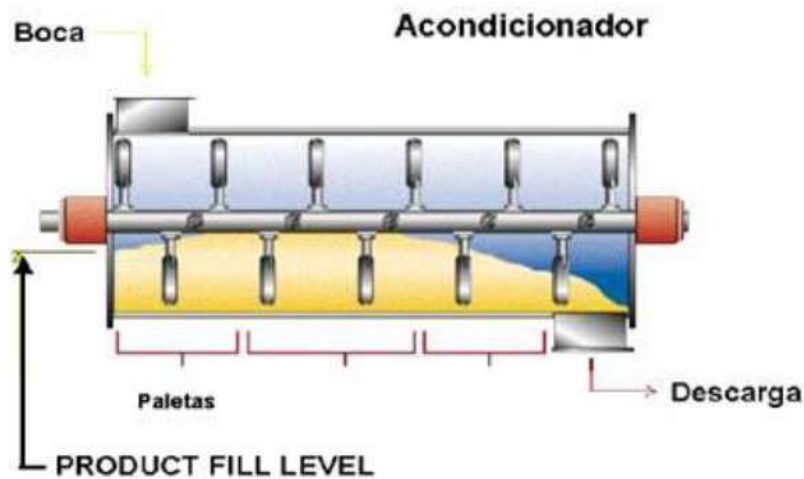
Figura 8. Mezcladora horizontal de cintas.



Fuente: <http://chemix.en.made-in-china.com/offer/KebJdVTMrHps/Sell-Second-Hand-Blender-and-Mixer.html>

2.1.3 Etapa de acondicionamiento. El acondicionador juega un papel importante en la estabilidad final del pellet. Al inyectar vapor al material a extruir se aumenta la gelatinización de los almidones presentes, ayudando al desarrollo de las propiedades funcionales de los ingredientes proteicos, como por ejemplo el gluten. La combinación de humedad, tiempo de residencia y temperatura son factores determinantes para alcanzar alta hidroestabilidad. El acondicionador también se puede utilizar para activar aglutinantes comerciales. Normalmente el vapor se inyecta a través de una tubería llamada flauta, que puede ser interna o externa. Los acondicionadores generalmente son de tipo paletas, pudiendo cambiar el ángulo de estas, según la necesidad de flujo de material.

Figura 9. Acondicionador de paletas.



Fuente: <http://engormix.com/>

2.1.4 Etapa de extrusión. La mezcla precocida es extruida al pasar por un tornillo que empuja el material sobre una matriz plana (dado) hacia el final del cilindro de extrusión presurizado. Al salir del cilindro, el material se expande y pierde humedad por la caída brusca de presión y temperatura. En el proceso, el material termina de cocinarse, logrando que los almidones se gelatinicen hasta un 90% lo que proporciona gran estabilidad en el agua.

Las ventajas del pelletizado por extrusión son:

- Las altas temperaturas utilizadas producen la gelatinización de los almidones, aumentando la disponibilidad de los carbohidratos.
- La elevada temperatura inactiva y destruye los factores antinutricionales termolábiles presentes en cereales y oleaginosas, como por ejemplo los inhibidores del crecimiento.
- El pellet extruido tiene mayor estabilidad en estado seco, pudiéndose almacenar por largos periodos de tiempo sin degradación de los nutrientes.

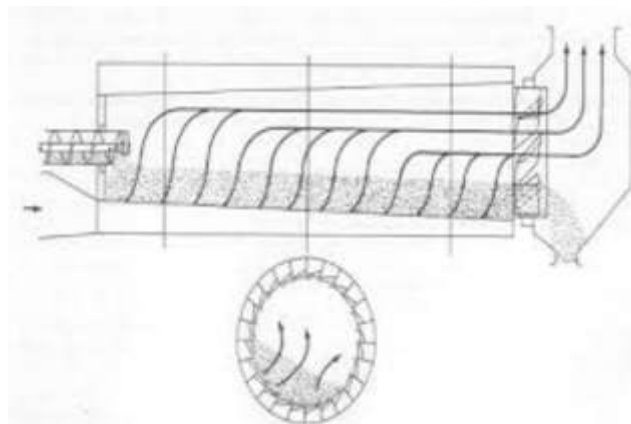
Figura 10. Extrusora.



Fuente: <http://articulo.meelko.com/531-extrusora-para-pellets-alimentacion-gatos--kgh-kw>

2.1.5 Etapa de secado – enfriado. Al finalizar el proceso de extrusión, los pellets salen calientes y húmedos teniéndose que realizar un proceso de enfriamiento y remoción del exceso de humedad para poder manipularlos y almacenar en buenas condiciones. Este proceso se realiza por medio de una corriente de aire. Comercialmente este proceso es realizado en secadores – enfriadores de tipo vertical u horizontal, los cuales cuentan con una cámara donde circula el aire a temperatura ambiente.

Figura 11. Secador – enfriador horizontal rotatorio.



Fuente: < <http://html.rincondelvago.com/secadores-rotatorios.html> >

2.2 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR

Con el objetivo de realizar un diseño que cumpla con las características deseadas por el cliente se realizó un estudio detallado basado en los requerimientos necesarios para llevar a cabo dicha solución y que esta se ajuste a la necesidad. El propósito de este proceso es presentar tres alternativas de los elementos a diseñar (o seleccionar) y con respecto a los criterios se dará una calificación la cual permitirá escoger la alternativa más adecuada.

El cliente interesado prioriza una serie de criterios para el diseño de mezcla y extrusión de una planta piloto productora de alimento para peces, dichos requerimientos son mostrados a continuación:

- Económico
- Sencillo
- Bajo consumo de energía
- Dimensionamiento adecuado
- Estético
- Baja vibraciones y ruido
- Fácil operación
- Producción eficiente
- Bajo costo de mantenimiento
- Homogeneidad del producto
- Precisión
- Seguridad en el funcionamiento y operación
- Peso moderado

2.3 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑADOR

Es indispensable realizar una lista de los criterios que el diseñador de la planta extrusora de comida para peces requiere, los cuales serán calificados con base en la necesidad del cliente para así seleccionar los más importantes y seleccionar la alternativa ganadora.

- Capacidad
- Compacto
- Estándar
- Económico
- Homogeneidad en la mezcla
- Mantenibilidad
- Vida útil
- Estabilidad
- Baja vibración y ruido

2.4 MATRIZ DE CALIDAD

Para seleccionar y analizar los subsistemas más influyentes de la planta piloto, con base a los requisitos del cliente se establece la matriz QFD (Quality Function Deployment).

Tabla 1. Matriz de calidad sección de mezcla y extrusión.

SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES							
		PRIORIDAD	SUBSISTEMA DE MEZCLADO	SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO	SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN	SUBSISTEMA DE SECADO	SUBSISTEMA DE TRANSPORTE
DISEÑO Y MANUFACTURA	ECONOMICO	9	3	3	3	3	9
	SENCILLO	4	3	3	3	1	9
	DIMENSIONAMIENTO	6	3	3	3	3	3
	ESTETICO	3	0	1	1	3	1
OPERACIÓN	CONSUMO DE ENERGIA	9	3	9	9	3	3
	VIBRACIONES Y RUIDO	7	1	1	3	1	3
	FACIL OPERACIÓN	6	3	3	3	1	1
	PRODUCCION EFICIENTE	5	9	9	9	3	0
	BAJO COSTO DE MANTENIMIENTO	4	3	3	3	9	1
	HOMOGENEIDAD DEL PRODUCTO	8	9	9	3	0	0
	PRECISA	2	9	9	3	1	0
SEGURIDAD	SEGURA EN FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN	9	9	9	9	1	3
	PESO MODERADO	5	3	3	3	1	3
	TOTAL		352	409	363	165	117

2.5 PONDERACION DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Después de obtener la matriz de calidad, se procede a ponderar los requerimientos de diseño, con el fin de obtener la influencia de éstos en el diseño de la planta piloto para cada uno de los subsistemas influyentes.

Tabla 2. Subsistemas más influyentes en la planta piloto.

SISTEMAS	VALORACIÓN	PROCENTAJE
SUBSISTEMA DE MEZCLADO	352	31,31
SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO	409	36,38
SUBSISTEMA DE EXTRUSION	363	32,29
TOTAL	1124	100

Figura 12. Subsistemas de la planta piloto.

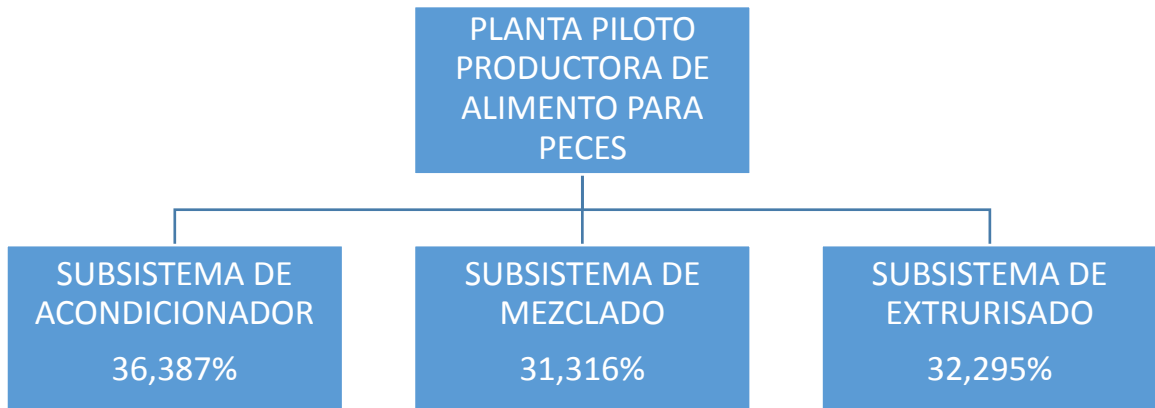


Figura 13. Subsistemas de acondicionamiento.

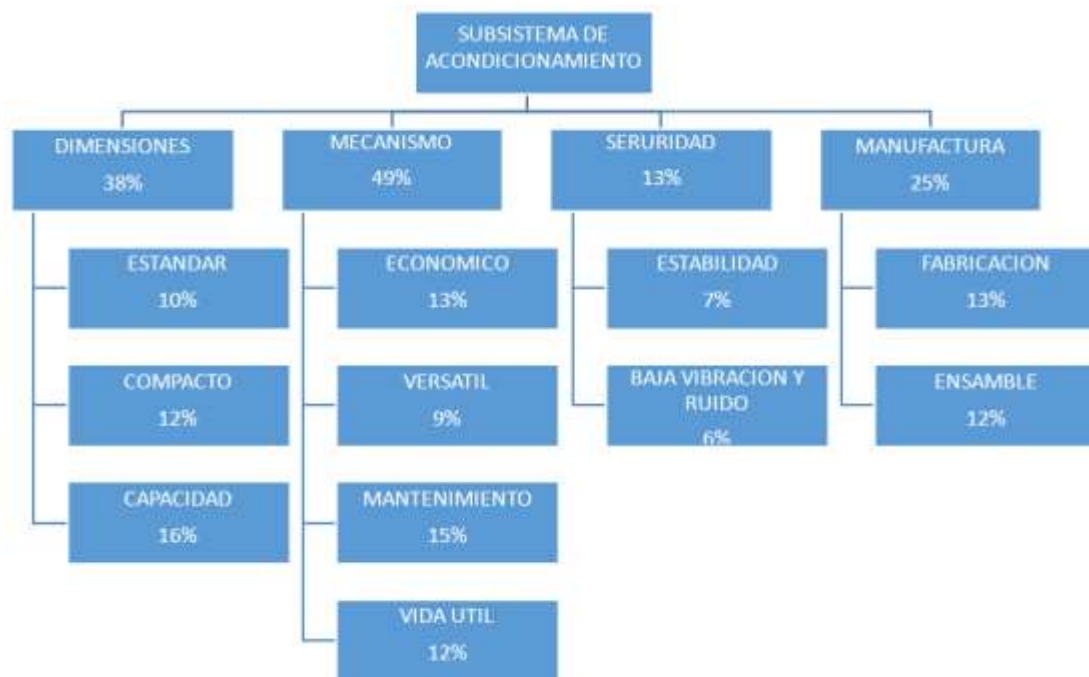


Figura 14. Subsistemas de mezclado.

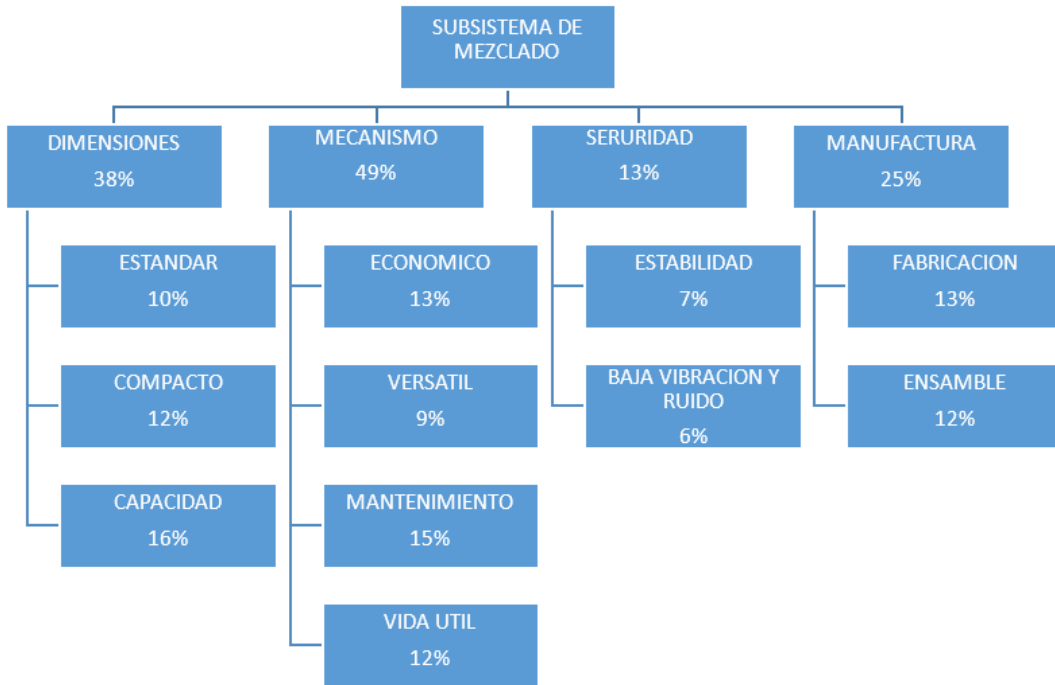
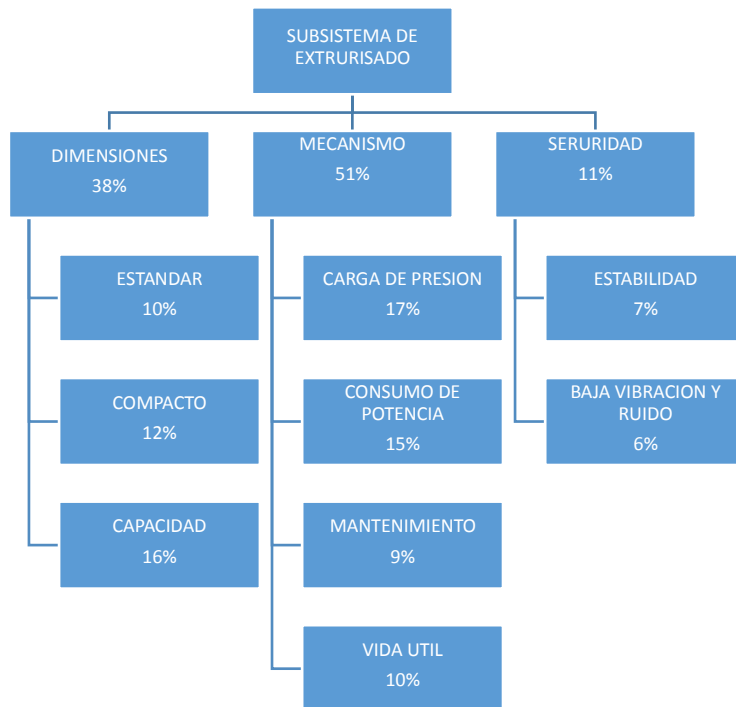


Figura 15. Subsistemas de extrusión.



2.6 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARTICULARES

2.6.1 Alternativas para el subsistema de mezclado.

2.6.1.1 Alternativa 1. Mezcladora de cintas. La mezcladora horizontal de doble cinta es la más utilizada actualmente en la industria de alimentos balanceados y la que ofrece el menor tiempo de mezclado, son especialmente útiles con ingredientes secos y de fácil movilidad. Consiste en un tambor horizontal con un eje axial de soporte y un agitador de cintas que puede tener la forma de espiral, paletas o de tornillo helicoidal.

El mezclador opera mediante dos cintas que actúan en sentidos contrarios permitiendo el movimiento del material a lo largo del tambor, evitando la acumulación de partículas en los extremos del mezclador y la formación de zonas muertas sin agitación. Adicionalmente se presenta un movimiento radial que permite que asciendan las partículas a través de las paredes del recipiente.

Figura 16. Mezcladora de doble cinta.



Fuente: <<http://www.quiminet.com>>

2.6.1.2 Alternativa 2. Mezclador de tornillo sin fin vertical. Formado generalmente de una carcasa cónica con un tornillo sin fin interno que transporta el material hacia arriba y luego el movimiento de cascada y gravitacional lo regresa hasta el fondo.

Las principales ventajas de las mezcladoras verticales son su bajo costo y menor requerimiento de espacio. Las desventajas incluyen un mayor tiempo de mezclado, capacidad limitada de inclusión de ingredientes líquidos y mayores requerimientos de limpieza.

Figura 17. Mezcladora de tornillo sin fin vertical.



Fuente. <<http://www.fimma.net>>

2.6.1.3 Alternativa 3. Mezclador de paletas planas. Consiste en un recipiente cilíndrico vertical donde el material se mezcla por acción de palas o paletas unidas a un eje rotatorio central. El flujo de los polvos se produce en tres dimensiones ocurriendo un movimiento radial y axial simultáneo.

Figura 18. Mezcladora de paletas.



Fuente: <http://www.engormix.com>

2.6.1.4 Evaluación de alternativas subsistema de mezclado.

Tabla 3. Evaluación de las alternativas propuestas para el subsistema de mezclado.

CRITERIO	PARÁMETRO	PI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
DIMENSIONES	ESTÁNDAR	10	5	0,5	4	0,4	3	0,3
	COMPACTO	12	4	0,48	2	0,24	2	0,24
	CAPACIDAD	16	5	0,8	3	0,48	2	0,32
MECANISMO	ECONÓMICO	13	4	0,52	4	0,52	3	0,39
	HOMOGENEIDAD DE LA MEZCLA	15	5	0,75	2	0,3	2	0,3
	MANTENIBILIDAD	9	2	0,18	3	0,27	3	0,27
	VIDA ÚTIL	12	4	0,48	2	0,24	4	0,48
SEGURIDAD	ESTABILIDAD	7	4	0,28	2	0,14	4	0,28
	BAJA VIBRACIÓN Y RUIDO	6	3	0,18	3	0,18	3	0,18
MANUFACTURA	FABRICACION	13	3	0,39	4	0,52	4	0,52
	ENSAMBLE	12	3	0,36	4	0,48	3	0,36
	TOTAL	100		4,17		3,77		3,64

Por cuestiones de espacio para el contenido de diseño de las máquinas, la evaluación de las alternativas para el subsistema de acondicionamiento y el subsistema de extrusión, así como las tablas correspondientes, se muestran en la sección C de los anexos.

2.7 DESCRIPCION DE LA SOLUCIÓN

2.7.1 Subsistema de mezclado. De acuerdo con la tabla 3, la alternativa que mejor cumple con los requerimientos expuestos para la elección del subsistema de mezclado es la mezcladora de cintas (Alternativa 1), en donde el movimiento de la materia prima ocurre mediante un eje de cintas el cual realiza la mezcla durante un tiempo estandarizado, inyectando posteriormente, líquidos, micro ingredientes y vitaminas, homogenizando completamente el bache (mezcla seca), se inyectan los aceites (si son necesarios), y se da un tiempo de mezclado (conocida como mezcla húmeda). Todo este proceso dura aproximadamente 8 minutos.

2.7.2 Subsistema de acondicionamiento. Según la tabla 1 de la sección C de los anexos, la alternativa que se acerca a los requerimientos para la elección óptima del subsistema de acondicionamiento es el acondicionador de paletas (Alternativa 2, sección C de los anexos), en donde se requiere, para un acondicionamiento eficiente, un tiempo de acondicionamiento mínimo 90 segundos, pero es preferible 270 a 350 segundos dependiendo de los ingredientes que se incorporan en la formula (el tiempo de residencia se puede ajustar cambiando el ángulo de las paletas y/o disminuyendo la velocidad del acondicionador), aplicar vapor saturado a 1-2 bar (15-30 psi) de presión, la temperatura de la mezcla acondicionada debe ser no menor a 90 grados Celsius y la humedad de la mezcla a la salida del acondicionador debe estar entre 16-18%. A medida que la humedad incrementa se corre el riesgo de causar inconvenientes en el proceso de extrusión.

2.7.3 Subsistema de extrusión. Conforme la tabla 2 de la sección C de los anexos, la alternativa 1 (Extrusión por tornillo sin fin) es la elección para el subsistema de extrusión, que a diferencia de otros procesos (como el pelletizado), se podría definir como un proceso que fuerza a la materia prima a pasar por uno o más procesos (mezclado, temperatura, corte, etc.), en donde el flujo a través de la matriz provoca que el material genere una gasificación u erupción. La extrusión permite el control de flotabilidad, por lo que permite fabricar alimentos flotantes, de hundimiento o de hundimiento lento, al cambiar la condición de extrusión en las que interviene la temperatura, la presión, el diámetro de la matriz, la velocidad de cizallamiento, etc., siendo así, el proceso óptimo para la elaboración de comida para peces.

3. DISEÑO BÁSICO DE LAS MÁQUINAS PRINCIPALES DE LA PLANTA

3.1 DISEÑO DE LA MEZCLADORA

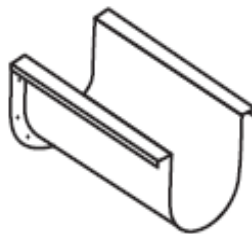
La mezcladora es una de las máquinas clave para las plantas productoras de alimento concentrado en general, siendo un proceso casi obligatorio para garantizar la homogeneidad de ingredientes en cada una de las porciones utilizadas, siendo este, el objetivo principal del mezclado.

Para el diseño de la mezcladora se deben tener en cuenta factores tales como la capacidad requerida, las condiciones de trabajo, tiempo de operación, mantenibilidad, vida útil, operación sencilla y segura, etc., recordando que, junto con la planta, la mezcladora no será operada por personal necesariamente capacitado y experimentado en este tipo de maquinaria.

Bajo estas circunstancias, se pretende un diseño robusto de la máquina mezcladora, previniendo la falla debido a la mala operación en general, principalmente por la sobrecarga, que es bastante común en las operaciones de mezclado.

3.1.1 Capacidad y dimensionamiento de la mezcladora. La capacidad de la mezcladora viene determinada por las dimensiones generales de la carcasa (canal), que, básicamente, es un recipiente en forma de “U”, como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Canal en U.



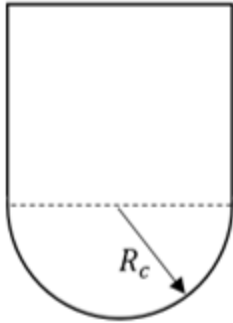
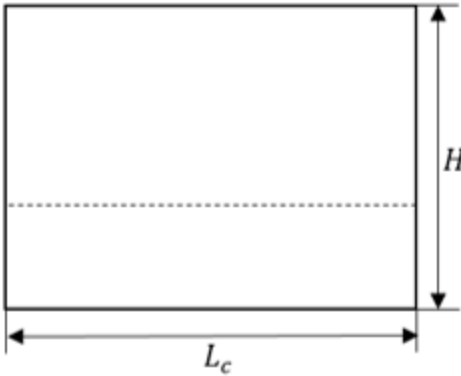
Fuente: Manual Martin para la selección de transportadores helicoidales.

3.1.1.1 Factores de dimensionamiento para la carcasa.

- Carga de material a mezclar: Se refiere a la cantidad de material que debe mezclar, para cumplir con la demanda de material de los equipos posteriores del proceso. La cantidad del material mezclado depende de la densidad de los ingredientes; teniendo en cuenta esto, se advierte que la carga puede variar ligeramente dependiendo de la formula a mezclar.
- Densidad de la mezcla: Valor promedio de los ingredientes más usados en la elaboración de alimento concentrado para peces (Maíz, sorgo y soya).
- Nivel de llenado: Aproximadamente hasta el nivel del semicírculo de la parte inferior de la carcasa, nivel utilizado ordinariamente en los procesos de mezclado de harinas.

3.1.1.2 Dimensiones básicas de la carcasa. El cálculo de las dimensiones de la carcasa se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensionamiento de la carcasa de la mezcladora.

DIMENSIONAMIENTO DE LA CARCASA	
	
ECUACIONES	
$V_m = \frac{m}{\rho}$	

$$V_m = A_c * L_c$$

$$A_c = \frac{\pi * R_c^2}{4}$$

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
m	150	[Kg]	Masa a cargar
ρ	700	[Kg/m ³]	Densidad promedio de la masa a mezclar
<i>Suponiendo un valor para:</i>			
L_c	1,2	[m]	Longitud de la carcasa
<i>Se obtiene:</i>			
R_c	0,33	[m]	Radio de la carcasa
A_c	0,1711	[m ²]	Area del semicirculo de la carcasa
V_m	0,2143	[m ³]	Volumen de la masa a mezclar

Ahora, el valor de H_c debería ser por lo menos $2R_c$; por cuestiones de seguridad, se agrega una luz en la altura por seguridad, debido a que se planea añadir componentes manualmente que no provienen de procesos anteriores de la planta.

Tabla 5. Calculo para la altura de la carcasa de la mezcladora.

ECUACION			
$H_c = 2 * R_c + 0,125 \quad [m]$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
<i>Se obtiene:</i>			
H_c	0,785	[m]	Altura de la carcasa

A continuación, con las dimensiones básicas se realizará el análisis estático de la carcasa para el cálculo del espesor de la lámina a usar, la cual será usada en la mayoría de las piezas que conforman el cuerpo del recipiente de la mezcladora.

3.1.1.3 Espesor de la carcasa.

Tabla 6. Fuerza resultante que actúa sobre la carcasa de la mezcladora.

FUERZA RESULTANTE SOBRE LA CARCASA			
			ECUACIONES
			$\gamma_m = \rho * g$ $F_V = \gamma_m * A_C * L_C$ $F_H = \gamma_m * S * L_C * H_{CENT}$ $S = R_C$ $H_{CENT} = \frac{4 * R_C}{3 * \pi}$ $X_{CENT} = \frac{4 * R_C}{3 * \pi}$ $C_P = H_{CENT} + \frac{S^2}{12 * H_{CENT}}$ $F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$ $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_V}{F_H} \right)$
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
ρ	700	[Kg/m ³]	Densidad promedio de la masa a mezclar
g	9,81	[m/s ²]	Aceleración de la gravedad
γ_m	6867	[N/m ³]	Peso específico de la mezcla
R_C	0,33	[m]	Radio de la carcasa
S	0,33	[m]	Proyeccion de la superficie curva sobre el eje "y"
L_C	1,2	[m]	Longitud de la carcasa
H_{CENT}	0,1401	[m]	Distancia vertical desde la superficie libre hasta el centroide del semicirculo
X_{CENT}	0,1401	[m]	Distancia horizontal desde el eje vertical al centroide del semicirculo
H_{CP}	0,2049	[m]	Distancia del centro de presión
F_V	735,8	[N]	Componente vertical de la fuerza
F_H	397,6	[N]	Componente horizontal de la fuerza
F_R	836,3	[N]	Fuerza resultante sobre la carcasa
θ	61,61	[°]	Angulo de la fuerza resultante despecto el eje "x"

Se determina la fuerza resultante de la carga a mezclar que actúa sobre la pared de la mezcladora para realizar el análisis mecánico de la carcasa. Para este cálculo, se supone que la mezcla se comporta como un fluido que ejerce presión hidrostática sobre las paredes del recipiente. Como el recipiente es simétrico al eje vertical, se toma para el análisis la sección derecha, como se muestra en la tabla 6. Para realizar el cálculo del espesor, se asume que la pared de la carcasa se comporta como una viga de sección rectangular a flexión, el cálculo se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Calculo del espesor de la carcasa de la mezcladora.

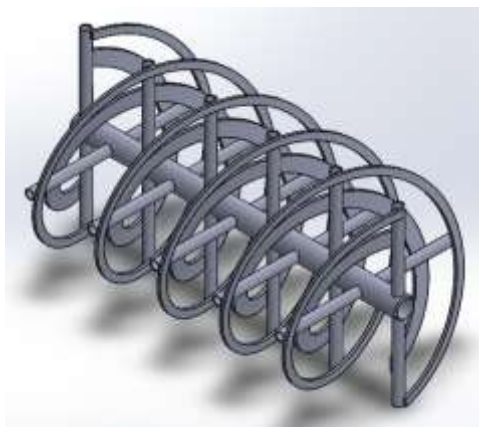
DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA CARCASA			
ECUACIONES			
$\sum M_Q = 0$ $M_{max} = M_Q = F_V * X_{CENT} + F_H * (R_C - H_{CP})$ $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $I/C = \frac{L_C * e^2}{6}$ $N_S = \frac{S_Y}{\sigma_{max}}$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
F_V	735,8	[N]	Componente vertical de la fuerza
F_H	397,6	[N]	Componente horizontal de la fuerza
R_C	0,33	[m]	Radio de la carcasa
X_{CENT}	0,1401	[m]	Distancia horizontal desde el eje vertical al centroide del semicírculo
H_{CP}	0,2049	[m]	Distancia del centro de presión
M_{max}	152,8	[Nm]	Momento maximo producido por las fuerzas sobre la carcasa
L_C	1,2	[m]	Longitud de la carcasa

<i>Suponiendo un valor para:</i>			
e	0,003	[m]	Espesor de la carcasa
I/C	0,0000018	[m ³]	Modulo de sección crítica para una sección rectangular
σ_{max}	103,4	[MPa]	Esfuerzo máximo de flexión
S_Y	206,8	[MPa]	Resistencia a la fluencia del acero A304
N_S	2,543		Factor de seguridad para la carcasa

Al suponer el espesor para la carcasa, se obtiene un factor de seguridad suficiente para el diseño, resaltando que se toma el valor más bajo de la resistencia a la fluencia para aceros inoxidables AISI 304 encontrados en el mercado, lo que supone un cálculo es conservador respecto el material.

3.1.2 Sistema de mezclado. El sistema de mezcla consiste en un rotor (un eje central y soportes radiales) provisto de cintas, como se mencionó en el capítulo anterior, el cual tendrá la función de empujar el material de un lado a otro de la carcasa, proceso por el cual se realiza el mezclado, garantizando así la homogeneidad de los ingredientes en la totalidad del volumen de material cargado.

Figura 20. Rotor de cintas helicoidales.



Conforme al dimensionamiento de la carcasa, se realiza un diseño básico de las piezas del sistema de mezclado debido a que es necesario tener una base

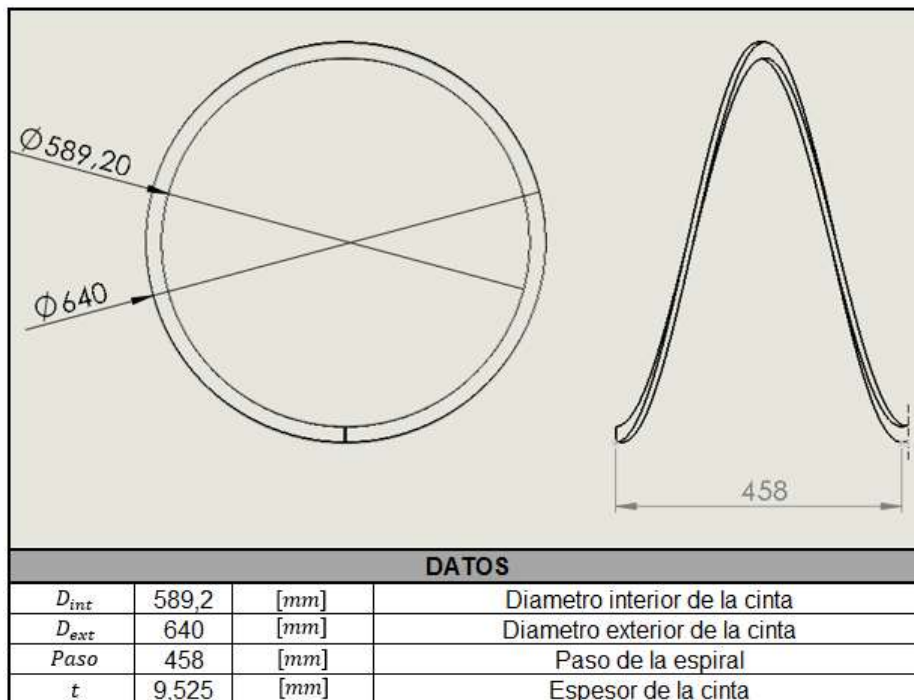
geométrica para los cálculos posteriores, con el fin de verificar su funcionalidad o la necesidad de realizar cambios, según sea el caso.

3.1.2.1 Diseño de las cintas helicoidales. Al inspeccionar las cintas individualmente, se determina que es imposible realizar un cálculo analítico (estáticamente indeterminado), ya sea estático o dinámico. Debido a los problemas que se presentan, se opta por realizar un estudio mecánico de este elemento mediante el complemento *Simulation* del software *SolidWorks* que, de manera simple, permite realizar simulaciones de casos estáticos y de fatiga bajo el análisis de elementos finitos.

a) Análisis estático de las cintas.

Para este análisis, se realiza un modelo virtual de la cinta externa en *SolidWorks*, como el que se muestra en la tabla 8.

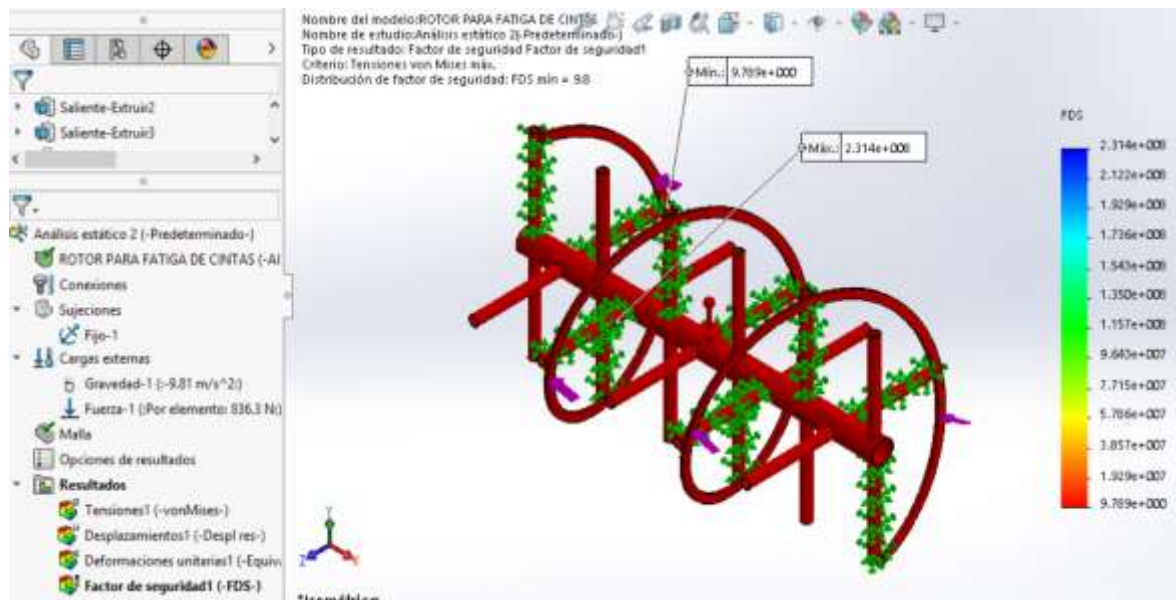
Tabla 8. Medidas generales de la cinta helicoidal externa.



Las dimensiones de la cinta externa son dependientes a las dimensiones de la carcasa; el espesor se determina inicialmente por experiencia de fabricantes de este tipo de máquinas, en este caso, un espesor para la cinta externa e interna de 9,525 [mm], equivalente a 3/8 [in] es deseable, quien debe soportar, de igual manera, la fuerza resultante calculada para la carcasa anteriormente ($F_R = 836,3 [N]$), fuerza que actúa en dirección normal a la cara de la cinta.

Estos datos se agregan al caso de estudio estático en el complemento *Simulation*, además del material, seleccionando de la biblioteca de materiales (acero inoxidable AISI 304, $S_y = 206,8 [Mpa]$) y las sujeciones para la cinta, que, en este caso, son los soportes radiales del rotor. Seguidamente, se realiza el mallado del sólido y se ejecuta el análisis estático. El programa genera un informe de resultados, en donde se puede apreciar las tensiones equivalentes de Von Mises, los desplazamientos y las deformaciones unitarias. Para poder visualizar el factor de seguridad del sólido bajo estudio, se debe solicitar haciendo click derecho sobre la pestaña de resultados, y seleccionado la opción para el factor de seguridad.

Figura 21. Factor de seguridad obtenido para la cinta externa.

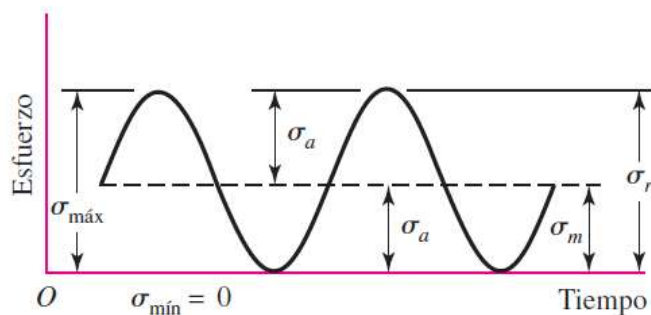


En este caso, como se puede apreciar en la figura 21, luego del análisis estático, el programa determina que el sólido tiene un factor de seguridad mínimo de 9,8, encontrándose en la parte posterior de la cinta, al lado de la unión con uno de los soportes. Después del análisis de resultados, se determina que las dimensiones iniciales para la cinta cumplen con los requerimientos solicitados para el caso estático, requerimientos que comparte con la cinta interna, pero, este tipo de elementos normalmente fallan a fatiga, dado que sufre ciclos de carga y descarga continuamente en su operación, para esto, debemos analizar el sólido bajo el caso de fatiga, que se muestra a continuación.

b) Análisis de fatiga de las cintas.

El esfuerzo que actúa sobre el sistema de mezclado en general es repetitivo, debido a la naturaleza de las maquinas rotatorias. En este caso, las cintas tendrán secciones donde se encuentren bajo carga y otras secciones sin carga, siguiendo, de manera general, el patrón de esfuerzos mostrados en la figura 22.

Figura 22. Patrón de esfuerzos fluctuantes sobre las cintas.



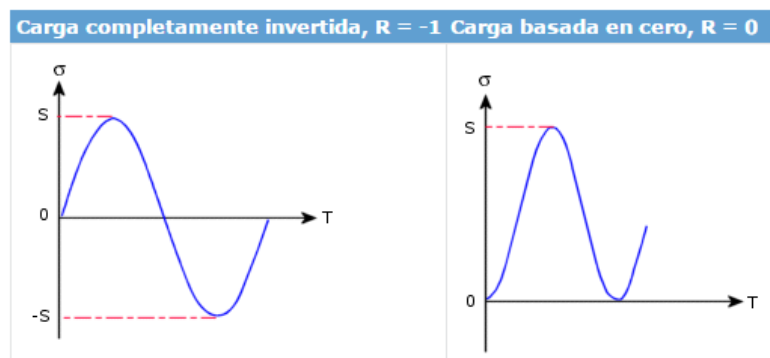
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

Para realizar el análisis de fatiga de la cinta externa, se debe primero, realizar el análisis estático (descrito anteriormente) y generar de esta forma, un suceso para

ser usado en la ejecución del análisis de fatiga, especificando para cuantos ciclos de carga se desea observar y respecto a qué Relación de tensión “R” (Relación de tensión cíclica mínima frente a la tensión cíclica máxima).

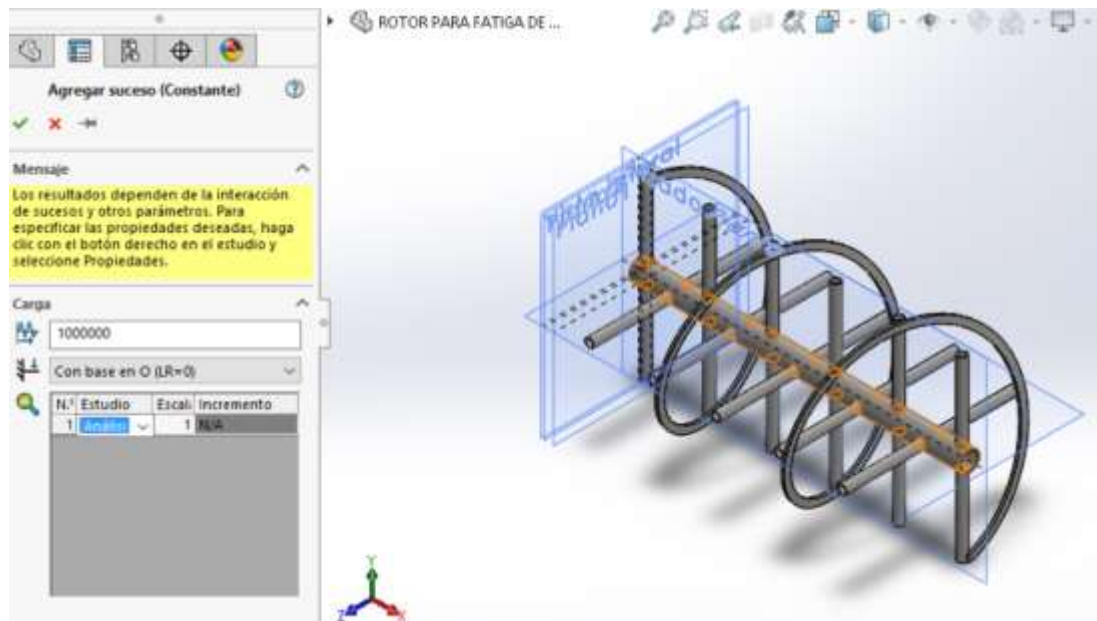
Para este caso, se desea analizar para una vida útil de 1'000.000 ciclos, considerada generalmente como una vida útil larga y seleccionando una Relación de tensión LR=0 (descrita en la figura 22.) como muestra la figura 23.

Figura 23. Descripción de la relación de tensión usada por *SolidWorks Simulation*.



Fuente: <http://help.solidworks.com> - Ayuda de *SolidWorks*, *SolidWorks Simulation*, Análisis de fatiga, Curva de ciclo de vida fatiga (S-N).

Figura 24. Parámetros para el análisis de fatiga de la cinta externa.



El material ya viene seleccionado del análisis estático, pero, para el análisis de fatiga, se debe definir la curva S-N de fatiga del material. *SolidWorks* dispone de las curvas S-N de ciertos materiales en su biblioteca, no siendo el caso, para el acero inoxidable AISI 304 con el que se pretende fabricar esta pieza. Sin embargo, el programa tiene la posibilidad de asociar una curva S-N para el material seleccionado partiendo de la curva S-N de un material de referencia (figura 34.). La curva S-N se obtiene dividiendo cada valor de tensión de la curva S-N del material de referencia por el módulo de elasticidad del material de referencia ASME y multiplicándolo por el módulo de elasticidad del material actual (figura 25.).

Figura 25. Curva S-N del material de referencia (acero austenítico, cromo -níquel).

