



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de investigación previo a la
obtención del título de ingeniero
mecánico

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL MALAXADO DEL PROCESO DEL
QUESO DE PASTA HILADA**

Autor:

Alvarado Betancourt Edison Javier

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez MSc.

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Alvarado Betancourt Edison Javier, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alvarado Betancourt Edison Javier

AUTOR

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **Ing. Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Alvarado Betancourt Edison Javier**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Diseño de una máquina para el malaxado del proceso del queso de pasta hilada.**”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez MSc.

DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente me permito certificar, que el Sr ALVARADO BETANCOURT EDISON JAVIER, estudiante egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica presencial del paralelo A, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL MALAXADO DEL PROCESO DEL QUESO DE PASTA HILADA.**”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 3%.



The screenshot displays the Urkund logo at the top left. Below it, a table-like structure lists document information:

Documento	EDISON ALVARADO URKUND.docx (D29175285)
Presentado	2017-06-05 10:18 (-05:00)
Presentado por	abernal@uteq.edu.ec
Recibido	abernal.uteq@analysis.orkund.com
Mensaje	Fwd: Mostrar el mensaje completo

Below the table, a yellow highlighted box contains the text: "3% de esta aprox. 28 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 4 fuentes."

Se adjunta imagen del sistema **Urkund**

Ing. Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

TÍTULO:

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL MALAXADO DEL PROCESO DEL QUESO
DE PASTA HILADA**

Presentado al Consejo Académico de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

Ing. Luis Mera Chinga MSc

Presidente del Tribunal

Ing. Patricio Alcocer Quinteros MSc.

Miembro del Tribunal

Ing. Ernesto Ruano Herrería MSc

Miembro del Tribunal

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

AÑO 2017

AGRADECIMIENTO

Mediante el presente trabajo agradezco en primera instancia a Dios por haberme acompañado y guiado siempre por el camino del bien y darme la oportunidad de escoger esta maravillosa carrera de Ingeniería Mecánica.

A mis padres y familia por estar siempre pendientes de mi buena formación; guiando, aconsejando e inculcando valores, gracias a ellos por su apoyo incondicional que me brindaron siempre para lograr mis objetivos.

Al Ing Rodolfo Najarro y la Ing Azucena Bernal, por brindarme su apoyo, enseñanzas y guiarme a través de sus conocimientos profesionales en el transcurso del presente trabajo investigativo.

De igual manera quiero agradecerle a una persona muy especial que ha formado parte de mi vida y ha estado siempre pendiente de mi brindándome su apoyo incondicional, a todos mis amigos y compañeros que de una u otra manera me brindaron su apoyo.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y en especial a la carrera de Ingeniería Mecánica y a todos sus docentes que estuvieron presentes y aportaron con sus conocimientos y contribuyeron en la buena formación recibida durante 5 años de estudios.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres y a toda mi familia por haberme brindado su apoyo incondicional y haber estado siempre pendientes de mi preparándome y aconsejándome a no rendirme para que este logro sea posible.

RESUMEN

El presente proyecto investigativo se centra en el diseño de una máquina para el malaxado del proceso del queso de pasta hilada, con el objetivo de mejorar el proceso, al mismo tiempo disminuir costos de producción y reducir tiempos de trabajo.

El diseño fue realizado mediante el software Autodesk Inventor, de tal forma que se desarrollaron y dimensionaron los mecanismos necesarios para la máquina, además realizar el análisis de elementos finitos para evaluar desplazamientos, deformaciones incluyendo las tensiones de los componentes con cargas internas y externas.

Esta investigación pretende solucionar una problemática de carácter investigativo, mejorando la producción en la elaboración de quesos de pasta hilada, de tal manera que contribuya con el cambio de matriz productiva, para esto se ha recopilado toda clase de información que permita constituir las medidas necesarias para el diseño.

Se muestran la selección, dimensionamiento de los mecanismos y componentes de la máquina, el costo total, en beneficio al productor artesanal de quesos de pasta hilada.

Palabras claves: pasta hilada, malaxado, quesos

ABSTRACT

The present research project focuses on the design of a machine for the malaxing of the cheese process of spun pasta, with the aim of improving the process, at the same time reducing production costs and reducing working times.