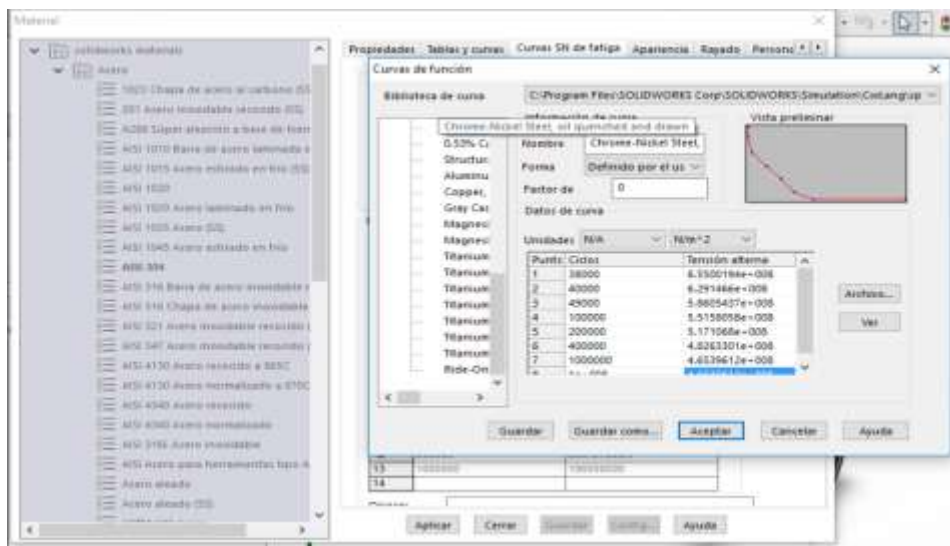
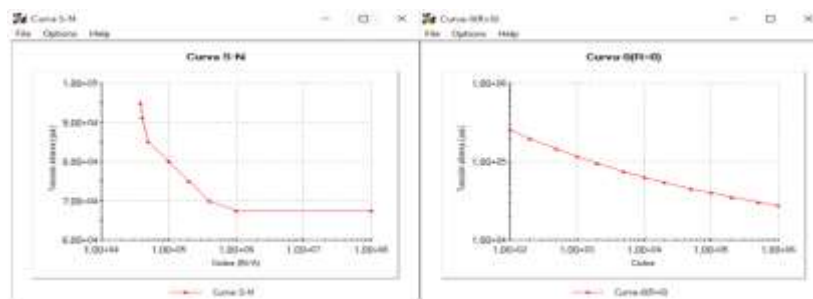


Figura 26. Curva S-N del material de referencia, curva S-N del acero inoxidable.



Luego de tener todos los parámetros necesarios para el análisis de fatiga, se ejecuta el estudio, para este caso, resulta que los esfuerzos alternos aplicados al modelo se encuentran todos por debajo del mínimo valor de la curva S-N del material, resultando en no daño en ningún lugar del modelo, como demuestra la figura 27. y la figura 28.

Figura 27. Mensaje de *SolidWorks Simulation*, después del análisis de fatiga de la cinta externa.

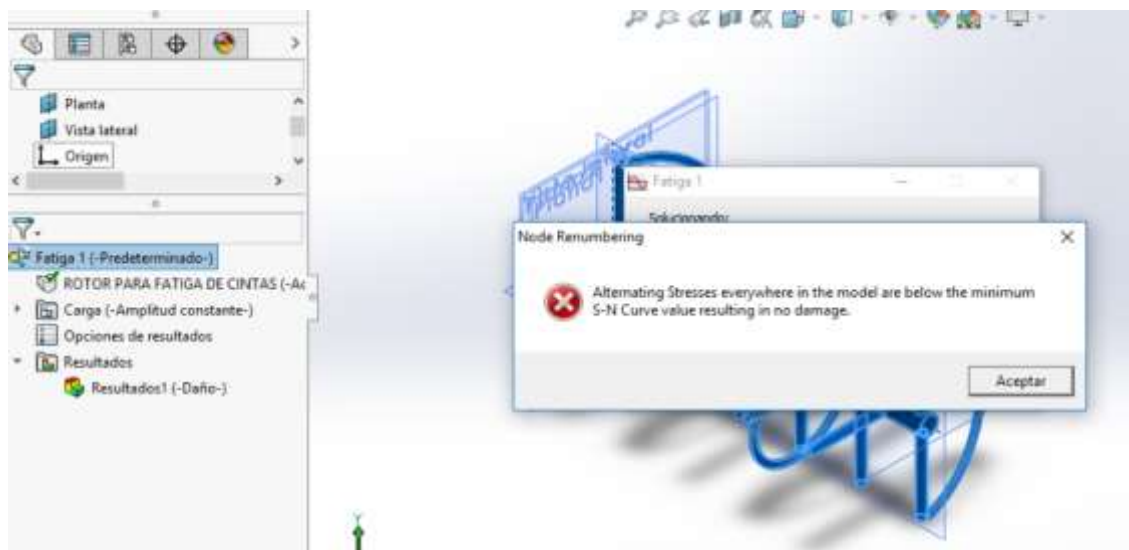
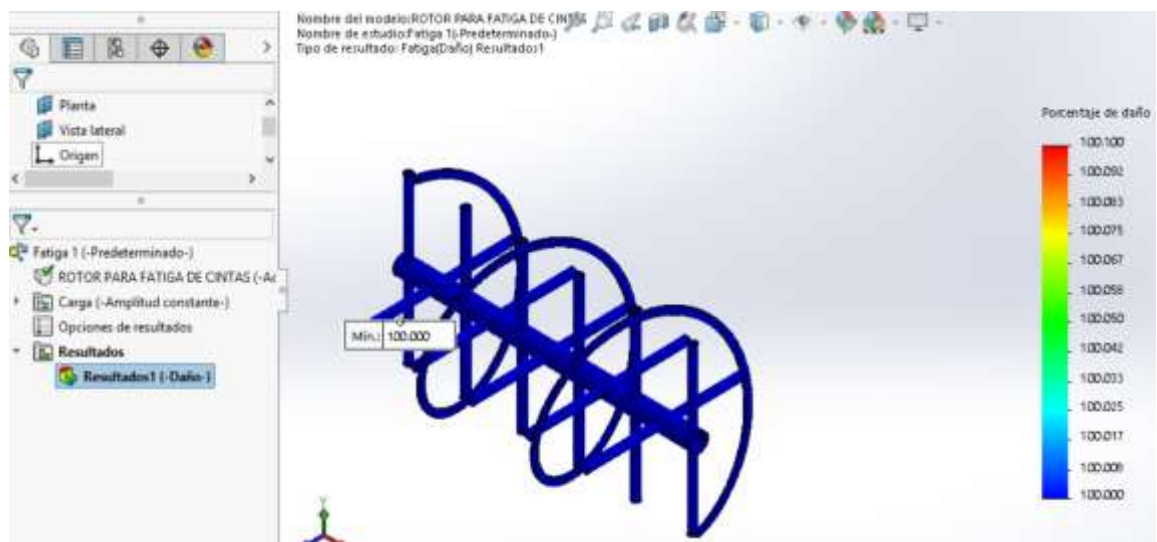


Figura 28. Gráfica de porcentaje de daño del sólido.

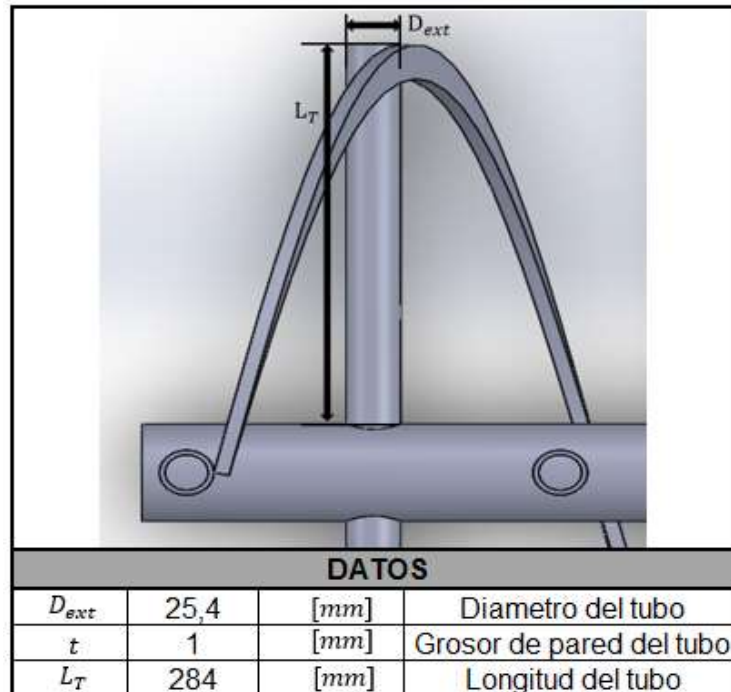


La figura anterior, hace referencia a que el porcentaje de daño del sólido se encuentra por debajo del mínimo establecido (el programa lo establece como 100%), verificando que el diseño a fatiga, bajo los parámetros dados es satisfactorio.

Luego de obtener los resultados del análisis estático y de fatiga, mediante *SolidWorks Simulation*, se concluye que las dimensiones que se establecieron cumplen con todos los requerimientos necesarios para su funcionalidad y vida útil duradera.

3.1.2.2 Diseño de soportes para las cintas. Los soportes para las cintas consisten en tubos de acero inoxidable AISI 304, ubicados por pares, rotando 90° de par en par, unidos, mediante soldadura, al eje central del rotor y a las cintas, las dimensiones generales se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Soporte para las cintas helicoidales.



Debido a los problemas presentados para determinar las cargas sobre estos elementos, se recurre nuevamente al programa *SolidWorks Simulation*, en donde se realiza el montaje de todas las cintas sobre los soportes, y se simula estáticamente para la carga sobre las cintas calculada inicialmente ($F_R = 836,3 [N]$).

Este programa permite, luego del análisis estático, calcular las reacciones sobre cada uno de los elementos de soporte (sujeciones), como se muestran en las figuras 29 y 30.

Figura 29. Fuerzas resultantes sobre los soportes horizontales.

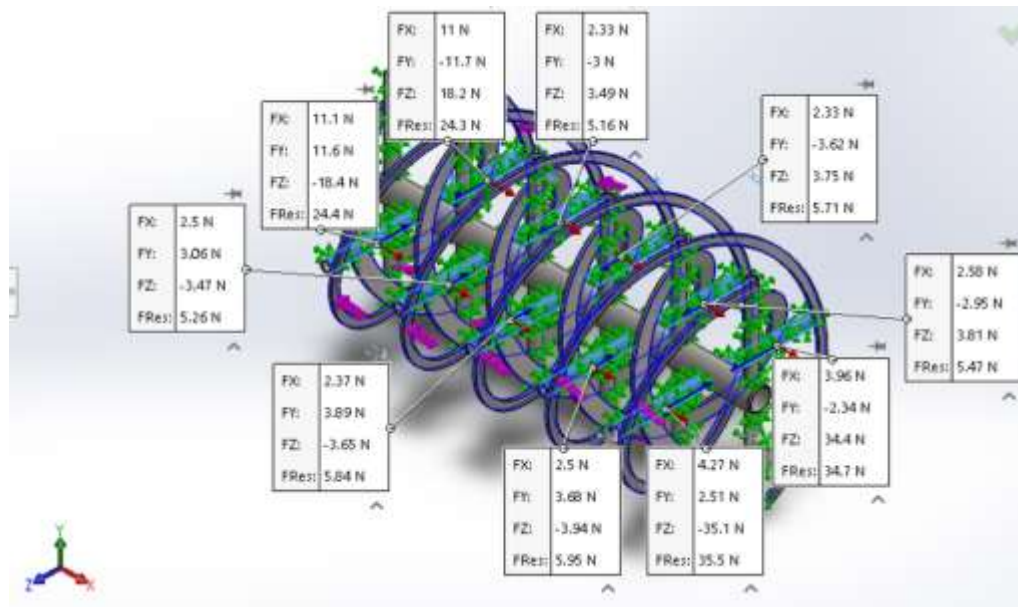
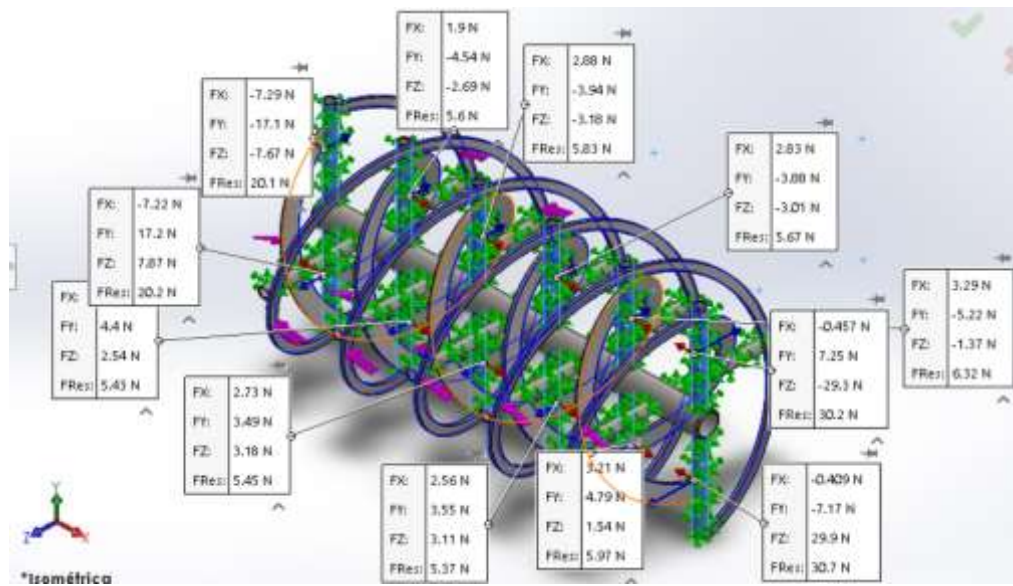


Figura 30. Fuerzas resultantes sobre los soportes verticales.

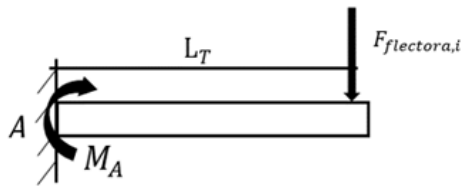
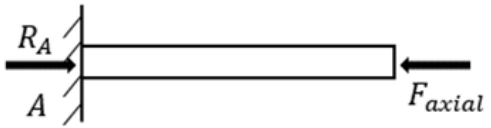


Luego de analizar los resultados de las reacciones obtenidas para los elementos de soporte, es claro que los elementos sometidos a mayores fuerzas resultantes son los que se encuentran en los extremos del eje del rotor. Se debe determinar cuál es el elemento crítico, quien es el que fallará en primera instancia, para esto, no basta con seleccionar el elemento con mayor fuerza resultante como el elemento crítico, se debe analizar la combinación de las fuerzas flectoras en los dos planos en los que actúan y la fuerza axial. Para este análisis se usará el principio de superposición para la flexión compuesta (flexión y carga axial).

a) Análisis estático de los soportes.

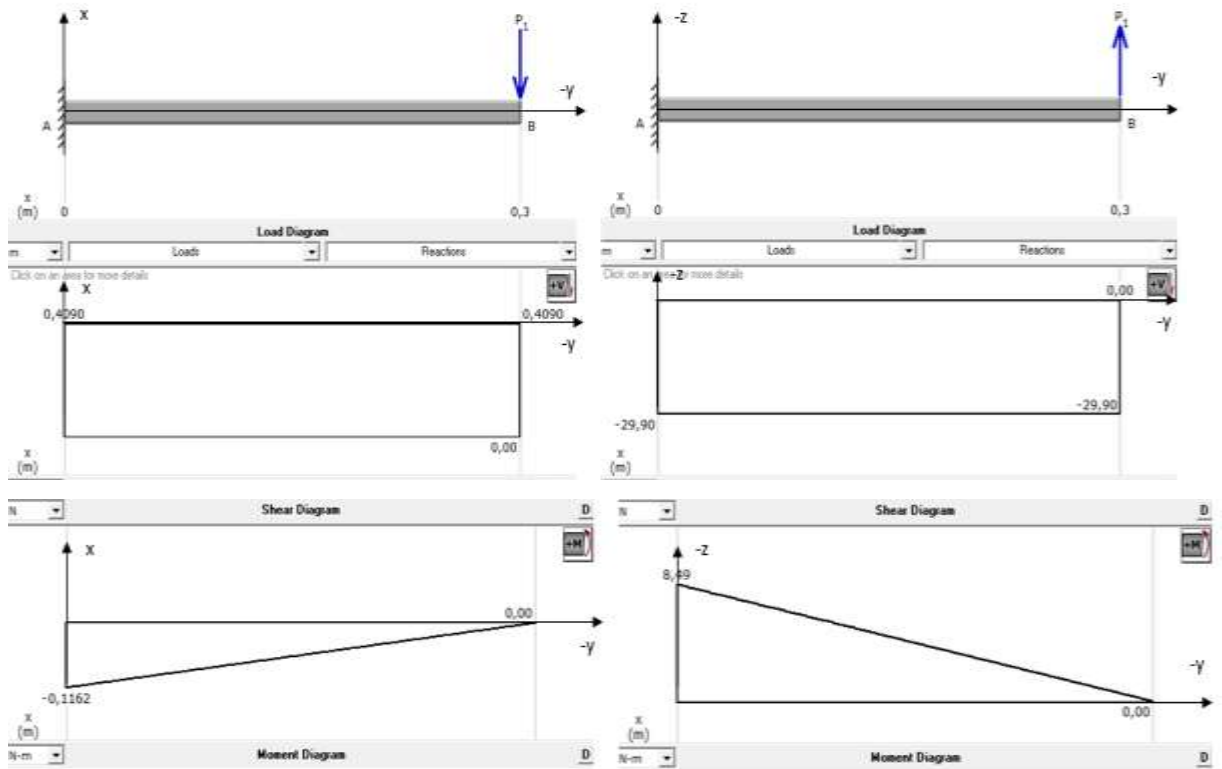
Para este análisis, se usarán las ecuaciones de forma genérica en la tabla 10, cabe resaltar que las fuerzas que generan momentos flectores en los soportes ubicados horizontalmente son las fuerzas resultantes F_x y F_y , la fuerza axial la produce la resultante F_z , mientras que, para los elementos verticales, las resultantes que generan momentos flectores son F_x y F_z , siendo la resultante F_y quien actúa axialmente. H1 y H2 son los elementos críticos horizontales y V1 y V2, los elementos críticos verticales.

Tabla 10. Análisis estático del soporte de las cintas.

ANÁLISIS ESTÁTICO PARA LOS SOPORTES DE LAS CINTAS						
FUERZAS FLECTORAS				ECUACIONES		
				$M_{A,i} = F_{flectora,i} * L_T$ $M_{max} = \sqrt{M_{A,1}^2 + M_{A,2}^2}$ $\sigma_{max} = \frac{F_{axial}}{A_T} \pm \frac{M_{max}}{I/C}$		
FUERZA AXIAL				$I/C = \left(\frac{\pi}{32}\right) * \left(\frac{D_{ext}^4 - D_{int}^4}{D_{ext}}\right)$		
				$A_T = \left(\frac{D_{ext}^2 - D_{int}^2}{4}\right)$ $N_S = \frac{S_Y}{\sigma_{max}}$		
SIMBOLO	VALOR PARA EL ELEMENTO				UNIDADES	DESCRIPCION
	H1	H2	V1	V2		
F_R	24,4	35,5	20,2	30,7	[N]	Fuerza resultante del elemento
F_x	11,1	4,27	-7,22	-0,409	[N]	Componente "x" de la fuerza
F_y	11,6	2,51	17,2	-7,17	[N]	Componente "y" de la fuerza
F_z	-18,4	-35,1	7,87	29,9	[N]	Componente "z" de la fuerza
L_T	0,284	0,284	0,284	0,284	[m]	Distancia de la aplicación de las fuerzas
$M_{A,1}$	-3,294	-0,7128	-2,235	-8,492	[Nm]	Momento flector producido por la primera fuerza
$M_{A,2}$	3,152	1,213	-2,05	-0,1162	[Nm]	Momento flector producido por la segunda fuerza
M_{max}	4,56	1,407	3,033	8,492	[Nm]	Momento máximo sobre el elemento
F_{axial}	-18,4	-35,1	17,2	7,17	[N]	Fuerza axial del elemento
A_T	7,66E-05	7,66E-05	7,66E-05	7,66E-05	[m ²]	Area transversal del soporte
D_{ext}	0,0254	0,0254	0,0254		[m]	Diametro exterior del tubo
D_{int}	0,0244	0,0244	0,0244	0,0244	[m]	Diametro interior de tubo
I/C	5,27E-07	5,27E-07	5,27E-07	5,27E-07	[m ³]	Modulo de sección crítica para una seccion circular hueca
σ_{max}	9,894	2,886	6,844	19,26	[MPa]	Esfuerzo máximo sobre el elemento
S_Y	206,8	206,8	206,8	206,8	[MPa]	Resistencia a la fluencia del acero A304
N_S	20,82	71,37	30,1	10,69		Factor de seguridad para el soporte

Como se puede apreciar, el elemento crítico no es el que tiene la mayor fuerza resultante, en este caso, el elemento crítico resultó ser el elemento que posee mayor momento de flexión, obteniendo un factor de seguridad favorable para las dimensiones y requerimientos expuestos, ahora, se comprobará a fatiga.

Figura 31. Diagrama de cuerpo libre (fuerzas flectoras), fuerza cortante (V) y momento flector (M) en el soporte de las cintas, respecto a los ejes x y z.



Fuente: MDSolids 3.5.

b) Análisis de fatiga del soporte para las cintas.

Como se mencionó anteriormente, el sistema de mezclado en general trabaja bajo cargas repetitivas, por lo tanto, se debe contemplar el análisis de fatiga de este elemento. Se usan los datos de la tabla anterior para los cálculos mostrados en la tabla 11. Las constantes usadas se encuentran en la sección D de los anexos.

Tabla 11. Análisis de fatiga del soporte de las cintas.

ANALISIS DE FATIGA DEL SOPORTE PARA LAS CINTAS			
ECUACIONES			
$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ $N_{SF} = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$		$S_e = S'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$ $S'_e = 0,5 * S_{ut}$ $k_a = a * S_{ut}^b$ $k_b = 1,24 * d_{equiv}^{-0,107}, 2,79 \leq d_{equiv} \leq 51 \text{ mm}$ $A_{equiv} = A_T$ $A_{equiv} = \frac{\pi * (d_{equiv}^2)}{4}$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
σ_{max}	19,26	[Mpa]	Esfuerzo máximo
σ_{min}	0	[Mpa]	Esfuerzo mínimo
σ_a	9,632	[Mpa]	Esfuerzo alterno
σ_m	9,632	[Mpa]	Esfuerzo medio
S_{ut}	568	[Mpa]	Resistencia a la tensión del acero AISI 304
S'_e	215,3	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga de la probeta
a	4,51		Valor de "a" para el factor de superficie
b	-0,265		Valor de "b" para el factor de superficie
k_a	0,84		Factor de modificación de la superficie
A_T	76,65	[mm ²]	Area transversal del tubo
k_b	0,9705		Factor de modificación del tamaño
k_c	1		Factor de modificación de la carga
k_d	1,025		Factor de modificación de la temperatura
k_e	0,897		Factor de confiabilidad
k_f	1		Factor de de modificación de efectos varios
S_e	212	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga
N_{SF}	16,07		Factor de seguridad de fatiga

Luego de realizar el análisis de fatiga del elemento, se comprueba que las dimensiones usadas son satisfactorias para los requerimientos de operación.

3.1.3 Potencia requerida. El cálculo de potencia requerida es necesario para cálculos posteriores sobre los ejes del rotor. La potencia se relaciona directamente con la velocidad a la que se desea que gire el rotor y el torque que requerido para realizar la mezcla del material.

Si se analizan las figuras 38 y 39, los elementos de soporte horizontales ejercen torsión sobre el eje central mediante la componente F_Y , mientras que la componente F_Z se anula entre los soportes del lado derecho e izquierdo, además, la componente F_x genera un ligero empuje axial. De igual forma, analizando los elementos de soporte verticales, se resalta que la componente F_Z es la que genera torsión sobre el eje central, F_Y se anulan y F_x aportan al empuje axial. Los elementos verticales y horizontales que no están en los extremos del eje ejercen pares torsores similares, pero los elementos de los extremos ejercen pares torsores mayores, por esto, tomaremos el elemento de soporte vertical crítico, quien es el que genera el mayor momento torsor para calcular la potencia requerida.

Tabla 12. Cálculo de potencia requerida para la mezcladora.

POTENCIA REQUERIDA			
ECUACIONES			
$H_m = \frac{T_d, [lb\cdot in] * n}{63025}$ $T_d = N_{soportes} * M_A$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
M_A	8,492	[Nm]	Momento torsor máximo
$N_{soportes}$	22		Número de soportes
T_d	186,8	[Nm]	Torque requerido
$T_d, [lb\cdot in]$	1653,32	[lb·in]	Torque requerido en [lb·in]
n	95	[rpm]	Revoluciones por minuto deseadas
H_m	2,492	[Hp]	Potencia requerida
$H_m, [kW]$	1,86	[kW]	Potencia requerida en [kW]

Considerando las pérdidas que se producen en el sistema de transmisión de potencia, comportamiento de la mezcla variable, posible sobrecarga al mezclar y potencia necesaria para mover el rotor se opta por usar un motorreductor de 3 [Hp] aproximadamente.

3.1.4 Sistema de transmisión de potencia. Para el sistema de transmisión de potencia se considera el uso de ruedas dentadas y cadena, principalmente, porque se requiere que sea de alta durabilidad, además es poco sensible al medio en el que trabaja. Los cálculos se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 13. Cálculo del sistema de transmisión.

CALCULO SISTEMA DE TRANSMISIÓN	
DIMENSIONES GENERALES	FUERZAS SOBRE EL SISTEMA
ECUACIONES	
$n = \frac{n_{motor}}{i}$ $i = \frac{z_2}{z_1}$ $D_{paso,P} = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}}$ $D_{paso,R} = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{z_2}}$ $N_e = (2C) + \left(\frac{z_1 + z_2}{2}\right) + \frac{(z_2 - z_1)^2}{4\pi^2 C}$ $L_C = N_e * P$ $A = \left(\frac{z_1 + z_2}{2}\right) - \frac{L_C}{P}$	$C = \frac{P}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2} \right]$ $\phi = \sin^{-1} \left[\frac{D_{paso,R} - D_{paso,P}}{2C} \right]$ $\sum M_m = 0$ $T_d = T_m$ $T_m = F_m * \frac{D_{paso,R}}{2}$ $T_P = F_m * \frac{D_{paso,P}}{2}$ $F_{my} = F_m * \sin(\phi)$ $F_{mz} = F_m * \cos(\phi)$

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
n	95	[rpm]	Velocidad de giro del rotor de cintas
<i>Dando valores para:</i>			
z_1	15		Número de dientes piñón motriz
z_2	45		Número de dientes rueda conducida
<i>Se tiene:</i>			
i	3		Relación de transmisión
n_{motor}	285	[rpm]	Velocidad de giro del motor
<i>Seleccionando un valor para P:</i>			
P	0,01905	[m]	Paso de las ruedas dentadas y cadena
$D_{paso,P}$	0,09163	[m]	Diametro de paso del piñón
$D_{paso,R}$	0,2731	[m]	Diametro de paso de la rueda
C	0,72	[m]	Distancia entre centros de las ruedas dentadas
N_e	106		Número de eslabones de la cadena
L_C	2,025	[m]	Longitud de la cadena
A	-76,31		Variable para el calculo de la distancia entre centros
\emptyset	7,228		Ángulo de contacto de la transmisión
M_m			Momento alrededor del punto "m" (Punta del eje de la rueda conducida)
T_m	186,8	[Nm]	Torque de la rueda motriz
T_d	186,8	[Nm]	Torque requerido
F_m	1368	[N]	Fuerza resultante de la rueda conducida
F_{my}	1357	[N]	Componente "y" de la fuerza resultante
F_{mz}	172,1	[N]	Componente "z" de la fuerza resultante
T_p	62,67	[Nm]	Torque del piñón

Tabla 14. Verificación de la selección de la cadena.

VERIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA CADENA			
ECUACIONES			
$Hp_{Adm} = \frac{Hp_{Tab} * F_H}{F_s}$			
$Hp_{Dis} = Hp_{Req} * F_s$			
$Hp_{Adm} > Hp_{Dis}$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
Hp_{Tab}	5,915	[Hp]	Potencia tabulada para la cadena
F_H	1	[Hp]	Factor de hileras múltiples
F_s	1,3	[Hp]	Factor de servicio
Hp_{Adm}	4,55	[Hp]	Potencia admisible para la cadena
Hp_{Req}	3	[Hp]	Potencia requerida
Hp_{Dis}	3,9	[Hp]	Potencia de diseño

La tabla 13, mostrada anteriormente, contiene los cálculos realizados para la comprobación de la cadena seleccionada en función de parámetros tales como el factor de servicio, factor de múltiples hileras para la cadena y la potencia tabulada para la cadena bajo análisis según el manual de Martin. Se resalta que la potencia admisible de la cadena debe ser mayor que la potencia de diseño para considerar una selección óptima de la misma. Los factores mostrados, así como el valor de la potencia tabulada (que se determina bajo interpolación) se muestran en el anexo D.

Con los resultados obtenidos, se termina la selección del motorreductor con las siguientes características:

Modelo: SK 25-100L/4, Motorreductor helicoidal estándar NORD.

Potencia: 2,20 [kW] \approx 2,95 [Hp]

Velocidad: 284 [rpm]

Torque de salida: 74 [Nm]

Los elementos del sistema de transmisión de potencia seleccionado son:

Piñón: ANSI 60B15 (3/4 [in] de paso).

Rueda: ANSI 60B45 (3/4 [in] de paso).

Cadena: ANSI 60 (60-1, 3/4 [in] de paso).

La información detallada del motor seleccionado, así como la información del piñón, la rueda y la cadena se encuentra en la sección D de los anexos.

Luego de obtener las fuerzas que se generan sobre la rueda conducida, se puede calcular el eje de la punta de mando del rotor y a su vez, el eje central del rotor como se muestra a continuación.

3.1.5 Ejes del rotor. El diseño planteado sugiere usar un tubo como eje central, al cual se le soldarán los soportes de las cintas y unas puntas de eje, que serán quienes sirvan de apoyo para el rotor en general y permitan transmitir la potencia desde la rueda conducida al rotor.

Antes de analizar los ejes por separado, se calcularán las reacciones en conjunto como sugiere la tabla 15 que se muestra a continuación.

Tabla 15. Análisis estático del conjunto rotor.

ANALISIS ESTATICO DEL CONJUNTO ROTOR	
DIAGRAMAS	
ECUACIONES	
$\sum M_x = 0$ $T_D - M_m = 0$ $\sum M_y = 0$	

$$F_{ez} * 1,32 - F_{mz} * (1,32 + 0,065) = 0$$

$$\sum M_z = 0$$

$$F_{ey} * 1,32 - F_{my} * (1,32 + 0,065) + w * 0,655 = 0$$

$$w = m * g$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{by} + F_{ey} - F_{my} - w = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

$$F_{bz} + F_{ez} - F_{mz} = 0$$

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
F_{my}	1357	[N]	Componente "y" de la fuerza ejercida por la rueda
F_{mz}	172,1	[N]	Componente "z" de la fuerza ejercida por la rueda
T_D	186,8	[Nm]	Torque requerido
M_m	186,8	[Nm]	Torque sobre la rueda conducida
F_{ez}	188,4	[N]	Reaccion "z" en el punto "e"
m	150	[Kg]	Masa a cargar en la mezcladora
g	9,81	[m/s ²]	Aceleración de la gravedad
w	1472	[N]	Peso de la masa a cargar
F_{ey}	2226	[N]	Reaccion "y" en el punto "e"
F_{by}	602,1	[N]	Reaccion "y" en el punto "b"
F_{bz}	-16,3	[N]	Reaccion "z" en el punto "b"

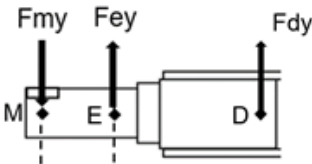
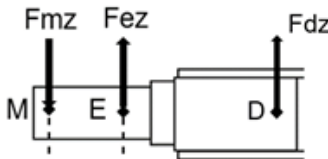
La punta crítica es la punta de mando, debido a que debe transmitir la potencia y servir de apoyo, mientras que la punta de trasera tiene como única función la de ser apoyo.

3.1.5.1 Punta de eje de mando.

a) Análisis estático de la punta de eje de mando.

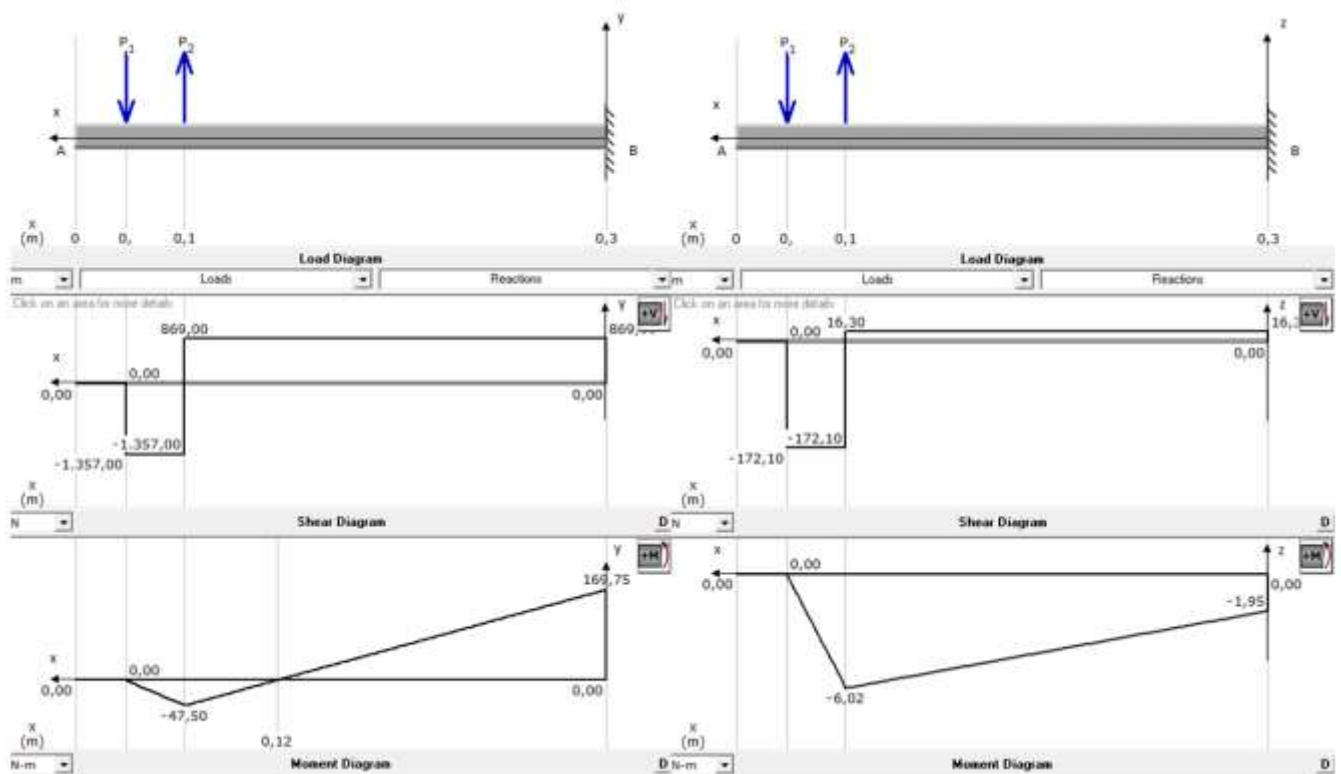
Para este análisis se considera la punta de eje como una viga empotrada en uno de sus extremos, debido a que las reacciones se calcularon sobre el rotor completo y al separar la punta, se comporta como un trozo de una viga más larga. Los cálculos se muestran a continuación.

Tabla 16. Análisis estático de la punta de eje de mando.

ANÁLISIS ESTÁTICO PARA LA PUNTA DE EJE DE MANDO			
DIAGRAMA XY		$\sum F_z = 0$ $F_{mz} - F_{ez} - F_{dz} = 0$ $M_{max} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$ $I/C = \left(\frac{\pi}{32}\right) * D_{eje}^3$ $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $T_{max} = T_D$ $J/C = \left(\frac{\pi}{16}\right) * D_{eje}^3$ $\tau_{max} = \frac{T_{max}}{J/C}$ $\sigma'_{max} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau_{max}^2}$ $N_S = \frac{S_Y}{\sigma'_{max}}$	
			
DIAGRAMA XZ			
			
ECUACIONES			
$\sum T_x = 0$ $T_D - M_m = 0$ $\sum F_y = 0$ $F_{ey} - F_{my} + F_{dy} = 0$			
SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
F_{my}	1357	[N]	Componente "y" de la fuerza ejercida por la rueda
F_{mz}	172,1	[N]	Componente "z" de la fuerza ejercida por la rueda
F_{ey}	2226	[N]	Reaccion "y" en el punto "e"
F_{ez}	188,4	[N]	Reaccion "z" en el punto "e"
T_D	186,8	[Nm]	Torque requerido
M_m	186,8	[Nm]	Torque que ejerce la rueda conducida sobre el eje
F_{dy}	-869	[N]	Reaccion "y" en el punto "d"
F_{dz}	-16,3	[N]	Reaccion "z" en el punto "d"
M_{xy}	169,75	[Nm]	Momento en el punto "d" del plano xy
M_{xz}	-1,95	[Nm]	Momento en el punto "d" del plano xz
M_{max}	169,8	[Nm]	Momento flector máximo
D_{eje}	0,0508	[m]	Diametro de la sección transversal neta
I/C	1,29E-05	[m ³]	Modulo de sección crítica para una seccion circular
σ_{max}	13,19	[MPa]	Esfuerzo normal máximo sobre el eje

T_{max}	186,8	[Nm]	Torque máximo sobre el eje
τ_{max}	7,257	[MPa]	Esfuerzo cortante máximo sobre el elemento
J/C	2,57E-05	[m ³]	Modulo de sección crítica para una sección circular
σ'_{max}	18,22	[MPa]	Esfuerzo normal máximo sobre el eje según la teoría de energía de distorsión
S_Y	372	[MPa]	Resistencia a la fluencia del acero SAE 1040
N_S	20,42		Factor de seguridad para la punta de eje

Figura 32. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante (V) y momento flector (M) del eje de la punta de mando, respecto a los ejes y y z.



b) Análisis de fatiga de la punta de eje de mando.

En el análisis estático se obtuvo un factor de seguridad elevado, recordando que, en el análisis con carga estática de materiales dúctiles es común ignorar los efectos de la concentración de esfuerzos geométricos, los cuales si se tienen en cuenta bajo carga dinámica. A continuación, se analizará la falla por fatiga considerando los cambios de sección presentados y discontinuidades para poder

comparar el factor de seguridad bajo concentradores de esfuerzos geométricos y el estático.

Tabla 17. Análisis de fatiga de la punta de eje de mando.

ANALISIS DE FATIGA PARA LA PUNTA DE EJE DE MANDO			
ECUACIONES			
$K_{f,fatiga} = 1 + q * (K_{T,Estatico} - 1)$ $\sigma_a = K_{f,fatiga} \left(\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right)$ $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ $\tau_m = \tau_{max}$ $\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$ $\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$		$S_e = S'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$ $S'_e = 0,5 * S_{ut}$ $k_a = a * S_{ut}^b$ $k_b = 1,24 * d_{eje}^{-0,107}, 2,79 \leq d_{eje} \leq 51 \text{ mm}$ $S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} + \frac{S_e}{S_{ut}}}$ $N_{SF} = \frac{S_m}{\sigma'_m}$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
$K_{T,Estatico}$	2,05		Factor estático para orificio transversal en el eje a torsión
q	0,795		Sensibilidad a la entalla del material
$K_{f,fatiga}$	1,835		Factor de concentrador de esfuerzo por fatiga
σ_{max}	13,19	[Mpa]	Esfuerzo máximo
σ_{min}	-13,19	[Mpa]	Esfuerzo mínimo
σ_a	24,2	[Mpa]	Esfuerzo alterno
σ_m	0	[Mpa]	Esfuerzo medio
τ_{max}	7,25	[Mpa]	Esfuerzo cortante máximo
τ_m	7,25	[Mpa]	Esfuerzo cortante mínimo
σ'_a	24,2	[Mpa]	Esfuerzo alterno de Von Mises
σ'_m	12,57	[Mpa]	Esfuerzo medio de Von Mises
S_{ut}	593	[Mpa]	Resistencia a la tensión del acero SAE 1040
S'_e	296,5	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga de la probeta
a	4,51		Valor de "a" para el factor de superficie
b	-0,265		Valor de "b" para el factor de superficie
k_a	0,8305		Factor de modificación de la superficie
d_{eje}	0,0508	[m]	Diámetro de la sección neta del eje
k_b	0,8145		Factor de modificación del tamaño
k_c	1		Factor de modificación de la carga
k_d	1,025		Factor de modificación de la temperatura
k_e	0,897		Factor de confiabilidad
k_f	1		Factor de de modificación de efectos varios
S_e	184,4	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga
S_m	82,46	[Mpa]	Resistencia media de Goodman modificada
N_{SF}	6,56		Factor de seguridad de fatiga

Para llegar al factor de seguridad se tuvo en cuenta el factor estático del concentrador para un eje a flexión con un redondeo en el hombro (se escogió este escenario porque el factor obtenido era más crítico que el eje con un orificio a flexión), seguidamente se obtuvo el valor del factor de concentrador de esfuerzos a fatiga (las figuras y deducciones para estos factores se muestran en la en la sección D de los anexos), se calculó la sensibilidad a la entalla de un acero al carbono de 593 [Mpa] de esfuerzo ultimo (figura 5 de la sección D de los anexos), se calcularon los esfuerzos alternos y medios de Von Mises, además de los factores modificadores de la resistencia por fatiga y por último, se calculó el factor de seguridad según el caso 3 de carga expresado en el libro de Shigley, que se refiere a un caso de carga biaxial completamente invertida.

La conclusión a la que se puede llegar es que el factor de seguridad a fatiga debido a los concentradores de esfuerzos es considerablemente menor al factor de seguridad obtenido en el análisis estático, pero lo suficientemente alto para que el diseño cumpla con los requerimientos de carga.

3.1.5.2 Eje central del rotor.

a) Análisis estático del eje central del rotor.

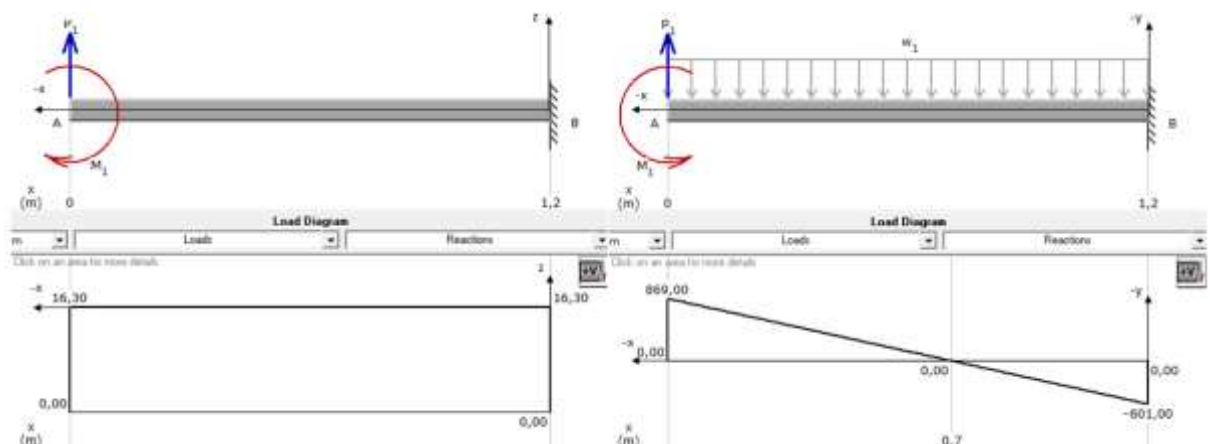
Las reacciones del punto D de la punta de eje de mando se transfieren al eje central del rotor por acción y reacción, es así como se realizará el análisis estático a continuación.

Tabla 18. Análisis estático del eje central del rotor.

ANÁLISIS ESTÁTICO PARA EL EJE CENTRAL DEL ROTOR	
DIAGRAMA GENERAL	
DIAGRAMA XY	
DIAGRAMA XZ	
ECUACIONES	
$\sum T_x = 0$ $T_D = M_1 + M_2 + \dots + M_{11}$ $T_D = 11 * 2 * M_{AY}$ $\sum F_y = 0$ $F_{cy} - w - F_{dy} = 0$ $\sum F_z = 0$ $F_{dz} - F_{cz} = 0$ $M_{max} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$	$I/C = \left(\frac{\pi}{32}\right) * \left(\frac{D_{ext}^4 - D_{int}^4}{D_{ext}}\right)$ $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $T_{max} = T_D$ $J/C = \left(\frac{\pi}{16}\right) * \left(\frac{D_{ext}^4 - D_{int}^4}{D_{ext}}\right)$ $\tau_{max} = \frac{T_{max}}{J/C}$ $\sigma'_{max} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau_{max}^2}$ $N_S = \frac{S_Y}{\sigma'_{max}}$

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
F_{dy}	869	[N]	Reaccion "y" en el punto "d"
F_{dz}	16,3	[N]	Reaccion "z" en el punto "d"
T_D	186,8	[Nm]	Torque requerido
M_{AY}	8,492	[Nm]	Momento que ejerce cada soporte sobre el tubo
w	1470	[N]	Peso de la masa a cargar
F_{dz}	188,4	[N]	Reaccion "z" en el punto "d"
F_{cz}	16,3	[N]	Reaccion "z" en el punto "c"
M_{xy}	-169,75	[Nm]	Momento en el punto "d" del plano xy
M_{xz}	1,95	[Nm]	Momento en el punto "d" del plano xz
M_{max}	169,8	[Nm]	Momento flector máximo
D_{int}	0,06268	[m]	Diametro interno de la sección transversal neta
D_{ext}	0,073	[m]	Diametro externo de la sección transversal neta
I/C	1,74E-05	[m ³]	Modulo de sección crítica para una seccion circular
σ_{max}	9,738	[MPa]	Esfuerzo normal máximo sobre el tubo
T_{max}	186,8	[Nm]	Torque máximo sobre el tubo
τ_{max}	5,358	[MPa]	Esfuerzo cortante máximo sobre el elemento
J/C	3,49E-05	[m ³]	Modulo de sección crítica para una seccion circular
σ'_{max}	13,45	[MPa]	Esfuerzo normal máximo sobre el tubo según la teoría de energía de distorsión
S_Y	206	[MPa]	Resistencia a la fluencia del acero A304
N_S	15,31		Factor de seguridad para el tubo central

Figura 33. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante (V) y momento flector (M) del eje central del rotor, respecto a los ejes z y y.



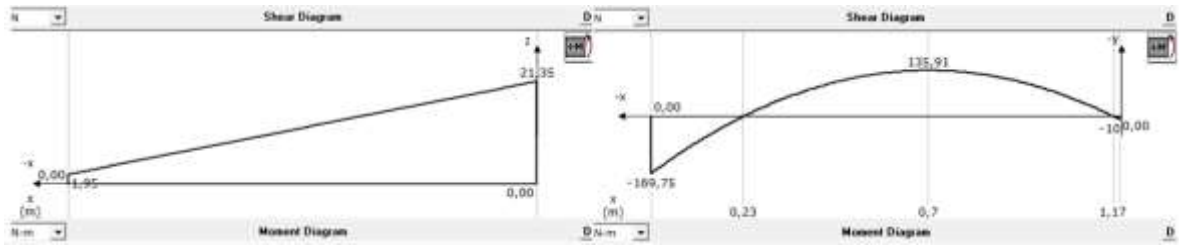
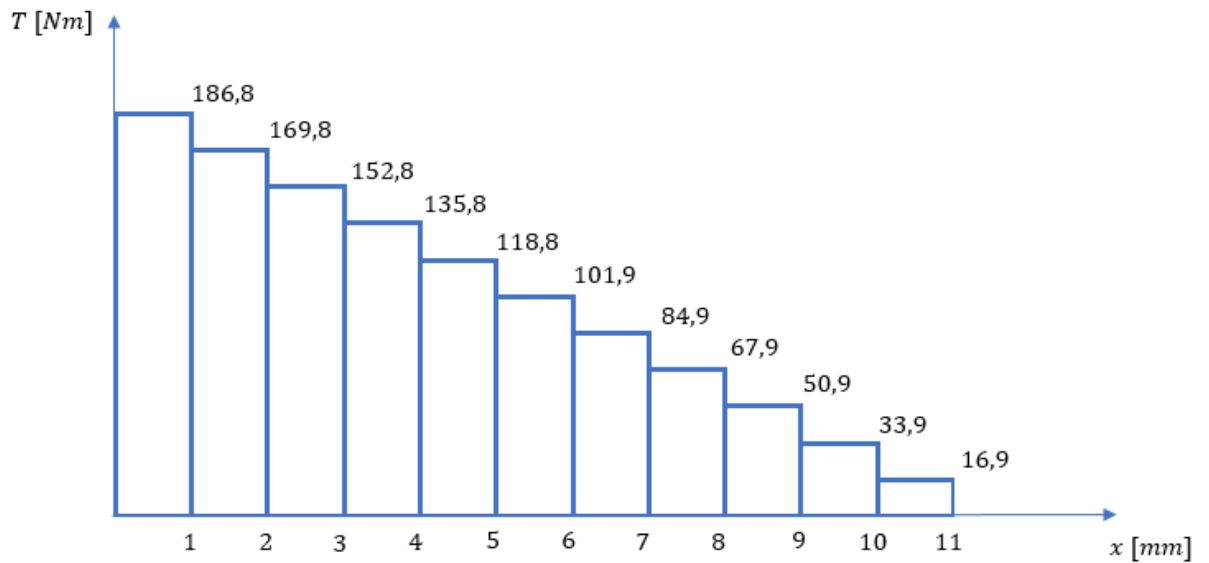


Figura 34. Diagrama de torques (T) del eje central del rotor, respecto al eje x.



Se resalta que, en el diagrama de torques, cada punto pertenece a un par de soportes ubicados a 180° uno del otro, cada uno con un momento torsor de 8,492 [Nm].

b) Análisis de fatiga del eje central del rotor.

El procedimiento es idéntico al análisis de fatiga de la punta de eje de mando, recordando que en este análisis trabajamos con un tubo y no con un eje macizo.

Tabla 19. Análisis de fatiga del eje central del rotor.

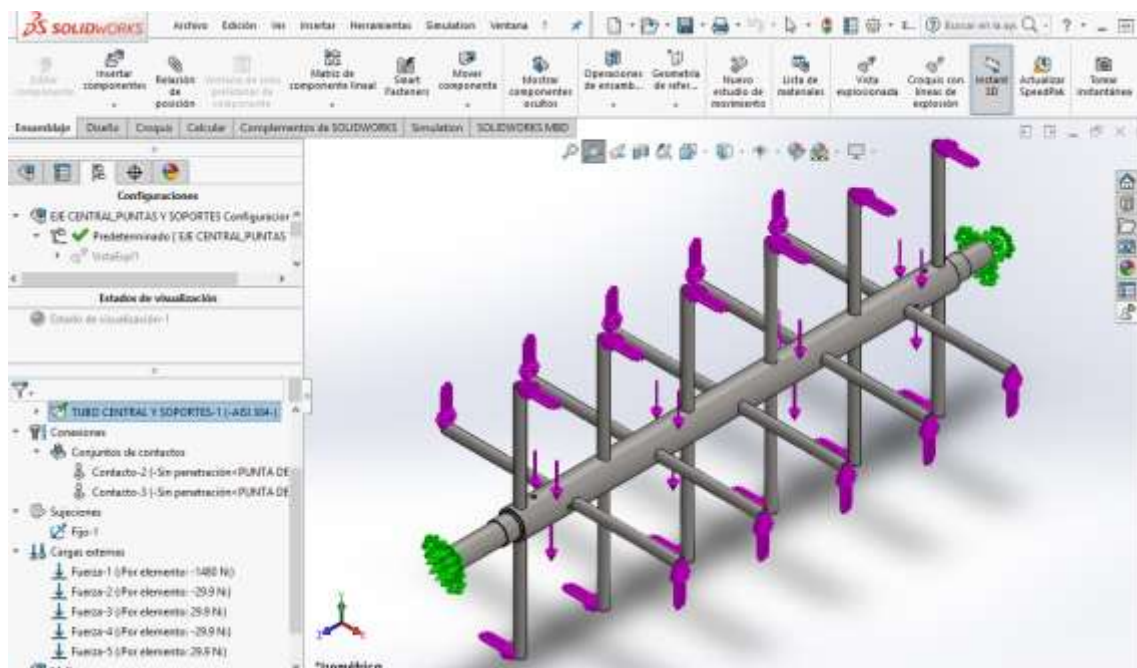
ANÁLISIS DE FATIGA PARA EL EJE CENTRAL DEL ROTOR			
ECUACIONES			
$K_{f,fatiga} = 1 + q * (K_{T,Estatico} - 1)$ $\sigma_a = K_{f,fatiga} \left(\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right)$ $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ $\tau_m = \tau_{max}$ $\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$ $\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$ $S_e = S'_e * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f$ $S'_e = 0,5 * S_{ut}$		$k_a = a * S_{ut}^b$ $k_b = 1,24 * d_{equiv}^{-0,107}, 2,79 \leq d_{equiv} \leq 51 \text{ mm}$ $A_T = \left(\frac{D_{ext}^2 - D_{int}^2}{4} \right)$ $A_{equiv} = A_T$ $A_{equiv} = \frac{\pi * (d_{equiv}^2)}{4}$ $S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} + \frac{S_e}{S_{ut}}}$ $N_{SF} = \frac{S_m}{\sigma'_m}$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
$K_{T,Estatico}$	1,9		Factor estático para orificio transversal en el eje a torsión
q	0,72		Sensibilidad a la entalla del material
$K_{f,fatiga}$	1,648		Factor de concentrador de esfuerzo por fatiga
σ_{max}	9,738	[Mpa]	Esfuerzo máximo
σ_{min}	-9,738	[Mpa]	Esfuerzo mínimo
σ_a	16,05	[Mpa]	Esfuerzo alterno
σ_m	0	[Mpa]	Esfuerzo medio
τ_{max}	5,358	[Mpa]	Esfuerzo cortante máximo
τ_m	5,358	[Mpa]	Esfuerzo cortante mínimo
σ'_a	16,05	[Mpa]	Esfuerzo alterno de Von Mises
σ'_m	9,281	[Mpa]	Esfuerzo medio de Von Mises
S_{ut}	568	[Mpa]	Resistencia a la tensión del acero SEA 1040
S'_e	284	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga de la probeta
a	4,51		Valor de "a" para el factor de superficie
b	-0,265		Valor de "b" para el factor de superficie
k_a	0,84		Factor de modificación de la superficie
d_{equiv}	37,42	[mm]	Diametro equivalente del tubo
D_{int}	62,68	[mm]	Diametro interno del tubo
D_{ext}	73	[mm]	Diametro externo del tubo
k_b	0,8416		Factor de modificación del tamaño
k_c	1		Factor de modificación de la carga
k_d	1,025		Factor de modificación de la temperatura
k_e	0,897		Factor de confiabilidad
k_f	1		Factor de de modificación de efectos varios
S_e	184,6	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga
S_m	89,86	[Mpa]	Resistencia media de Goodman modificada
N_{SF}	9,683		Factor de seguridad de fatiga

Los factores de concentradores de esfuerzos se calcularon con las mismas tablas usadas para la punta de eje de mando bajo las mismas consideraciones de carga (sección D de los anexos).

Se obtiene un factor de seguridad aparentemente elevado, pero se concluye que es óptimo, debido a que se tendrían que realizar diferentes combinaciones dimensionales entre la punta de eje y el eje central, resultando en un esfuerzo poco conveniente, ya que variaciones dimensionales sobre la punta de eje, resultan en factores de seguridad a fatiga bajos, considerando que la sobrecarga es muy común en estos equipos.

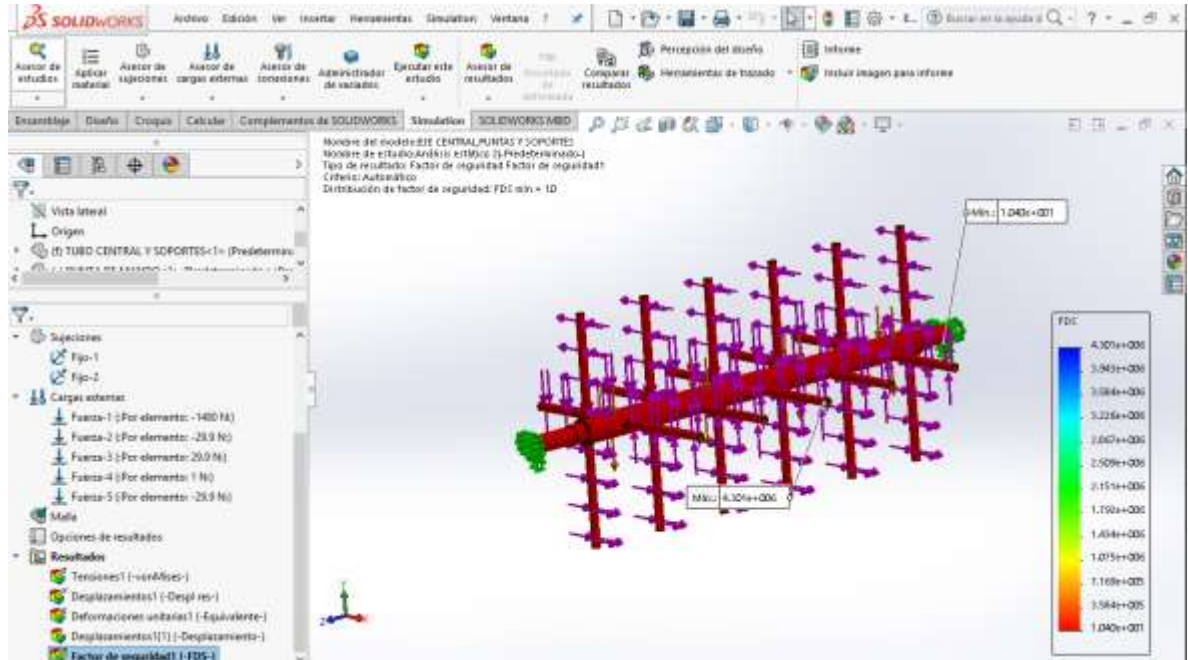
3.1.5.3 Análisis de los ejes del rotor mediante elementos finitos. Para realizar la comprobación del diseño, se considera necesario realizar un análisis estático al conjunto de ejes del rotor; para esto, se analizará el ensamble como una sola pieza y bajo carga estática (fuerzas sobre los soportes y carga distribuida), como se muestra en la figura 35.

Figura 35. Estado de cargas y sujeciones para el análisis de los ejes del rotor.



Luego de mallar el ensamble, se obtiene los resultados para el análisis estático, en este caso, interesa principalmente el factor de seguridad obtenido.

Figura 36. Factor de seguridad estático para el conjunto de ejes del rotor.



El mínimo factor de seguridad se encuentra en el extremo de la punta de eje trasera donde se hizo la sujeción de la pieza, resultando en un mínimo valor de 10; se concluye entonces que, gracias al análisis estático de elementos finitos, el diseño de los ejes del rotor es correcto.

3.1.6 Rodamiento y soporte para rodamiento. Los factores para seleccionar un rodamiento se pueden resumir a:

- Carga nominal sobre el rodamiento (Fuerza radial y fuerza axial).
- Diámetro del eje.
- Carga nominal soportada por el rodamiento seleccionado.

Según el catálogo de rodamientos SKF, se debe determinar la carga dinámica equivalente del rodamiento “P”, la cual es función de la carga radial y axial que debe soportar. Para determinar si la carga axial es lo suficientemente grande para seleccionar un rodamiento axial, se debe conocer la relación entre la carga axial y radial a soportar para compararla con el factor “e” de un rodamiento seleccionado inicialmente; si el valor de la relación es menor que el valor “e” del rodamiento seleccionado, se puede “despreciar” la carga axial (en realidad, quiere decir que el rodamiento puede soportar esa carga axial sin problemas). Seguidamente se calcula el valor de la vida nominal del rodamiento seleccionado “L10” con el factor “C” y la carga dinámica equivalente “P”, además del tipo de rodamiento (P1). También se puede expresar la vida nominal SKF en horas de funcionamiento “L10H”. Los cálculos se muestran a continuación para una unidad de rodamiento SY 511 M, rodamiento YAR 211-200-2RF para un eje de 2” de diámetro.

Tabla 20. Cálculos para el rodamiento seleccionado.

SELECCIÓN DE RODAMIENTO			
ECUACIONES			
$F_{Radial} = \sqrt{F_{ey}^2 + F_{ez}^2}$ $e = \frac{F_{Axial}}{F_{Radial}}$ $P = x * F_{Radial} + y * F_{Axial}$ $F_1 = \frac{F_0 * F_A}{C_0}$		$F_A = \frac{F_{Axial}}{1000}$ $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{P1}$ $L_{10H} = \left(\frac{10^6}{60n}\right)^{L10}$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
F_{ey}	2226	[N]	Componente "y" sobre el rodamiento
F_{ez}	188,4	[N]	Componente "z" sobre el rodamiento
F_{Radial}	2234	[N]	Fuerza radial sobre el rodamiento
F_{Axial}	50,95	[N]	Sumatoria de componentes "x" sobre los soportes de las cintas

e	0,0228		Factor "e" obtenido
x	1		Factor "x" de la fuerza radial
y	0		Factor "y" de la fuerza axial
P	2234	[N]	Carga dinámica equivalente
F_A	0,05095	[kN]	Fuerza axial en [kN]
F_0	14		Factor de calculo del rodamiento
C_0	29	[kN]	Capacidad de carga estática del rodamiento
F_1	0,02459		Factor para seleccionar "e" a comparar
n	95	[rpm]	Revoluciones del eje del rodamiento
P_1	3		Para rodamiento de bolas
C	43600	[N]	Capacidad de carga diámica del rodamiento seleccionado
L_{10}	7434	[rpm]	Vida nominal básica del rodamiento en millones de rpm
L_{10H}	1,17E+10	[h]	Vida nominal SKF en horas de funcionamiento

Se concluye que la carga dinámica requerida es fácilmente soportada por el rodamiento seleccionado y que la carga axial es despreciable (carga que se obtuvo sumando las componentes "x" de los soportes de las cintas) bajo la consideración de usar un rodamiento especializado para este tipo de carga. Los factores tomados y la unidad de rodamiento (Silleta o soporte y rodamiento) para el cálculo se muestran en la sección D de los anexos.

3.1.7 Consideraciones finales. El diseño realizado de la mezcladora anteriormente es el diseño que se aconseja por parte de los autores para la implementación de la máquina dentro de la planta terminada completamente, sin embargo, para efectos de disponibilidad, pruebas y bajo la consideración que es una planta piloto, se usará el motor en inventario de la empresa INDARS:

Modelo: VFR 130_90 P100, Motorreductor helicoidal Bonfiglioli.

Potencia: 2,20 [kW] \approx 2,95 [Hp]

Velocidad: 15,7 [rpm]

Los elementos del sistema de transmisión de potencia también en disposición y en consecuencia al cambio realizado son:

Piñón: ANSI 60B15 (3/4 [in] de paso).

Rueda: ANSI 60B76 (3/4 [in] de paso).

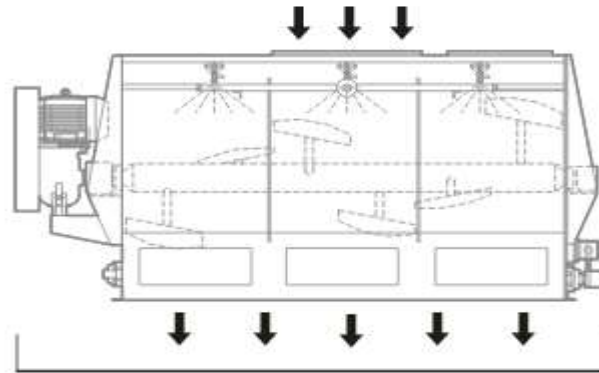
Cadena: ANSI 60 (60-1, 3/4 [in] de paso).

Aclarando que se debe invertir a piñón como conducido y rueda como conductora para lograr que la máquina gire a la velocidad de diseño aproximadamente. También se resalta que las fuerzas sobre la punta de mando no sufren grandes cambios debido a que, si bien, el torque entregado sobre la cadena puede ser mayor, el brazo del piñón conducido es más pequeño que el brazo de la rueda conducida diseñada. Información del motorreductor en la sección D de los anexos.

3.2 DISEÑO DEL ACONDICIONADOR

El acondicionador es un tipo de mezcladora de paletas ideal para el mezclado de productos pesados, viscosos, y de alto contenido de humedad, está conformado por paletas hechas principalmente de acero inoxidable que permiten la rotura de las partículas debido al golpeteo constante y una homogenización de los productos, a su vez tiene un sistema de calentamiento a base de vapor para un previo proceso de cocción de la mezcla.

Figura 37. Acondicionador de paletas



Fuente: <http://www.giuliani-sa.com>

3.2.1 Capacidad y dimensionamiento del acondicionador. La capacidad del acondicionador está determinada por la geometría básica de la carcasa, el cual es un tubo con los respectivos acoples para el ensamble de las bridas correspondientes. Para el diseño de la carcasa se tomará en cuenta la densidad y la masa, este valor puede variar debido a la carga que transporta el cangilón el cual recibe la tolva de espera.

3.2.1.1 Factores de dimensionamiento.

- ✓ El acondicionador se diseñará para una capacidad de $180 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$.
- ✓ La densidad de la mezcla a trabajar es de $700 \text{ kg}/\text{m}^3$.
- ✓ El nivel al cual se realizará el diseño con respecto al llenado del acondicionador es al semicilindro de la parte inferior del recipiente.
- ✓ Factor de seguridad a manejar en el diseño es $N = 2,5$ lo cual es recomendado para este tipo de aceros utilizados en mezcladoras que se encuentran bajo carga dinámica.
- ✓ Criterios en el dimensionamiento de las paletas están basados bajo conocimiento de la experiencia en la industria.

3.2.1.2 Dimensionamiento básico de la carcasa. Los cálculos del dimensionamiento de la carcasa se ven reflejados en la tabla 21.

Figura 38. Acondicionador de paletas.

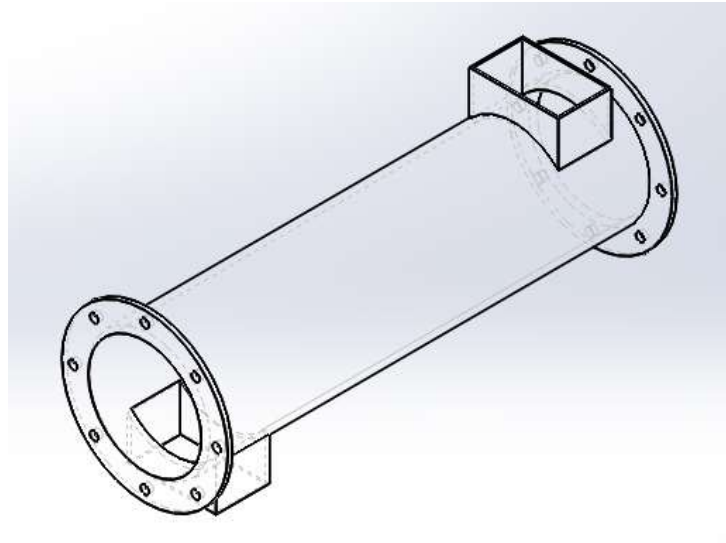


Tabla 21. Dimensionamiento de la carcasa del acondicionador.

DIMENSIONAMIENTO DE LA CARCASA		
ECUACIONES		
$V_m = \frac{m}{\rho}$	$V_m = A_c * L_c$	$A_c = \frac{\pi * R_c^2}{2}$

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
m	15	[Kg]	Masa a cargar
ρ	700	[Kg/m ³]	Densidad promedio de la masa a mezclar
L_C	1	[m]	Longitud de la carcasa
V_m	0,0214	[m ³]	Volumen de la masa a mezclar
A_C	0,0214	[m ²]	Area del semicirculo de la carcasa
R_C	0,1168	[m]	Radio de la carcasa

En la tabla 21, el diámetro que se requiere para el cilindro es 0,2336 [m], el cual se normaliza a un diámetro de 0,254 [m] (10 [in]), esto con el objetivo de tener unidades estándares y facilitar el proceso de manufactura.

3.2.1.3 Espesor de la carcasa. Para efectos de cálculos se desprecia el d_{ext} , asumiendo que el llenado de la artesa es hasta el semicírculo, en la siguiente tabla se describe el cálculo de la fuerza resultante sobre la carcasa.

Tabla 22. Cálculo de la fuerza resultante que actúa sobre la carcasa del acondicionador.

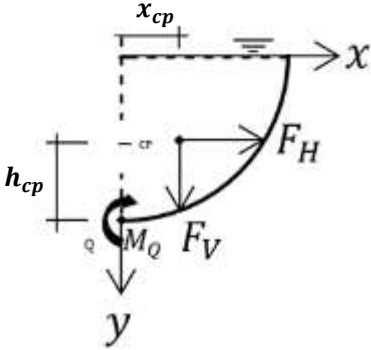

FUERZA RESULTANTE SOBRE LA CARCASA		
	ECUACIONES	
	$\gamma_m = \rho * g$	
	$V = \frac{A}{2} * L = \frac{\pi}{8} * D_{ext}^2 * L_C$	
	$W = \gamma_m * g$	$S = \frac{D_{ext}}{2} * L_C$
	$F_x = P_x * S$	$F_y = 0$
	$P_x = \gamma_m * h$	$h_{cp} = \frac{1}{3} * \frac{D_{ext}}{2}$
	$F_V = F_y + W$	$F_H = F_x$
$F_R = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}$	$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_V}{F_H} \right)$	

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ρ	700	$[Kg/m^3]$	Densidad promedio de la masa a mezclar
g	9,81	$[m/s^2]$	Aceleración de la gravedad
γ_m	6867	$[N/m^3]$	Peso específico de la mezcla
D_{ext}	0,254	$[m]$	Diámetro de la carcasa
S	0,127	$[m^2]$	Proyección de la superficie curva sobre el eje "y"
L_c	1	$[m]$	Longitud de la carcasa
V	0,02534	$[m^3]$	Volumen de la mezcla
h_{cp}	0,0423	$[m]$	Altura del centro presión medida desde el fondo
W	173,98	$[N]$	Peso de la mezcla
P_x	872,11	$[Pa]$	Presión sobre la proyección de la superficie curva sobre el eje "y"
F_x	110,76	$[N]$	Fuerza sobre la proyección de la superficie curva sobre el eje "y"
F_y	0,00	$[N]$	Fuerza sobre la proyección de la superficie curva sobre el eje "x"
F_V	173,98	$[N]$	Componente vertical de la fuerza
F_H	110,76	$[N]$	Componente horizontal de la fuerza
F_R	206,24	$[N]$	Fuerza resultante sobre la carcasa
θ	57,52	$[^\circ]$	Ángulo de la fuerza resultante respecto el eje "x"

En la tabla 22, se obtuvo la fuerza resultante con valor de $F_R = 206,24 [N]$, esta actúa sobre las paredes de la carcasa del acondicionador, para dicho cálculo se toma la mezcla homogénea como un fluido que ejerce una presión sobre sus alrededores, esta fuerza se multiplicará por un factor de incremento de 1,5, esto es para efectos de cálculo, obteniendo el valor de $F_R \cong 310 [N]$.

Para realizar el cálculo del espesor, se asume que la pared de la carcasa se comporta como una viga de sección rectangular a flexión, como se muestra a continuación.

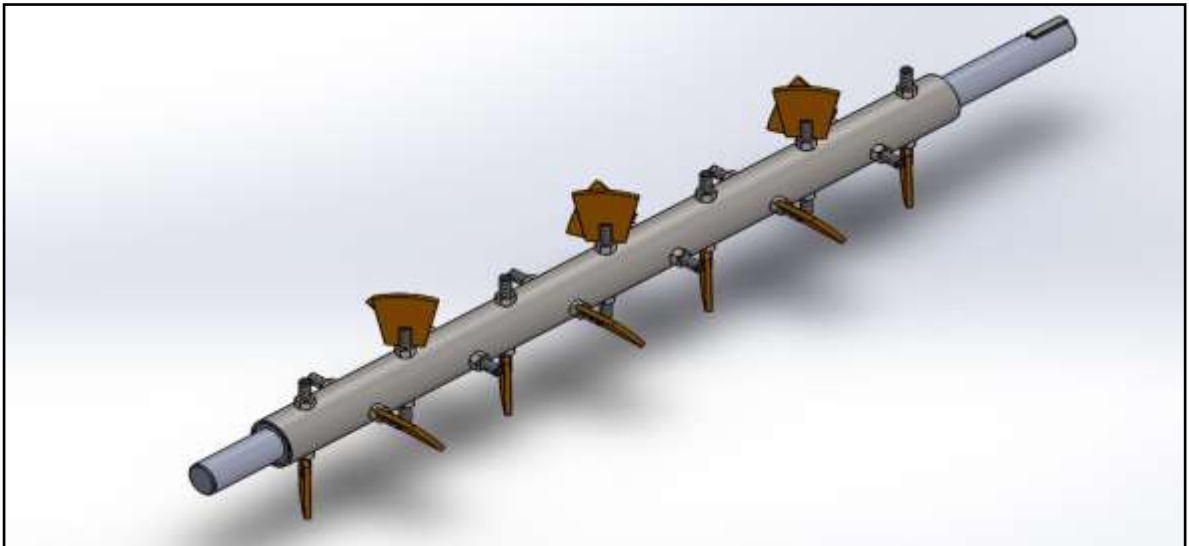
Tabla 23. Análisis mecánico de la carcasa del acondicionador.

ANÁLISIS MÉCANICO PARA LA CARCASA			
			
		ECUACIONES	
		$\sum M_Q = 0$ $M_{max} = M_Q = F_V * x_{cp} + F_H * h_{cp}$ $x_{cp} = \frac{4 * \frac{D_{ext}}{2}}{3\pi} \quad \sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $N_S = \frac{S_Y}{\sigma_{max}} \quad I/C = \frac{L_c * e^2}{6}$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
F_V	174	[N]	Componente vertical de la fuerza
F_H	111	[N]	Componente horizontal de la fuerza
D_{ext}	0,254	[m]	Diámetro de la carcasa
x_{cp}	0,1401	[m]	Distancia horizontal desde el eje vertical al centroide del semicirculo
h_{cp}	0,0423	[m]	Altura del centro presión medida desde el fondo
M_{max}	29,0727	[Nm]	Momento máximo producido por las fuerzas sobre la carcasa
L_c	1	[m]	Longitud de la carcasa
Suponiendo un valor para:			
e	0,003175	[m]	Espesor de la carcasa
I/C	1,6801E-06	[m ³]	Módulo de sección crítica para una sección rectangular
σ_{max}	17,3	[MPa]	Esfuerzo máximo de flexión
S_Y	206,8	[MPa]	Resistencia a la fluencia del acero A304
N_S	11,95		Factor de seguridad para la carcasa

En la tabla 23, se supone un valor de espesor deseado para la carcasa, con dicha premisa se obtuvo un factor de seguridad deseado, utilizando AISI 304 el cual es el acero inoxidable más representativo; posee una buena resistencia a la corrosión y se le emplea en forma significativa en la industria química, alimentaria, entre otras. Los resultados arrojados muestran un factor de seguridad muy conservativo para la carcasa.

3.2.2 Sistema de mezclado. El sistema de mezclado está formado por un rotor, el cual es un tubo de AISI 304 con 13 paletas ubicadas en el sentido de rotación horario con un ángulo de 40° (este valor no es fijo ya que dependerá de las necesidades de flujo a mover). Debido a que la extrusora tiene un flujo de $\dot{m} = 180 [kg/h]$ se fija el ángulo de las paletas en el valor mencionado. El sistema de mezclado realiza la homogenización y un previo proceso de cocción de la mezcla, este permite la salida de la pasta la cual será llevada a la extrusora para entrar al proceso final y obtener los pellets.

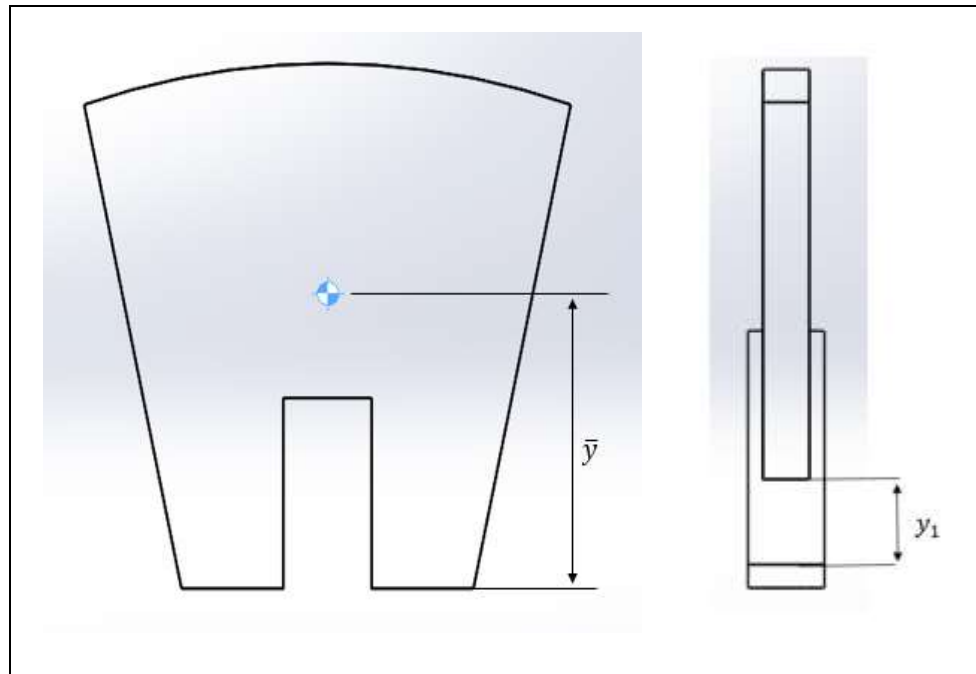
Figura 39. Rotor del acondicionador.



Con los resultados obtenidos del dimensionamiento de la carcasa se pudo realizar un diseño básico de cada una de las piezas que conforman el sistema de mezclado, esto con el objetivo de corroborar su geometría y verificar que exista una correlación del sistema de mezclado y la carcasa.

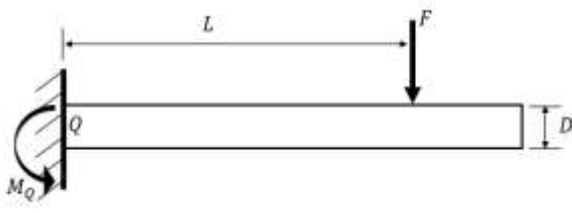
3.2.2.1 Diseño de las paletas. Gracias al movimiento de las paletas se puede obtener un estado deseado de homogeneidad para la mezcla. La forma de la paleta se tomó de los modelos actuales que se manejan en la industria. Para el diseño se tratará la paleta como si fuese una viga en voladizo, para efectos de cálculo se toma el valor de la fuerza encontrada en el diseño de la carcasa como la carga que actúa sobre la paleta, dicha fuerza está ubicada en el centroide de la paleta, y tiene un valor de $F = 310 [N]$.

Figura 40. Ubicación del centroide de la paleta.



Al valor de $\bar{y} = 39,27 [mm]$ se le debe agregar la distancia que hay entre la superficie inferior de la paleta hasta la superficie exterior del rotor, dicha distancia tiene un valor de $y_1 = 14.6 [mm]$, la distancia de la fuerza hasta el empotramiento tiene un valor de $L = \bar{y} + y_1 = 53.87 [mm]$.

Tabla 24. Análisis mecánico para las paletas del acondicionador.

ANÁLISIS MECÁNICO PARA LA PALETA			
			
ECUACIONES			
$\sum M_Q = 0$ $M_{max} = M_Q = F * L$ $N_S = \frac{S_Y}{\sigma_{max}}$ $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/C}$ $I/C = \frac{\pi D^3}{32}$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
F	310	[N]	Fuerza sobre la paleta
L	0,054	[m]	Distancia del centroide al empotramiento
M_{max}	16,74	[Nm]	Momento máximo producido por las fuerzas sobre la carcasa
<i>Suponiendo un valor para:</i>			
D	0,0127	[m]	Diámetro del vástago
I/C	2,011E-07	[m ³]	Módulo de sección crítica para una sección circular maciza
σ_{max}	83,2	[MPa]	Esfuerzo máximo de flexión
S_Y	206,8	[MPa]	Resistencia a la fluencia del acero A304
N_S	2,48		Factor de seguridad para la carcasa

Con los resultados anteriores se verifica el factor de seguridad para un diámetro de vástago de $D = \frac{1}{2}$ [in] , para facilitar el ensamble de las paletas en el tubo, se utiliza varilla roscada.

3.2.2.2 Simulación de la paleta del acondicionador.

Figura 41. Esfuerzos sobre la paleta del acondicionador.

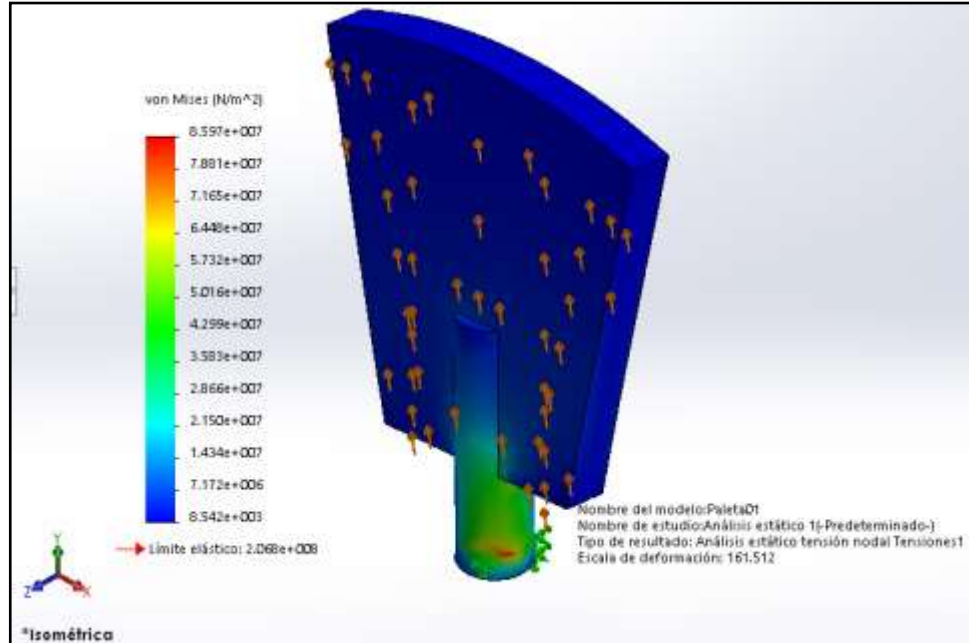
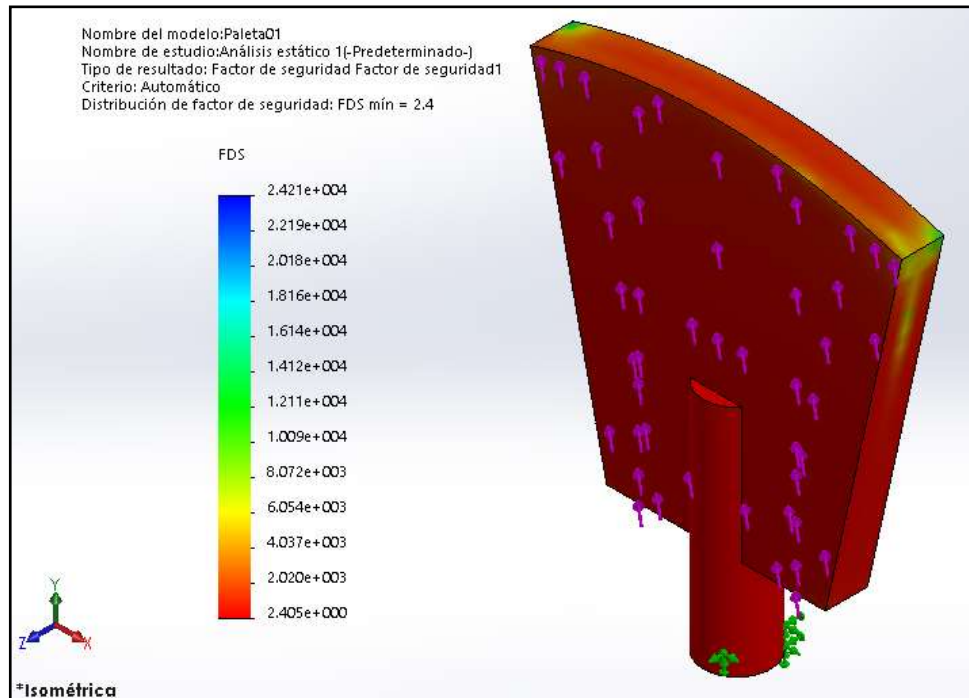
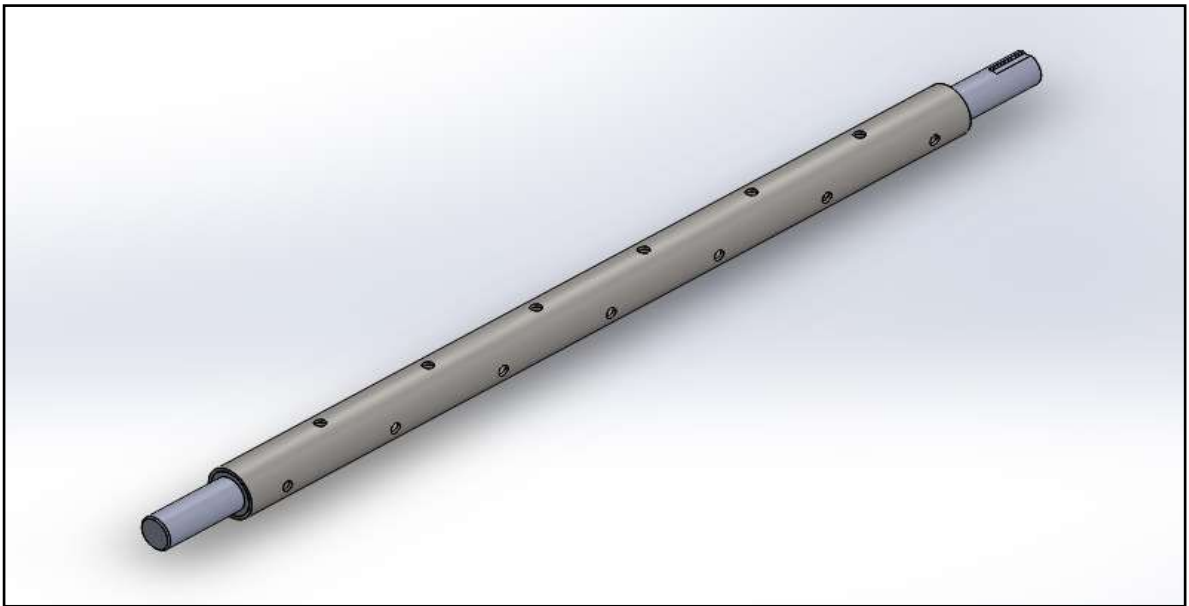


Figura 42. Factor de seguridad de la paleta del acondicionador.



3.2.2.3 Diseño del eje del acondicionador. Los ejes son elementos muy importantes en el campo de la ingeniería, gracias a estas piezas se puede transmitir potencia a una velocidad dada, el cual es un parámetro muy relevante en el área de la ingeniería mecánica. Este es el elemento principal del acondicionador, está compuesto por un tubo perforado respectivamente para los orificios de las 13 paletas, unido a un par de ejes como se observa en la figura 43, se realiza de esta forma para facilitar la manufactura y mantenimiento. Para efectos de cálculo se realiza el análisis del eje como un conjunto solidario de las piezas que lo conforman.

Figura 43. Eje del acondicionador.



Las dimensiones del eje están restringidas por la geometría determinada para la carcasa, la longitud total del eje es de 1290 [mm], la distancia entre la paleta 1 hasta la 13 es de 900 [mm], 235 [mm] desde el extremo inicial hasta la paleta 1 y 155 [mm] de la paleta 13 al extremo final. El eje debe soportar el peso de la mezcla, la cual se modela como una fuerza distribuida de 350 [N/m], el peso del rotor tiene un valor de 176 [N].

Figura 44. Diagrama de fuerzas axiales en el eje del acondicionador.