The design was carried out in the Autodesk Inventor software environment, in such a way that the mechanisms necessary for the machine could be developed and dimensioned, as well as the analysis of finite elements to evaluate displacements, deformations including the stresses of the components with internal and external loads.

This research aims to solve a problem of research, improving production in the production of cheeses of spun pasta, in such a way that contributes to the change of productive matrix, for this we collected all kinds of information that allows to constitute the necessary measures for the design.

The selection, sizing of machinery and components of the machine, the total cost, is shown to benefit the artisan producer of cheeses of spun pasta.

Key words: spun pasta, cheese, malaxing

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE.....	iii
INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
CERTIFICACIÓN DE REDACCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CÓDIGO DUBLIN	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.1.3. Sistematización del problema	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual	8
2.1.1. Diseño Mecánico	8
2.1.2. Selección De Materiales	8
2.1.3. Procesos Agroindustriales	8
2.1.4. Malaxado (Hilado del queso).....	9
2.1.5. Queso De Pasta Hilada.....	9
2.2. Marco Referencial	10

2.2.1. Diseño Mecánico	10
2.2.2. Selección de materiales	11
2.2.4. Mezclador de cintas helicoidales	13
2.2.5. Motor Eléctrico	14
2.2.6. Mecanismos de transmisión mecánica.....	15
2.2.7. Tipos de quesos hilados producidos en Ecuador	16
2.2.8. Técnicas de elaboración de quesos hilados	17
2.2.9. Malaxado del queso de pasta hilada.....	18
2.2.10. Normas de manipulación de alimentos	18
CAPÍTULO III	19
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.1. Localización	20
3.2. Tipo de investigación	21
3.2.1. Investigación exploratoria	21
3.2.2. Investigación de campo.....	21
3.3. Métodos de investigación	21
3.3.1. Método Analítico	21
3.3.2. Método bibliográfico.....	21
3.4. Fuentes de recopilación de información	22
3.5. Diseño de la investigación.....	22
3.5.1. Diseño experimental.....	22
3.6. Instrumentos de investigación.....	22
3.7. Recursos humanos y materiales.....	22
3.7.1. Recurso humano.....	22
3.7.2. Recursos materiales	23
CAPÍTULO IV.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Cálculo de cantidad de masa	25
4.2. Cálculo de engranajes de los mezcladores	27
4.2.1. Diseño geométrico	27
4.2.2. Selección del material para los engranajes	32
4.2.3. Calculo de esfuerzos de contacto.....	33
4.3. Cálculo de chaveta.....	50