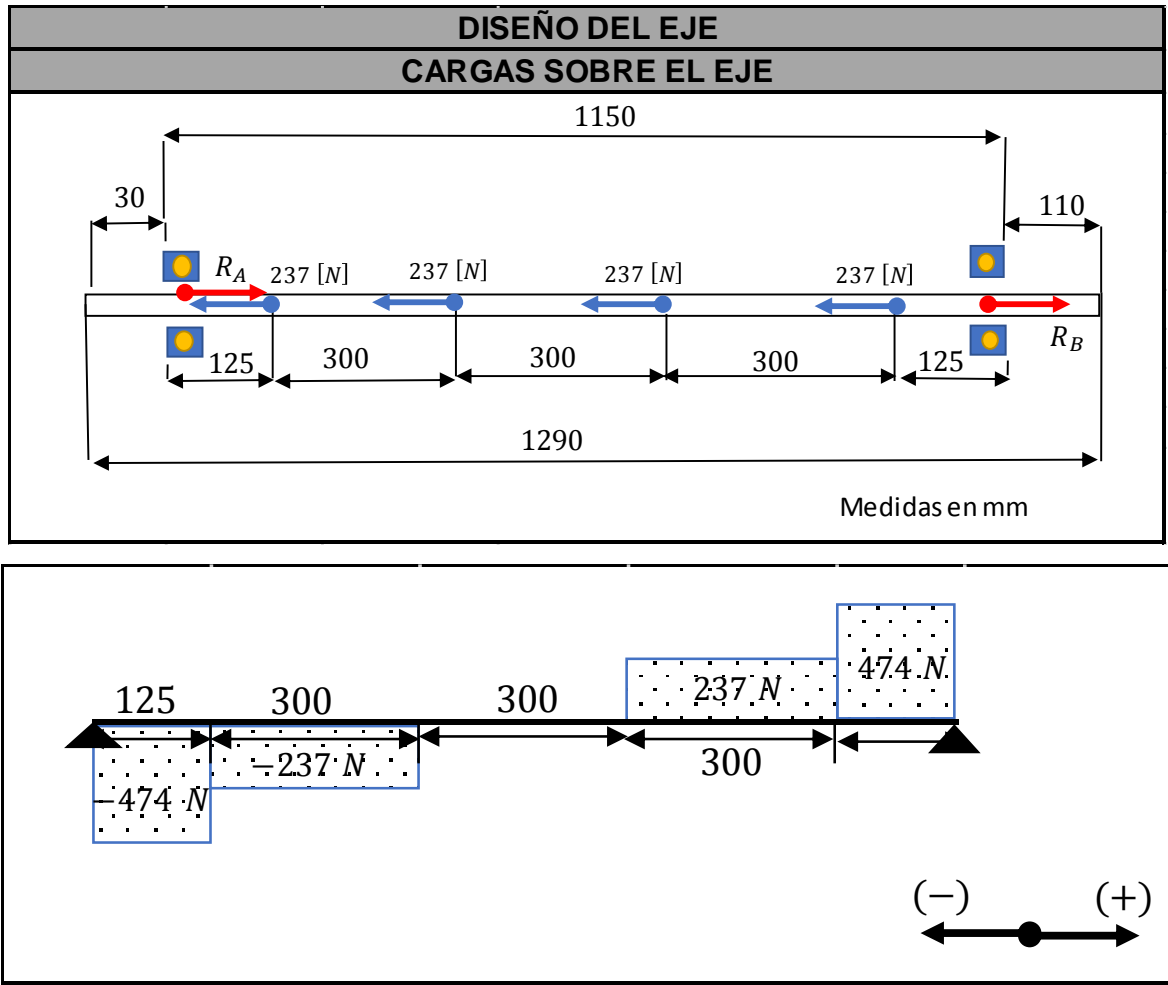
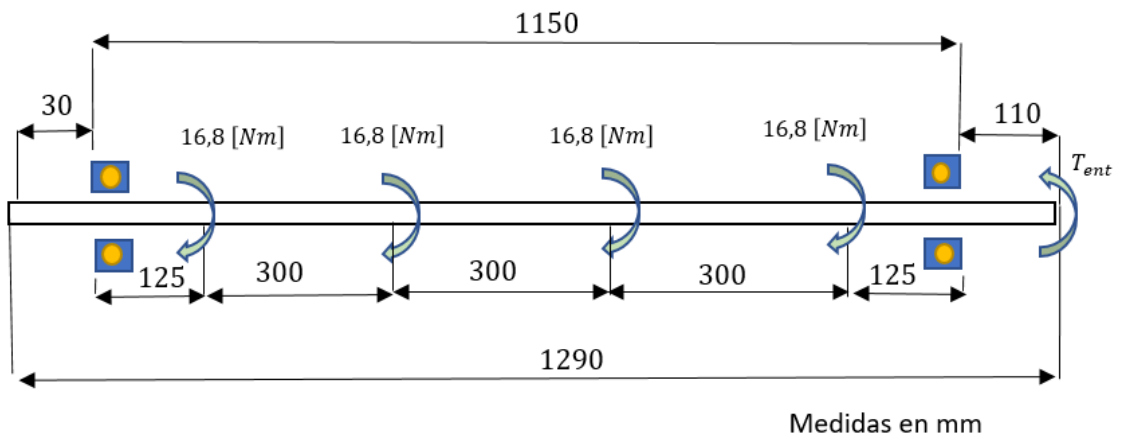


Figura 45. Diagrama de torques en el eje del acondicionador.



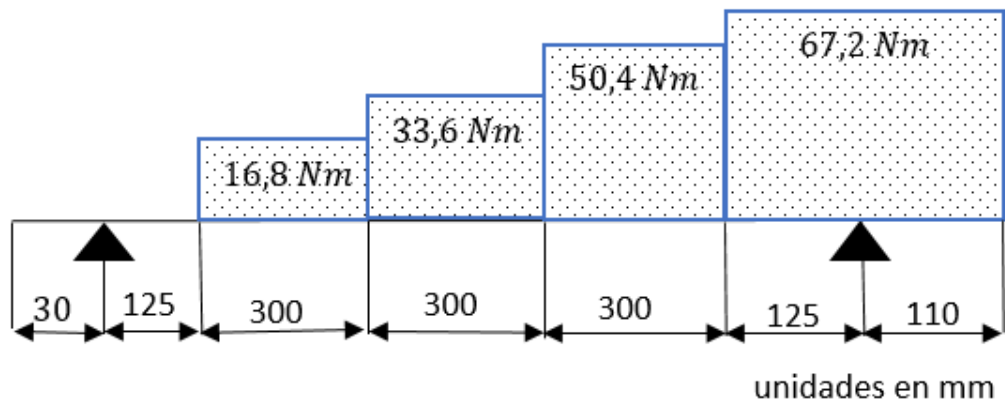
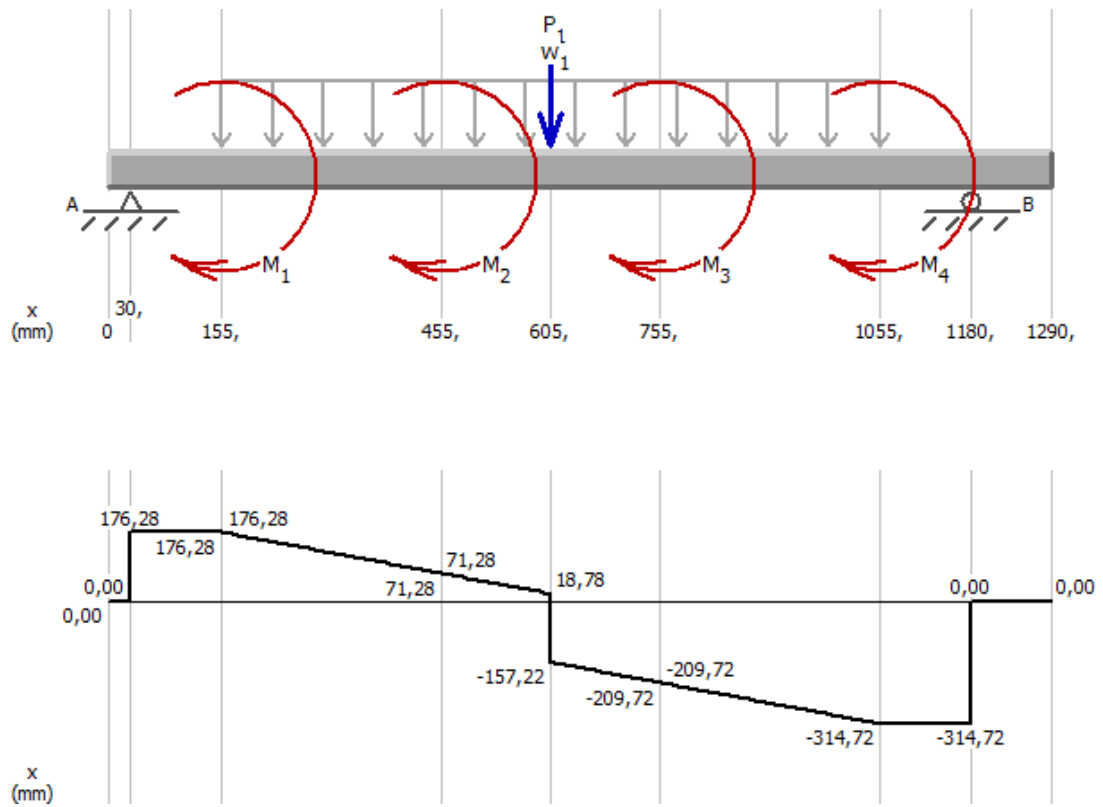


Figura 46. Diagrama de cortante y momento del eje en el plano X-Z del eje del acondicionador.



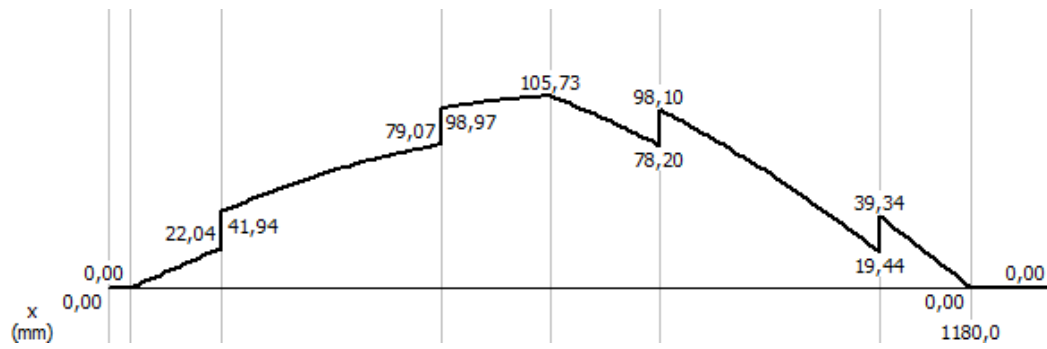
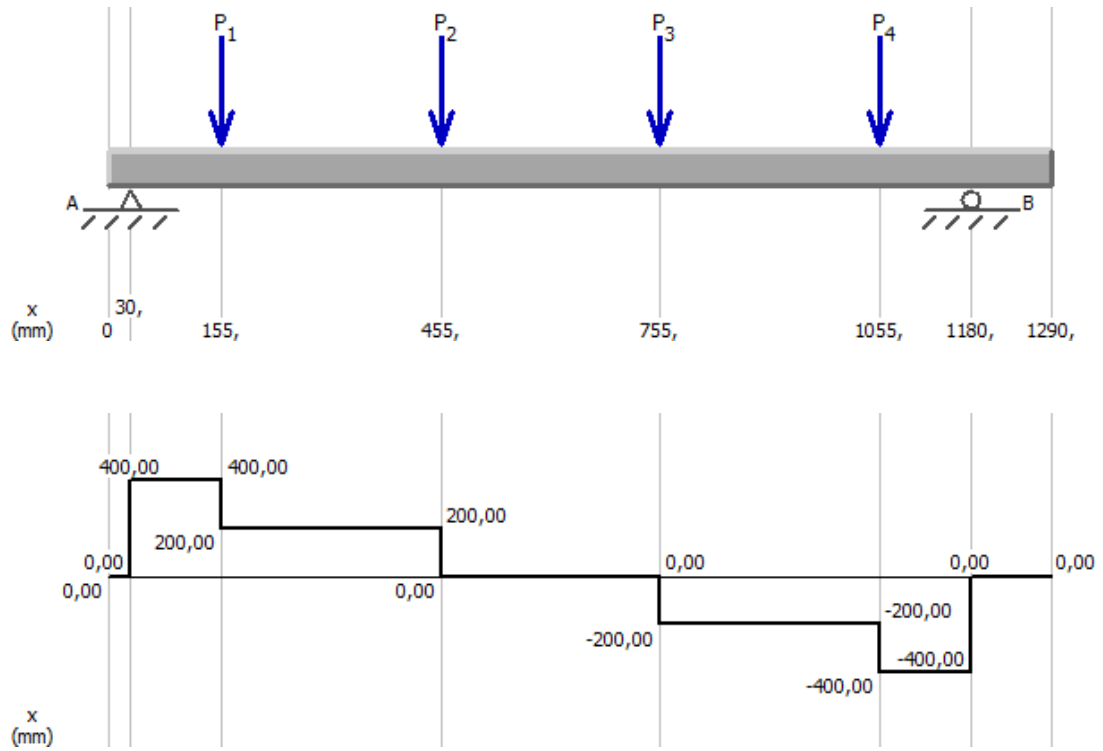


Figura 47. Diagrama de cortante y momento del eje en el plano X-Y del eje del acondicionador.



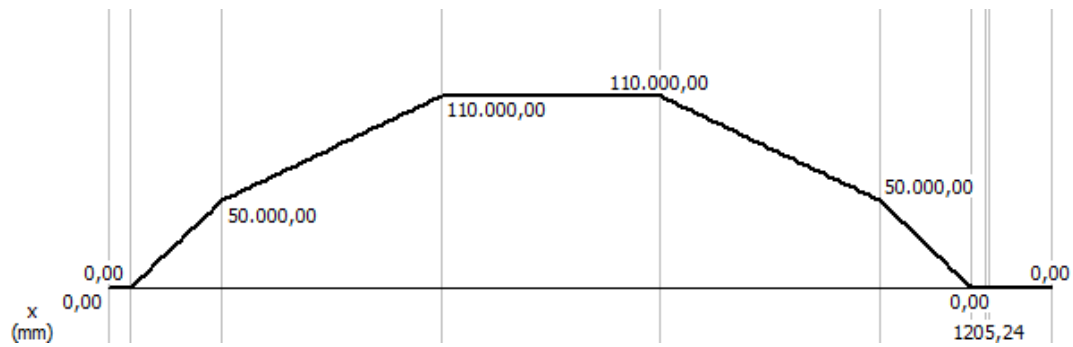


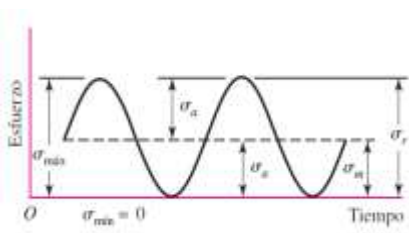
Figura 48. Puntos críticos del eje del acondicionador.

DISEÑO DEL EJE					
CARGAS SOBRE EL EJE					
PUNTO	F axial [N]	Torque [Nm]	MY [Nm]	MX [Nm]	MR [Nm]
A	-474	0	0	0	0
B	-474	67,2	0	0	0
C	0	33,6	105,73	110	152,57
D	-273	16,8	74,62	99	123,97
E	273	50,4	86,04	99	131,16

Los puntos B, C y E son los puntos más críticos del rotor, siendo el C el que presenta un mayor momento flector con un torque bajo, a su vez, el punto E, a diferencia del anterior tiene un torque considerable y un momento flector bajo, por lo cual es necesario analizar los dos puntos para verificar cuál es más crítico; junto con el punto B el cual tiene un torque notable y es necesario analizar los tres puntos para determinar el diámetro del eje correcto. En el diseño del eje se usará el concepto de diseño bajo carga cíclica (fatiga), para el cual se utilizará el criterio

de Soderberg del máximo esfuerzo cortante, con un factor de seguridad de N=2, como el torque es constante y la carga totalmente reversible, los esfuerzos cíclicos quedan ajustados de la siguiente manera.

Tabla 25. Análisis de puntos críticos considerados para el eje del acondicionador.

DISEÑO DEL EJE		
ANÁLISIS DE PUNTOS CRÍTICOS		
	$\sigma_m = 0$ $\tau_m = \tau_{max}$	$\sigma_a = \sigma_{max}$ $\tau_a = 0$
$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_a * k_f}{s_e} \right)^2 + 4 * \left(\frac{\tau_m}{s_y} \right)^2 \right]^{1/2}$		
PUNTO B	PUNTOS C Y E	
$\sigma_a = \frac{32 * M}{\pi * D^3}$ $\tau_m = \frac{16 * T}{\pi * D_m^3}$	$\sigma_a = \frac{32 * M * D}{\pi * (D^4 - d^4)}$ $\tau_m = \frac{16 * T * D}{\pi * (D^4 - d^4)}$	
$\frac{1}{N} = \left[4 * \left(\frac{16 * T}{\pi * D_m^3 * s_y} \right)^2 \right]^{1/2}$	$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{32k_f * M}{\pi * s_e * (D^4 - d^4)^2} \right)^2 + 4 * \left(\frac{16 * T}{\pi * (D^4 - d^4)^3 * s_y} \right)^2 \right]^{1/2}$	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
σ_a	Esfuerzo normal alterno	N/m ²
τ_a	Esfuerzo cortante alterno	N/m ²
σ_{max}	Esfuerzo normal máximo	N/m ²
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo	N/m ²
D	Diámetro exterior	m
d	Diámetro interior	m
D_m	Diámetro del eje macizo	m
M	Momento resultante	N/m ²
T	Torque resultante	N/m ²
s_e	Resistencia a la fatiga modificado	N/m ²
s_y	Resistencia a la fluencia	N/m ²
k_f	Factor de concentración de esfuerzos por fatiga	-----

Se inicia el estudio en el punto B el cual tiene una sección maciza, con el objetivo de determinar el diámetro crítico que soportará las condiciones de carga en dicho

punto. Se repetirá el estudio para los puntos C y E los cuales tienen una sección tubular y se comparan con los tres diámetros obtenidos para determinar cuál de ellos es el más crítico y con este realizar la selección de rodamientos para normalizar dicho diámetro.

Tabla 26. Análisis del punto crítico B

PUNTO B			
ECUACIONES			
$\frac{1}{N} = \left[4 * \left(\frac{16 * T}{\pi * D_m^3 * s_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad s_y = 0,5 * s_{ut}$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
T	67,2	[Nm]	Torque aplicado
N	2		Factor de seguridad
s_{ut}	568	[Mpa]	Resistencia última a la tracción
s_y	206,8	[Mpa]	Resistencia a la fluencia
D_m	0,017	[m]	Diámetro requerido

Para el análisis de los puntos C y E ubicados en la sección tubular del rotor, el proceso de cálculo varía con respecto al utilizado en el punto B, ya que para estos dos últimos puntos no se determina el diámetro sino el factor de seguridad debido a que los diámetros nominales de los tubos son medidas estándares que se encuentran en la industria, con el criterio anterior se realizó una iteración para verificar el factor de seguridad y que este estuviera por encima del criterio de diseño.

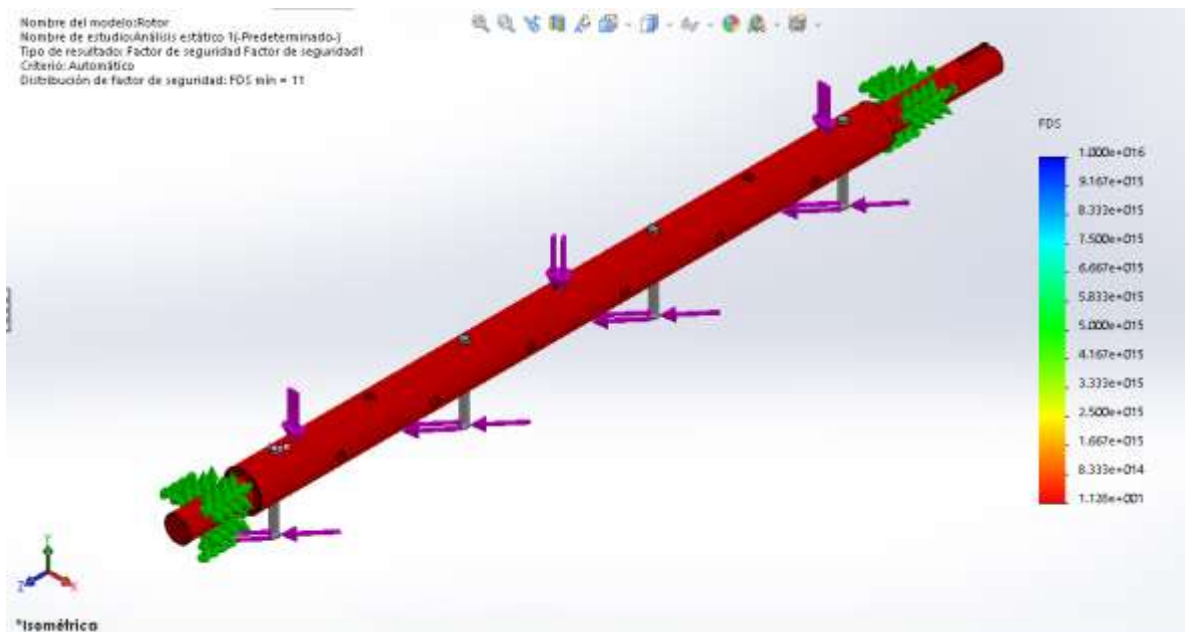
Tabla 27. Análisis del punto crítico C y E.

PUNTOS C Y E			
ECUACIONES			
$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{32 * k_f * M * D}{\pi * s_e * (D^4 - d^4)} \right)^2 + 4 * \left(\frac{16 * T * D}{\pi * s_y * (D^4 - d^4)} \right)^2 \right]^{1/2}$ $S_e = S'_e * k_L * k_s * k_d * k_c * k_T * k_m$ $s_y = 0,5 * s_{ut}$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
s_{ut}	568	[Mpa]	Resistencia última a la tracción
s_y	206,8	[Mpa]	Resistencia a la fluencia
S'_e	253	[Mpa]	Resistencia a la fatiga
S_e	128	[Mpa]	Resistencia a la fatiga modificado
k_L	0,76	-	Factor de carga
k_s	0,58	-	Factor de acabado superficial
k_d	$1,187 * d^{-0,112}$	-	Factor de tamaño
k_c	0,87	-	Factor de confiabilidad
k_T	1	-	Factor de temperatura
k_m	0,8	-	Factor miscelaneo
k_f	1	-	Factor de concentración de esfuerzo por fatiga
D	60,33	[mm]	Diámetro exterior
d	52,45	[mm]	Diámetro interior
PUNTO C			
T	33,6	[Nm]	Torque aplicado
M	152,57	[Nm]	Momento aplicado
N	7		Factor de seguridad
PUNTO E			
T	50,4	[Nm]	Torque aplicado
M	131,16	[Nm]	Momento aplicado
N	8		Factor de seguridad

Según la tabla anterior los puntos C y E soportan las cargas impuestas por el proceso, el punto B es aquel donde se encuentra uno de los soportes y es el más crítico de los tres. Con dicho diámetro se realiza la selección de los rodamientos para normalizar el valor de este diámetro.

3.2.2.4 Análisis del eje del acondicionador mediante elementos finitos. Para realizar la comprobación del diseño del eje, al igual que se hizo con la mezcladora, se considera necesario realizar un análisis estático al conjunto de ejes del rotor, ubicando la carga sobre los soportes inferiores, quienes son los que están trabajando constantemente, obteniendo el factor de seguridad que se muestra en la figura 49. De esta manera, se concluye que el diseño cumple con los requerimientos de carga.

Figura 49. Factor de seguridad para el eje del acondicionador mediante elementos finitos.



3.2.3 Selección de rodamientos. Para la selección de rodamientos se elegirá uno de bolas los cuales son los más comunes y los más utilizados en las aplicaciones del mercado, estos son capaces de soportar cargas axiales pequeñas y cargas radiales, para obtener el rodamiento se debe calcular el diámetro del eje normalizado para seleccionar correctamente el rodamiento, la carga que soportara dicho rodamiento es la fuerza radial $F_r = 508 [N]$. Para el cálculo, se usa el catálogo del fabricante NSK.

Tabla 28. Factor de carga F_w para la selección del rodamiento.

Magnitud de choque	f_w	Aplicación
Muy poco o nada de choque	1.0~1.2	Máquinas eléctricas, maquinas herramientas, instrumentos de medición.
Choque ligero	1.2~1.5	Vehículos ferroviarios, automóviles, molinos de rodillos, máquinas para trabajar metales, maquinas para fabricar papel, máquinas impresoras, aeronaves, maquinas para textiles, maquinas eléctricas, máquinas de oficina.
Choque pesado	1.5~3.0	Trituradores, equipo agrícola, equipo de construcción, grúas.

De la tabla anterior se obtiene el $F_w=1.6$, el cual permite calcular la carga real sobre e rodamiento. Para una vida útil de 10.000 horas y una velocidad de 65 rpm, el facto de vida y la velocidad están determinados según la tabla

Tabla 29. Cálculos para la selección de rodamientos.

SELECCIÓN DE RODAMIENTO			
ECUACIONES			
$K = f_w * K_c \qquad f_h = f_n * \frac{C}{P} \qquad P = XK_r + YK_a$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
K_r	813	[N]	Carga radial real
f_w	1,6		Factor de carga
K_{cr}	508	[N]	Carga radial teorica
K_a	1517	[N]	Carga axial real
K_{ca}	948	[N]	Carga axial teorica
f_h	2,7		Factor de vida
f_n	0,77		Factor de velocidad
X	0,56		Factor de carga radial

Y	1,2		Factor de carga axial
P	2275	[N]	carga dinámica equivalente
C	7978	[N]	Capacidad básica de carga
L_{10h}	10000	[h]	Vida útil en horas

Una vez calculado los valores reales de carga axial y radial junto con los factores de velocidad y de vida, se procede a determinar la carga dinámica equivalente con el objetivo de calcular la capacidad básica de carga, la cual debe ser mayor al valor que viene en el catálogo para realizar la respectiva selección. El seleccionado es: 6908ZZ del catálogo de rodamientos de fabricante NSK (mostrado en la sección D de los anexos), debido al montaje del rotor en el equipo es recomendable seleccionar un soporte de tipo brida (F208D1 de NSK).

3.2.4 Selección del motor del acondicionador. Para la selección del motor se requiere el momento torsor necesario para mover el material dentro del acondicionador, dicho momento es el resultado el trabajo efectuado por las paletas (en un momento determinado son cuatro paletas las que efectúan trabajo) dicho valor es de 67,2 [Nm].

Tabla 30. Potencia requerida para el acondicionador.

POTENCIA REQUERIDA			
ECUACIONES			
$H_m = \frac{T_{ent} * \dot{n}}{63025}$		$T_{ent} = N_{paletas} * M$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
M	16,8	Nm	Momento torsor de la paleta
$N_{paletas}$	4		Número de paletas activas
T_{ent}	67,2	Nm	Torque requerido
T_{ent}	593,9	lbf – in	Torque requerido en [lbf-in]
\dot{n}	64	rpm	Revoluciones por minutos
H_m	0,60	Hp	Potencia requerida
$H_{m,[kW]}$	0,45	kW	Potencia requerida en [kW]

En la tabla 30, se obtuvo el valor de la potencia con la cual se seleccionará un motor reductor debido a que los requerimientos de costos y consumos de energía son bajos por ende es más viable utilizar el conjunto que tener independientemente motor y reductor, para una potencia de 0,60 [Hp] se elige aquel que esté por encima de dicha necesidad, debido a efectos de pérdidas en los rodamientos y la potencia necesaria para mover el rotor sin carga, se elige un motor de 1 [Hp] de acople directo del fabricante NORD.

Modelo: SK 9012.1 - 80LP/4, Motorreductor de acople directo sin fin NORD.

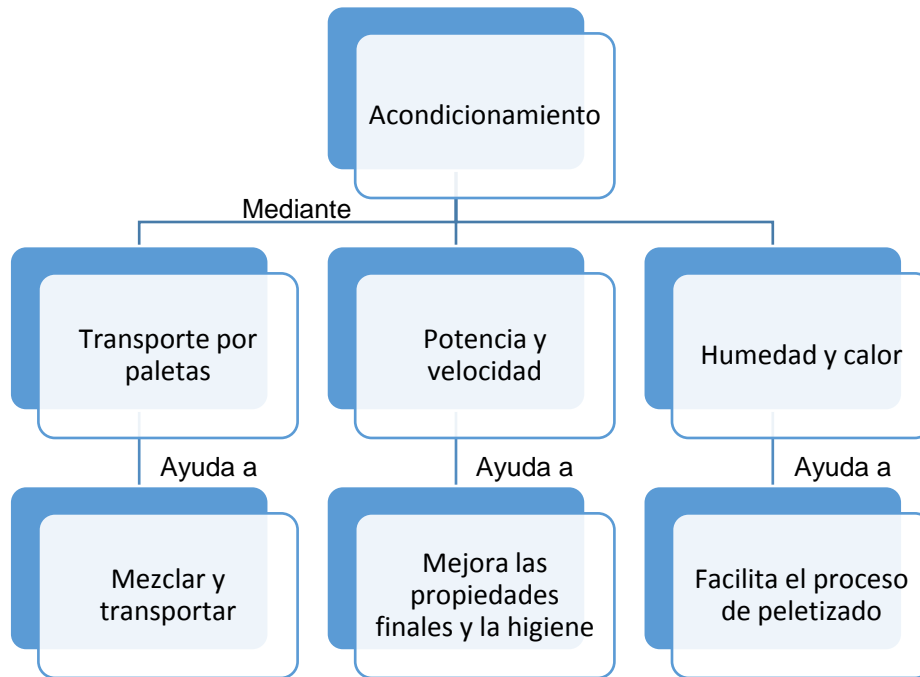
Potencia: 0,75 [kW] \approx 1 [Hp]

Velocidad: 68 [rpm]

La información detallada del motorreductor seleccionado se encuentra en la sección D de los anexos.

3.2.5 Análisis de vapor del acondicionador. El acondicionador es un elemento de gran importancia en la manufactura de alimento para animales, ya que debido a él se busca transformar la mezcla molida a una masa cuyo estado físico facilite la compactación y conformación del pellet. El acondicionador puede realizar esta transformación gracias a la adición de calor, humedad y un proceso de mezclado. Estos tres elementos combinados activan los aglutinantes naturales que contienen los ingredientes de la mezcla, un ejemplo de esto es la gelatinización del almidón resultando en una mezcla más suave y compacta. En la siguiente figura se puede observar un esquema del funcionamiento de la etapa del acondicionamiento.

Figura 50. Funcionamiento del acondicionador.



Fuente: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/disenio-conceptual-maquina-peletizadora-t28516.htm>

Se debe controlar muy bien la adición de humedad, debido a que un exceso de esta puede formar una mezcla pegajosa, alejando la mezcla final de las condiciones necesarias para el proceso de paletización y extrusión, aparte del hecho que esta mezcla puede obstruir las maquinas en etapas posteriores.

Para la adición de vapor en la fabricación de alimentos se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones¹:

¹ Bortone, E., 2002. Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidroestables para camarones. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Symposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México. Disponible en: http://www.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/VI/archivos/A25.pdf

El tiempo de acondicionamiento debe ser de mínimo de 90 segundos, pero es preferible 270 a 350 segundos dependiendo de los ingredientes que se incorporan en la formula. El tiempo de residencia se puede ajustar cambiando el ángulo de las paletas y/o disminuyendo la velocidad del acondicionador.

Se debe aplicar vapor saturado de 1-2 Bar (15-30 [psi]) de presión. Los puntos de inyección de vapor deben ser en la parte inicial del acondicionador para permitir más tiempo de contacto con la mezcla.

La temperatura de la mezcla acondicionada debe ser no menor a 90 °C.

La humedad de la mezcla a la salida del acondicionador debe estar en 16 – 18%.

3.2.5.1 Adición de vapor. Con las recomendaciones descritas anteriormente y haciendo uso de cálculos termodinámicos y balances de energía, se procede a determinar la cantidad de vapor requerida por el acondicionador. Los parámetros iniciales para el cálculo se describen a continuación:

- ✓ Temperatura: siguiendo las recomendaciones se toma un valor para la temperatura de salida de $T_2 = 90$ [°C]. Para la temperatura de entrada, debido a todos los procesos a los que se somete la mezcla antes de llegar al acondicionador, su temperatura se va elevando a lo largo de todo el proceso, entrando al acondicionador con una $T_1 = 65$ [°C].
- ✓ Flujos másicos: el acondicionador maneja un flujo másico de 180 *kg/h*, pero esta cantidad se encuentra mezclada con humedad, proveniente de la composición de cada uno de los ingredientes de la mezcla, la humedad del aire y del proceso como tal. Por experiencia de Industrias Archila S.A.S. este valor de humedad se estima entre [7 – 9] % de la mezcla. Debido a la adición de vapor, el valor de humedad inicial se incrementa hasta un valor de 17% (según recomendación).

- ✓ Presión: el estado del vapor debe ser saturado y se elige un valor de presión de 170 [kPa], valor que se encuentra dentro del rango recomendado.
- ✓ Perdidas de calor: se asume que las paredes del acondicionador son adiabáticas (no hay intercambio de calor con el entorno) para efectos de cálculo.
- ✓ Calor específico: los sólidos y líquidos se pueden considerar como *sustancias incompresibles*² sin perder mucha precisión. Para sustancias que se encuentran en estos estados de la materia sus calores específicos a volumen y presión constante son iguales. Como la sustancia de estudio es una mezcla compuesta principalmente por maíz, sorgo y soya, el calor específico es un valor promedio. De la bibliografía con la que cuenta la empresa se puede obtener un valor de $C_s = 1,67 [kJ/kg * K]$.

De acuerdo con la tabla 31, el balance de energía queda de la siguiente forma:

$$\dot{m}_v h_v + \dot{m}_s C_s T_1 + \dot{m}_{w1} h_1 = \dot{m}_{w2} h_2 + \dot{m}_s C_s T_2$$

² Una sustancia cuyo volumen específico (o su densidad) permanezca constante se considera incompresible.

Tabla 31. Análisis de vapor del acondicionador.

ECUACIONES			
$\dot{m}_1 = \dot{m}_s + \dot{m}_{w1} \quad \dot{m}_2 = \dot{m}_s + \dot{m}_{w2} \quad h_1 = h_{f@T_1}$			
$y_{w1} = \frac{\dot{m}_{w1}}{\dot{m}_1} \quad y_{w2} = \frac{\dot{m}_{w2}}{\dot{m}_2} \quad h_2 = h_{f@T_2} \quad h_v = h_{g@P}$			
$\dot{m}_v = \frac{\dot{m}_s C_s (T_2 - T_1) + \dot{m}_{w2} h_2 - \dot{m}_{w1} h_1}{h_v} \quad T_v = T_{sat@P}$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIONES
\dot{m}_s	165,60	kg/h	Material seco
\dot{m}_{w1}	14,40	kg/h	Humedad inicial
\dot{m}_1	180,00	kg/h	Masa total inicial
\dot{m}_{w2}	33,92	kg/h	Humedad final
\dot{m}_2	199,52	kg/h	Masa total final
y_{w1}	0,08	--	Fracción másica de humedad inicial del material
y_{w2}	0,17	--	Fracción másica de humedad final del material
T_1	65,00	°C	Temperatura inicial de la mezcla
T_2	90,00	°C	Temperatura final de la mezcla
P	170,00	kPa	Presión del vapor
T_v	115,10	°C	Temperatura del vapor
h_1	272,12	kJ/kg	Entalpía inicial del líquido
h_2	377,04	kJ/kg	Entalpía final del líquido
h_v	2698,80	kJ/kg	Entalpía del vapor
C_s	1,67	kJ/kg * K	Calor específico promedio de la mezcla
\dot{m}_v	5,85	kg/h	Cantidad de vapor requerido

4. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN

4.1 CARACTERIZACION GENERAL DE LA PLANTA

Luego de describir brevemente las etapas básicas de las que consta una planta productora de alimento concentrado para peces, es necesario decidir cuáles serán los equipos y demás elementos que se deben incluir en la planta, específicamente en la sección de mezcla y extrusión.

El diseño de la mezcladora y el acondicionador se realizó en primer lugar para que estas máquinas sirvieran como base para el diseño conceptual de la sección de mezcla y extrusión, porque se considera que partiendo de las dimensiones de estas máquinas es más sencillo añadir y ubicar las demás máquinas y complementos.

4.1.1 Capacidad de producción de la planta requerida. La capacidad de producción de la planta requerida se refiere básicamente a la capacidad de producir alimento concentrado para peces en forma de pellets. Como ya se ha mencionado, los pellets se producen mediante la extrusión de material mezclado y acondicionado, esto quiere decir, que la capacidad de producción de pellets de la planta está determinada por la capacidad de producción de la extrusora.

Uno de los objetivos del presente proyecto es la selección de la máquina extrusora que cumpla con el requerimiento de más o menos 100 [Kg/h], considerada la máquina “cuello de botella” de la planta.

4.1.2 Capacidad de almacenamiento. La capacidad de almacenamiento se refiere a la capacidad que tiene la planta de disponer de material mezclado para la producción de los pellets, por esta razón se diseñó la mezcladora para una capacidad nominal de 100 [Kg/bache] (150 [Kg/bache] máximo recomendable); la mezcla de un bache demora máximo 20 minutos (contando con la carga, mezcla y descarga de material), resultando en una capacidad de 300 [Kg/hora] de material mezclado.

Se pretende que la tolva de almacenamiento tenga disponibilidad de material mezclado para un día de producción (8 horas), valor que es función de la producción de la máquina extrusora seleccionada.

4.1.3 Capacidad de producción complementaria. La capacidad de producción de material mezclado es de 300 [Kg/hora], de los cuales 100 [Kg/hora] se retiran del proceso para ser comercializados como alimento para otros animales, especialmente cerdos. Entonces, son 200 [Kg/hora] que se depositan en la tolva de almacenamiento.

4.2 SELECCIÓN DE MÁQUINAS Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

4.2.1 Extrusora. En el mercado existen extrusoras de alimento balanceado de gran tamaño en su mayoría, debido a que esta máquina se considera como el cuello de botella de la planta, su selección debe ser cuidadosa, intentando en todo momento cumplir con los requerimientos de producción. Por este motivo, para la selección de la extrusora se realiza una matriz de calidad.

4.2.1.1 Requerimientos del consumidor. A continuación, se muestran los requerimientos de diseño necesarios para seleccionar la extrusora según la necesidad:

- Costo
- Capacidad
- Eficiencia energética
- Fácil uso
- Seguridad
- Mantenibilidad
- Tamaño

4.2.1.2 Matriz de calidad. Se realiza la matriz de calidad para evaluar los criterios con los cuales será seleccionadas la extrusora según las exigencias requeridas y las propuestas por el diseñador, con el objetivo de considerar diferentes alternativas con el fin de determinar cuál de ellas es más idónea para la necesidad.


Tabla 32. Matriz QDF para la máquina extrusora.

MATRIZ QFD. EXTRUDER									
	PRIORIDAD	CAPACIDAD	POTENCIA	COSTOS	SEGURIDAD	MANTENIBILIDAD	MANUFACTURA	EFICIENCIA	MOVILIDAD
COSTO	7	9	9	3	3	3	3	3	0
CAPACIDAD	6	9	9	9	3	3	3	3	0
EFECIENCIA ENERGETICA	5	9	9	3	1	1	0	9	0
FACIL USO	4	1	1	1	9	9	3	1	9
SEGURIDAD	3	1	1	9	9	9	1	3	9
MANTENIBILIDAD	2	3	3	3	9	9	9	1	0
TAMAÑO	1	1	9	3	9	9	9	1	9
TOTAL		176	184	130	134	134	81	100	72

4.2.1.3 Alternativa 1. Extrusora de doble Husillo para línea de procesamiento de alimentos, este modelo facilita las etapas de mezcla, extrusión, conformación, núcleo de llenado, inyección de vapor saturado a presión, corte, pulverización de forma automática. Esta línea cuenta con diferentes tipos de colocación, materiales aplicados diversos, distintos productos y fácil operación.

Tabla 33. Ficha técnica extrusora Jinan.

JINAN ARROW MACHINERY CO		
MODELO	FT75	
CAPACIDAD	[180 – 250] <i>kg/h</i>	
POTENCIA	47 <i>kw</i>	
TAMAÑO	3500*950*1850 mm	
PRECIO	USD	83.000



4.2.1.4 Alternativa 2. Extrusora de alimentos para empresa industrial procesando alimentos como: Harina de carne, harina de pescado, soya, maíz, frijoles, etc., como materia prima para producir alimentos para mascotas, pescado y aves. Los productos son cocinados y esterilizados a alta presión por la máquina de extrusión. Debido a sus versatilidad y características presenta un precio atractivo.

Tabla 34. Ficha técnica extrusora Henan Penghui Machiner.

HENAN PENGHUI MACHINERY		
MODELO	TZ--D70	
CAPACIDAD	[150 – 180] <i>kg/h</i>	
POTENCIA	18,5 <i>kw</i>	
TAMAÑO	1500*1200*900 mm	
PRECIO	USD	5.000



4.2.1.5 Alternativa 3. Extrusora multi-funcional de doble husillo para procesar maíz, arroz, trigo, avena, cebada, entre otros, a través de la fricción entre el tornillo y su canal. La forma del producto es determinada por la combinación de matrices o dados, incluyendo formas redondas, tubo, fideo, anillo, entre otras. Dispone de inyección de vapor presurizado, que, en conjunto con la presión ejercida por el tornillo y la pared, cocinan el alimento.

Tabla 35. Ficha técnica extrusora JSM.

JINAN SHENGRAN MACHINERY		
MODELO	TSE90	
CAPACIDAD	[180 – 250] <i>kg/h</i>	
POTENCIA	100 <i>kw</i>	
TAMAÑO	4000*1500*2200 mm	
PRECIO	USD	7.000



4.2.1.6 Selección de alternativa para la extrusora. Basado en los resultados obtenidos en el Q.F.D como se muestra en la tabla 32 y la evaluación de alternativas, se tiene que la opción que satisface los criterios dados es la alternativa 2, cuyas características principales se muestran en la tabla 34., esta máquina tiene un mayor costo/beneficio según los requerimientos debido a que no presenta un sistema de inyección de vapor, proceso que se realizará previamente en el acondicionador.

Tabla 36. Selección de alternativa para la extrusora.

		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
CAPACIDAD	14,63	3	0,4389	4	0,5852	3	0,4389
POTENCIA	15,3	3	0,459	4	0,612	2	0,306
COSTOS	10,81	4	0,4324	5	0,5405	3	0,3243
SEGURIDAD	11,14	4	0,4456	4	0,4456	4	0,4456
MANTENIBILIDAD	11,14	3	0,3342	3	0,3342	3	0,3342
TOTAL	63	17	2,1101	20	2,5175	15	1,849

4.2.2 Caracterización de la tolva de almacenamiento. El objetivo de la tolva de almacenamiento es disponer de material mezclado por lo menos para un día de trabajo del acondicionador y la extrusora, siendo estas máquinas el cuello de botella de la plata, es necesario garantizar los recursos necesarios para que éstas no paren su actividad, a menos que sea necesario. Para determinar la capacidad requerida de dicha tolva se establecen los parámetros de tiempos de carga, trabajo y descarga con los cuales trabaja la mezcladora, del elevador de cangilones y el flujo del acondicionador/extrusora, por tanto, se determina un requerimiento de capacidad de más o menos 20 veces el volumen entregado por mezcladora para garantizar todos los parámetros anteriores, correspondiente a 200 [Kg/h].

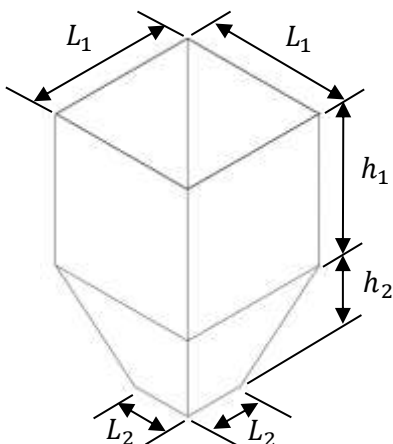
Tabla 37. Capacidad de material en la tolva disponible por hora.

HORA	ENTRADA DE MATERIAL [Kg/h]	MATERIAL DISPONIBLE [Kg/h]	SALIDA DE MATERIAL [Kg/h]
0	0	1400	0
1	200	1420	180
2	200	1440	180
3	200	1460	180
4	200	1480	180
5	200	1500	180
6	200	1520	180
7	200	1540	180
8	0	1360	180
TOTAL PROD. [Kg/día]			1440

Se realizó una pequeña simulación de la capacidad de la tolva de almacenamiento por 8 horas de trabajo de la planta, siendo la entrada de material la carga que proviene de la mezcladora y la salida de material el requerimiento de la extrusora y el equipo acondicionador, resultando en una carga para comenzar el siguiente día de 1360 [Kg] de material mezclado, que se aproxima a los 1440 [Kg] de producción diarios si la extrusora trabaja a su máxima capacidad. Se dimensiona la tolva para una capacidad de 2000[Kg] máximo.

Las medidas generales de la tolva para los requerimientos expresados se muestran a continuación.


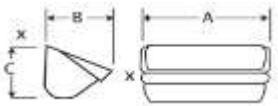
Tabla 38. Dimensionamiento de la tolva de almacenamiento.

DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA			
ECUACIONES			
 <p>El diagrama muestra una tolva tridimensional con un cuerpo superior cilíndrico y un cuerpo inferior tronco-cónico. Las dimensiones están etiquetadas como L1 (longitud del cilindro), L2 (longitud del tronco-cónico), h1 (altura del cilindro) y h2 (altura del tronco-cónico).</p>		$A_1 = (L_1)^2$ $A_2 = (L_2)^2$ $V_1 = A_1 * h_1$ $V_2 = \frac{h_2}{3} * (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$ $V = V_1 + V_2$	
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIONES
m	2000	kg	masa de la mezcladora
ρ	700	Kg/m^3	densidad de la mezcla
$V_{teorico}$	2,86	m^3	Volumen teorico
L_1	1,2	m	longitud 1
A_1	1,4	m^2	Area 1
L_2	0,185	m	longitud 2
A_2	0,034	m^2	Area 2
h_1	1,7	m	altura 1
h_2	0,8	m	Altura 2
V_1	2,4	m^3	Volumen 1
V_2	0,5	m^3	Volumen 2
V	2,83	m^3	Volumen Total

4.2.3 Elevador de cangilones. Un elevador de cangilones es un mecanismo que se utiliza para el manejo de materiales a granel verticalmente. Este sistema está conformado principalmente por los siguientes elementos son: cangilón o canasta para el transporte del material a granel, banda o cadena que permiten el desplazamiento de los cangilones y fuente motriz para accionar la banda transportadora. Para poder manejar eficientemente a granel los diversos materiales, el fabricante MARTIN diseña y fabrican diferentes tipos, entre los cuales están: Elevador de cangilones de descarga centrifuga, de descarga continua, de descarga centrifuga alta velocidad (para grano), de descarga centrifuga para servicio pesado y, por último, de descarga continua (super capacidad). En el catálogo de dicho fabricante se encuentra un algoritmo que facilita la selección de este sistema mecánico.

De acuerdo con las especificaciones del proceso se selecciona un elevador de cangilones de descarga centrifuga, este modelo está clasificado en dos series, serie 100 y serie 200, la diferencia radica en que la primera serie posee el elemento tensor en la bota y el segundo en la cabeza. Teniendo la capacidad volumétrica en ft^3/h , se selecciona el tamaño del elevador a una capacidad por encima de la calculada.

Tabla 39. Selección del elevador de cangilones.

SELECCIÓN DEL ELEVADOR DE CANGILONES					
ECUACIONES					
	$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$				
	Tamaño de cangilón			Peso lb	Capacidad pies cúbicos X = X
	A	B	C		
	4	2%	3	1.0	.01
	6	4	4%	2.7	.03
	8	5	5%	4.8	.07
	10	6	6%	7.7	.12
12	7	7%	12.0	.19	
14	7	7%	13.9	.23	
16	8	8%	21.8	.34	

SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIONES
\dot{m}	200	kg/h	Capacidad volumétrica
ρ	700	kg/m^3	Densidad de la mezcla
\dot{V}	0,286	m^3/h	Capacidad volumétrica
\dot{V}	10,1	ft^3/h	Capacidad volumétrica

Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

El elevador de cangilones seleccionado es el número C43-101 de la serie 100, con una capacidad de $73 ft^3/h$ (determinada por las dimensiones de los cangilones) y una cadena 977 (ver sección E de los anexos).

4.2.4 Enfriador – secador. La caracterización del equipo enfriador representa un desafío, debido a que los equipos enfriadores para pellets disponibles en el mercado son dimensionalmente enormes para los requerimientos de este proyecto, por tanto, se opta realizar un diseño básico de un enfriador horizontal para un requerimiento de 180 [Kg/h] como máximo.

A continuación, se presenta un diseño conceptual realizado por los autores del presente proyecto, seguido de un rediseño bajo el cual se encuentra trabajando INDARS S.A.S. en busca de ser desarrollado y probado en la planta piloto e implementado en la construcción final de la planta productora de alimento para peces.

Figura 51. Diseño conceptual de un enfriador horizontal para pellets.

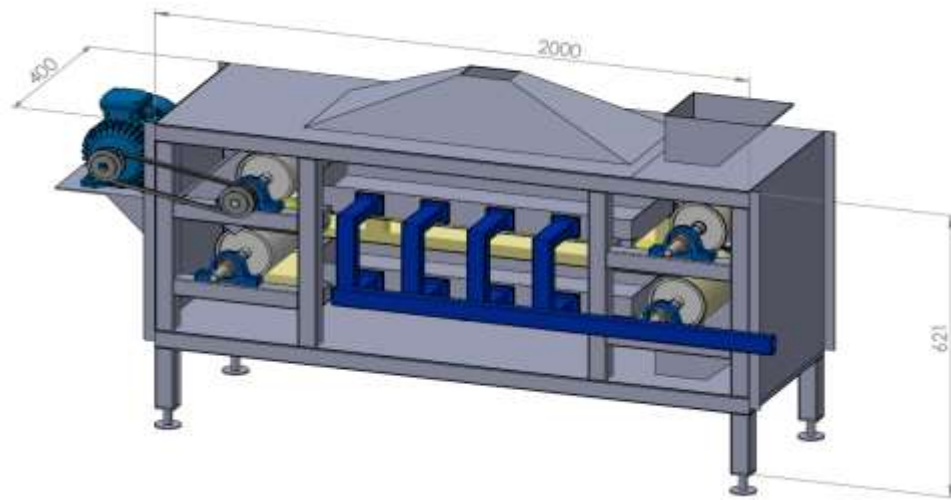
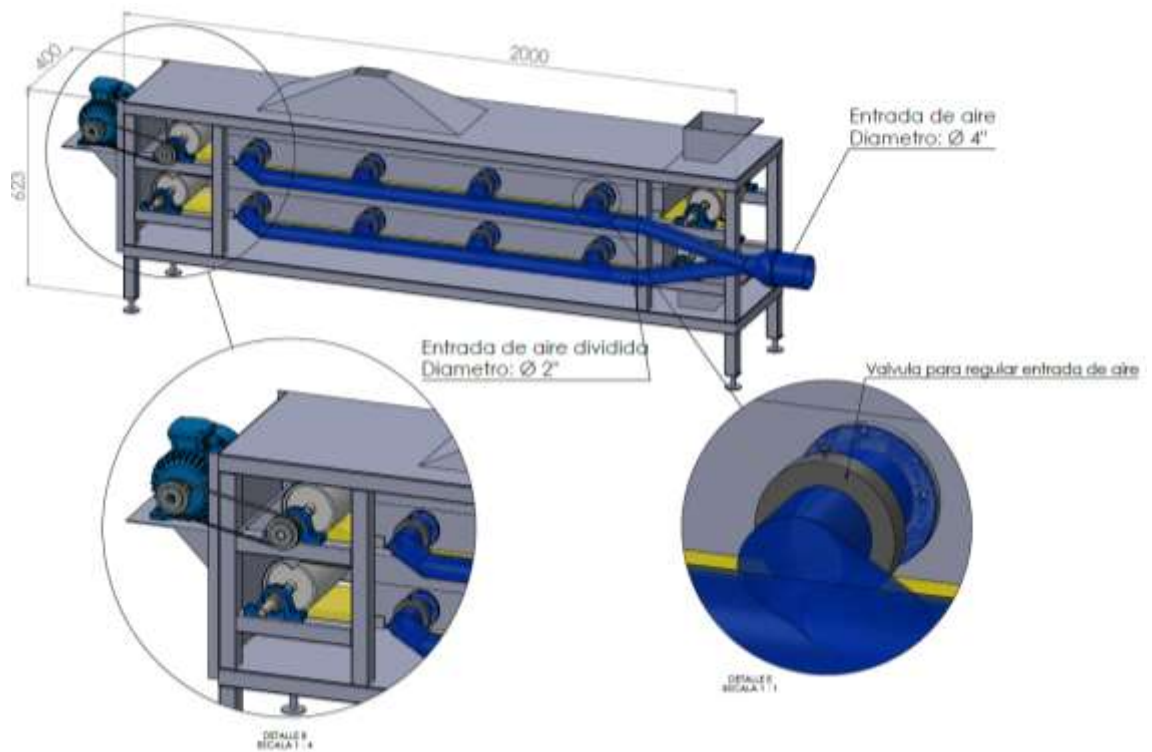


Figura 52. Rediseño de un enfriador horizontal para pellets de la empresa INDARS.



Fuente: INDARS S.A.S.

Tabla 40. Especificaciones del enfriador horizontal para pellets de la empresa INDARS.

ESPECIFICACIONES ENFRIADOR HORIZONTAL		
Capacidad	150-200	[Kg/h]
Potencia motriz	0,75	[Kw]
Potencia ventilador	2,2	[Kw]
Dimensiones	2000*400*650	[mm]
Peso	230	[Kg]

Fuente: INDARS S.A.S.

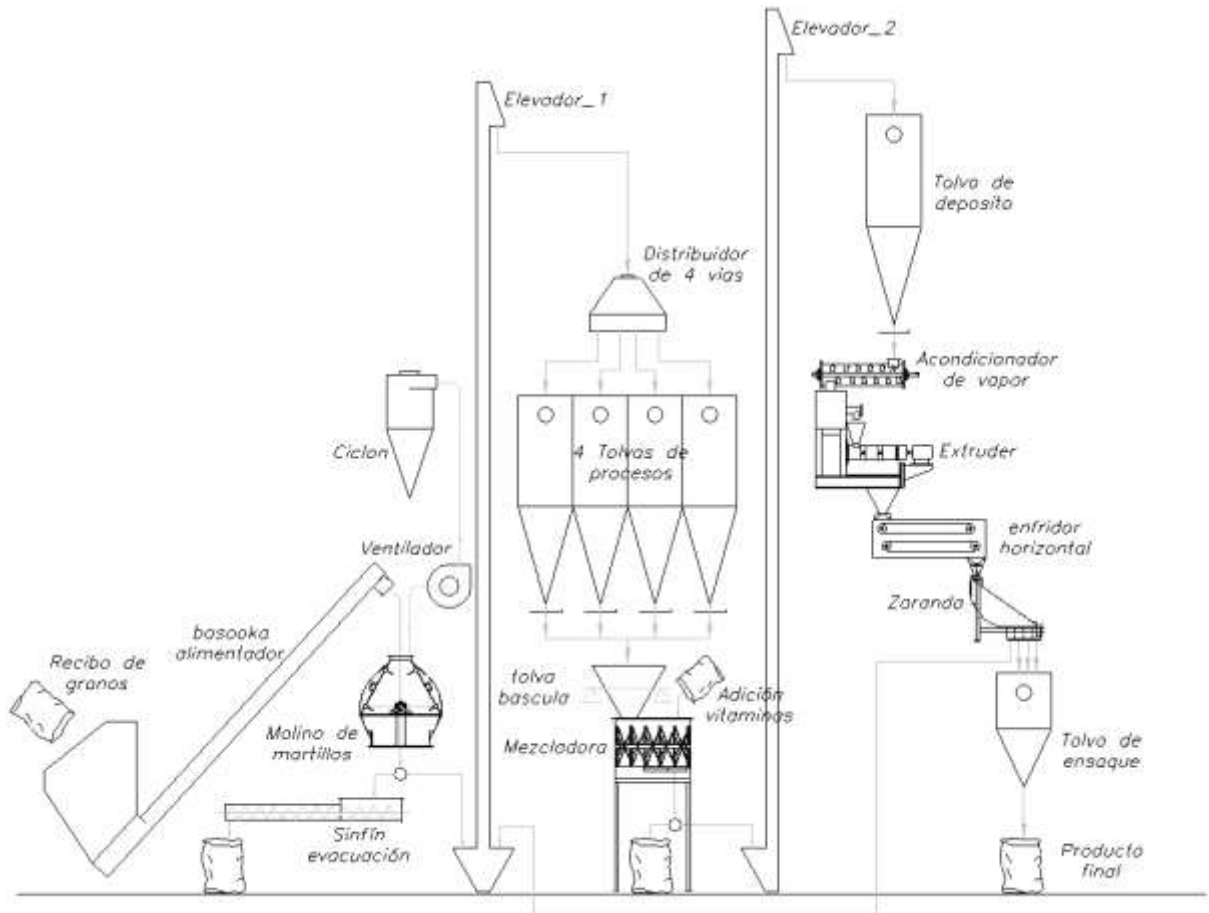
Se opta por realizar el montaje conceptual de la planta piloto con este diseño de enfriador horizontal en desarrollo por la empresa INDARS S.A.S.

4.3 DISTRIBUCIÓN CONCEPTUAL DE LA SECCIÓN DE MEZCLA Y EXTRUSIÓN

Como ya se describió anteriormente en el capítulo 2 de este proyecto, la elaboración de alimento concentrado requiere de etapas básicas que son:

- Etapa de molienda.
- Etapa de mezclado.
- Etapa de acondicionamiento.
- Etapa de extrusión.
- Etapa de secado y enfriado.

Figura 53. Diagrama de flujo de la planta productora de alimento para peces.



Fuente: INDARS S.A.S.

La distribución de la planta piloto productora de alimento para peces inicia con el análisis del diagrama de flujo deseado, como el que se muestra en la figura 53, diagrama que indica claramente los procesos por el cual debe pasar la materia prima hasta convertirse en alimento para peces en forma de pellets. Con los procesos identificados bajo los requerimientos establecidos, se procede al diseño y selección de los elementos principales, que serán eje al momento de diseñar y distribuir la planta para que, de esta forma, se garantice el proceso de manera secuencial.

4.3.1 Diseño de la distribución de la planta. La distribución de la planta piloto comienza con el requerimiento que sea compacta, ocupando un espacio máximo de $5m$ de ancho y $5m$ de largo, siendo la altura una medida poco relevante. Bajo esta especificación, se decide ubicar 3 secciones (sección de molienda, sección de mezcla y sección de acondicionamiento-extrusión-enfriamiento-clasificación) de la planta en un cuadrado, como se muestra en la figura 54.

Figura 54. Ubicación de las secciones de la planta piloto.

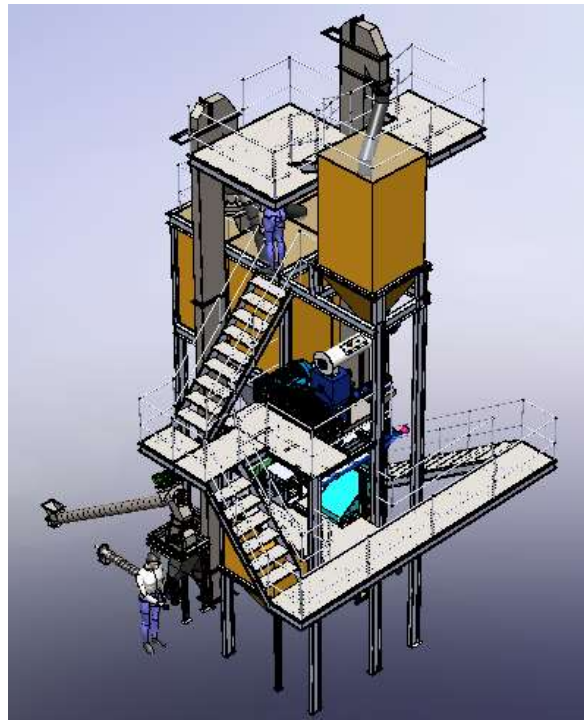


El diseño de la planta se debe realizar en colaboración con el proyecto de diseño y construcción de la sección de molienda de la misma planta y la empresa INDARS, debido a que se necesita ubicar de manera secuencial la sección de molienda y mezclado.

Después de determinar la distribución más adecuada de las secciones, se decide ubicar el molino y la mezcladora como máquinas centrales para el diseño, las cuales estarán a la altura del suelo. Se montan las tolvas de recepción y la tolva báscula sobre la mezcladora, generando al tiempo una estructura en perfil "I" para soportarlas, después, se ubica el elevador de cangilones de la sección de molienda junto a las tolvas y el molino, finalizando así la unión de estas dos secciones. De manera similar, para realizar el paso de la sección de mezclado a la sección donde se incluyen el acondicionador, la extrusora, el enfriador y una zaranda clasificadora (añadida recientemente a la planta junto con las tolvas

clasificadoras), se debe ubicar dos tolvas de clasificación del producto final a nivel del suelo con su respectiva estructura de soporte sobre éstas, se genera una estructura para soportar la zaranda, el enfriador y la extrusora, recordando que el acondicionador se ensambla sobre la máquina de extrusión. Para terminar la unión de estas dos secciones, se agrega la tolva de almacenamiento caracterizada en este proyecto con su estructura de soporte, seguidamente se ubica el elevador de cangilones seleccionado junto a la base de la mezcladora. Para finalizar, se agregan una posible ubicación de plataformas y escaleras de acceso a los diferentes puntos de la planta. De esta manera, se describe muy brevemente el proceso seguido para el diseño de la distribución propuesta para la planta, recalcando que es un proceso de prueba y error, hasta conseguir la mejor distribución posible, optimizando el espacio, no solo para hacer que la planta sea compacta, sino también para facilitar labores de mantenimiento y operación.

Figura 55. Vista isométrica de la distribución propuesta.



Para visualizar mejor la planta, ver los planos de la distribución conceptual que se presentan en la sección H de los anexos.

5. PLANEACION DE LA FABRICACION Y ENSAMBLE

Las consideraciones para la fabricación y ensamble de las máquinas diseñadas y el montaje de la planta han sido establecidas conforme el diseño realizado para cada una de ellas. Este proceso es importante debido a que se debe realizar de manera ordenada, realizando las operaciones consecutivamente, de lo contrario, no sería posible obtener un funcionamiento óptimo de las maquinas.

La fabricación y ensamble de la mezcladora y el acondicionador se realizaron en las instalaciones de la empresa INDARS, donde cuentan con todos los equipos y herramientas necesarios para cumplir con la construcción de las máquinas mencionadas.

Para la fabricación de las piezas de la mezcladora y el acondicionador se usaron hojas de ruta en donde se planifica las operaciones de maquinado que se deben realizar a cada una de las piezas que conforman estas máquinas. Para el ensamble, se usaron hojas de ensamble en donde se describen los procesos que se debe seguir consecutivamente para llegar al montaje final de cada máquina.

A continuación, se muestran cuatro hojas de ruta de piezas de la mezcladora y acondicionador, cuatro hojas de ensamble de cada máquina, cuatro tablas con imágenes de las piezas y procesos y una hoja de ensamble para el diseño conceptual de la planta, todo esto, por efectos de extensión del contenido del proyecto. Para ver las hojas de ruta de las piezas más importantes de las máquinas diseñadas, así como tablas de imágenes extra, revisar la sección F de los anexos.

5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MEZCLADORA

5.1.1 Hoja de ruta de la carcasa.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:	Numero de piezas:	Plano de la pieza	
A-01	A - Cuerpo de la mezcladora Nombre de la pieza: Carcasa	01		
Material:	Tamaño:	Fecha:		
Acero inoxidable AISI 304	Radio: 330 [mm] x Largo 1200 [mm]	02/04/2017		
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Marcado sobre lámina acero inoxidable AISI 304 de 3 [mm] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	4 min	
20	Corte de lámina según marcado y medir.	Cortadora - metro	5 min	
30	Taladrado de agujeros 8 x 11,1 [mm] de diámetro según marcado.	Taladro	3 min	
40	Doblado de las aletas superiores según marcado y medir.	Plegadora - metro	7 min	
50	Cilindrar semicirculo inferior de la lámina con 330 [mm] de radio y medir.	Cilindradora - metro	15 min	
60	Pulido de bordes.	Pulidora	10 min	

5.1.2 Hoja de la cinta externa.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:	Numero de piezas:	Plano de la pieza	
B-05	B - Rotor de cintas Nombre de la pieza: Cinta externa	01		
Material:	Tamaño:	Fecha:		
Acero inoxidable AISI 304	Diámetro: 640 [mm] x Paso: 458 [mm]	02/04/2017		
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Marcado sobre platina acero inoxidable AISI 304 de 1 x 3/8 [in] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	4 min	
20	Rolar de canto la platina con 640 [mm] de radio y medir.	Roladora - metro	15 min	
30	Estirar la platina rolada y completar 2,5 pasos de 458 [mm] y medir.	Banco vertical - palancas - metro	30 min	
40	Cortar sobrante de las puntas según marcado.	Tronzadora	4 min	
50	Pulido de bordes.	Pulidora	4 min	

5.2 MONTAJE DE LA MEZCLADORA

5.2.1 Hoja de ensamble del cuerpo de la mezcladora.

Nº de Ensamble: HE-01	Nombre del conjunto: A - Cuerpo de la mezcladora		Nº de pagina: 01 de 01	
Material: Acero inoxidable	Tamaño general: Ancho: 660 [mm] x Largo: 1520 [mm]		Fecha: 02/04/2017	
Núm.	Operación	Máquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Montar la carcasa de la mezcladora en un banco y asegurar.	Banco - pinzas de presión	3 min	
20	Soldar la brida a la carcasa en el extremo trasero.	Soldadura	18 min	
30	Marcar sobre las tapas laterales la posición de los soportes para las unidades de rodamiento de pedestal.	Rayador - guía - metro	5 min	
40	Nivelar y soldar sobre las tapas laterales los soportes para las unidades de rodamiento de pedestal.	Nivelador - guía - soldadura	15 min	
50	Soldar la tapa lateral de mando a la punta de mando de la carcasa.	Soldadura	15 min	
60	Colocar las unidades de rodamiento a las tapas laterales y fijar con pernos hexagonales A325 NC, 5/8" x 2 1/2" con 2 arandelas y tuerca de seguridad.	Llaves de boca fija	15 min	
70	Introducir el rotor ensamblado en la carcasa y apoyar la punta de mando del rotor sobre el soporte de pedestal de la tapa lateral de mando.		3 min	
80	Colocar la tapa lateral trasera apoyando la punta trasera del rotor en el soporte de pedestal, alinear y fijar la tapa a la brida de la carcasa con pernos hexagonales A325 NC, 3/8" x 1" con arandela y tuerca.	Llaves de boca fija	6 min	
90	Colocar las tapas fijas superiores y fijar con pernos hexagonales A325 NC, 3/8" x 1" con arandela y tuerca.	Llaves de boca fija	6 min	
100	Montar el conjunto actual ensamblado sobre la estructura base y fijar con pernos hexagonales A325 NC, 3/8" x 1" con arandela y tuerca.	Llaves de boca fija	18 min	
110	Colocar la rueda ANSI 60B45 en la punta de eje de mando de la mezcladora.		2 min	
120	Colocar el piñón ANSI 60B15 en la punta de eje del motor.		2 min	
130	Colocar la cadena ANSI 60 alrededor de los piñones.		3 min	
140	Colocar el motor de 3 [hp] en el lugar asignado sobre la base de la mezcladora, alinear el piñón y la rueda de la mezcladora y ajustar con pernos hexagonales A325 NC, 5/8" x 2" con arandela y tuerca.	Llaves de boca fija - guía - metro	5 min	
130	Introducir la cuña rectangular de 1/2" x 3/8" para fijar la rueda ANSI 60B45 de la mezcladora.		2 min	

5.2.2 Hoja de ensamble del rotor de la mezcladora.

Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación
N° de Ensamble: HE-02		Nombre del conjunto: B - Rotor de cintas	
Material: Acero inoxidable		Tamaño general: Diámetro: 640 [mm] x Largo: 1460 [mm]	
		Fecha: 02/04/2017	
N° de pagina: 01 de 01			
10	Asegurar el tubo central en el banco con pinzas.	Banco - pinzas de presión	2 min
20	Centrar e introducir la puntas de eje de mando y trasera y golpear suavemente hasta que los agujeros de las puntas coincidan con los agujeros del tubo.	Martillo de goma	15 min
30	Colocar los pernos hexagonales A325 NC, 5/8" x 3 1/2" con su respectiva arandela y tuerca de seguridad en los cuatro orificios del tubo central y ajustar.	Llaves de boca fija	8 min
40	Montar y asegurar el tubo central con las puntas en el banco de alineamiento.	Banco de alineamiento - pinzas de presión - nivelador	4 min
50	Marcar las posiciones de los soportes de las cintas sobre una misma línea en el tubo central.	Rayador - guía - metro	12 min
60	Colocar el primer soporte en la primera posición marcada, nivelar a 90° respecto de la línea del tubo marcada y añadir un punto de soldadura.	Nivelador - Soldadura	4 min
70	Revizar nuevamente con el nivelador la posición del primer tubo; cuando sea correcto el montaje, aplicar cordon de soldadura.	Nivelador - guía - metro - soldadura	5 min
80	Repertir los operaciones número 60 y 70 con el primer tubo de la punta contraria.		
90	Colozar dos cuerdas guía entre los soportes colocados en cada punta y nivelar.	Cuerda - nivelador - guía - metro	5 min
100	Colocar cada uno de los siguientes tubos intermedios sobre las marcas hechas en la operación 50, uno a uno, siguiendo las cuerdas guías y aplicar cordon de soldadura.	Nivelador - guía - soldadura	18 min
110	Repetir las operaciones 50 a 100 sobre las tres líneas restantes del tubo principal, para completar cuatro soportes de cintas en los 360° de tubo.		
120	Marcar sobre los soportes de las cintas las posiciones externas e internas en donde debe unirse.	Rayador - guía - metro	16 min
130	Introducir la cinta interna desde una de las puntas girandola hasta llegar a la otra punta.		2 min
140	Centrar la cinta, ubicar sobre las marcas hechas en la operación 120, poner puntos de soldadura en varias posiciones y revizar la postura.	Guía - metro - soldadura	18 min
150	Si el montaje es correcto, aplicar soldadura entre los soportes y la cintas.	Soldadura	72 min
160	Repetir el proceso de la cinta interna con la cinta externa, que corresponde a las operaciones 130 hasta 150.		
170	Pulido de bordes e imperfecciones.	Pulidora	15 min

5.3 FOTOGRAFÍAS DE PIEZAS Y ENSAMBLES DE LA MEZCLADORA

Tabla 41. Fotografías de algunas piezas de la mezcladora.

ALGUNAS PIEZAS DE LA MEZCLADORA		
Rayado sobre lámina para la carcasa	Torneado de una de las puntas de eje del rotor	Punta de eje trasera terminada
		
Tubo central listo para mecanizado interno	Comprobación del diametro de la sección de apoyo	Unidad de rodamiento (Rodamiento y soporte)
		
Platinas para la fabricacion de las cintas y tubería para cortar los soportes de las cintas	Cintas después del estiramiento al paso	Carcasa de la mezcladora
		

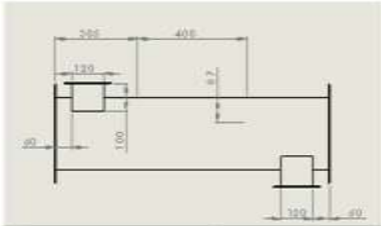
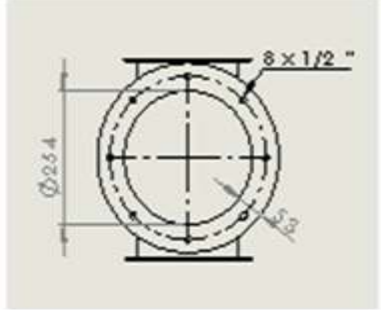
Tabla 42. Fotografías de algunos ensambles de la mezcladora.

ALGUNOS ENSAMBLES DE LA MEZCLADORA		
Ensamble del rotor (Cinta interna)	Rotor ensamblado	Ensamble de las tapas laterales en la carcasa
		
Ensamble general del cuerpo de la mezcladora	Rotor ensamblado en el cuerpo de la mezcladora	Detalle de la soldadura de la brida y la unión de la tapa trasera
		
Aplicación de pintura anticorrosiva	Detalle del ensamble de la tapa lateral trasera	Montaje de la mezcladora en la estructura base
		

5.4 CONSTRUCCIÓN DEL ACONDICIONADOR

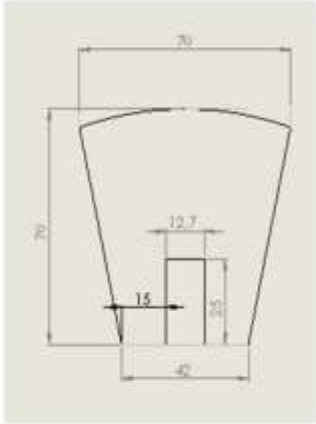
5.4.1 Hoja de ruta de la carcasa.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:	Numero de piezas: 01	Plano de la pieza	
A-01	Nombre de la pieza: Carcasa			
Material: Acero inoxidable AISI 304	Tamaño: Radio: 254 [mm] x Largo: 1010 [mm]	Fecha: 2/06/2017		
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Marcado sobre lámina acero inoxidable AISI 304 de 3	Rayador - Guía - metro	4 min	
20	Corte de lámina según marcado y medir	Cortadora - metro	5 min	
30	Doblado de la lámina según lo marcaado y medido	Plegadora-metro	7 min	
40	Taladrado de agujeros 8x12,7 [mm] de diámetro según marcado	Taladro	6 min	
50	Para cada una de la piezas del montaje se unen con soldadura 6013	Equpo para electrodo	30 min	
60	Pulido de bordes de las entradas que permiten los acoples	Pulidora	10 min	
70	Pintura al color deseado	Compresor	20 min	

5.4.2 Hoja de ruta de la paleta.

N° de	Nombre del conjunto:	Numero de piezas: 13	Plano de la pieza	
A- 02	Nombre de la pieza: Paletas			
Material: Acero inoxidable AISI 304	Tamaño: Ancho: 70 [mm] x Largo: 70 [mm]	Fecha: 2/06/2017		
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Programación CNC para la paleta	cortadora CNC	30 min	
20	Corte de lámina con la cortadora CNC para 13 paletas	Cortadora - metro	20 min	
30	Pulido de bordes de las paletas	Pulidora	15 min	
40	Ensamble con varilla roscada de 1/2." con soldadura 6013	Equipo de soldadura	30 min	



5.5 MONTAJE DEL ACONDICIONADOR

5.5.1 Hoja de ensamble del rotor de paletas.

N° de ensamble HE-01	Nombre del conjunto: Rotor de paletas		N° de pagina : 01 de 01	
Material: Acero inoxidable		Tamaño: Diámetro ext: 60,33 [mm] longitud: 1000 [mm]		Fecha: 2/06/2017
Núm.	Operación	Máquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Asegurar el tubo por sus extremos en el banco con las piezas a ser ensambladas	Banco - pinzas de presión	3 min	
20	En los huecos taladrados en el tubo se introducen las paletas, siendo estas ajustadas por la tuercas el extremo inferior para las 13 paletas que conforman el rotor, dichas paletas estan soldadas con 6013 a una varilla roscada de 1/2 "	Martillo de goma-procedimiento manual	30 min	
30	Se unen los bujes en los extremos del eje	Martillo de goma	10 min	
40	A los extremos del tubo con los bujes correspondientes se unen los ejes de entrada y salida según el sentido de rotación por ende la ubicación del moto-reductor	Martillo de goma	15 min	

5.5.2 Hoja de ensamble de la carcasa del acondicionador.

N° de ensamble HE-02	Nombre del conjunto: Acondicionador		N° de pagina : 02 de 02	
Material: Acero inoxidable	Tamaño: Diámetro: 254 [mm] x Largo:1010 [mm]	Fecha: 2/06/2017		
Núm.	Operación	Máquina y/o herramienta	Tiempo de	
10	Asegurar la carcasa en sus extremos en el banco con las piezas a ensamblar	Banco - pinzas de presión	3 min	
20	Se introduce el rotor sujetandose a una de las bridas con la respectiva chumacera 6908ZZ para fijar completamente un lado y permitir el apoyo para sujetar el lado faltante, se realizar con pernos de 1/2"	Martillo de goma-procedimiento manual- llaves	30 min	
30	Inyección de vapor por medio de flautas en la parte posterior de la carcasa para permitir la previa cocción de la mezcla	pinzas, taladro, martillo	40 min	
40	Se realiza el montaje del acondicionador a la extruder para permitir el paso de la mezcla a la extrusora, se realizar con pernos de 1/2".	Martillo de goma-procedimiento manual	20 min	
50	Montaje de la base para el moto-reductor	Equipo de soldadura	20 min	
60	con la respectiva selección del moto-reductor SK 20-80L/4 se realiza el acople con en el eje de entrada del acondicionador	llaves de boca fija- guia- metro	45 min	
70	pintura en anticorrosivo y porsteriormente verde máquina para su acabado final	compresor	1 h	

5.6 FOTOGRAFÍAS DE PIEZAS Y ENSAMBLES DE DEL ACONDICIONADOR

Tabla 43. Fotografías de algunas piezas del acondicionador.

ALGUNAS PIEZAS DEL ACONDICIONADOR		
CARCA SA	PALETA S	BRIDA S
		
Entrada y salida de la carcasa	Corte de la bridas en la cortadora CNC	Conjutos paleta
		
Moto re ductor NORD		CHUMA CERA
		

Tabla 44. Fotografías de algunos ensambles del acondicionador.

ALGUNAS PIEZAS DEL ACONDICIONADOR	
CONJUNTO ACONDICIONADOR - EXTRUDER	BRIDAS
	
CORTADORA CNC -BRIDAS	VISTA SUPERIOR ENTRADA DEL ACONDICIONADOR
	

5.7 HOJA DE ENSAMBLE DE LA PLANTA PILOTO

5.7.1 Hoja de ensamble de la distribución conceptual de la planta.

N° de Ensamble: HE-03	Nombre del conjunto: Planta piloto	N° de pagina: 01 de 01
Material:	Tamaño general: Ancho: 6000 [mm] x Largo: 5000 [mm] x Alto: 9000 [mm]	Fecha: 02/04/2017
Núm.	Operación	Tiempo de operación
10	Asegurar la estructura de perfil en "I" diseñada para la planta sobre la base.	40 min
20	Colocar las tolvas de recepción y unir a la estructura.	55 min
30	Colocar la mezcladora a las distancias marcadas de la estructura de la planta.	20 min
40	Colocar entre de las tolvas de recepción y la mezcladora la tolva báscula y unir a las tolvas de recepción.	15 min
50	Colocar el pantalón de distribución de productos debajo de la mezcladora.	10 min
60	Ubicar el elevador de la sección de molienda y su distribuidor en las distancias marcadas y ajustar.	75 min
70	Colocar el molino de martillos y su pantalón de distribución que conecta con el pie del elevador y ajustar.	20 min
80	Colocar y ajustar a la estructura las tolvas clasificadoras.	15 min
90	Ubicar la zaranda en la plataforma diseñada y unir a esta según las distancias marcadas.	15 min
100	Ubicar el enfriador en el lugar asignado dentro de la estructura y unir a esta.	25 min
120	Sobre el enfriador, colobar el conjunto acondicionador - extrusora y unir firmemente a la estructura de la planta.	55 min
130	Colocar la tolva de almacenamiento sobre la estructura diseñada y fijar.	18 min
140	Colocar el elevado de cangilones de la sección de mezcla y extrusion en las distancias marcadas y fijar.	75 min

6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS DISEÑADAS

Las pruebas de campo son importantes para comprobar el funcionamiento correcto bajo el diseño propuesto, la manufactura de las piezas y el ensamble en general de las máquinas. A continuación, se muestran las pruebas realizadas y se enlista la información recolectada.

6.1 PRUEBAS DE LA MEZCLADORA

6.1.1 Revisión de las dimensiones de la máquina. El primer paso antes de realizar las pruebas de funcionamiento es revisar las dimensiones y ajustes de las partes principales de la máquina con la finalidad de hacer correcciones (si son en extremo necesarias) antes de la puesta en marcha.

Tabla 45. Revisión general de las dimensiones y ensamble de la mezcladora.

REVISIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES	
Máquina:	Mezcladora
Fecha de prueba:	08/07/2017
Lugar de prueba:	INDARS S.A.S
Tiempo de prueba:	5 minutos
REFERENCIA	ESTADO
Carcasa	✓
Cintas del rotor	✓
Soportes de las cintas	✓
Ejes del rotor	✓
Tapas laterales	✓
Soporte de los rodamientos	✓
Transmisión	⚠
Estructura	✓

Se realizó una inspección general de la máquina en donde se verificó las dimensiones y el ensamble según el diseño planteado, documentando que el único elemento que no se encuentra bajo el diseño propuesto es el sistema de transmisión, el cual corresponde a una modificación temporal realizada debido a la disponibilidad del motor. Se decide continuar con las pruebas debido a que el

requerimiento de potencia se cumple según lo establecido en el capítulo de diseño de la mezcladora.

Figura 56. Mezcladora de cintas diseñada.



6.1.2 Prueba de funcionamiento sin carga. El segundo paso es encender la máquina sin carga para comprobar el funcionamiento, es decir, que los componentes se muevan como deberían moverse, que no se produzcan vibraciones debido al rotor descentrado, que no exista contacto entre las cintas y las paredes de la carcasa, etc.

Tabla 46. Prueba de funcionamiento sin carga.

FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
Máquina:	Mezcladora
Fecha de prueba:	08/07/2017
Lugar de prueba:	INDARS S.A.S
Tiempo de prueba:	4 minutos
REFERENCIA	ESTADO
Sistema eléctrico	✓
Transmisión	✓
Giro del rotor	✓
Vibraciones	✓
Ruido	✓

Se concluye que el funcionamiento sin carga es óptimo, sin ninguna vibración aparente y con un nivel de ruido bajo. Después del análisis de la prueba sin carga, se da vía a la prueba bajo carga requerida.

Figura 57. Prueba de funcionamiento sin carga de la mezcladora.



6.1.3 Prueba de funcionamiento bajo carga requerida. El tercer paso consiste en cargar la máquina mezcladora con la carga requerida (1470 [N]), que, para efectos de diseño fueron 150 [Kg] de masa de material (carga límite recomendada); para la prueba de carga, se llenará con 100 [Kg] de distintas materias primas molidas previamente.

Figura 58. Materias primas a mezclar (sin moler - molidas).




Tabla 47. Prueba de funcionamiento bajo carga requerida.

FUNCIONAMIENTO BAJO CARGA REQUERIDA	
Máquina:	Mezcladora
Fecha de prueba:	08/07/2017
Lugar de prueba:	INDARS S.A.S
Tiempo de prueba:	18 minutos
REFERENCIA	ESTADO
Sistema eléctrico	✓
Transmisión	✓
Giro del rotor	✓
Vibraciones	✓
Ruido	✓
Nivel de llenado esperado	✓
Desplazamiento del material a lo largo de la mezcladora	✓
Desplazamiento del material sobre las paredes de la mezcladora	✓
Polvo levantado	✓
Estabilidad de la máquina	✓
Descarga	✓

La máquina se cargó en vacío con 5 productos molidos (arroz, sorgo, trigo, soya y maíz), cada uno con un peso total de 20 [Kg] (uno tras otro), y se dejó operar por 8 minutos para comprobar la mezcla seca, seguidamente se agregó agua (14 Litros aproximadamente) durante 3 minutos más para comprobar el comportamiento de la máquina al momento de mezclar granos molidos finos y líquidos, obteniendo la mezcla húmeda. A máxima carga, la mezcladora consumió una potencia de 1,942 [Kw], más o menos la potencia calculada.

Tabla 48. Potencia consumida por la mezcladora a carga requerida.

CALCULO POTENCIA CONSUMIDA MEZCLADORA			
FORMULA			
$P_{electrica} = \sqrt{3} VI \cos \varphi$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
V	220	[V]	Voltaje de la linea
I	7,1	[A]	Corriente consumida
cosφ	0,77		Factor de potencia
$P_{electrica}$	1,942	[kW]	Potencia consumida



Las conclusiones que se pueden sacar respecto al funcionamiento con carga requerida se traducen en un excelente comportamiento de todos los sistemas, el movimiento esperado de los productos a través de la mezcladora, sin aumento de ruido aparente respecto a la operación sin carga, estabilidad de la máquina con la masa en movimiento, muy poco polvo levantado, nivel de llenado apenas por debajo del semicírculo, consumo de potencia calculado y una mezcla homogénea, como se analizará a continuación.

Figura 59. Mezcla obtenida después de 8 minutos.



6.1.4 Producto mezclado obtenido. Luego de la operación de la máquina bajo la carga requerida, se descarga el producto en sacos para su análisis, proceso que duró aproximadamente 4 minutos. A continuación, se muestran imágenes de las mezclas obtenidas.

Figura 60. Mezcla seca.



Figura 61. Mezcla húmeda.



Figura 62. Comparativa visual entre la mezcla húmeda y la mezcla seca.



6.1.4.1 Micro mezcla de comparación. Para tener una referencia de la mezcla seca obtenida, se realizó una prueba a pequeña escala con los mismos productos mezclados manteniendo las mismas proporciones (20% de la masa total, es la participación de cada producto), mezclando en una botella plástica e intentando mover la masa de manera similar al movimiento impuesto en la mezcladora (Movimiento longitudinal y sobre las paredes), proceso que se realizó manualmente durante 6 minutos aproximadamente. La comparativa de la mezcla manual y la mezcla obtenida de la prueba bajo carga requerida se muestra a continuación.

Figura 63. Pesado de los 5 productos a mezclar manualmente.



Figura 64. Mezcla de comparación (izquierda) y mezcla obtenida de las pruebas (derecha).



Figura 65. Comparativa de las mezclas.



Analizando la mezcla húmeda, se aprecia que los ingredientes conforman cúmulos pequeños, haciendo que la mezcla de la impresión que fue hecha con materia prima molina de mayor tamaño, pero, se ve lo suficientemente homogénea, que al fin y al cabo es el propósito principal.

Las impresiones obtenidas después de analizar la mezcla de comparación y la mezcla de las pruebas hacen referencia a que, visualmente, ambas mezclas son muy similares, bajo la consideración que los ingredientes de la mezcla de pruebas lucen ligeramente mejor homogenizados, pero son detalles que solo con análisis más profesionales se puede determinar a ciencia cierta.

Se puede concluir entonces que las mezclas seca y húmeda son lo suficientemente homogéneas y que la máquina mezcladora cumple la función bajo la cual fue diseñada.

6.2 PRUEBAS DEL ACONDICIONADOR

6.2.1 Revisión de las dimensiones de la máquina. Se realiza un análisis previo igual al que se realizó en la mezcladora para revisar los componentes que conforman el acondicionador con el objetivo de corregir posibles errores ocasionados en la manufactura de la máquina.

Tabla 49. Revisión general de las dimensiones y ensamble del acondicionador.

REVISION DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES	
Máquina:	Acondicionador
Fecha de prueba:	15/07/2017
Lugar de prueba:	INDARS S.A.S
Tiempo de prueba:	7 minutos
REFERENCIA	ESTADO
Carcasa	✓
Paletas	✓
Bridas	✓
Soporte de los rodamientos	✓
Rotor	✓

Figura 66. Acondicionador diseñado.



Después de la inspección visual se verifica que todos los componentes están en excelentes condiciones y se procede a la puesta en marcha del acondicionador sin carga.

6.2.2 Prueba de funcionamiento sin carga.

Tabla 50. Funcionamiento del acondicionador sin carga.

FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
Máquina:	Acondicionador
Fecha de prueba:	15/07/2017
Lugar de prueba:	INDARS S.A.S
Tiempo de prueba:	5 minutos
REFERENCIA	ESTADO
Sistema eléctrico	✓
Giro del rotor	✓
Vibraciones	✓
Ruido	✓

Figura 67. Prueba de funcionamiento sin carga del acondicionador.



6.2.3 Prueba de funcionamiento bajo carga requerida. Lo siguiente en la lista es cargar el acondicionador con los 100 [kg] los cuales se fueron agregando paulatinamente provienen de la mezcladora para realizar las respectivas pruebas.

Tabla 51. Prueba de funcionamiento bajo carga requerida.

FUNCIONAMIENTO BAJO LA CARGA REQUERIDA	
Máquina:	Acondicionador
Fecha de prueba:	15/07/2017
Lugar de prueba:	INDARS S.A.S
Tiempo de prueba:	30 minutos
REFERENCIA	ESTADO
Sistema eléctrico	✓
Giro del rotor	✓
Vibraciones	✓
Ruido	✓
Rotor	✓
Nivel de llenada esperado	✓
Desplazamiento del material a lo largo del acondicionador	✓
Desplazamiento del material sobre las paredes del acondicionador	✓
Estabilida de la máquina	✓
Descarga	✓

Según lo observado en el acondicionador, este se encuentra trabajando en óptimas condiciones, la mezcla obtenida presenta un estado compacto y suave al tacto apropiado para la conformación del pellet como se observa en la siguiente figura.

Figura 68. Mezcla a la salida del acondicionador.



Se realiza una prueba en su condición crítica, es decir que arranque cargado al 45% de su volumen como se muestra en la siguiente figura, para esta condición de carga se estima la potencia eléctrica al conocer el voltaje de la red, medir el amperaje y el factor de potencia obtenido en la placa del motor.

Figura 69. Mezcla dentro del acondicionador.



Tabla 52. Potencia eléctrica consumida por el acondicionador.

POTENCIA ELÉCTRICA			
ECUACIONES			
$P = I * V * \cos \varphi$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
$\cos \varphi$	0,7	----	Factor de potencia
I	2,7	[A]	Corriente eléctrica
V	220	[V]	Voltaje de la red
P	415,8	[W]	Potencia en W
P	0,56	[Hp]	Potencia en Hp

7.2.4 Prueba de funcionamiento del conjunto Extruder-acondicionado

Como última prueba se coloca en funcionamiento el conjunto extruder-acondicionador, para mostrar el pellet y sus diversas dimensiones (diámetro y longitud). En las siguientes figuras se muestran el conjunto y algunos de los tamaños que se obtuvieron durante la prueba con las diferentes matrices.

Figura 70. Conjunto extruder- acondicionador.



En las pruebas tomadas por la extrusora se evidencio que es sensible a la humedad como se mencionó en el capítulo de diseño del acondicionador (adición de vapor), un exceso de humedad daría como resultado una mezcla pegajosa y pastosa causando atascamiento en el eje y matriz de la extrusora, resultando en una puesta a punto muy complicada. Se concluye que la adición de humedad a la mezcla debe ser controlada ya que la extrusora puede desajustar su puesta a punto, por esto, se deben realizar más pruebas a futuro para distintas combinaciones de propiedades y obtener una puesta a punto de todas las máquinas en conjunto.