4.3.1. Cálculo de chaveta de piñón	50
4.3.2. Cálculo de chaveta de mezcladores.....	54
4.4. Calculo Estático	57
4.5. Diseño de rodamientos.....	65
4.6. Diseño de la estructura.....	68
4.7. Estudio económico	72
CAPÍTULO V	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. Conclusiones	76
5.2. Recomendaciones	77
CAPÍTULO VI.....	78
BIBLIOGRAFÍA	78
6.1. Bibliografía.....	79
CAPITULO VII	81
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características mecánicas de aceros inoxidables de aleación fina	12
Tabla 2. Rango de eficiencia en engranajes.....	15
Tabla 3. Longitud del diente del engranaje	31
Tabla 4. Aceros Para Engranajes	32
Tabla 5. Factores de aplicación de la carga K_A	36
Tabla 6. Factores de carga para tensiones de contacto $K_{H\alpha}$	36
Tabla 7. Números recomendados de calidad del engrane contra la velocidad en la línea de paso.....	38
Tabla 8. Factor de anchura K_B	39
Tabla 9. Factor de corrección (F_w) en función de la carga específica de servicio (W_t).....	40
Tabla 10. Factor de corrección f_p	40
Tabla 11. Factor por endurecimiento Z_w	42
Tabla 12. Coeficientes de seguridad	43
Tabla 13. Materiales de las ruedas dentadas y su resistencia a flexión en el pie σ_{FE} y presión límite de contacto.....	44
Tabla 14. Factor de cabeza	47
Tabla 15. Características de chaveta.....	50
Tabla 16. Material de la Chaveta.....	51
Tabla 17. Vida del rodamiento (L_h).....	66
Tabla 18. Ajustes recomendados para ejes de acero.....	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Volumen de Recipiente a la Altura de la Camisa	25
Ecuación 2.	Cantidad de Masa de Queso	26
Ecuación 3.	Dimetro Exterior	27
Ecuación 4.	Diámetro primitivo	28
Ecuación 5.	Altura del diente.....	28
Ecuación 6.	Relación de transmisión.....	28
Ecuación 7.	Addendum.....	28
Ecuación 8.	Deddendum.....	28
Ecuación 9.	Paso circular	29
Ecuación 10.	Paso diametral.....	29
Ecuación 11.	Espesor del diente	29
Ecuación 12.	Diámetro de raíz.....	29
Ecuación 13.	Ángulo de presión en la punta del diente.....	30
Ecuación 14.	Módulo transversal	30
Ecuación 15.	Distancia de centros	30
Ecuación 16.	Longitud del diente	31
Ecuación 17.	Torque entregado por el motor	33
Ecuación 18.	Fuerza tangencial nominal	33
Ecuación 19.	Factor de elasticidad	34
Ecuación 20.	Ángulo de engrane frontal	34
Ecuación 21.	Factor de zona.....	34
Ecuación 22.	Coefficiente de recubrimiento transversal	35
Ecuación 23.	Factor por coeficiente de recubrimiento	35
Ecuación 24.	Factor por ángulo de la hélice.....	35
Ecuación 25.	Factor de carga para tensiones de contacto.....	36
Ecuación 26.	Velocidad tangencial.....	37
Ecuación 27.	Factor de carga dinámica	39
Ecuación 28.	Factor de carga a la fatiga de flexión en la raíz del diente.....	41
Ecuación 29.	Tension nominal de contacto	41
Ecuación 30.	Esfuerzo de contacto	42
Ecuación 31.	Esfuerzo de contacto admisible	44
Ecuación 32.	Coefficiente de seguridad contra la formación de picaduras	45
Ecuación 33.	Factor por coeficiente de recubrimiento por esfuerzo de flexión	46
Ecuación 34.	Factor de ángulo de la hélice	46
Ecuación 35.	Tensión nominal a flexión en la base del diente	46
Ecuación 36.	Tensión de cálculo a flexión en la raíz del diente.....	47
Ecuación 37.	Límite d fatiga a flexión	48
Ecuación 38.	Tensión admisible d flexión.....	49
Ecuación 39.	Esfuerzo de la chaveta a cortante.....	51
Ecuación 40.	Esfuerzo de la chaveta a compresión.....	52
Ecuación 41.	Ecuación teco Von Mises	64
Ecuación 42.	Vida del rodamiento.....	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Fases del proceso de diseño.....	10
Gráfico 2.	Mezclador de cintas helicoidales.....	13
Gráfico 3.	Motor eléctrico	14
Gráfico 4.	Sección transversal de una banda en V y la ranura de una polea.....	16
Gráfico 5.	Diagrama de elaboración de quesos hilados.....	17
Gráfico 6.	Cantón Quevedo	20
Gráfico 7.	Volumen del recipiente.....	25
Gráfico 8.	Diagrama del eje.....	57
Gráfico 9.	Diagrama xy	58
Gráfico 10.	Diagrama xz.....	58
Gráfico 11.	Diagrama de fuerzas cortantes en Y	61
Gráfico 12.	Diagrama de fuerzas cortantes en z	61
Gráfico 13.	Diagrama de momento flector en xy	62
Gráfico 14.	Diagrama de momento flector en xz	62
Gráfico 15.	Diagrama de momento flector resultante	63
Gráfico 16.	Datos del engranaje	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Datos de engranajes	82
Anexo 2.	Propiedades del acero AISI 304	86
Anexo 3.	Catálogo de chumacera.....	87
Anexo 4.	Características del motor seleccionado.....	87
Anexo 5.	Planos.....	87