Figura 71. Variación del diámetro y longitud del pellet



7. ANALISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

El análisis de costos permite determinar el dinero necesario que se debe invertir, o en cuyo caso, se invirtió, para desarrollar una idea de proyecto para posteriormente identificar si su desarrollo es viable o no.

Existen herramientas financieras para determinar, de manera muy general, la viabilidad de un proyecto bajo condiciones y eventos puntuales que se proyectan en el tiempo, como es el caso del VPN (Valor presente neto) y la TIR (Tasa interna de retorno), herramientas que se usarán posteriormente para determinar la viabilidad del presente proyecto.

7.1 COSTOS DEL PROYECTO

Para el análisis de costos del proyecto se debe determinar el valor de las máquinas que se diseñaron y construyeron, las máquinas y componentes que se seleccionaron y se caracterizaron, correspondientes a la sección de mezcla y extrusión de la planta piloto productora de alimento para peces.

7.1.1 Costos aproximados de la mezcladora.

7.1.1.1 Materia prima.

Tabla 53. Costo de la materia prima usada en la construcción de la mezcladora.

MATERIA PRIMA			
REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Lámina acero inoxidable A304, 1/8" x 4' x 8'	1	\$ 385.900	\$ 385.900
Lámina acero inoxidable A304, 3/16" x 4' x 8'	1	\$ 687.200	\$ 687.200
Tubo acero inoxidable A304 Sch 40, 2 1/2" x 1,2m	1	\$ 157.500	\$ 157.500

Tubo acero inoxidable A304 Sch10, 1" x 6m	1	\$ 52.400	\$ 52.400
Eje acero SAE 1040, 2 1/2" x 0,26m	1	\$ 51.300	\$ 51.300
Eje acero SAE 1040, 2 1/2" x 0,32m	1	\$ 54.700	\$ 54.700
Unidad de rodamiento de pedestal SKF SY511M	2	\$ 165.500	\$ 331.000
Retenedor 50441, 3" x 2 1/4" x 1/2"	2	\$ 62.200	\$ 124.400
Cadena ANSI 60	1	\$ 27.000	\$ 27.000
Piñón ANSI 60B15	1	\$ 140.400	\$ 140.400
Rueda ANSI 60B45	1	\$ 560.900	\$ 560.900
Platina acero inoxidable A304, 3/16" x 1 1/2" x 6m	1	\$ 23.400	\$ 23.400
Angulo A36, 2" x 3/16" x 6m	3	\$ 57.900	\$ 173.700
Platina acero inoxidable A304, 1" x 3/8" x 6m	2	\$ 30.900	\$ 61.800
Platina acero inoxidable A304, 2" x 3/8" x 6m	2	\$ 61.500	\$ 123.000
Perno Hexagonal A325 NC, 5/8" x 2 1/2" (2 arandelas y tuerca de seguridad)	6	\$ 2.600	\$ 15.600
Perno Hexagonal A325 NC, 3/8" x 4 1/4" (arandela y tuerca de seguridad)	10	\$ 2.750	\$ 27.500
Perno Hexagonal A325 NC, 5/8" x 3 1/2" (arandela y tuerca de seguridad)	10	\$ 3.200	\$ 32.000
Perno Hexagonal A325 NC, 3/8" x 1" (arandela y tuerca)	50	\$ 2.100	\$ 105.000
Motorreductor Bonfiglioli VFR130_90, 3kW	1	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
		TOTAL	\$ 7.634.700

7.1.1.2 Maquinado.

Tabla 54. Costo del maquinado realizado en la construcción de la mezcladora.

MAQUINADO			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Corte	5	\$ 28.000	\$ 140.000
Doblado	4	\$ 34.000	\$ 136.000
Cilindrado	5	\$ 34.000	\$ 170.000
Taladrado	1,5	\$ 18.000	\$ 27.000
Torno	2	\$ 46.000	\$ 92.000
Soldadura	8	\$ 27.000	\$ 216.000
TOTAL			\$ 781.000

7.1.1.3 Ensamble.

Tabla 55. Costo de ensamble en la construcción de la mezcladora.

ENSAMBLE			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Trabajador 1	50	\$ 3.074	\$ 153.700
Auxiliar	20	\$ 3.074	\$ 61.480
TOTAL			\$ 215.180

7.1.1.4 Ingeniería.

Tabla 56. Costo de ingeniería de la mezcladora.

INGENIERIA			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Ingeniero	60	\$ 5.854	\$ 351.240
TOTAL			\$ 351.240

7.1.1.5 Costo total de la mezcladora.

Tabla 57. Costo total aproximado de la mezcladora.

COSTO TOTAL MEZCLADORA		
REFERENCIA	VALOR	
Materia prima	\$ 7.634.700	
Maquinado	\$ 781.000	
Ensamble	\$ 215.180	
Ingeniería	\$ 351.240	
	SUBTOTAL	\$ 8.982.120
Imprevistos y otros (5% del Subtotal)	\$ 449.106	
	TOTAL	\$ 9.431.226

Para no extender demasiado el contenido del proyecto, el proceso de obtención del costo del acondicionador se hace de la misma manera que el mostrado para la mezcladora. Para consultar estas tablas, ver la sección G de los anexos.

7.1.2 Costo total del acondicionador.

Tabla 58. Costo total aproximado del acondicionador.

COSTO TOTAL ACONDICIONADOR		
REFERENCIA	VALOR	
Materia prima	\$2.706.600	
Maquinado	\$ 317.500	
Ensamble	\$ 107.590	
Ingeniería	\$ 234.160	
	SUBTOTAL	\$3.365.850
Imprevistos y otros (5% del Subtotal)	\$ 168.293	
	TOTAL	\$3.534.143

7.1.3 Costos aproximados de la extrusora.

Tabla 59. Costo de la extrusora seleccionada.

EXTRUSORA			
REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Mini extruder	1	\$ 15.000.000	\$15.000.000
TOTAL			\$15.000.000

7.1.4 Costos aproximados del enfriador.

Tabla 60. Costo del enfriador.

ENFRIADOR			
REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Enfriador horizontal	1	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
TOTAL			\$ 5.000.000

7.1.5 Costos aproximados del sistema de transporte de material.

Tabla 61. Costo del elevador de cangilones.

TRANSPORTE DE MATERIAL			
REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Elevador de cangilones, 6m	1	\$ 4.300.000	\$ 4.300.000
TOTAL			\$ 4.300.000

7.1.6 Costos aproximados del sistema de almacenamiento.

Tabla 62. Costo de la tolva de almacenamiento.

ALMACENAMIENTO			
REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Tolva de almacenamiento, 2 ton	1	\$ 3.800.000	\$ 3.800.000
TOTAL			\$ 3.800.000

7.1.7 Costos totales de la sección de mezcla y extrusión de la planta.

Tabla 63. Costo de ensamble de la sección de mezcla y extrusión.

ENSAMBLE SECCION MEZCLA Y EXTRUSION			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Trabajador 1	40	\$ 3.074	\$ 122.960
Trabajador 2	30	\$ 3.074	\$ 92.220
Auxiliar	10	\$ 3.074	\$ 30.740
TOTAL			\$ 245.920

Tabla 64. Costo total de la sección de mezcla y extrusión.

COSTO TOTAL SECCIÓN MEZCLA Y EXTRUSIÓN	
REFERENCIA	VALOR
Mezcladora	\$ 9.431.226
Acondicionador	\$ 3.534.143
Extrusora	\$ 15.000.000
Enfriador	\$ 5.000.000
Transporte de material	\$ 4.300.000
Almacenamiento	\$ 3.800.000
Ensamble	\$ 245.920
TOTAL	\$ 41.311.289

7.2 COSTOS DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES

Los costos aproximados de la planta productora de alimento para peces involucran de maneja conjunta las secciones de molienda, mezcla y extrusión diseñadas, como se muestra a continuación.

Tabla 65. Costo total aproximado de la planta productora de alimento para peces.

COSTO TOTAL PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES	
REFERENCIA	VALOR
Sección mezcla y extrusión	\$ 41.311.289
Sección molienda	\$ 18.500.000
Estructura, automatización, maquinas complementarias, otros.	\$ 65.000.000
TOTAL	\$ 124.811.289

En el ítem referente a estructura, automatización, maquinas complementarias, otros, se refiere principalmente a los componentes y partes de la planta que no se consideraron en los proyectos de diseño y construcción correspondientes a la sección de molienda y a la sección de mezcla y extrusión, como son, para las máquinas complementarias, la zaranda clasificadora, empaquetadora, etc., que se contemplan añadir a largo plazo y poder dar por terminada la planta en su totalidad por parte de la empresa INDARS.

Con este monto total de la planta, se pretende realizar el análisis de viabilidad del proyecto que se muestra a continuación.

7.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO

Un estudio de viabilidad consiste en la recopilación, análisis y evaluación de diferentes variables que, en conjunto, influyen al momento de decidir el desarrollo de un proyecto o el rechazo del mismo.

El análisis de viabilidad de un proyecto tiene dos propósitos marcados:

- Demostrar la viabilidad de una idea de negocio a inversionistas, dueños e instituciones financieras.
- Estimar el posible rendimiento o ganancia económica que puede arrojar el proyecto.

Estos dos propósitos se pueden estimar mediante el valor presente neto (VPN), quien demuestra, bajo el análisis de los flujos de caja proyectados si un negocio es rentable o no, y la tasa interna de retorno (TIR), que brinda información sobre el rendimiento máximo que se puede esperar dentro de un periodo determinado.

Para este proyecto, se analizará la viabilidad bajo un escenario que contempla variables como la capacidad de producción anual de la planta, el precio estimado del producto según gastos y costos, inflación anual, porcentaje de venta de la producción, etc., como se muestra a continuación.

7.2.1 Flujo de caja proyectado. Para el uso del VPN y la TIR, es necesario tener el flujo de caja estimado para el periodo de tiempo que se quiere analizar. Realizar un flujo de caja es relativamente sencillo, consiste en el balance de dinero que entra (ingresos) y el que sale (egresos) de cada uno de los subperiodos, la dificultad está en determinar estos valores con la mayor precisión posible, debido a la alta cantidad de variables que se pueden considerar.

Para la elaboración del flujo de caja, se partirá desde la suposición que la empresa INDARS vende la planta a un inversionista que tiene como idea de proyecto comercializar alimento concentrado para peces mediante el uso de la planta productora de dicho alimento, ubicándola en un lugar céntrico en donde se encuentren localizados estanques para la cría de peces, por lo que la inversión inicial será más o menos de unos 274 millones de pesos, correspondientes a un supuesto valor comercial de la planta e instalación de la misma.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO						
Periodos Anuales	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ 274.811.289	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Saldo inicial	-\$ 274.811.289	\$ 157.779.848	\$ 320.608.652	\$ 488.647.977	\$ 662.064.561	\$ 841.030.475
Ingresos:						
Ventas (70% de la prod.)	\$ 525.932.828	\$ 542.762.679	\$ 560.131.084	\$ 578.055.279	\$ 596.553.048	\$ 615.642.745
Total Ingresos	\$ 525.932.828	\$ 542.762.679	\$ 560.131.084	\$ 578.055.279	\$ 596.553.048	\$ 615.642.745
Egresos:						
Costos de producción	\$ 319.213.379	\$ 329.428.207	\$ 339.969.909	\$ 350.848.947	\$ 362.076.113	\$ 373.662.548
Gastos de operación	\$ 48.939.601	\$ 50.505.668	\$ 52.121.850	\$ 53.789.749	\$ 55.511.021	\$ 57.287.373
Total Egresos	\$ 368.152.980	\$ 379.933.875	\$ 392.091.759	\$ 404.638.695	\$ 417.587.134	\$ 430.949.922
Saldo final	\$ 157.779.848	\$ 320.608.652	\$ 488.647.977	\$ 662.064.561	\$ 841.030.475	\$ 1.025.723.299

Tabla 66. Flujo de caja proyectado.

Como se puede apreciar en la tabla 67, se considera una inversión inicial igual al costo de la planta más 150 millones de pesos, que sería el precio comercial de la planta e instalación, ingresos correspondientes al 70% de la producción (30% restante para inventarios), que se estima en 374 toneladas anuales, una inflación del 3,2% que se ve reflejada en el aumento de las ventas, gastos y costos y el saldo final que representa el inicio del siguiente periodo.

Los ingresos se analizan para la venta de alimento por toneladas, el costo del alimento se calcula en función de los costos de producción y los gastos de operación. Por cuestiones de extensión del contenido, la información y los cálculos que se usaron para la obtención del flujo de caja se puede apreciar en la sección G de los anexos.

7.2.2 Valor presente neto (VPN) y Tasa interna de retorno (TIR). Luego de tener el flujo de caja proyectado para el periodo de tiempo en el que se quiere analizar la viabilidad del proyecto, se usaran las herramientas financieras antes mencionadas, el VPN y la TIR.

Con la ayuda de Excel y usando la función "VNA" (valor neto actual) que representa de igual manera el VPN, se selecciona la tasa de descuento o actualización a la que se quiere calcular, los valores del flujo de caja que se proyectaron (saldo inicial de cada periodo en color naranja de la tabla 67) y la inversión inicial. De

esta manera, se obtiene un valor para el VPN, que, de manera simplista, considera que:

- Si el VPN es positivo: El proyecto es rentable.
- Si el VPN es negativo: El proyecto no es rentable.
- Si el VPN es cero: El proyecto es indiferente.

De manera similar, usando la función “TIR” de Excel, se seleccionan únicamente los valores del flujo de caja proyectado y la inversión inicial para obtener la tasa interna de retorno, la cual indica la tasa máxima de descuento que se puede aplicar para que el negocio sea rentable y, a su vez, la tasa que corresponde a la rentabilidad, rendimiento o beneficio que tendrá sobre la inversión realizada en el periodo de tiempo analizado.

Tabla 67. VPN y TIR que demuestran la viabilidad del proyecto.

TASA	VPN	TIR
10%	\$1.475.131.982	103,75%
30%	\$ 717.004.264	
50%	\$ 359.183.766	
70%	\$ 166.900.536	
90%	\$ 53.052.413	
110%	-\$ 19.578.163	
130%	-\$ 68.717.560	
150%	-\$ 103.567.489	
170%	-\$ 129.249.981	
190%	-\$ 148.785.484	

La tabla 67 muestra el valor del VPN para distintas tasas de descuento, resaltando que, aquella tasa que vuelve cero al VPN corresponde a la TIR. La gráfica que resulta muestra de manera simple para que valores de tasa de descuento es rentable el negocio.

Luego de realizar este análisis, normalmente la tasa máxima de rendimiento se debe comprar con otros proyectos de inversión; considerando que la tasa obtenida para el escenario planteado es muy atractiva, se puede concluir que el proyecto, a priori, es muy rentable.

8. CONCLUSIONES

- Con la intención de generar ideas de investigación y desarrollo y contribuir a la comunidad, la empresa INDARS S.A.S acude a la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander para realizar el diseño y construcción de la sección de mezcla y extrusión para una planta productora de alimento para peces. Conforme a lo anterior, se desarrolla el diseño y selección de las máquinas principales de la sección, así como la planeación y construcción de éstas, aplicando técnicas ingenieriles apoyadas en herramientas computacionales, contribuyendo de esta forma a la transferencia de conocimiento de la universidad industrial de Santander hacia el entorno industrial de la región.
- Aplicando el conocimiento adquirido durante la carrera de ingeniería mecánica, se logró diseñar las máquinas principales de la sección de mezcla y extrusión, como lo son la mezcladora y el acondicionador, evaluando componentes principales por medio del modelamiento virtual y análisis mecánico mediante elementos finitos, además, se realizaron pruebas de campo que arrojaron un comportamiento satisfactorio de las máquinas sin carga y con carga requerida, como se evidenció en este proyecto.
- Para la selección de la extrusora se presentó la necesidad de realizar un análisis de alternativas de máquinas extrusoras que se aproximasen al requerimiento de producción establecido inicialmente, ya que éstas están diseñadas normalmente para grandes volúmenes de producción, optando por la selección de la alternativa que más se acercara al requerimiento de producción de 50 – 100 [Kg/hora] y presentara una relación de costo/beneficio elevada.

- Los diseños de la mezcladora y el acondicionador se realizaron teniendo en cuenta principalmente su funcionalidad, pero, además, estos diseños permitieron que las máquinas pudieran ser construidas en las instalaciones de la empresa INDARS S.A.S, proporcionando las hojas de ruta y ensamble para cada una de ellas, cumpliendo así, con un diseño integral.
- Para el diseño conceptual de la distribución (montaje) de la planta piloto, se realizó en primera instancia la caracterización de los equipos tales como la tolva de almacenamiento o espera, el elevador de cangilones y el secador – enfriador, para ser seleccionados (o en su defecto diseñados) en un futuro, sirviendo de referencia para realizar una propuesta de distribución con el conjunto de equipos que se consideraron necesarios para la producción de alimento para peces de calidad, proporcionando además un modelo CAD y una hoja de ensamble que describe brevemente el proceso de ensamble a seguir.
- Al realizar el análisis de viabilidad del proyecto, se muestra, para el escenario planteado, una rentabilidad muy atractiva, por lo que se considera una buena oportunidad de inversión para el desarrollo y puesta en marcha de la planta productora de alimento para peces en forma de pellets.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERT, Tacon. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados [Manual de capacitación]. Depósito de documentos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S00.htm#T>

BORTONE, Eugenio. Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidroestables para camarones. [Documento]. Texas: Balanceados Lamar, C.A & Omega Protein, Inc. 31 p.

BUDYNAS, Richard y NISBETT Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: McGraw-Hill, 2008. p.67-336

CHICO PROAÑO, Fabián Mauricio. Premezclado de sólidos inertes para la producción de dinamita, mediante el diseño y construcción de un mezclador cónico vertical piloto, para pruebas. Trabajo de grado para ingeniero químico. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería química y agroindustria. 2011. 152 p.

MANYA NAULA, Diego Javier. Máquina mezcladora de alimento balanceado para la elaboración de bloques multinutricionales. Trabajo de grado para ingeniero mecatrónico. Ibarra: Universidad técnica del norte. Facultad de ingeniería en ciencias aplicadas. 2014. 175 p.

MARTIN SPROCKET & GEAR. Catálogo 4000- sección H. Texas: Martin & Gear, 2013. p. 124-128

VEGA, José. Los estudios de viabilidad para negocios. [Documento]. Mayagüez: Recinto Universitario de Mayagüez. 3 p.

Anexo A. Información de interés sobre la empresa INDARS S.A.S.

Continuando con la información expresada en el capítulo 1, se expone detalles de interés sobre la empresa INDARS, patrocinadores del presente proyecto.

1. POLÍTICAS GENERALES DE LA EMPRESA INDARS S.A.S.

1.1 Política de calidad. Para industrias Archila S.A.S es muy importante cumplir con la satisfacción del cliente, para dicho fin cuenta con la norma de calidad ICONTEC NTC 6001:2008 (MYPES) la cual tiene como objetivos fortalecer la competitividad, supervivencia, permite entender requisitos mínimos para el funcionamiento, gestión, empleando estándares internacionales, ayuda a enfocarse en la satisfacción del Cliente, mejora Continua y facilita asociación con otras empresas. Dicho respaldo permite que los productos y servicios prestados sean de alta calidad con precios competitivos, contando con personal y proveedores calificados.

1.2 Talento humano. La organización cuenta con 30 empleados calificados, capacitados anualmente para prestar un servicio de calidad, instruidos por parte de organizaciones privadas y del estado con el fin de estar calificados para enfrentar nuevos cambios que se presentan en la industria. Mediante programas de salud ocupacional se brinda capacitación en seguridad industrial, plan de emergencias, promoción y prevención de la salud en el trabajo. Para INDARS sus empleados son seleccionados a base de una buena experiencia profesional y pruebas de clasificación, es así como sus torneros, fresadores, operadores de máquina herramienta, soldadores entre otros, cuentan con más de 10 años de experiencia lo cual permite dar soluciones idóneas a las dificultades técnicas que se presenten.

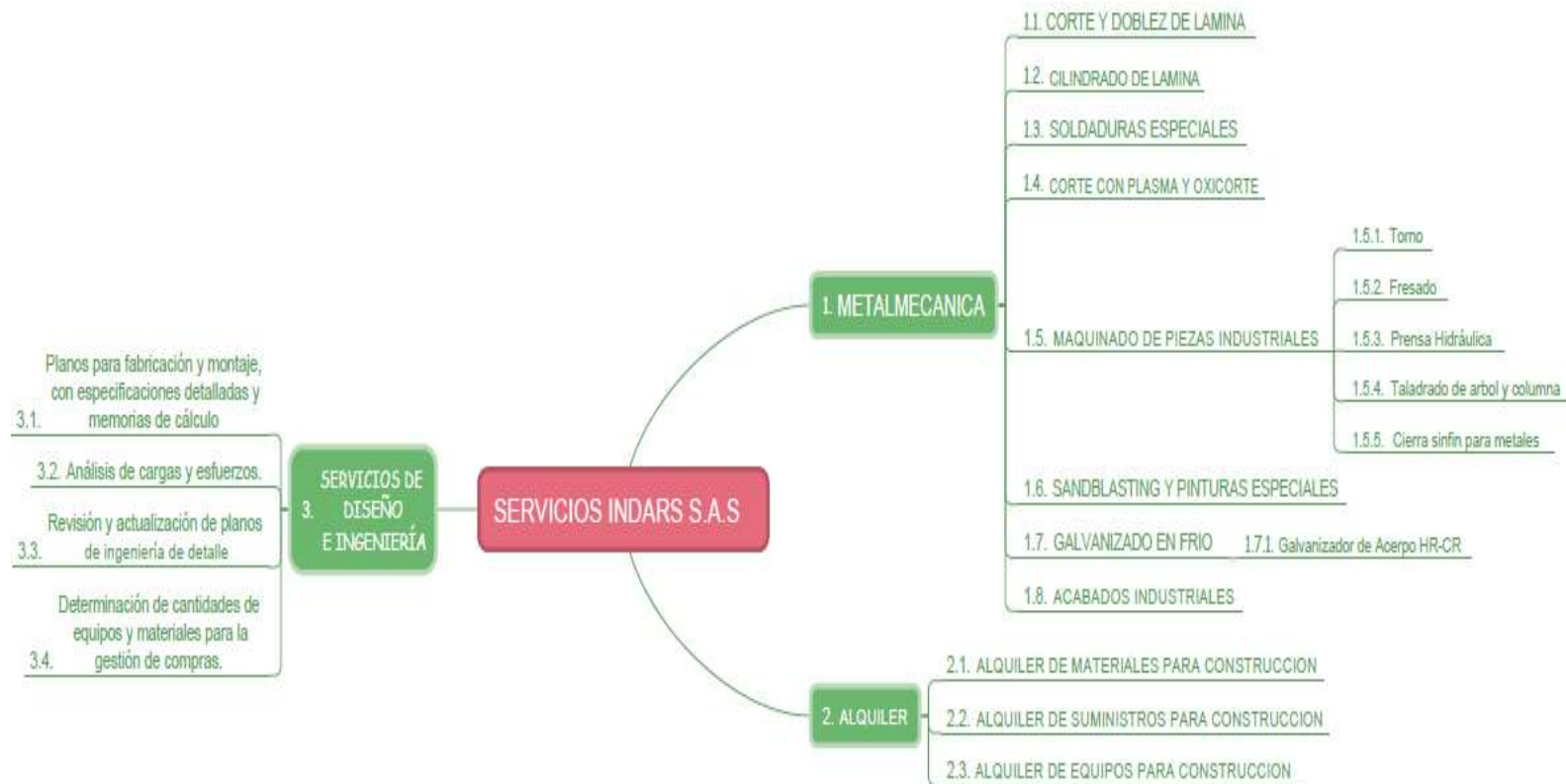
2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 1. Estructura organizacional INDARS S.A.S.



3. PRODUCTOS Y SERVICIOS

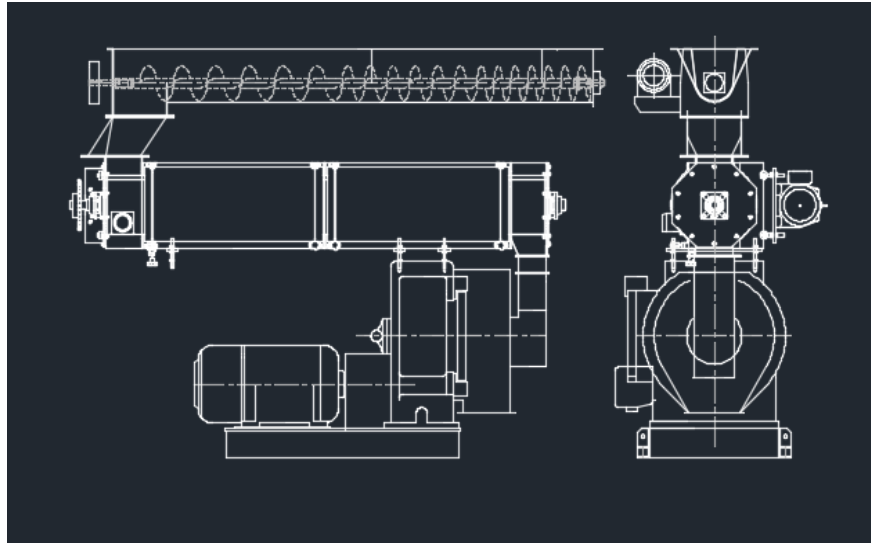
Figura 2. Productos y servicios prestados por INDARS S.A.S.



4. ESTRUCTURA PRODUCTIVA

4.1 Área diseño. Esta área cuenta con un equipo de diseñadores encargados del proceso creativo enfocados en definir nuevos conceptos y resolver de modo original problemas en los diferentes sectores como el agrícola, avícola, industrial y transporte, dicho modelo se desarrolla basados en análisis de cargas y esfuerzos, planos para fabricación y montaje con especificaciones detalladas, revisión, actualización de planos de ingeniería, determinación de materiales entre otras. Para Indars S.A.S el éxito de cada uno de los productos está ligado con la calidad del proceso de diseño que se realiza, la idoneidad de los profesionales encargados de este proceso son la clave para obtener ventajas competitivas, siendo estos calificados y con gran calidad ética y moral. La figura 3 muestra uno de los productos en investigación actualmente, este es el acondicionador el cual hace parte una planta para obtener alimento para diferentes necesidades como pollo y pescado.

Figura 3. Ensamble acondicionador - extrusora



Fuente: <http://indars.com.co/>

4.2 Área de mecanizado. INDARS S.A.S constantemente se encuentra en procesos de innovación tecnológica, estando actualizada con tecnología de punta para prestar el mejor servicio a sus clientes, dicha área está conformada por diferentes maquinados de piezas para ello tiene a su disposición tornos, fresadoras, taladras, troqueladoras, cierra sin fin para metales, convencionales y CNC, a su vez realizan corte y doblaje de lámina, corte de plasma y oxicorte, galvanizado en frío, acabados industriales entre otros.

Figura 4. Maquinas Tipo CNC para Realizar diferentes tipos de Corte y Doblez



Fuente: <http://indars.com.co>

4.3 Área de ensamble. El proceso de Ensamble es quizá el más importante, implica el uso de diferentes métodos de sujeción los cuales permiten desensambles o uniones permanentes apoyado por el área de mecanizado y personal capacitado. Industrias Archila cuenta con una gran experiencia en la fabricación de silos, elevadores de cangilones, mezcladores de alimentos, molinos de martillos, plantas de alimentos, plataformas, estructuras metálicas, transportadores, bazookas, y de más, con un área de 2000 m^2 para cada uno de los ensambles.

Actualmente realizan montajes fuera y dentro de la ciudad, logrando mantenerse como una empresa responsable, competitiva y con excelentes estándares de calidad. La figura 7 muestra el montaje de su producto principal vendido a la industria avícola.

Figura 4. Criadoras para pollos.



Fuente: <http://indars.com.co>

Anexo B. Generalidades de la fabricación de alimento concentrado para peces

Los organismos vivos son el alimento natural de los peces, los cuales se encuentran en el agua donde éstos viven. Los peces crecen más rápido y permanecen saludables si hay suficientes alimentos nutritivos para alimentarse. Algunos ejemplos de alimentos naturales son el fitoplancton (plantas microscópicas), zooplancton (animales microscópicos), insectos y cierto tipo de plantas.

Los organismos naturales alimenticios encontrados en un estanque proveen nutrientes esenciales. En algunas ocasiones, este alimento natural no se encuentra disponible en suficiente cantidad para proporcionar una adecuada nutrición para que los peces crezcan. Cuando esto sucede, los peces se deben alimentar a intervalos regulares (por ejemplo, diariamente, semanalmente, etc.), con alimentos concentrados manufacturados o con alimentos encontrados fuera del estanque, estos alimentos suplementan al natural. Sin embargo, el alimento suplementario no es nutricionalmente completo y no permitirá un adecuado crecimiento de los peces si el alimento natural está totalmente ausente. Algunos ejemplos de alimentos suplementarios para peces son las raciones comerciales (alimentos concentrados), salvado de arroz, hojas de boro, desechos de cocina, tortas de semillas oleaginosas, y otros productos y desechos agrícolas.

Sin la presencia del alimento natural en el estanque, se debe proporcionar a los peces alimentos manufacturados (concentrados) nutricionalmente completos que contengan todos los requerimientos de vitaminas y nutrientes esenciales (balanceados). Una formulación para la elaboración de alimentos balanceados para animales está compuesta por un sin número de materias primas agrícolas y agroindustriales, siendo maíz amarillo duro, soya, sorgo y torta de soya los productos básicos. En conjunto estas cuatro materias primas representan alrededor del 89% del valor de las materias primas de origen agrícola y agroindustrial.

1. NUTRIENTES ESCENCIALES

1.1 Proteínas y aminoácidos. Las proteínas están consideradas como el constituyente más importante de cualquier célula viviente y representan el grupo químico más abundante en el cuerpo de los animales, con excepción del agua; en promedio, el cadáver del pez contiene 75% de agua, 16% de proteína, 6% de lípidos y 3% de cenizas. Las proteínas son componentes esenciales tanto del núcleo celular como del protoplasma celular y por lo tanto constituyen el grueso del tejido muscular, órganos internos, cerebro, nervios y piel.

La función de las proteínas puede ser resumida como sigue:

- Reparación del tejido dañado y desgastado (mantenimiento de tejido) y formación de tejido nuevo (síntesis de nuevas proteínas durante el crecimiento).
- La proteína suministrada en la dieta puede ser catabolizada y actuar como fuente de energía o puede servir como sustrato para la formación de lípidos y carbohidratos en el tejido.
- La proteína suministrada en la dieta es requerida dentro del cuerpo del animal para la formación de hormonas, enzimas y una variedad muy amplia de otras sustancias biológicamente importantes, tales como los anticuerpos y hemoglobina.

Los aminoácidos desempeñan un importante papel en el metabolismo celular, ya que todas las reacciones bioquímicas son catalizadas por enzimas constituidas por residuos de aminoácidos. Los aminoácidos son esenciales para el metabolismo lipídico y de carbohidratos, para la síntesis de proteína y de otros compuestos muy importantes además de servir como fuente metabólica de energía.

1.2 Lípidos. Los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias, encontradas tanto en tejidos vegetales como animales, su función es:

- Los lípidos son una fuente importante de energía metabólica (ATP). De hecho, de todos los nutrientes, los lípidos son los compuestos más energéticos, el valor energético global comparativo es:

Lípidos 9.5 [Kcal/g]

Proteínas 5.6 [Kcal/g]

Carbohidratos 4.1 [Kcal/g]

De aquí que los lípidos se pueden utilizar como energía, de modo tal que las proteínas, nutrientes mucho más evaluables, se destinen exclusivamente para el crecimiento.

- Los lípidos son componentes esenciales de todas las membranas celulares y subcelulares.
- Los lípidos sirven como vehículo biológico en la absorción de vitaminas A, E y K.
- Los lípidos son fuente de ácidos grasos esenciales, mismo que son indispensables para el mantenimiento e integridad de las membranas celulares.
- Se considera que los lípidos juegan un papel importante como colchón mecánico para el soporte de los órganos vitales.
- Son fuente de esteroides esenciales, que desempeñan una amplia gama de funciones biológicas importantes.

- Desde el punto de vista de tecnología de alimentos, los lípidos actúan como lubricante, que ayuda en el paso del alimento a través del dial de la peletizadora; además ayudan a reducir el polvo en los alimentos y juegan un importante papel en la palatabilidad del alimento.

1.3 Carbohidratos. Después de las proteínas y lípidos, los carbohidratos representan el tercer grupo de compuestos orgánicos más abundantes en el cuerpo animal, En contraste, los carbohidratos constituyen los nutrientes orgánicos principales del tejido vegetal. El grupo de los carbohidratos incluye importantes compuestos como la glucosa, fructosa, sucrosa, almidón, glicógeno, quitina y celulosa.

Los carbohidratos son sintetizados por todos los vegetales verdes, a través del proceso denominado fotosíntesis. Tanto en el hombre como en los animales terrestres, los carbohidratos suministrados en la dieta son la principal fuente de energía metabólica (ATP).

En peces y camarones no se ha establecido un requerimiento absoluto de carbohidratos en la dieta. Esto contrasta marcadamente con lo establecido para las proteínas y lípidos, nutrientes para los cuales ya se han establecido requerimientos dietéticos específicos para ciertos aminoácidos y ácidos grasos esenciales. En gran medida esto se debe a:

- Los hábitos alimenticios carnívoros/omnívoros de la mayoría de las especies de peces y crustáceos cultivados.
- La habilidad de los peces y camarones para sintetizar carbohidratos (p. ej. glucosa) a partir de substratos que no sean carbohidratos, tales como proteínas y lípidos (proceso denominado gluconeogénesis).
- La habilidad de los peces y crustáceos para satisfacer sus requerimientos energéticos a partir del catabolismo únicamente de proteínas y lípidos, si es necesario.

Sin embargo, a pesar de la aparente ausencia de un requerimiento dietético de carbohidratos para peces y crustáceos, no existe duda que los carbohidratos realizan importantes funciones biológicas en el cuerpo del animal. Por ejemplo, la glucosa producto final de la digestión de carbohidratos en los animales, sirve como la principal fuente energética para el tejido nervioso y cerebro y como intermediario metabólico para la síntesis de muchos compuestos biológicamente importantes, incluyendo el exoesqueleto quitinoso de los crustáceos, los ácidos nucleicos ARN y ADN, y los mucopolisacaridos de las secreciones mucosas.

A pesar de que los carbohidratos pueden ser considerados nutrientes no esenciales en la dieta de peces y crustáceos, su inclusión en las dietas de engorda está garantizada debido a:

- Representan una fuente económica de energía dietética muy valiosa para aquellas especies de peces y crustáceos no carnívoras.
- Su uso cuidadoso en dietas para engorda puede representar un ahorro en referente a la utilización de la proteína, insumo más valioso para el crecimiento en lugar de fuente de aprovisionamiento energético (procedimiento denominado “sustituto proteínico”).
- Al ser empleados como ligantes sirven como constituyentes dietéticos esenciales, para la elaboración de dietas estables en el agua (por ejemplo: almidón gelatinizado, alginatos, gomas).
- Ciertas fuentes de carbohidratos sirven como constituyentes dietéticos que aumentan la palatabilidad del alimento y disminuyen el contenido de polvo el alimento terminado (p. ej. melaza de caña o remolacha).

1.4 Vitaminas. Las vitaminas son un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos esenciales para el crecimiento y mantenimiento de la vida animal. La mayoría de las vitaminas no son sintetizadas por el cuerpo de los animales, o bien si lo son, es a una tasa muy inferior, que permita cubrir los requerimientos de los animales. Las vitaminas difieren de los otros nutrientes principales (proteínas, lípidos y carbohidratos) en que éstas no están químicamente relacionadas unas con otras, existen en cantidades muy pequeñas dentro de las materias alimenticias de origen animal y vegetal y son requeridas por los animales en cantidades traza. Aproximadamente se han aislado 15 vitaminas a partir de materiales biológicos, su condición de esencial depende de la especie animal, la tasa de crecimiento del mismo, la composición del alimento y la capacidad de síntesis de la población bacteriana localizada en el tracto gastrointestinal del animal. En general, todos los animales muestran distintos signos morfológicos y fisiológicos por deficiencia, cuando alguna vitamina está ausente en la dieta.

1.5 Minerales. Con excepción de los elementos orgánicamente ligados, hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno, existen aproximadamente 20 ó más elementos minerales que son considerados como esenciales para la vida animal, incluyendo peces y camarones. Los elementos minerales esenciales, son clasificados en dos principales grupos, acorde a su concentración en el cuerpo animal; los macro elementos y los micro elementos.

La función general de los minerales se puede resumir como sigue:

- Los minerales son constituyentes esenciales de las estructuras esqueléticas, tales como huesos y dientes.
- Los minerales juegan un papel clave en el mantenimiento de la presión osmótica y consecuentemente, regulan el intercambio de agua y solutos dentro del cuerpo animal.
- Los minerales sirven como constituyentes estructurales de tejidos blandos.

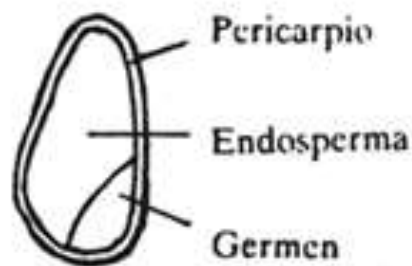
- Los minerales son esenciales para la transmisión de los impulsos nerviosos y para las contracciones musculares.
- Los minerales juegan un papel vital en el equilibrio ácido-base corporal y consecuentemente regulan el pH de la sangre y otros fluidos corporales.

2. INGREDIENTES QUE PROPORCIONAN LOS NUTRIENTES ESENCIALES

2.1 Cereales de grano y subproductos. El nombre “cereal” está dado a la familia de los pastos (Gramineae) las cuales son cultivadas por sus semillas (granos) e incluyen a la cebada, maíz, mijo, avena, arroz, sorgo y trigo. Los granos de cereal y sus subproductos se utilizan generalmente como recursos energéticos dietarios para animales de granja, incluyendo peces y camarones.

Los granos de cereal maduros consisten en tres partes principales: 1) el germen del embrión; 2) el endospermo almidonoso (o tejidos de reserva alimenticio que rodean al embrión); y 3) el pericarpio o cubierta exterior (también conocida como el salvado; Figura 1.

Figura 1. Grano de cereal.



Fuente:<<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S07.htm#ch3.1>>

Los niveles de proteína en los granos de cereal son bajos, variando de 8 a 12% de la materia seca de la mayoría de los granos, la mayor parte de los carbohidratos presentes están en la forma de gránulos de almidón dentro del endospermo.

Los lípidos o contenidos de aceites en los granos de cereal varían con la especie y la madurez (1 a 8% del peso de la semilla); los niveles de aceite más altos se encuentran en los gérmenes del embrión. Los aceites de los cereales son normalmente insaturados, susceptibles a la oxidación y rancidez durante el almacenaje.

El contenido de fibra cruda de los granos de cereal es más alto en aquellas especies que contienen una cascarilla o cubierta (granos de cereal como la avena, cebada y arroz). Sin embargo, los granos de cereales contienen poco calcio, son buenos recursos de fósforo.

Los granos de cereales son deficientes en vitamina D, C y provitamina A, pero son buenos recursos de vitamina E y la mayor parte de las vitaminas del complejo B. Las vitaminas en los cereales se encuentran usualmente concentradas en la parte exterior del endospermo y dentro del germen del grano.

2.2 Oleaginosas y subproductos. Las oleaginosas difieren de los cereales en que los lípidos reemplazan a los carbohidratos como la más importante reserva de alimento dentro de la semilla. Las oleaginosas importantes incluyen a la soya, el algodón, el cacahuate, maní, el girasol, el nabo (colsa), el lino (linaza), el coco (copra), el ajonjolí, la higuera (ricino), las semillas de la palma, cártamo, mostaza y el níger. También algunas semillas oleaginosas pueden ser usadas en su forma completa o “sin desengrasar” para alimentos de animales, pero la mayoría son usadas en la forma de pastas y harinas desengrasadas de oleaginosas; el aceite extraído es usado para consumo humano, alimento animal o tanto para la industria como para las preparaciones farmacéuticas.

En comparación con los cereales, las oleaginosas y los productos de extracción del aceite son ricos recursos de proteína (20 a 50% por peso) y relativamente pobres recursos de carbohidratos. Aunque si bien el valor biológico de las proteínas de las oleaginosas es generalmente más alto que la de los cereales, los patrones de aminoácidos esenciales de las proteínas de las oleaginosas se encuentran desbalanceadas. El contenido de aceite de las pastas de oleaginosas y las harinas varían de acuerdo con el método de extracción empleado teniendo rangos que van desde 1% para las oleaginosas extraídas por solventes hasta el 8% con los procesos hidráulicos de presión. Las oleaginosas son generalmente fuentes pobres de calcio, vitamina E y provitamina A, pero son buenas fuentes de fósforo y vitamina B.

2.3 Granos de legumbres. Los granos de leguminosas o legumbres son especies vegetales que pertenecen a la familia Leguminosae, las cuales son cultivadas a través de sus semillas maduras o vainas verdes inmaduras e incluyen la banbarra, haba, garbanzo, cluster (frijol), chícharo vaquero, chícharo de pasto, frijol común, chícharo de caballo, lablab (frijol), haba blanca, frijol de tierra, lenteja, frijol lima, lupina, chícharo común, arveja, frijol rojo, haba, pica pica y frijol alado, entre otros. Los cultivos de cacahuete y soya utilizados primordialmente para su procesamiento en aceites comestibles y concentrados proteínicos se mencionaron previamente como oleaginosas y sus subproductos.

Los granos de oleaginosas son una buena fuente de proteínas (el contenido promedio en semilla seca es del 20–26%), energía (tanto en forma de lípidos como almidón) y diversas vitamina B. Los granos de leguminosas frecuentemente son considerados como un suplemento natural de los granos de cereales.

2.4 Raíces cultivadas. Las raíces cultivadas son aquellas especies de plantas que poseen una extensa reserva de carbohidratos en sus tallos subterráneos (por ejemplo: tubérculos) o raíces. Las raíces cultivadas o tubérculos son pobres recursos de proteína (2–10% en peso seco; una gran proporción del nitrógeno se encuentra en la forma de nitrógeno no proteico), vitaminas, calcio y fósforo, pero estas son un recurso rico de potasio y carbohidratos digeribles; estos últimos pueden estar en la forma de azúcares dentro de las raíces y fructanos o almidones dentro de los tubérculos.

2.5 Frutas. Muchos de los frutos de plantas y sus subproductos provenientes del procesado pueden ser considerados para la alimentación animal. Por otra parte, los frutos son generalmente como un recurso pobre en proteínas, vitaminas (con la posible excepción de la vitamina C) y minerales. Estas son recursos de carbohidratos digeribles y por ende de energía.

2.6 Pastos, cultivos verdes y materiales alimenticios misceláneos. Los pastos y los cultivos forrajeros constituyen un valioso recurso de carbohidratos dietarios, proteínas, vitaminas y minerales. Estos cultivos pueden ser utilizados tanto en su estado natural (fresco), como en un estado conservado.

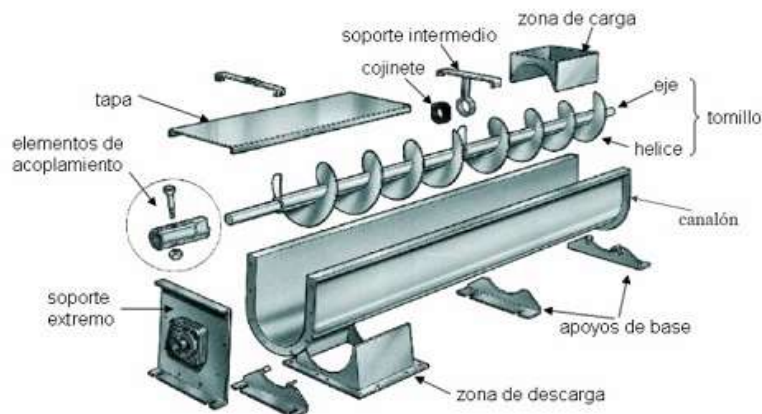
Anexo C. Evaluación de alternativas para el subsistema de acondicionamiento y subsistema de extrusión

1. ALTERNATIVAS PARA EL SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO

El acondicionamiento del alimento es el proceso el cual tiene como objetivo convertir la mezcla molida proveniente del mezclador con el uso factores como calor, agua, presión a un estado físico que facilita la compactación del alimento molido, permitiendo alcanzar los estándares de dureza, durabilidad y valor nutricional del alimento adecuados para los peces.

1.1 Alternativa 1. Acondicionador de tornillo sin fin. Un acondicionador de este tipo está formado por un transportador tornillo sinfín el cual está constituido por una hélice montada sobre un eje que se encuentra suspendido en un canal. Es de sencilla construcción, tiene la opción de colocar descargas en diferentes puntos, como desventajas presenta: alta potencia absorbida, dificultad de sobrepasar ciertas pendientes de elevación, disminuyendo la capacidad de transporte para diferentes posiciones, peligro de deterioro para ciertos productos, fuerte desgaste.

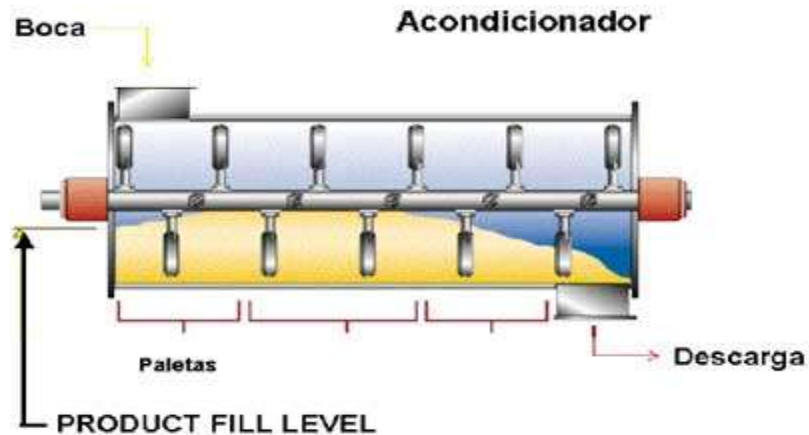
Figura 1. Acondicionador de tornillo sin fin.



Fuente: <http://www.engormix.com/>

1.2 Alternativa 2. Acondicionador de paletas. Este tipo de acondicionador es básicamente un transportador de paletas al cual se le inyecta vapor de agua a una temperatura y presión predeterminada a fin de entregarle a la mezcla la humedad necesaria para que se adquieran las propiedades requeridas para generar el alimento balanceado y posteriormente sea efectiva la entrada de la mezcla homogénea al proceso de extrusión. Los sistemas de transporte de paletas tienen funcionamiento simple, silencioso, fiable y fácil mantenimiento.

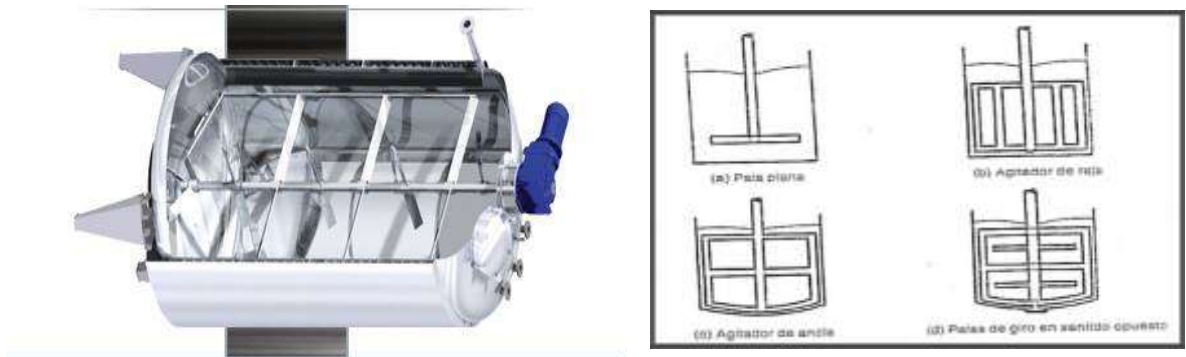
Figura 2. Acondicionador de paletas.



Fuente: <<http://www.engormix.com/>>

1.3 Alternativa 3. Acondicionador de paletas tipo ancla. Está formada por un recipiente de boca ligeramente rectangular y fondo semi-cilíndrico, en cuyo interior giran paletas tipo ancla ubicadas a lo largo de la estructura, produciendo un movimiento secuencial de la mezcla, lo cual permite obtener una homogenización en menor tiempo, además de repartir perfectamente todos los componentes de la mezcla.

Figura 3. Acondicionador de paletas tipo ancla.



Fuente: <http://www.engormix.com>

1.4 Evaluación de alternativas subsistema de acondicionamiento.

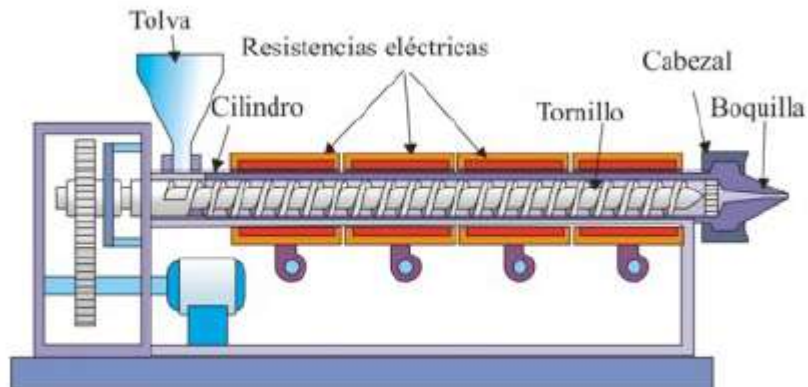
Tabla 1. Evaluación de las alternativas propuestas para el subsistema de acondicionamiento.

CRITERIO	PARÁMETRO	PI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
DIMENSIONES	ESTÁNDAR	10	5	0,5	5	0,5	5	0,5
	COMPACTO	12	4	0,48	4	0,48	3	0,36
	CAPACIDAD	16	4	0,64	4	0,64	4	0,64
MECANISMO	ECONÓMICO	13	3	0,39	4	0,52	3	0,39
	HOMOGENEIDAD DE LA MEZCLA	15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
	MANTENIBILIDAD	9	3	0,27	4	0,36	2	0,18
	VIDA ÚTIL	12	4	0,48	3	0,36	4	0,48
SEGURIDAD	ESTABILIDAD	7	4	0,28	4	0,28	4	0,28
	BAJA VIBRACION Y RUIDO	6	2	0,12	3	0,18	2	0,12
	TOTAL	100		3,61		3,92		3,4

2. ALTERNATIVAS PARA EL SUBSISTEMA DE EXTRUSIÓN

2.1 Alternativa 1. Extrusión por tornillo sin fin. Un extrusor es un equipo de alto rendimiento con un gran agitador, que se extienden a lo largo algunos metros, esto depende de la capacidad para la cual se diseñe produciendo la extracción mediante presión a través de una boquilla. Por un extremo se introduce la materia prima, por el otro, se extrae el producto a presión a través de una boquilla y se corta con la ayuda de una matriz. La mezcla que se va a extrudir se procesa térmicamente con elevadas presiones en la carcasa y mecánicamente a través del molde y del número de revoluciones del tornillo sin fin. El número de revoluciones del tornillo sin fin, así como la potencia de cizallamiento, determinan la temperatura, el grado de gelatinización y por ende la textura y la calidad del producto.

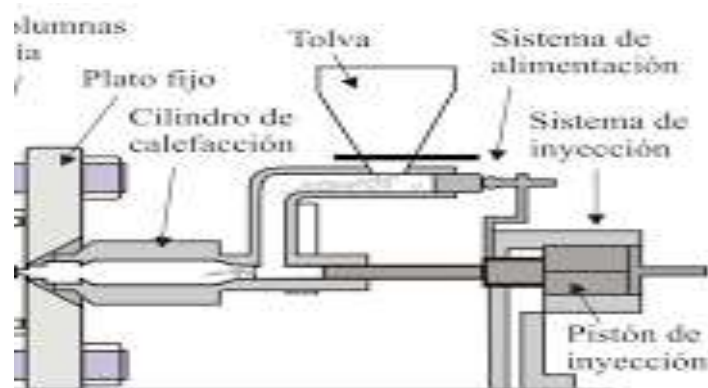
Figura 4. Extrusor de tornillo sin fin.



Fuente. < global.britannica.com >

2.2 Alternativa 2. Extrusión por inyección. Está compuesto por un pistón de inyección que se mueve rápidamente hacia adelante y hacia atrás para empujar el material ablandado por el calor a través del espacio existente entre las paredes del cilindro. Este tipo de extrusoras son comunes en la fabricación de productos poliméricos, bajo la acción combinada del calor y la presión ejercida por el pistón de inyección, el polímero es lo bastante fluido como para llegar al molde frío donde toma forma la pieza que se requiera en el proceso. La producción es muy rápida, de escasos segundos. Presenta alta productividad, su operación es sencilla, el costo de la maquinaria de extrusión es moderado, en comparación con otros procesos como inyección, es flexible para cambios de productos sin necesidad de hacer inversiones mayores.

Figura 5. Extrusor de inyección.



Fuente: <global.britannica.com>

2.3 Evaluación de alternativas subsistema de extrusión.

Tabla 2. Evaluación de las alternativas propuestas para el subsistema de extrusión.

CRITERIO	PARÁMETRO	PI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
DIMENSIONES	ESTÁNDAR	10	5	0,5	5	0,5
	COMPACTO	12	4	0,48	4	0,48
	CAPACIDAD	16	4	0,64	4	0,64
MECANISMO	CARGA DE PRESION	17	4	0,68	4	0,68
	CONSUMO DE POTENCIA	15	5	0,75	3	0,45
	MANTENIBILIDAD	9	3	0,27	3	0,27
	VIDA ÚTIL	10	4	0,4	4	0,4
SEGURIDAD	ESTABILIDAD	5	4	0,2	4	0,2
	BAJA VIBRACION Y RUIDO	6	2	0,12	3	0,18
TOTAL		100		4,04		3,8

Anexo D. Tablas, gráficas, catálogos y ecuaciones usadas en el diseño de la mezcladora y el acondicionador

1. FACTORES USADOS EN LOS ANÁLISIS DE FATIGA PARA LA MEZCLADORA Y ACONDICIONADOR

Tabla 1. Valor de Sut del acero inoxidable AISI 304.

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Jr. (editores en jefe), *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)			
			Fluencia S_y MPa (kpsi)	Última S_u MPa (kpsi)	A la fractura, σ_f MPa (kpsi)	Coefficiente σ_u MPa (kpsi)
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) [†]
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) [†]
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) [†]	1 410 (205)
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) [†]	1 270 (185)
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

Tabla 2. Valor de Sut del acero SAE 1040.

Tabla A-21

Propiedades mecánicas medias de algunos aceros tratados térmicamente

[Éstas son propiedades típicas de materiales normalizados y recocidos. Las propiedades de aceros templados y revenidos (TyR) son de una sola colada. Debido a las muchas variables, las propiedades listadas son promedios generales. En todos los casos, los datos se obtuvieron de piezas con diámetro de 0.505 pulg, maquinadas a partir de barras redondas de 1 pulg y la longitud de calibración es de 2 pulg. A menos que se especifique otra cosa, todas las piezas se templaron en aceite] Fuente: ASM Metals Reference Book, 2a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción en el área, %	Dureza Brinell
1030	TyR*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	TyR*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	TyR*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	TyR*	540 (1 000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	TyR*	650 (1 200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalizado	925 (1 700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Recocido	870 (1 600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	TyR	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	TyR	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	TyR	650 (1 200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalizado	900 (1 650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Recocido	790 (1 450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149
1050	TyR*	205 (400)	1 120 (163)	807 (117)	9	27	514

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

Tabla 3. Valores de “a” y “b” para calcular el factor de condición superficial k_a .

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgner (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

Tabla 4. Relaciones para el factor de tamaño k_b en función del diámetro del elemento.

Factor de tamaño k_b

El factor de tamaño se evaluó en 133 conjuntos de puntos de datos.¹⁵ Los resultados para flexión y torsión pueden expresarse como

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1 \quad (6-21)$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

Figura 1. Relaciones para el factor de carga k_c .

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

Tabla 5. Factor de temperatura k_d .

Tabla 6-4

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.*
(S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación; S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \bar{\sigma} \leq 0.110$)

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

*Fuente de datos: figura 2-9.

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

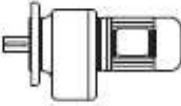
2. MOTORREDUCTOR SELECCIONADO PARA LA MEZCLADORA

Figura 2. Catálogo motorreductor NORD.




Fuente: Catalogo motorreductor helicoidal estándar NORD.

Tabla 6. Motorreductor NORD seleccionado.



STIRNRADGETRIEBMOTOREN
HELICAL GEARED MOTORS
MOTOREDUCTEURS A ENGRENAGES CYLINDRIQUES

DREHSTROM
 THREE PHASE
 A COURANT TRIPHASE




P _n [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M _a [Nm]	Standard f _B	i _{ges}	Normallegung Normal bearing Roulement normal		Typenzusatz 5 Affix 5 Suffixe 5		Typ Type Type	ca. kg	Maße Dimens. Cotes		
					F _{0N} ¹⁾ [N]	F _A N ²⁾ [N]	F ₀ ¹⁾ [N]	F _A ²⁾ [N]					
2.20	56	375	1.2	25.22	8220	9000	9050	12000	SK 33 - 100L/4	49	42 - 43		
	61	344	1.1	23.09	8080	9000	8870	12000					
	66	318	1.1	21.15	7920	9000	8690	12000					
	73	288	1.2	19.40	7750	9000	8480	12000					
	79	266	1.2	17.87	7580	9000	8300	12000					
	85	247	1.1	16.49	7440	9000	8150	12000					
	41	512	0.8	34.39	5980	7650	7820	9000	SK 30 V - 100L/4	44	42 - 43		
	45	467	0.9	31.54	6400	7650	7900	9000					
	49	429	0.9	29.05	6710	7650	7780	9000					
	52	404	1.0	26.89	6820	7650	7880	9000					
	56	375	1.0	24.90	6890	7650	7550	9000					
	60	350	1.0	23.16	6800	7650	7440	9000					
66	318	1.2	21.28	6760	7650	7370	9000	SK 30 - 100L/4	41	42 - 43			
75	280	1.4	18.85	6540	7650	7140	9000						
84	250	1.6	16.87	6390	7650	6950	9000						
93	226	1.5	15.20	6220	7650	6770	9000						
103	204	1.9	13.80	6060	7650	6590	9000						
113	186	2.0	12.59	5940	7650	6430	9000						
123	171	2.2	11.55	5790	7650	6290	9000						
133	158	2.3	10.64	5670	7650	6150	9000						
80	263	1.0	17.61	4230	5600	6250	7650				SK 25 - 100L/4	39	42 - 43
91	231	1.3	15.35	4430	5600	6090	7650						
104	202	1.5	13.52	4320	5600	5910	7650						
116	181	1.7	12.03	4220	5600	5750	7650						
129	163	1.8	10.82	4130	5600	5610	7650						
145	145	2.1	9.77	4010	5600	5440	7650						
160	131	2.2	8.86	3930	5600	5310	7650						
176	119	2.2	8.09	3840	5600	5160	7650						
191	110	2.2	7.42	3760	5600	5060	7650						
208	101	2.2	6.82	3670	5600	4930	7650						
226	93	2.2	6.29	3600	5600	4820	7650						
244	86	2.2	5.82	3520	5430	4710	7650						
284	74	2.2	5.00	3380	5210	4510	7650						
306	69	2.2	4.64	3310	5110	4410	7650						
323	65	2.2	4.33	3260	5010	4340	7300						
352	60	2.2	4.03	3180	4870	4240	7080						
378	56	2.2	3.75	3120	4770	4160	6920						
408	51	2.0	3.48	3040	4610	4060	7100						

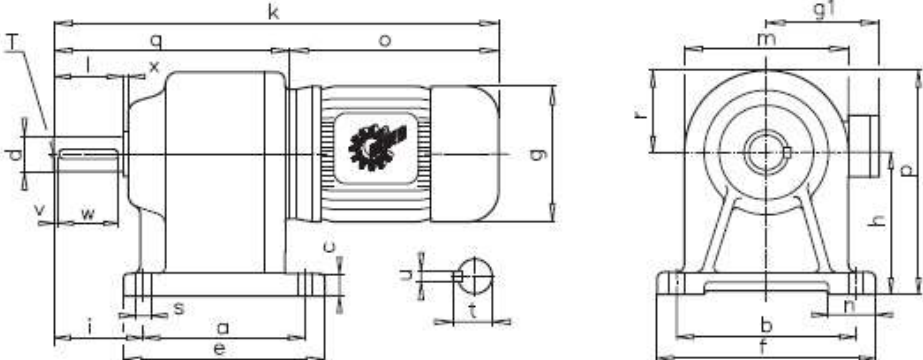
Fuente: Catalogo motorreductor helicoidal estándar NORD.

Tabla 7. Dimensiones del motorreductor seleccionado.

STIRNRADGETRIEBMOTOREN
HELICAL GEARED MOTORS
MOTOREDUCTEURS A ENGRENAGES CYLINDRIQUES

ZWEISTUFIG
 DOUBLE REDUCTION
 A DEUX TRAINS D'ENGRENAGES





Typ Type Type	Befestigungsmaße (Fuß) Mounting dimensions (foot) Cotes de fixation (pattes)								Raum- und Anschlußmaße Outline dimensions Cotes d'encombrement								Wellenmaße Shaft dimensions Cotes arbre					
	a	b	c	e	f	n	s	g	g1	h	i	k	m	o	p	q	r	d	t	v	x	
																		i	u	w	T	
SK 0	-63 S/L	50	110	12	78	130	20	8,5	130	110			330		192	151		16	18,0	4	2	
	-71 S/L								145	119	86	52	352	110	214	159	138	50,0				
	-80 S/L								165	140			369		231	169		40	5	32	M5	
SK 01	-63 S/L								130	110			341		192	170		20	22,5	5	2	
	-71 S/L	85	105	15	110	135	30	8,5	145	119	102	68	363		214	175						
	-80 S/L								165	140			380		231	183	149	67,5	40	6	30	M6
SK 20	-63 S/L								185	145			425		276	193						
	-71 S/L								130	110			379		192	200		25	28,0	10	2	
	-80 S/L	80	160	18	110	185	30	11	145	119	125	74	401	150	214	200	187	75,0				
SK 25	-80 S/L								165	140			418		231	208		80	8	40	M10	
	-90 S/L								185	145			463		276	216						
	-100 L								203	154			493		306	227						
SK 25	-80 S/L								165	140			452		231	215		30	33,0	10	2	
	-90 S/L								185	145			497		276	221						
	-100 L	140	155	20	175	190	35	13	203	154	130	115	527	170	306	232	221	85,0	70	8	50	M10
-112 M								228	166			547		320	244							
-80 S/L								165	140			450		231	210							

Fuente: Catalogo motorreductor helicoidal estándar NORD.

3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Tabla 8. Piñón ANSI 60B15 y Rueda ANSI 60B45.

No. 60

Paso 3/4"

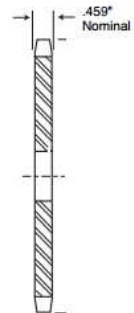
Sprockets de Acero en Existencia



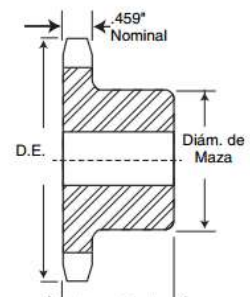
Sencillo - Tipo B

Sencillo - Tipo A

No. de Dientes	Número de Parte	Diámetro Exterior	Tipo	Barreno (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)	Tipo	Número de Parte	Barreno Piloto	Peso Aprox. (lb)
				Piloto	Barreno Máximo	Diámetro	Largo Total					
8	60B8	2.260	B	3/8	3/8	1 1/8	1 1/4	.54				
9	60B9	2.510	B	3/8	3/8	1 1/8	1 1/4	.64				
10	60B10	2.760	B	3/8	1/2	1 1/8	1 1/4	.99	A	60A10	3/8	.44
11	60B11	3.000	B	3/8	1/2	2 1/8	1 1/4	1.16	A	60A11	3/8	.54
12	60B12	3.250	B	3/8	1/2	2 1/8	1 1/4	1.47	A	60A12	3/8	.68
13	60B13	3.490	B	3/8	1/2	2 1/8	1 1/4	1.66	A	60A13	3/8	.80
14	60B14	3.740	B	3/8	1/2	2 1/8	1 1/4	2.00	A	60A14	3/8	.94
15	60B15	3.980	B	3/8	1/2	2 1/8	1 1/4	2.51	A	60A15	3/8	1.08
16	60B16	4.220	B	3/8	2	3 1/8	1 1/4	2.81	A	60A16	3/8	1.24
17	60B17	4.460	B	3/8	2	3 1/8	1 1/4	3.22	A	60A17	3/8	1.44
18	60B18	4.700	B	3/8	2	3 1/8	1 1/4	3.72	A	60A18	3/8	1.62
19	60B19	4.950	B	3/8	2	3 1/8	1 1/4	3.92	A	60A19	3/8	1.84
20	60B20	5.190	B	3/8	2	3 1/8	1 1/4	4.63	A	60A20	3/8	2.12
21	60B21	5.430	B	3/8	2	4	1 1/4	5.00	A	60A21	3/8	2.28
22	60B22	5.670	B	3/8	2	4	1 1/4	5.25	A	60A22	3/8	2.48
23	60B23	5.910	B	3/8	2	4	1 1/4	5.48	A	60A23	3/8	2.68
24	60B24	6.150	B	3/8	2	4	1 1/4	5.78	A	60A24	3/8	3.00
25	60B25	6.390	B	3/8	2	4	1 1/4	6.13	A	60A25	3/8	3.34
26	60B26	6.630	B	3/8	2	4	1 1/4	6.38	A	60A26	3/8	3.54
27	60B27	6.870	B	3/8	2	4	1 1/4	6.72	A	60A27	3/8	3.96
28	60B28	7.110	B	3/8	2	4	1 1/4	6.88	A	60A28	3/8	4.14
29	60B29	7.350	B	3/8	2	4	1 1/4	7.28	A	60A29	3/8	4.40
30	60B30	7.590	B	3/8	2	4	1 1/4	7.58	A	60A30	3/8	4.78
31	60B31	7.830	B	3/8	2	4	1 1/4	7.72	A	60A31	3/8	5.24
32	60B32	8.070	B	3/8	2	4	1 1/4	8.26	A	60A32	3/8	5.52
33	60B33	8.300	B	1	2	4	1 1/4	8.42	A	60A33	3/8	5.86
34	60B34	8.540	B	1	2	4	1 1/4	8.80	A	60A34	3/8	6.16
35	60B35	8.780	B	1	2	4	1 1/4	9.04	A	60A35	3/8	6.78
36	60B36	9.020	B	1	2	4	1 1/4	9.60	A	60A36	3/8	6.82
37	60B37	9.260	B	1	2	4	1 1/4	10.24	A	60A37	3/8	7.52
38	60B38	9.500	B	1	2	4 1/4	1 1/4	10.84	A	60A38	3/8	7.84
39	60B39	9.740	B	1	2	4 1/4	1 1/4	11.36	A	60A39	3/8	8.28
40	60B40	9.980	B	1	2	4 1/4	1 1/4	11.50	A	60A40	3/8	8.56
41	60B41	10.220	B	1	2	4 1/4	1 1/4	12.14	A	60A41	3/8	9.10
42	60B42	10.460	B	1	2	4 1/4	1 1/4	12.74	A	60A42	3/8	9.84
43	60B43	10.700	B	1	2	4 1/4	1 1/4	13.00	A	60A43	3/8	9.74
45	60B45	11.180	B	3/8	2	4 1/4	1 1/4	13.98	A	60A44	3/8	10.76
46	60B46	11.420	B	3/8	2	4 1/4	1 1/4	14.00	A	60A45	3/8	11.08
47	60B47	11.650	B	3/8	2	4 1/4	1 1/4	15.00	A	60A46	3/8	11.50
									A	60A47	3/8	12.32



TIPO A



Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

Tabla 9. Cadena ANSI 60 o 60-1.



TABLA DE DIMENSIONES DE LAS CADENAS ANSI SENCILLAS

En pulgadas. El paso figura tanto en pulgadas como en milímetros. Para convertir a milímetros cualquier otra dimensión, multiplíquese por 25.4



CADENA NUMERO	DIMENSIONES							LIMITE DE ROTURA Lbs.	PESO Lbs. POR PIE 30.5 cms.
	PASO "P" mm	LARGO RODILLO "W"	DIAMETRO RODILLO "D"	DIAMETRO PASADOR "C"	GRUESO CHAPETA "F"	ANCHO CHAPETA "H"	M.		
25	1.4" * 35.5 mm	0.125	0.130	0.0905	0.030	0.234	0.188	0.875	0.09
35	3/8" * 9.52 mm	0.187	0.200	0.141	0.050	0.350	0.267	2.100	0.21
40	1/2" * 12.7 mm	0.312	0.312	0.156	0.060	0.466	0.380	3.700	0.42
50	5/8" * 15.87 mm	0.375	0.400	0.200	0.080	0.584	0.460	6.100	0.69
60	3/4" * 19.05 mm	0.500	0.468	0.234	0.094	0.700	0.586	8.500	1.00
80	1" * 25.4 mm	0.625	0.625	0.312	0.125	0.934	0.741	14.500	1.71

Fuente: Catalogo Piñones y cadenas - Intermec.

3.1 Verificación de la potencia transmitida por la cadena seleccionada para la mezcladora

Tabla 10. Clasificación de servicio de la mezcladora.

Clasificación de Servicio - Tabla I	
Carga Uniforme	Agitadores para líquidos, Sopladores Centrifugos, Transportadores de Carga Uniforme, Elevadores de Carga Uniforme, Ventiladores Centrifugos, Generadores, Ejes de Línea de Carga Uniforme Irreversible, Bombas Centrifugas
Carga de Impacto Moderado	Batidoras, Compresores Centrifugos, Transportadores de Carga Variable, Molinos, Hornos y Secadoras, Lavadoras y Secadoras, Ejes de Línea de Carga Variable, Máquinas de Carga Pulsante, Bombas Reciprocantes Triplex, Cribas Rotatorias de Carga Uniforme, Maquinaria para Trabajo en Madera.
Carga de Impacto Pesado	Máquinas para Ladrillos, Compresores Reciprocantes, Máquinas de Carga Reversible o con Cargas de Impacto, Molinos de Martillos o Rodillos, Prensas, Bombas Reciprocantes Sencillas o Dobles.

Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

Tabla 11. Selección del factor de servicio.

Factor de Servicio — Tabla II

CLASIFICACIÓN DE SERVICIO	TIPO DE LA UNIDAD MOTRIZ		
	Motor de Combustión Interna con Transmisión Hidráulica	Motor Eléctrico o Turbina	Motor de Combustión Interna con Transmisión Mecánica
Carga Uniforme	1.0	1.0	1.2
Carga de Impacto Moderado	1.2	1.3	1.4
Carga de Impacto Pesado	1.4	1.5	1.7

Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

Tabla 12. Factor de hileras múltiples de la cadena.

Factores de Hileras Múltiples

No. de Hileras	Factor de Hilera
1	1.0
2	1.9
3	2.8
4	3.7

Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

Tabla 13. Potencia tabulada de la cadena.

Paso 3/4" No. 60

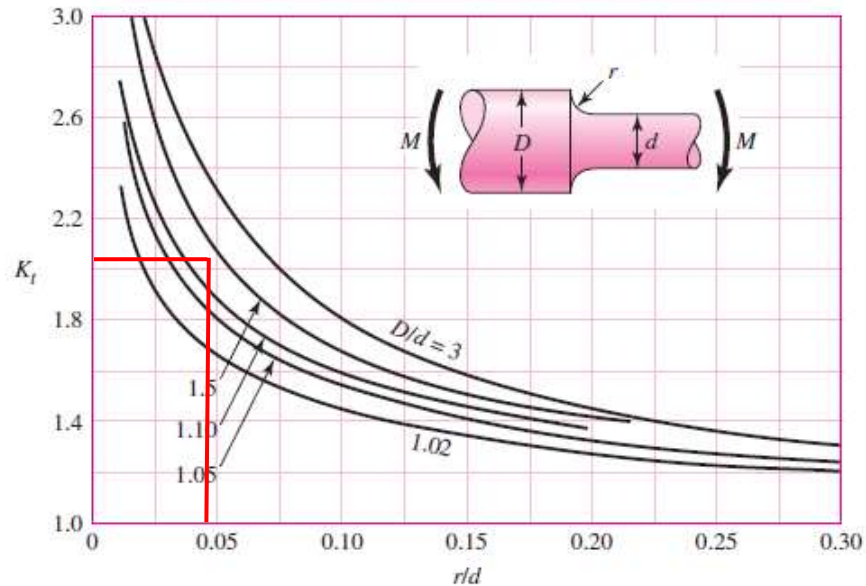
No. de Dientes del Sprocket Menor	REVOLUCIONES POR MINUTO - SPROCKET MENOR															
	50	100	200	500	700	900	1200	1400	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500
11	0.77	1.44	2.69	6.13	8.30	10.4	11.9	9.41	7.70	6.45	5.51	3.94	3.00	2.38	1.95	1.63
12	0.85	1.58	2.95	6.74	9.12	11.4	13.5	10.7	8.77	7.35	6.28	4.49	3.42	2.71	2.22	1.86
13	0.92	1.73	3.22	7.34	9.94	12.5	15.2	12.1	9.89	8.29	7.08	5.06	3.85	3.06	2.50	...
14	1.00	1.87	3.49	7.95	10.8	13.5	17.0	13.5	11.1	9.26	7.91	5.66	4.31	3.42	2.80	...
15	1.08	2.01	3.75	8.57	11.6	14.5	18.8	15.0	12.3	10.3	8.77	6.28	4.77	3.79	3.10	...
16	1.16	2.15	4.00	9.19	12.4	15.6	20.2	16.5	13.5	11.3	9.66	6.61	5.26	4.17	3.42	...
17	1.24	2.31	4.30	9.81	13.3	16.7	21.6	18.1	14.8	12.4	10.6	7.57	5.76	4.57	3.74	...
18	1.31	2.45	4.58	10.4	14.1	17.7	22.9	19.7	16.1	13.5	11.5	8.25	6.28	4.96	4.08	...
19	1.39	2.60	4.85	11.1	15.0	18.8	24.3	21.4	17.5	14.6	12.5	8.95	6.81	5.40	4.42	...
20	1.47	2.75	5.13	11.7	15.8	19.8	25.7	23.1	18.9	15.8	13.5	9.66	7.35	5.83	...	...
21	1.55	2.90	5.40	12.3	16.7	20.9	27.1	24.8	20.3	17.0	14.5	10.4	7.91	6.28	...	...
22	1.63	3.05	5.68	13.0	17.5	22.0	28.5	26.6	21.8	18.2	15.6	11.1	8.48	6.73	...	...
23	1.71	3.19	5.96	13.6	18.4	23.1	29.9	28.4	23.3	19.5	16.7	11.9	9.07	7.19	...	...
24	1.79	3.35	6.24	14.2	19.3	24.1	31.3	30.3	24.8	20.8	17.8	12.7	9.66	7.67	...	...
25	1.87	3.50	6.52	14.9	20.1	25.3	32.7	32.2	26.4	22.1	18.9	13.5	10.3	8.15	...	...
26	1.95	3.65	6.81	15.5	21.0	26.4	34.1	34.2	28.0	23.4	20.0	14.3	10.9	8.65	...	...
28	2.12	3.95	7.37	16.8	22.8	28.5	37.0	38.2	31.3	26.2	22.4	16.0	12.2	...	...	...
30	2.28	4.26	7.94	18.1	24.5	30.6	39.8	42.4	34.7	29.1	24.8	17.8	13.5	...	...	...
32	2.45	4.56	8.52	19.4	26.3	33.0	42.7	46.7	38.2	32.0	27.3	19.6	14.9	...	...	...
35	2.69	5.03	9.38	21.4	29.0	36.3	47.1	53.4	43.7	36.6	31.3	22.4	17.0	...	...	...
40	3.11	5.81	10.8	23.7	33.5	42.0	54.4	62.5	53.4	44.7	38.2	27.3	...	...	...	...
45	3.53	6.60	12.3	26.1	36.0	47.7	61.7	70.9	63.7	53.4	45.6	32.6	...	...	...	...
Lubricación	Tipo A			Tipo B			Tipo C									

Se realiza interpolación entre las columnas de 200 y 500 [rpm] (debido a que el motorreductor gira a 284 [rpm]), obteniendo una potencia tabulada de 5.915.

Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

4. FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS

Figura 3. Factor K_t estático de la punta de eje de mando con redondeo en el hombro a flexión.



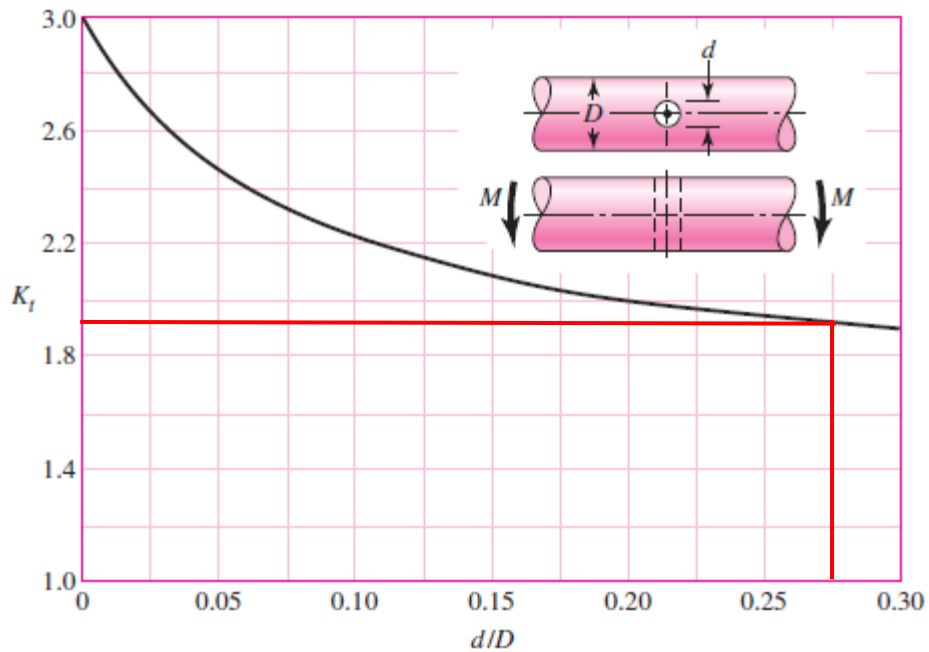
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

El redondeo “ r ” del cambio de sección es de 2 [mm], el diámetro “ d ” es de 50,8 [mm] (2 [in]) y el diámetro “ D ” es de 63,5 [mm] (2,5 [in]), obteniendo los valores de las siguientes relaciones:

Como no existe curva para la relación D/d obtenida, se toma una aproximación a las curvas cercanas, teniendo el siguiente factor K_t :

$$K_{t,flexión} = 2,05$$

Figura 4. Factor K_t estático de la punta de eje de mando con agujero transversal a flexión.



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica – Shigley, McGraw-Hill, Octava edición, México 2008.

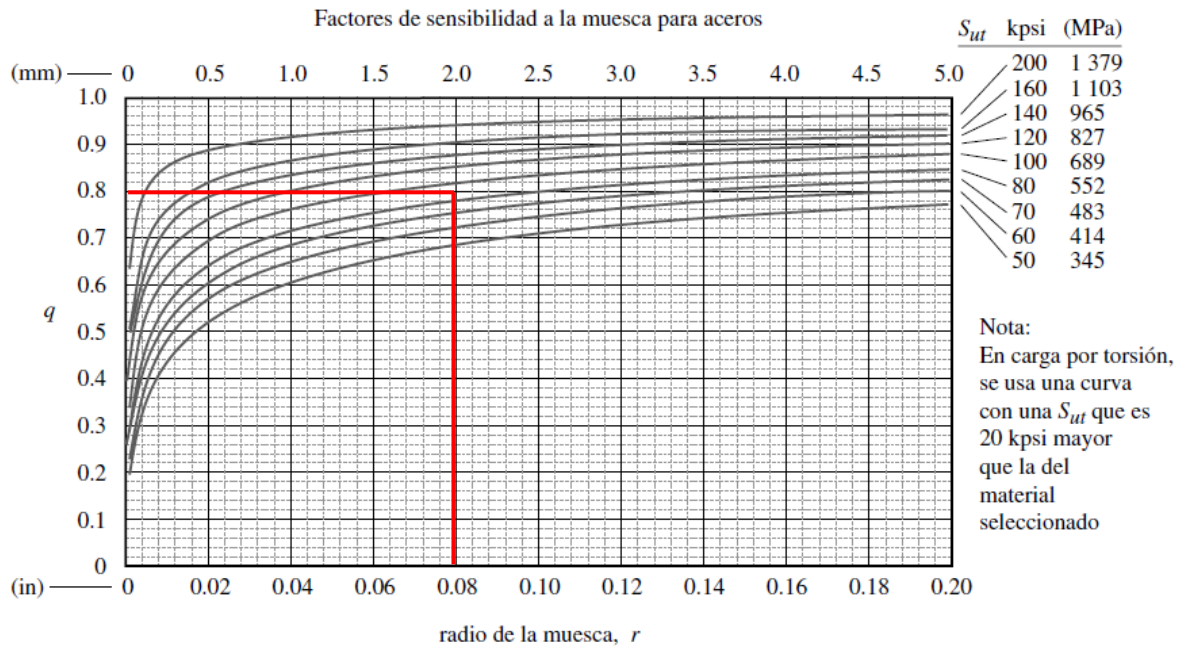
El agujero transversal “d” es de 17,46 [mm] (0,6875 [in]) y el diámetro “D” es de 63,5 [mm] (2,5 [in]), se obtiene el valor de la siguiente relación:

Y usando la figura 4, se obtiene el valor para K_t :

$$K_{t,flexión} = 1,95$$

En conclusión, el factor K_t es mayor para el redondeo del hombro diseñado, se podría reducir este factor con un redondeo mayor, y así se volvería crítico el factor del agujero trasversal. Debido a que la diferencia entre los factores obtenidos no es considerable, se usa el factor del redondeo para efectos de cálculo.

Figura 5. Factor de sensibilidad a la entalla para acero SAE 1040.



Fuente: Diseño de máquinas, un enfoque integrado – Robert L. Norton, Pearson, Cuarta edición, México 2011.

Para el acero SAE 1040:

$$S_{ut} = 593 \text{ [Mpa]}$$

Y el radio de la muesca “r” (radio del redondeo de 2 [mm]) en pulgadas:

$$r = 0,078 \text{ [in]}$$

Se usa una curva aproximada para este valor en la figura 5, obteniendo el factor de sensibilidad a la entalla:

$$q = 0,795$$

Este valor de sensibilidad a la entalla se usará para efectos de cálculos de la punta de eje a fatiga.

5. UNIDAD DE RODAMIENTO SELECCIONADA

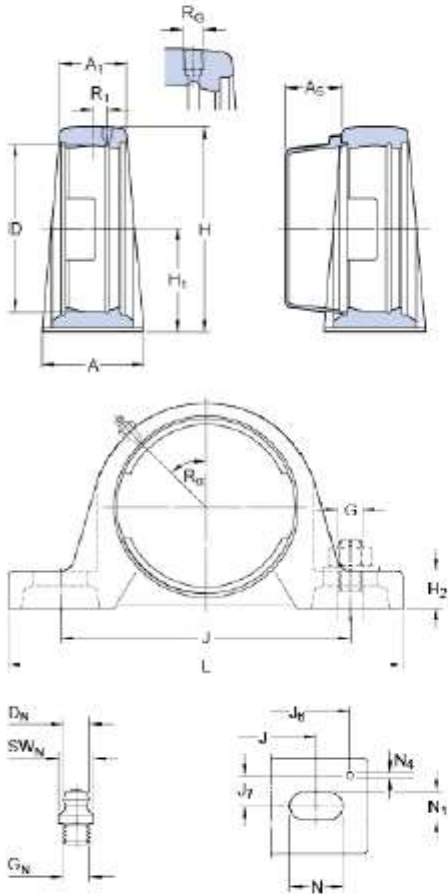
Figura 6. Silleta o soporte del rodamiento

SY 511 M

Material

Cast iron

Dimensiones



D	100	mm
H ₁	63.5	mm
A	60	mm
A ₁	40	mm
A ₅	34	mm
H	126	mm
H ₂	24	mm
J	171.5	mm
J	max. 181	mm
J	min. 162	mm
L	219	mm
N	27.5	mm
N ₁	18	mm

Orificio roscado

R _G	1/4-28 UNF	
R ₁	4.5	mm
R _a	45	°

Boquilla engrasadora

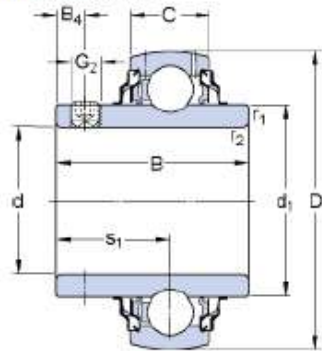
D _N	6.5	mm
SW _N	7	mm
G _N	1/4-28 SAE-LT	

Fuente: Rodamientos SKF.

Figura 7. Rodamiento seleccionado

YAR 211-200-2RF

Dimensiones



d	50.8	mm
D	100	mm
B	55.6	mm
C	25	mm
d ₁	≈ 69.06	mm
B ₄	9	mm
r _{1,2}	min. 1	mm
s ₁	33.4	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	43.6	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	29	kN
Carga límite de fatiga	P _u	1.25	kN
Velocidad límite con tolerancia de eje h6		1900	r/min
Factor de cálculo	f ₀	14	

Masa

Rodamiento de masa		1.1	kg
--------------------	--	-----	----

Información de montaje

Rosca del prisionero	G ₂	3/8-24 UNF	
Tamaño de llave hexagonal para prisionero	N	4.763	mm
Par de apriete recomendado para el prisionero		16.5	N-m

Fuente: Rodamientos SKF.

Tabla 14. Ecuaciones para carga dinámica equivalente del rodamiento.

Cargas		Símbolos
<p>Carga mínima</p> <p>Para obtener más información (→ página 86)</p>	<p>$F_{rm} = 0,01 C$</p> <p>La importancia de someter los rodamientos a una carga mínima aumenta cuando las aceleraciones en el rodamiento son altas y las velocidades son próximas o superiores al 75% de la velocidad límite indicada en las tablas de productos. El peso de los componentes soportados por el rodamiento Y, junto con las fuerzas externas, suele exceder la carga mínima requerida.</p>	<p>C = capacidad de carga dinámica básica (→ tablas de productos)</p> <p>C_0 = capacidad de carga estática básica (→ tablas de productos)</p> <p>e = valor límite (→ tabla 7)</p> <p>f_0 = factor de cálculo (→ tabla 8)</p> <p>F_a = carga axial [kN]</p> <p>F_r = carga radial [kN]</p> <p>F_{rm} = carga radial mínima [kN]</p> <p>P = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]</p> <p>P_0 = carga estática equivalente del rodamiento [kN]</p> <p>X = factor de carga radial (→ tabla 7)</p> <p>Y = factor de carga axial (→ tabla 7)</p>
<p>Capacidad de carga axial</p>	<p>$F_a \leq 0,25 C_0$</p> <p>La carga axial máxima admisible para cualquier mecanismo de fijación siempre es $> 0,25 C_0$.</p>	
<p>Carga dinámica equivalente del rodamiento</p>	<p>$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$</p> <p>$F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$</p>	
<p>Para obtener más información (→ página 85)</p>		

Fuente: Rodamientos SKF.

Tabla 15. Factores de cálculo para la selección del rodamiento.

Factores de cálculo						
$f_0 F_d/C_0$	Series de rodamientos YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG 2, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2			17262, 17263		
	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,29	0,46	1,88	0,19	0,56	2,3
0,345	0,32	0,46	1,71	0,22	0,56	1,99
0,689	0,36	0,46	1,52	0,26	0,56	1,71
1,03	0,38	0,46	1,41	0,28	0,56	1,55
1,38	0,4	0,46	1,34	0,3	0,56	1,45
2,07	0,44	0,46	1,23	0,34	0,56	1,31

Fuente: Rodamientos SKF.

Figura 8. Vida nominal del rodamiento.

Selección del tamaño del rodamiento utilizando las fórmulas de la vida útil

Vida nominal

La vida nominal de un rodamiento según la normativa **ISO 281** es

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Si la velocidad es constante, es preferible calcular la vida expresada en horas de funcionamiento utilizando la ecuación

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$








donde

- L_{10} = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones]
- L_{10h} = vida nominal SKF (con una confiabilidad del 90%) [horas de funcionamiento]
- C = capacidad de carga dinámica básica [kN]
- P = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN] (→ **página 85**)
- n = velocidad de giro [r. p. m.]
- p = exponente de la ecuación de la vida útil
 - para los rodamientos de bolas, **p = 3**
 - para los rodamientos de rodillos, **p = 10/3**

Fuete: Rodamientos SKF.

6. MOTORREDUCTOR DE PRUEBAS

Tabla 16. Catálogo Bonfiglioli motorreductor de helicoidal.