CÓDIGO DUBLIN

Título	“DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL MALAXADO DEL PROCESO DEL QUESO DE PASTA HILADA”			
Autor	Alvarado Betancourt Edison Javier			
Palabras claves	Pasta hilada	Queso	Malaxado	
F. publicación				
Editorial	Quevedo: UTEQ, 2017			
Resumen	<p>Resumen. - El presente proyecto investigativo se centra en el diseño de una máquina para el malaxado del proceso del queso de pasta hilada, con el objetivo de mejorar el proceso, al mismo tiempo disminuir costos de producción y reducir tiempos de trabajo.</p> <p>El diseño fue realizado mediante el software Autodesk Inventor, de tal forma que se desarrollaron y dimensionaron los mecanismos necesarios para la máquina, además realizar el análisis de elementos finitos para evaluar desplazamientos, deformaciones incluyendo las tensiones de los componentes con cargas internas y externas.</p> <p>Abstract.- The present research project focuses on the design of a machine for the malaxing of the cheese process of spun pasta, with the aim of improving the process, at the same time reducing production costs and reducing working times.</p> <p>The design was carried out in the Autodesk Inventor software environment, in such a way that the mechanisms necessary for the machine could be developed and dimensioned, as well as the analysis of finite elements to evaluate displacements, deformations including the stresses of the components with internal and external loads.</p>			
Descripción	101 hojas: Dimensiones 29x21 cm :CD-Rom			
URI				

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las máquinas agroindustriales aportan positivamente en la producción y elaboración de productos alimenticios, contribuyendo a la disminución de tiempos de trabajo y garantizando una optimización en la producción alimenticia, esto permite ofrecer facilidades al productor quesero para adquirir sus productos de una manera más rápida y eficaz.

Entre la variedad de productos que se procesan en el país está la leche proveniente del sector ganadero, siendo este un producto capaz de brindar a través de su procesamiento agroindustrial un sinnúmero de subproductos, entre los subproductos inmersos el queso hilado, el mismo que recibe un tratamiento térmico que tiene como objetivo fundir sus proteínas y alinear sus fibras.

El presente proyecto se fundamenta en el diseño de una máquina para facilitar el malaxado del proceso del queso de pasta hilada, en nuestro país este proceso se lo elabora artesanalmente y se requiere una máquina encargada de facilitar esta operación que consiste en amasar la cuajada ácida del queso en agua a elevadas temperaturas hasta obtener una masa blanda, brillante y elástica, esta investigación contribuirá a mejorar el proceso incrementando la eficiencia, disminuyendo mano de obra y tiempos de trabajo optimizando el proceso del malaxado del queso, el diseño se lo realiza mediante el cálculo, análisis y diseño en software como lo son Autodesk Inventor.

Este proyecto de investigativo se encuentra estructurado de la siguiente forma:

Capítulo I, se puntualiza el marco contextual de la investigación, que está conformada por la problematización, los objetivos del proyecto y la justificación.

Capítulo II, está constituida por el marco teórico del proyecto, en el que detalla la fundamentación teórica, conceptual y referencial que va a ser requerida para el desarrollo de la investigación.

Capítulo III, se especifica la metodología de la investigación, en el que conforma los métodos, técnicas y los recursos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Capítulo IV, comprende los resultados obtenidos en la selección, diseño y costos de producción de la malaxadora.

Capítulo V, está conformada por las conclusiones obtenidas en base a la investigación y se plantean las debidas correcciones.

Capítulo VI, contiene las diferentes fuentes bibliográficas, utilizadas en el proyecto.

Capítulo VII, se exponen los anexos, que comprenden información complementaria y requerida para el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El desarrollo agroindustrial de un país va encadenado a los diversos cambios y avances tecnológicos que experimenta el mismo, lo que contribuyen con el desarrollo económico que se producen en las diversas áreas provocando el incremento de los ingresos del país.

Los procesos agroindustriales están en continuo desarrollo, esto mejora la producción y reduce en gran medida la mano de obra, mejorando la efectividad y los tiempos de producción, actualmente el proceso del malaxado del queso de pasta hilada en especial los quesos de hoja, se realiza manualmente dado que en el país no existe una máquina destinada para la elaboración de este proceso, al poder contar con una máquina destinada para este proceso se estaría contribuyendo a la reducción de enfermedades reumáticas que adquieren las personas al elaborar este proceso manualmente, debido a que están expuestas a altas temperaturas.

Diagnóstico

El productor de quesos al no contar con una máquina destinada para el proceso del malaxado, no podrá realizarlo de una manera eficaz y óptima, porque este proceso se realiza de forma manual lo que implica un mayor empleo de tiempo al elaborarlo.