2.2 kW											
n ₂ min-1	M ₂ Nm	S	i	R _{n2} N						IEC 	
3.1	3487	1.5	300	52000	—	—	—	VFR 250_300	P112	BN112M6	166
3.5	2861	1.5	400	19500	—	—	—	W/VF 86/185_400	P100	BN100LA4	157
3.5	2980	2.1	400	34500	—	—	—	VF/VF 130/210_400	P100	BN100LA4	162
3.5	2921	3.1	400	52000	—	—	—	VF/VF 130/250_400	P100	BN100LA4	168
3.9	2897	1.0	240	19500	—	—	—	VFR 185_240	P112	BN112M6	154
3.9	2897	1.5	240	34500	—	—	—	VFR 210_240	P112	BN112M6	160
3.9	3004	1.9	240	52000	—	—	—	VFR 250_240	P112	BN112M6	166
4.7	2459	0.9	300	19500	—	—	—	VFR 185_300	P100	BN100LA4	154
4.7	2459	1.4	300	34500	—	—	—	VFR 210_300	P100	BN100LA4	160
4.7	2548	2.0	300	52000	—	—	—	VFR 250_300	P100	BN100LA4	166
5.0	2170	1.9	280	19500	—	—	—	W/VF 86/185_280	P100	BN100LA4	157
5.0	2170	2.9	280	34500	—	—	—	VF/VF 130/210_280	P100	BN100LA4	162
5.6	2291	0.9	168	16000	—	—	—	VFR 150_168	P112	BN112M6	148
5.9	2110	1.3	240	19500	—	—	—	VFR 185_240	P100	BN100LA4	154
5.9	2110	1.8	240	34500	—	—	—	VFR 210_240	P100	BN100LA4	160
5.9	2181	2.5	240	52000	—	—	—	VFR 250_240	P100	BN100LA4	166
7.3	1774	1.0	192	16000	—	—	—	VFR 150_192	P100	BN100LA4	148
7.8	1690	0.9	120	13800	—	—	—	VFR 130_120	P112	BN112M6	142
7.8	1743	1.7	180	19500	—	—	—	VFR 185_180	P100	BN100LA4	154
7.8	1717	2.5	180	34500	—	—	—	VFR 210_180	P100	BN100LA4	160
7.8	1797	3.5	180	52000	—	—	—	VFR 250_180	P100	BN100LA4	166
8.4	1627	1.1	168	16000	—	—	—	VFR 150_168	P100	BN100LA4	148
9.4	1386	1.4	100	19000	—	—	—	VF 185_100	P112	BN112M6	152
9.4	1498	2.2	150	19500	—	—	—	VFR 185_150	P100	BN100LA4	154
9.4	1498	3.0	150	34500	—	—	—	VFR 210_150	P100	BN100LA4	160
10.2	1378	1.0	138	13800	—	—	—	VFR 130_138	P100	BN100LA4	142
10.2	1398	1.4	138	16000	—	—	—	VFR 150_138	P100	BN100LA4	148
10.4	1468	2.2	90	19500	—	—	—	VFR 185_90	P112	BN112M6	154
10.4	1448	3.2	90	34500	—	—	—	VFR 210_90	P112	BN112M6	160
11.8	1162	1.2	80	15500	—	—	—	VF 150_80	P112	BN112M6	146
11.8	1198	1.2	120	13800	—	—	—	VFR 130_120	P100	BN100LA4	142
11.8	1216	1.6	120	16000	—	—	—	VFR 150_120	P100	BN100LA4	148
11.8	1180	2.0	80	19000	—	—	—	VF 185_80	P112	BN112M6	152
11.8	1252	2.9	120	19500	—	—	—	VFR 185_120	P100	BN100LA4	154
11.8	1252	4.0	120	34500	—	—	—	VFR 210_120	P100	BN100LA4	160
13.6	1141	1.3	69	13800	—	—	—	VFR 130_69	P112	BN112M6	142
13.6	1141	1.8	69	16000	—	—	—	VFR 150_69	P112	BN112M6	148
14.1	969	1.2	100	14700	—	—	—	VF 150_100	P100	BN100LA4	146
14.1	969	2.0	100	18000	—	—	—	VF 185_100	P100	BN100LA4	152
14.7	972	1.1	64	12200	—	—	—	VF 120_64	P112	BN112M6	140
15.7	952	1.6	90	13800	—	—	—	VFR 130_90	P100	BN100LA4	142
15.7	968	2.0	90	16000	—	—	—	VFR 150_90	P100	BN100LA4	148
15.7	952	2.7	60	19000	—	—	—	VF 185_60	P112	BN112M6	152
15.7	1019	2.7	90	19500	—	—	—	VFR 185_90	P100	BN100LA4	154

Fuente: Catálogo motorreductor helicoidal Bonfiglioli.

Figura 9. Placa del motorreductor de pruebas.



Figura 10. Motorreductor de pruebas.



7. MOTORREDUCTOR SELECCIONADO PARA EL ACONDICIONADOR

Figura 11. Catálogo motorreductor de acople directo NORD.



Fuente: Catalogo motorreductor tornillo sin fin NORD.

Tabla 17. Motorreductor NORD seleccionado de acople directo.

0,75 kW



P_1 [kW]	n_2 [min ⁻¹]	M_2 [Nm]	f_B	i_{ges}	F_R [kN]	F_A [kN]	F_{RVL} [kN]	F_{AVL} [kN]	Type	kg	mm E			
0,75	51	140	2,9	27,65	7,0	20,0	9,0	20,0	SK 9012.1 - 80 LP/4	40	E80-81			
	68	106	3,8	20,87	7,1	19,1	9,0	19,1						
	81	88,4	3,6	17,46	7,2	17,6	9,0	17,6						
	93	77,3	4,9	15,30	7,2	16,5	9,0	16,5						
	115	62,1	3,5	12,23	7,2	15,9	9,0	15,9						
	130	55,0	3,6	10,85	7,2	15,2	9,0	15,2						
	153	46,9	4,2	9,23	7,3	14,8	9,0	14,8						
	175	40,9	4,4	8,09	8,0	20,0	8,0	20,0				SK 92672.1 - 80 LP/4	34	E66-67
	29	246	1,3	48,56	8,1	20,0	8,1	20,0						
	33	219	1,4	43,28	8,2	20,0	8,2	20,0						
	37	191	1,7	37,82	8,3	20,0	8,3	20,0						
	42	171	2,1	33,71	8,3	20,0	8,3	20,0						
	46	155	2,0	30,67	8,3	20,0	8,3	20,0						
	52	138	2,6	27,33	8,4	20,0	8,4	20,0						
	71	101	3,1	20,00	8,4	20,0	8,4	20,0						
	81	88,4	3,6	17,46	5,8	15,0	6,1	15,0				SK 92372.1 - 80 LP/4	23	E64-65
	34	210	0,9	41,46	6,0	15,0	6,2	15,0						
38	186	1,0	36,80	6,1	15,0	6,3	15,0							
43	166	1,2	32,80	6,2	15,0	6,4	15,0							
50	142	1,3	28,11	6,2	15,0	6,5	15,0							
56	127	1,7	25,06	6,3	15,0	6,5	15,0							
63	114	1,6	22,49	6,3	15,0	6,5	15,0							
71	101	2,2	20,04	6,3	15,0	6,5	15,0							
77	92,8	2,0	18,33	6,3	15,0	6,6	15,0							
89	80,2	2,3	15,84	6,4	15,0	6,6	15,0							
100	71,5	3,0	14,12	6,4	15,0	6,6	15,0							
113	63,6	2,9	12,56	6,4	15,0	6,6	15,0							
126	56,7	3,8	11,20	6,4	15,0	6,6	15,0							
137	52,3	4,2	10,33	6,4	15,0	6,6	15,0							
138	51,7	3,6	10,22	6,4	15,0	6,6	15,0							
50	143	0,8	28,24	4,4	11,6	4,4	11,6	SK 92172.1 - 80 LP/4	18	E62-63				
	57	126	1,0	24,80	4,5	11,6	4,5				11,6			
	68	105	1,0	20,67	4,7	11,6	4,7				11,6			

Fuente: Catalogo motorreductor tornillo sin fin NORD.

8. RODAMIENTO Y SOPORTE BRIDA PARA EL ACONDICIONADOR

Figura 12. Rodamiento NSK 6908ZZ.

Boundary Dimensions (mm)				Basic Load Ratings				Factor	Limiting Speeds (rpm)			Bearing Numbers			
d	D	B	r_{min}	(N)		(kgf)			f_0	Grease		Oil	Open	Shielded	Sealed
				C_r	C_{Or}	C_r	C_{Or}	Open Z - ZZ		DU DDU	Open Z				
25	37	7	0.3	4 500	3 150	455	320	16.1	18 000	10 000	22 000	6805	ZZ	VV	DD
	42	9	0.3	7 050	4 550	715	460	15.4	16 000	10 000	19 000	6905	ZZ	VV	DDU
	47	8	0.3	8 850	5 600	905	570	15.1	15 000	—	18 000	16005	—	—	—
	47	12	0.6	10 100	5 850	1 030	595	14.5	15 000	9 500	18 000	6005	ZZ	VV	DDU
	52	15	1	14 000	7 850	1 430	800	13.9	13 000	9 000	15 000	6205	ZZ	VV	DDU
	62	17	1.1	20 600	11 200	2 100	1 150	13.2	11 000	8 000	13 000	6305	ZZ	VV	DDU
28	52	12	0.6	12 500	7 400	1 270	755	14.5	14 000	8 500	16 000	60/28	ZZ	VV	DDU
	58	16	1	16 600	9 500	1 700	970	13.9	12 000	8 000	14 000	62/28	ZZ	VV	DDU
	68	18	1.1	26 700	14 000	2 730	1 430	12.4	10 000	7 500	13 000	63/28	ZZ	VV	DDU
30	42	7	0.3	4 700	3 650	480	370	16.4	15 000	9 000	18 000	6806	ZZ	VV	DD
	47	9	0.3	7 250	5 000	740	510	15.8	14 000	8 500	17 000	6906	ZZ	VV	DDU
	55	9	0.3	11 200	7 350	1 150	750	15.2	13 000	—	15 000	16006	—	—	—
	55	13	1	13 200	8 300	1 350	845	14.7	13 000	8 000	15 000	6006	ZZ	VV	DDU
	62	16	1	19 500	11 300	1 980	1 150	13.8	11 000	7 500	13 000	6206	ZZ	VV	DDU
	72	19	1.1	26 700	15 000	2 720	1 530	13.3	9 500	6 700	12 000	6306	ZZ	VV	DDU
32	58	13	1	15 100	9 150	1 530	935	14.5	12 000	7 500	14 000	60/32	ZZ	VV	DDU
	65	17	1	20 700	11 600	2 120	1 190	13.6	10 000	7 100	12 000	62/32	ZZ	VV	DDU
	75	20	1.1	29 900	17 000	3 050	1 730	13.2	9 000	6 300	11 000	63/32	ZZ	VV	DDU
35	47	7	0.3	4 900	4 100	500	420	16.7	14 000	7 500	16 000	6807	ZZ	VV	DD
	55	10	0.6	10 600	7 250	1 080	740	15.5	12 000	7 500	15 000	6907	ZZ	VV	DDU
	62	9	0.3	11 700	8 200	1 190	835	15.6	11 000	—	13 000	16007	—	—	—
	62	14	1	16 000	10 300	1 630	1 050	14.8	11 000	6 700	13 000	6007	ZZ	VV	DDU
	72	17	1.1	25 700	15 300	2 620	1 560	13.8	9 500	6 300	11 000	6207	ZZ	VV	DDU
	80	21	1.5	33 500	19 200	3 400	1 960	13.2	8 500	6 000	10 000	6307	ZZ	VV	DDU
40	52	7	0.3	5 250	4 550	550	450	17.0	12 000	8 500	14 000	6808	ZZ	VV	DD
	62	12	0.6	13 700	10 000	1 390	1 020	15.7	11 000	6 300	13 000	6908	ZZ	VV	DDU
	68	9	0.3	12 000	9 000	1 250	850	16.0	10 000	—	12 000	16008	—	—	—
	68	15	1	16 800	11 500	1 710	1 180	15.3	10 000	6 000	12 000	6008	ZZ	VV	DDU
	80	18	1.1	29 100	17 900	2 970	1 820	14.0	8 500	5 600	10 000	6208	ZZ	VV	DDU
	90	23	1.5	40 500	24 000	4 150	2 450	13.2	7 500	5 300	9 000	6308	ZZ	VV	DDU
45	58	7	0.3	6 600	6 150	670	625	17.2	11 000	6 000	13 000	6809	ZZ	VV	DD
	68	12	0.6	14 100	10 900	1 440	1 110	15.9	9 500	5 600	12 000	6909	ZZ	VV	DDU
	75	10	0.6	14 900	11 400	1 520	1 160	15.9	9 000	—	11 000	16009	—	—	—
	75	16	1	20 900	15 200	2 140	1 550	15.3	9 000	5 300	11 000	6009	ZZ	VV	DDU
	85	19	1.1	31 500	20 400	3 200	2 080	14.4	7 500	5 300	9 000	6209	ZZ	VV	DDU
	100	25	1.5	53 000	32 000	5 400	3 250	13.1	6 700	4 800	8 000	6309	ZZ	VV	DDU

Fuente: Rodamientos NSK.

Anexo E. Selección de equipos para la planta piloto

1. SELECCIÓN DEL ELEVADOR DE CANGILONES

Tabla 1. Catálogo MARTIN para la selección del elevador de cangilones.

Elevador de Cadena de Descarga Centrífuga



Serie 100 de Cadena (La Serie 200 tiene el Tensor en la Cabeza)

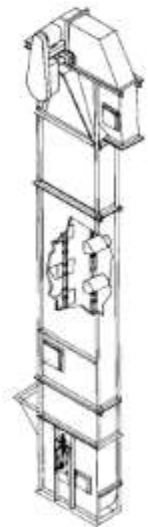
Los elevadores de cadena de descarga centrífuga pueden manejar materiales secos que fluyen libremente con tamaño de partículas de pequeñas a medianas y que sean moderada o medianamente abrasivos.

Cangilones

La capacidad indicada corresponde a cangilones AA. El estilo C puede ser utilizado para manejar materiales mojados o pegajosos. Consulte a *Martin* para recomendaciones específicas.

Cadena

Los elevadores de cadena de descarga centrífuga, se suministran ya sea con cadena de combinación para servicio ligero o mediano, o con cadena de acero para aplicaciones de mediano a pesado o cuando se necesita una mayor carga de trabajo.



Elevador de Cangilones de Cadena de Descarga Centrífuga Serie 100

Número de Elevador	Capacidad Máx. P.P.M.	Cangilones					Cadena			Tamaño Máx. Partícula		Tamaño Nom. de la Caja		Sprocket en Cabeza		Sprocket en Base		
		4	5	6	8	10	N	P.P.M.	mm	mm	mm	mm	No. de Sprocket	Diámetro Exterior	No. de Sprocket	Diámetro Exterior		
C4S-101	73	4	2½	3	9.25	977	2.308	125	½	1	8	18	10	7.50	63.7	10	7.50	1.5000
C85-102	280	5	4	5½	15	C100	2.000	225	¾	2½	9½	30	24	20.00	43	16	13.00	1.5000
C85-103	473	8	5	5½	16	N102B	4.000	200	¾	3	11¼	35	14	18.00	42.4	10	13.00	1.5000
C85-104	532	8	5	5½	16	N102B	4.000	225	¾	3	11¼	39	16	20.50	41.9	10	13.00	1.5000
C85-105	532	8	5	5½	16	HSB102B	4.000	225	¾	3	11¼	39	16	20.50	41.9	10	13.00	1.5000
C85-107	591	8	5	5½	16	N102B	4.000	250	¾	3	11¼	42	19	24.25	39.4	14	18.00	2.0000
C85-108	591	8	5	5½	16	HSB102B	4.000	250	¾	3	11¼	42	19	24.25	39.4	14	18.00	2.0000

Fuente: El gran catalogo 4000 - Martin.

Anexo F. Hojas de ruta de las piezas más relevantes y fotografías de la mezcladora y el acondicionador

En esta sección de los anexos se complementan las hojas de rutas mostradas en el proyecto, tanto para la mezcladora como para el acondicionador, considerando que se deben mostrar las hojas de ruta de las piezas más importantes de las máquinas. También se muestran tablas complementarias de las fotografías mostradas en el cuerpo del proyecto.

1. HOJAS DE RUTA DE LAS PIEZAS DE LA MEZCLADORA

Tabla 1. Hoja de ruta de la brida de la carcasa.

Nº de pieza: A-02	Nombre del conjunto: A - Cuerpo de la mezcladora Nombre de la pieza: Brida de la carcasa	Numero de piezas: 01	Plano de la pieza		
Material: Acero inoxidable AISI 304	Tamaño: Radio: 333 [mm] x Alto:821 [mm]	Fecha: 02/04/2017	<p>Brida de la carcasa Acero inoxidable AISI304 ECS_1:10</p>		
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta			Tiempo de operación
10	Marcado sobre platina acero inoxidable AISI 304 de 1 1/2 x 3/16 [in] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro			4 min
20	Rolar de canto semicirculo inferior de la platina con 333 [mm] de radio y medir.	Roladora - metro			10 min
30	Taladrado de agujeros de 13 x 13/32 [in] de diámetro según marcado.	Taladro			4 min
40	Pulido de bordes.	Pulidora	7 min		

Tabla 2. Hoja de ruta de la tapa lateral trasera.

N° de pieza: A-03		Nombre del conjunto: A - Cuerpo de la mezcladora		Numero de piezas: 01		Plano de la pieza	
Material: Acero inoxidable AISI 304		Tamaño: Ancho: 752 [mm] x Alto: 970 [mm]		Fecha: 02/04/2017			
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación				
10	Marcado sobre lámina acero inoxidable AISI 304 3/16 [in] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	6 min				
20	Corte de lámina según marcado y medir.	Cortadora - metro	6 min				
30	Troquelado de agujero de 2 5/8 [in] de diámetro según marcado.	Troquel	5 min				
40	Taladrado de agujeros 4 x 7/16 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	2 min				
50	Taladrado de agujeros 8 x 13/32 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	4 min				
60	Doblado de pliegues superior e inferior según marcado y medir.	Plegadora - metro	12 min				
70	Pulido de bordes.	Pulidora	10 min				

N° de pieza: A-04		Nombre del conjunto: A - Cuerpo de la mezcladora		Numero de piezas: 01		Plano de la pieza	
Material: Acero inoxidable AISI 304		Tamaño: Ancho: 752 [mm] x Alto: 970 [mm]		Fecha: 02/04/2017			
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación				
10	Marcado sobre lámina acero inoxidable AISI 304 3/16 [in] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	6 min				
20	Corte de lámina según marcado y medir.	Cortadora - metro	6 min				
30	Troquelado de agujero de 2 5/8 [in] de diámetro según marcado.	Troquel	5 min				
40	Taladrado de agujeros 4 x 7/16 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	2 min				
50	Taladrado de agujeros 8 x 13/32 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	4 min				
60	Taladrado de agujeros 13 x 7/16 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	8 min				
70	Doblado de pliegues superior e inferior según marcado y medir.	Plegadora - metro	12 min				
80	Pulido de bordes.	Pulidora	10 min				

Tabla 3. Hoja de ruta de la tapa lateral de mando.

Tabla 4. Hoja de ruta de la tapa superior fija.

N° de pieza: A-05		Nombre del conjunto: A - Cuerpo de la mezcladora		Numero de piezas: 02		Plano de la pieza	
Material: Acero inoxidable AISI 304		Tamaño: Ancho: 752 [mm] x Alto: 375 [mm]		Fecha: 02/04/2017			
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación				
10	Marcado sobre lámina acero inoxidable AISI 304 calibre 16 las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	4 min				
20	Corte de lámina según marcado y medir.	Cortadora - metro	4 min				
30	Taladrado de agujeros 8 x 13/32 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	4 min				
40	Doblado de pliegues laterales según marcado y medir.	Plegadora - metro	8 min				
50	Pulido de bordes.	Pulidora	6 min				

Tapa superior fija
Acero inoxidable AISI 304
ECS_1:10

Tabla 4. Hoja de ruta de los soportes de las cintas.

N° de pieza: B-01		Nombre del conjunto: B - Rotor de cintas		Numero de piezas: 22		Plano de la pieza	
Material: Acero inoxidable		Tamaño: Diámetro: 1 [in] x Largo: 284 [mm]		Fecha: 02/04/2017			
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación				
10	Marcado sobre tubo acero inoxidable diámetro 1 [in] x 6 [m] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	4 min				
20	Corte de tubo según marcado.	Tronzadora	2 min				
30	Refrentado de las puntas y medir.	Torno - metro	8 min				

Sopote de las cintas
Acero inoxidable AISI 304
ECS_1:5

Tabla 5. Hoja de ruta del tubo central.

Nº de pieza:	Nombre del conjunto: B - Rotor de cintas	Numero de piezas: 01	Plano de la pieza	
B-02	Nombre de la pieza: Tubo central			
Material:	Tamaño:	Fecha:		
Acero inoxidable Sch-40	Diámetro: 2 [in] x Largo: 1190 [mm]	02/04/2017	Núm.	Operación
		Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Marcado sobre tubo acero inoxidable diámetro 2 [in] x 1,2 [m] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	4 min	<p>Tubo Central Acero Inoxidable Sch-40 ECS_1,20</p>
20	Corte de tubo según marcado.	Tronzadora	3 min	
30	Refrentado sencillo de las puntas y medir.	Pulidora - metro	7 min	
40	Taladrado de agujeros 4 x 7/16 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	6 min	

Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación
10	Torneado de la barra de acero de 2 1/2 [in] reduciendo a diametro de 57,1 [mm] con longitud de 100 [mm] desde la punta, finalizando en redondeo de 2 [mm] y medir.	Torno - metro	12 min
20	Torneado de la barra de acero reduciendo a diametro de 50,8 [mm] con longitud de 65 [mm] desde la punta torneada anteriormente, finalizando en redondeo de 2 [mm] y medir.	Torno - metro	8 min
30	Biselado de las dos puntas a 45°	Torno - metro	6 min
40	Marcado para taladrado del eje según planos.	Rayador - Guía - metro	2 min
50	Taladrado de agujeros 2 x 11/16 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	5 min

N° de pieza:	Nombre del conjunto:	Numero de piezas:	Plano de la pieza
B-03	B - Rotor de cintas Nombre de la pieza: Punta de eje trasera	01	
Material: Acero SAE 1040	Tamaño: Diámetro: 2 1/2 [in] x Largo: 260 [mm]	Fecha: 02/04/2017	

Tabla 6. Hoja de la punta de eje trasera.

N° de pieza: B-04	Nombre del conjunto: B - Rotor de cintas Nombre de la pieza: Punta de eje de mando	Numero de piezas: 01	Plano de la pieza	
Material: Acero SAE 1040		Tamaño: Diámetro: 2 1/2 [in] x Largo: 320 [mm]	Fecha: 02/04/2017	
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Torneado de la barra de acero de 2 1/2 [in] reduciendo a diametro de 57,1 [mm] con longitud de 160 [mm] desde la punta, finalizando el cambio de sección en redondeo de 2 [mm] y medir.	Torno - metro	15 min	
20	Torneado de la barra de acero reduciendo a diametro de 50,8 [mm] con longitud de 125 [mm] desde la punta torneada anteriormente, finalizando el cambio de sección en redondeo de 2 [mm] y medir.	Torno - metro	10 min	
30	Biselado de las dos puntas a 45°.	Torno - metro	6 min	
40	Marcado para taladrado y fresado del eje según planos.	Rayador - Guía - metro	2 min	
50	Taladrado de agujeros 2 x 11/16 [in] de diámetro según marcado.	Taladro	5 min	
60	Fresado del cuñero de 1/2 [in] x 60 [mm] a una profundidad de 3/16 [in] según marcado.	Fresadora	5 min	

Tabla 7. Hoja de ruta de la punta de eje de mando.

Tabla 8. Hoja de ruta de la cinta interna.

N° de pieza: B-06	Nombre del conjunto: B - Rotor de cintas Nombre de la pieza: Cinta interna	Numero de piezas: 01	Plano de la pieza	
Material: Acero inoxidable AISI 304		Tamaño: Diámetro: 453 [mm] x Paso: 458 [mm]	Fecha: 02/04/2017	
Núm.	Operación	Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Marcado sobre platina acero inoxidable AISI 304 de 2 x 3/8 [in] las dimensiones según planos.	Rayador - Guía - metro	4 min	
20	Rolar de canto la platina con 453 [mm] de radio y medir.	Roladora - metro	15 min	
30	Estirar la platina rolada y completar 2,5 pasos de 458 [mm] y medir.	Banco vertical - palancas - metro	30 min	
40	Cortar sobrante de las puntas según marcado.	Tronzadora	4 min	
50	Pulido de bordes.	Pulidora	4 min	

2. FOTOGRAFÍAS DE LA MEZCLADORA

ALGUNAS PIEZAS DE LA MEZCLADORA		
Tapa lateral trasera con brida soldada y partes del soporte de la unidad de rodamiento	Torneado del piñón usado en las pruebas	Motorreductor Bonfiglioli
		
Cadena ANSI 60-1	Proceso de corte	Proceso de doblado
		
Comprobación de las medidas después del corte	Estructura base	Tapa superior
		

Tabla 9. Algunas piezas de la mezcladora.

Tabla 10. Algunos ensambles de la mezcladora.

ALGUNOS ENSAMBLES DE LA MEZCLADORA		
Ajuste de las tapas laterales a la base	Montaje final de la mezcladora sobre la base	Montaje del motorreductor en la base de la mezcladora
		
Piñón sobre el la punta de mando	Rueda sobre el eje del motor	Medición para el montaje de la cadena
		
Corte del eslabon a retirar	Montaje final de la transmisión	Ajuste de las tapas superiores
		

3. HOJAS DE RUTA DE LAS PIEZAS DEL ACONDICIONADOR.

Tabla 11. Hoja de ruta de la brida del acondicionador.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:	Número de piezas:	Plano de la pieza	
A-05	Nombre de la pieza: Brida	02		
Material:	Tamaño:	Fecha:		
Acero inoxidable AISI 304	Radio: 360 [mm]	2/06/2017		
Núm.	Operación:	Máquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Marcado sobre lámina acero inoxidable AISI 304 de 3 [mm] las dimensiones según planos	Rayador - Guía - metro	10 min	
20	Corte de lámina según lo marcado y medir	cortadora - metro	15 min	
30	Pulido de la brida en cada uno de los bordes	Pulidora	15 min	
40	Macarcado y Perforado de los huecos pasantes de 8 x 1/2", para el respectivo acople con la carcasa	Rayador - Taladro	15 min	
50	marcado y Perforado de los huecos pasantes de 4 x 5/8", para el acople a la chumacera	Rayador - Taladro	15 min	

Tabla 12. Hoja de ruta del eje de salida.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:	Numero de piezas:	Plano de la pieza	
A-04	Nombre de la pieza: Eje de salida	01		
Material:	Tamaño:	Fecha:		
Acero inoxidable SAE 1020	Diametro: 40 [mm] x Largo: 280 [mm]	2/06/2017		
Núm.	Operación:	Máquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	tubo de acero con diámetro 40 mm a una longitud de 280 mm	Rayador - Guía - metro	30 min	
20	Refrentada en sus exteriores	Torno	15 min	
30	chafan en la esquinas de 2 x 45°	Torno	15 min	
40	Maquinado de la chaveta según norma	Torno	30 min	
50	Perforación de los huecos pasantes de 2 x 1/2"	Taladro	15 min	

Tabla 13. Hoja de ruta del eje de entrada.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:		Número de piezas: 01		Plano de la pieza
A-03	Nombre de la pieza: Eje de entrada				
Material:	Tamaño:		Fecha:		
Acero inoxidable SAE 1020	Diámetro: 40 [mm] x Largo 360 [mm]		2/06/2017		
Núm.	Operación		Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Tubo de diámetro de 40 mm a una longitud de 360 mm		Rayador - Guía - metro	30 min	
20	Refrentado de los exteriores del eje		Torno	15 min	
30	chafan en la esquinas de 2 x 45°		Torno	15 min	
40	Maquinado de la chaveta según norma		Torno	30 min	
50	Perforación de los huecos pasantes de 2 x 1/2"		Taladro	15 min	

Tabla 14. Hoja de ruta del eje del rotor.

N° de pieza:	Nombre del conjunto:		Número de piezas: 01		Plano de la pieza
A-06	Nombre de la pieza: Rotor				
Material:	Tamaño:		Fecha:		
Acero inoxidable AISI 304	Diámetro int=60,33 mm, Longitud=1000 mm, e= 7,83 mm		2/06/2017		
Núm.	Operación		Maquina y/o herramienta	Tiempo de operación	
10	Corte del Tubo de acero inoxidable AISI 304, con un diámetro de 53 mm y una respectiva tolerancia para calibrarlo		Rayador - Guía - metro	10 min	
20	se trazan las líneas para la ubicación de las perforaciones de las paletas		Rayador- Guía- ángulo	15 min	
30	Pulido de los extremos del tubo		Pulidora	10 min	
40	Macarcado y Perforado de los huecos 13 x 1/2" para permitir el ensamble de las paletas según los planos.		Rayador- Taladro	15 min	

Tabla 15. Hoja de ruta del buje del eje del rotor.

N° de pieza: A-07	Nombre del conjunto: Nombre de la pieza: Rotor	Número de piezas: 01		Plano de la pieza
Material: Acero inoxidable AISI 304	Tamaño: Radio: 53 [mm] longitud: 155 [mm]	Fecha: 2/06/2017		
Núm.	Operación:	Máquina y/o herramienta:	Tiempo de operación:	
10	Corte del Tubo de acero inoxidable AISI 304, con un diametro de 53 mm y una longitud de 155	Rayador - Guia - metro	10 min	
20	se trazan las líneas para la ubicación de las perforaciones de los huecos donde estan sujetos las paletas	Rayador- Guia- ángulo	15 min	
30	Pulido de los extremos del tubo	Pulidora	10 min	
40	Macarcado y Perforado de los huecos 2 x 1/2 " para permitir el ensamble de las paletas según los planos.	Rayador- Taladro	15 min	
50	Ensamble con el rotor con soldadura 6013	Equipo de soldadura	15 min	

4. FOTOGRAFÍAS DEL ACONDICIONADOR

Tabla 16. Algunas piezas y ensambles del acondicionador.

ALGUNAS PIEZAS DEL ACONDICIONADOR	
ACONDICIONADOR	DOBLADO DE LA CARCASA
	
CONJUNTO DE PALETAS	TAPA DEL ACONDICIONADOR
	
MOTO REDUCTOR NORD	VISTA ISOMETRICA DEL ACONDICIONADOR
	

Anexo G. Información complementaria para el análisis de costos y viabilidad del proyecto

A manera de complemento de la información expresada en el séptimo capítulo del presente proyecto, se presenta la información complementaria a continuación.

1. COSTOS APROXIMADOS DEL ACONDICIONADOR

1.1 Materia prima.

Tabla 1. Costo de la materia prima usada en la construcción del acondicionador.

MATERIA PRIMA			
REFERENCIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Lámina acero inoxidable A304, 1/8" x 4' x 8'	1	\$ 385.900	\$ 385.900
Lámina acero inoxidable A304, 3/16" x 4' x 8'	1	\$ 687.200	\$ 687.200
Tubo acero inoxidable A304, 60mm x 53mm x 1m	1	\$ 123.250	\$ 123.250
Buje acero SAE 1020, 2" x 1 1/2" x 0,155m	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Eje acero SAE1020, 1 1/2" x 0,36m	1	\$ 24.700	\$ 24.700
Eje acero SAE 1020, 1 1/2" x 0,28m	1	\$ 21.300	\$ 21.300
Unidad de rodamiento de brida, 1 1/2" de eje	2	\$ 45.500	\$ 91.000
Lámina acero inoxidable A304, 1/4" x 0,5m x0,5m	1	\$ 82.200	\$ 82.200
Platina acero inoxidable A304, 3/16" x 1 1/2" x 6m	1	\$ 23.400	\$ 23.400
Varilla roscada, 1/2" x 1m	3	\$ 21.900	\$ 65.700
Cierre rápido	2	\$ 2.950	\$ 5.900

Tuerca de seguridad	13	\$ 950	\$ 12.350
Arandela	26	\$ 250	\$ 6.500
Perno Hexagonal A325 NC, 3/8" x 3/4" (arandela y tuerca)	16	\$ 1.850	\$ 29.600
Perno Hexagonal A325 NC, 1/2" x 2" (arandela y tuerca)	8	\$ 2.200	\$ 17.600
Motorreductor NORD SK30-80L/4, 0,55kW	1	\$ 1.100.000	\$1.100.000
		TOTAL	\$2.706.600

1.2 Maquinado.

Tabla 2. Costo del maquinado realizado en la construcción del acondicionador

MAQUINADO			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Corte	1	\$ 28.000	\$ 28.000
Cilindrado	2,5	\$ 34.000	\$ 85.000
Taladrado	1	\$ 18.000	\$ 18.000
Torno	2	\$ 46.000	\$ 92.000
Soldadura	3,5	\$ 27.000	\$ 94.500
		TOTAL	\$ 317.500

1.3 Ensamble.

Tabla 3. Costo de ensamble en la construcción del acondicionador.

ENSAMBLE			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Trabajador 1	20	\$ 3.074	\$ 61.480
Auxiliar	15	\$ 3.074	\$ 46.110
		TOTAL	\$ 107.590

1.4 Ingeniería.

Tabla 4. Costo de ingeniería del acondicionador.

INGENIERIA			
REFERENCIA	TIEMPO (HORA)	VALOR HORA	VALOR
Ingeniero	40	\$ 5.854	\$ 234.160
		TOTAL	\$ 234.160

2. PRECIO DEL PRODUCTO

Para calcular el precio del producto o precio de venta, se debe tener en cuenta el precio bruto del producto, correspondiente al costo de producirlo y los gastos de operación de la planta, y la rentabilidad de venta o margen de ganancia del producto, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Precio estimado del producto (40% proteína) por kilogramo o tonelada.

PRECIO DEL PRODUCTO		
REFERENCIA	COP\$/Kg	COP\$/TN
Costos de producción:		
Materia prima	\$ 1.407	\$ 1.406.534
Energía	\$ 159	\$ 158.793
Salario operador	\$ 31	\$ 30.740
Total Costos	\$ 1.596	\$ 1.596.067
Gastos operacionales:		
Arriendo	\$ 167	\$ 166.667
Salario vendedor y auxiliar	\$ 46	\$ 46.110
Mantenimiento	\$ 80	\$ 31.921
Total Gastos	\$ 293	\$ 244.698
Precio bruto del producto:		
Total Costos	\$ 1.596	\$ 1.596.067
Total Gastos	\$ 293	\$ 244.698
Total Bruto	\$ 1.889	\$ 1.840.765
Precio neto del producto:		
$\text{Precio venta} = \frac{\text{Total bruto}}{1 - \text{Rentabilidad}}$		
Rentabilidad de venta	11%	9%
Total Bruto	\$ 1.889	\$ 1.840.765
Precio de venta	\$ 2.122	\$ 2.022.819
Total Neto	\$ 2.122	\$ 2.022.819
40% Proteína x 40 Kg	\$ 84.883	

El alimento concentrado para peces viene en diversas presentaciones, siendo el diferenciador principal la cantidad de proteína que incluye. En la Tabla 6, se muestra el precio estimado para producir alimento con mínimo 40% de proteína, que es el más caro que se puede encontrar en el mercado nacional, el cual se presenta en bolsas de 40 kilogramos. Producir este alimento y venderlo bajo la misma presentación de las grandes empresas cuesta aproximadamente 16% menos que el valor promedio del mercado sin considerar el sobrecosto de transportarlo (tabla 5).

Tabla 6. Rango de precios promedio que se encuentran en el mercado para una bolsa de 40 kilogramos.

BOLSA 40[KG]	
ALIMENTO	VALOR
Mojarra 40%	\$ 100.000
Mojarra 20%	\$ 60.000

2.1 Costo de materia prima. El costo de materia prima calculado para la tabla 5 depende del tipo de alimento a fabricar, para el análisis de viabilidad, se considera la venta del alimento de 40% de proteína, como ya se mencionó, bajo la fórmula que se muestra a continuación, tomada de la organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura.[‡]

Tabla 7. Formula y costo aproximado para alimento con 57% de proteína mínimo.

FORMULA DE ALIMENTOS						40% Proteína
COMPOSICIÓN DE INGREDIENTES (%)	CRIA				COP\$/TN	COP\$/TN
Harina de pescado	57%	60%	59%	50%	\$ 1.526.138	\$ 1.017.425
Tilapia enana						
Sangre de ganado				10%		
Harina de maíz	13%			18%	\$ 47.305	\$ 80.055
Salvado de maíz		13%	13%			
Soya, grasa completa	24%			22%	\$ 150.583	\$ 125.486
Harina de soya		17%	18%			
Harina de semilla de girasol						
Torta de cacahuete						
Melaza de caña de azúcar	6%	6%	6%		\$ 20.140	\$ 33.567
Levadura de pan comprimida						
Desechos húmedos de cerveza						
Aceite de girasol o de soya		4%	4%			
Fosfato dicalcio						
COMPOSICIÓN PROXIMAL (%)						
Proteína cruda	50%					
Lípido crudo	10%					
Costo (US\$/Kg)	\$ 1,90	\$ 2,00	\$ 2,00	\$ 1,80	\$ 0,58	\$ 0,42
Costo (COP\$/Kg)	\$ 5.744				\$ 1.744	\$ 1.257
Costo (COP\$/Tn)	\$ 5.743.700				\$ 1.744.167	\$ 1.256.534

[‡]ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO). Fórmulas de alimentos. [En línea]. Disponible en www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/docs/NileTilapiaSpanishTables/NileTilapiaTabSp15.pdf

En la tabla anterior se compara el precio de una fórmula con 57% de proteína (Para tilapia del Nilo) con el costo que tendría en Colombia por tonelada de alimento para así, calcular el costo aproximado de la misma fórmula (en cuanto a ingredientes) variando los porcentajes de los ingredientes hasta lograr la presentación de 40% de proteína, que es común a nivel nacional. Tomando esta información como referencia, se obtiene el costo de los ingredientes para una fórmula de 40% de proteína (tabla 8) con algunos suplementos que se agregan o no, según las necesidades.

Tabla 8. Costo de materia prima para la elaboración del alimento 40% proteína.

COSTO INGREDIENTES			40% Proteína
INGREDIENTES	COP\$/Kg	COP\$/TN	COP\$/TN
Ingredientes principales	\$ 1.744	\$ 1.744.167	\$ 1.256.534
Suplementos	\$ 150	\$ 150.000	\$ 150.000
TOTAL	\$ 1.894	\$ 1.894.167	\$ 1.406.534

2.2 Costo de energía. El costo de la energía que se presentó en la tabla 5, se obtuvo sumando la potencia eléctrica consumida de los motores principales de la planta productora de alimento concentrado y se diferenció el valor energético para producir por kilogramos y toneladas.

Tabla 9. Ejemplo del cálculo de la potencia eléctrica requerida del motor de 3[kW] de la mezcladora.

CALCULO POTENCIA CONSUMIDA MOTOR ELECTRICO DE LA MEZCLADORA (3 kW)			
FORMULA			
$P_{electrica} = \sqrt{3} VI \cos \varphi$			
SIMBOLO	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCION
V	220	[V]	Voltaje del motor
I	9,1	[A]	Corriente del motor
cosφ	0,77		Factor de potencia
$P_{electrica}$	2,49	[kW]	Potencia electrica necesaria

La potencia eléctrica requerida de los motores se calculó considerando todos los motores asíncronos y usando la fórmula que se muestra en la tabla anterior.

Tabla 10. Costo energético aproximado de la planta.

GASTO ENERGÉTICO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA PECES PARA PRODUCIR 374 [TN/AÑO]					
MOTOR	POTENCIA REQUERIDA [kW]	HORAS DE TRABAJO	VALOR POTENCIA (COP\$/kWh)	VALOR TOTAL DÍA	VALOR TOTAL AÑO
Sección de molienda:					
Molino de martillos	6,542	8	\$ 447	\$ 23.382	\$ 8.534.567
Transportador helicoidal 1	0,574	8	\$ 447	\$ 2.052	\$ 748.829
Evelador de cangilones 1	1,372	8	\$ 447	\$ 4.904	\$ 1.789.885
Sección de mezcla y extrusión:					
Mezcladora de cintas	2,49	8	\$ 447	\$ 8.900	\$ 3.248.406
Evelador de cangilones 2	1,7872	8	\$ 447	\$ 6.388	\$ 2.331.547
Acondicionador	0,652	8	\$ 447	\$ 2.330	\$ 850.587
Extrusora	18,922	8	\$ 447	\$ 67.631	\$ 24.685.275
Enfriador	2,986	8	\$ 447	\$ 10.673	\$ 3.895.478
TOTAL				\$ 126.259	\$ 46.084.573
TOTAL/Kg				\$ 158	\$ 160
TOTAL/TN				\$ 157.824	\$ 160.016

Las horas de trabajo se consideraron bajo el criterio de cuello de botella, que corresponde a la máquina extrusora, que tiene una producción de 150 – 180 [Kg/h], siendo ésta la que más tiempo debe trabajar en conjunto con las maquinas hasta el final de la planta. Cabe resaltar que las horas estipuladas son para efectos de cálculo, las cuales pueden variar según los requerimientos.

2.3 Salarios. Los salarios que se muestran en la tabla 11 se calculan considerando las personas mínimas que deberían hacer parte del personal para la operación de la planta, venta de producto y otras operaciones.

Tabla 11. Salarios del personal mínimo para producir alimento concentrado.

SALARIOS				
REFERENCIA	TIEMPO (HORA/DIA)	VALOR HORA	SALARIO/DÍA	SALARIO/MES
Operario planta	8	\$ 3.074	\$ 24.592	\$ 737.760
		TOTAL	\$ 24.592	\$ 737.760
		TOTAL/Kg	\$ 31	\$ 31
		TOTAL/TN	\$ 30.740	\$ 30.740
Vendedor	8	\$ 3.074	\$ 24.592	\$ 737.760
Auxiliar	4	\$ 3.074	\$ 12.296	\$ 368.880
		TOTAL	\$ 36.888	\$ 1.106.640
		TOTAL/Kg	\$ 46	\$ 46
		TOTAL/TN	\$ 46.110	\$ 46.110

Se igual manera, se discrimina el valor del costo del personal por kilogramo o tonelada de alimento que se produzca.

2.4 Arriendo. El valor del arriendo que se muestra en la tabla 12, se aproxima al costo de un terreno en donde se pueda ubicar la planta, vender el producto y disponer de un pequeño almacén.

Tabla 12. Costo teórico del valor del arriendo a pagar.

ARRIENDO/ALQUILER		
REFERENCIA	VALOR/MES	VALOR/AÑO
Alquiler establecimiento	\$ 4.000.000	\$48.000.000
TOTAL	\$ 4.000.000	\$48.000.000
TOTAL/Kg	\$ 167	\$ 167
TOTAL/TN	\$ 166.667	\$ 166.667

2.5 Mantenimiento. El mantenimiento que se aprecia en la tabla 13, es el valor estimado que se debería descontar de los costos de producción, para costear los materiales, la mano de obra, las herramientas y/o los servicios contratados. Este valor se tomó como el 5% de los costos de producción.

Tabla 13. Costo teórico del valor del arriendo a pagar.

MANTENIMIENTO	
REFERENCIA	VALOR BASE
Mantenimiento y reparación:	
Materiales	5% de los costos de producción
Mano de obra	
Herramientas	
Servicios contratados	

3. REEMBOLSO SOBRE LA INVERSIÓN (PAYBACK)

Conocer el reembolso sobre la inversión es importante si se considera que tener el dinero invertido de vuelta lo antes posible para invertirlo nuevamente es uno de los objetivos principales de los inversionistas. De esta manera, se calcula el tiempo que toma el proyecto en devolver la inversión si se usa la tasa máxima de descuento, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Cálculo aproximado del tiempo que toma el retorno de la inversión.

DEVOLUCIÓN DEL DINERO INVERTIDO (PAYBACK)		
Años	Meses	Saldo Inicial
0	0	-\$274.811.289
1	12	\$157.886.777
2	24	\$ -
1,24	14,9	\$117.248.720
Total		\$ 324.209

Si sumamos el saldo inicial del primer y segundo periodo, se aprecia que dicha suma supera la inversión inicial (realizada en el periodo cero), quiere decir, que no hace falta llegar al inicio del segundo periodo para obtener de vuelta del dinero invertido, entonces, a la inversión inicial se resta el valor del saldo inicial del primer periodo, de allí se obtiene el monto que hace falta para igualar a cero y completar el reembolso, seguidamente por proporcionalidad directa entre el saldo inicial del segundo periodo y el valor que hace falta para la igualdad, se obtiene el tiempo en años y en meses que toma el proyecto en retornar el capital, siempre y cuando se use la tasa interna de retorno.

Anexo H. Planos de las máquinas diseñadas y la distribución conceptual de la planta

En la carpeta adjunta de anexos se encuentran los planos de las máquinas diseñadas de la sección de mezcla y extrusión de la planta piloto productora de alimento para peces, además de los planos de la distribución conceptual de la planta. Los planos se encuentran en el siguiente orden:

1. Planos de la distribución de la planta
2. Planos de la mezcladora
3. Planos del acondicionador