Pronóstico

Al diseñar una máquina para el malaxado del queso se podrá realizar de una manera más eficiente, reduciendo costos, mano de obra, y disminuyendo tiempos de trabajo, a su vez se mejorará la calidad del proceso evitando así pérdidas de materia prima como sucede actualmente.

1.1.2. Formulación del problema

¿Por qué es importante para el productor de quesos de pasta hilada contar con una máquina para el proceso del malaxado del queso?

1.1.3. Sistematización del problema

La investigación se enfoca en el diseño, cálculo y selección de materiales para la máquina de malaxado del queso, que engloba el análisis mecánico, costos y funcionamiento.

- ¿Qué normas se deben tener en cuenta para realizar el diseño de una máquina procesadora de alimentos?
- ¿Quiénes se beneficiarán de los resultados de esta investigación?
- ¿Qué tipo de materiales se utilizan para fabricar máquinas que van destinadas al proceso de alimentos y bajo qué especificaciones técnicas se construyen?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Diseñar una máquina para el proceso de malaxado del queso de pasta hilada.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los tipos de materiales para el diseño de la máquina y sus componentes.
- Diseñar los componentes de la máquina para optimizar su funcionamiento.
- Detallar los costos necesarios para la construcción del equipo.

1.3. Justificación

Actualmente se presentan inconvenientes al momento de procesar el queso hilado para la fase del malaxado, este se lo realiza de manera artesanal haciendo que el proceso sea más extenso en tiempo y trabajo, además de simbolizar una tarea extenuante. Al contar con una máquina para este proceso se simplifica la mano de obra y recursos necesarios para el proceso, resultando como una opción más factible y cómoda que el utilizado en la actualidad.

La importancia de esta investigación radica en el diseño de un equipo para el proceso del hilado del queso, una máquina enfocada directamente en cubrir las necesidades del productor quesero, para lograr reducir mano de obra y tiempos de trabajo, así como también se lograr un menor desperdicio de materia prima para el proceso de malaxado porque al realizarlo manualmente se efectúa una alta cantidad de pérdidas al realizar el estirado del queso.

Además, este trabajo investigativo propone el crecimiento, desarrollo, mejora y progreso del sector agroindustrial del país, aportando un valor agregado al producto del queso hilado, obteniendo así un producto de calidad.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Diseño Mecánico

El diseño es parte fundamental en la industria para satisfacer una necesidad específica o dar soluciones a los problemas, cuando el diseño es elaborado teóricamente en físico debe ser preciso, conciso, útil, funcional, que pueda crearse y comercializarse, debe ser innovador.

Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, su habilidad para comunicarse y la capacidad para resolver problemas están conectados con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. [1]

2.1.2. Selección de Materiales

La selección de materiales para las distintas piezas o componentes de un conjunto mecánico es una de las decisiones centrales del proceso de diseño de máquinas. Para esto se deben tomar en cuenta todas las condiciones de trabajo a los que la máquina estará sometida. [2]

El diseñador debe hacer una correcta determinación de los materiales que va a usar para evitar problemas de funcionamiento y riesgos laborales, de esta manera puede garantizar que la máquina no este sobredimensionada ya que esto representa gastos no justificables en la construcción. [3]

2.1.3. Procesos Agroindustriales

La agroindustria es una actividad económica que combina básicamente el proceso productivo agrícola con el industrial, para producir alimentos o materias primas destinados a un mercado, en dicho proceso la agricultura y la industria pueden alcanzar integraciones verticales u horizontales y llegar hasta la integración con los procesos de comercialización y provisión de insumos. Así, la agroindustria puede ser un proceso simple y complejo, según el grado de integración que alcance.

2.1.4. Malaxado (Hilado del queso)

El malaxado es un trabajo mecánico con calor que permite la alineación y orientación de las proteínas así como la distribución de la grasa butírica, la cuajada se sumerge en agua a temperaturas mayores a 80 °C cubriendo todo el queso hasta ser amasado. Este proceso se lo repite varias veces hasta que se obtenga una pasta elástica, compacta sin poros ni protuberancias. [4]

2.1.5. Queso de Pasta Hilada

Un queso de pasta hilada es el producto elaborado a base de leche pasteurizada, entera parcialmente descremada o la mezcla pasteurizada de la leche fresca entera con sólidos totales de leche o derivados lácteos, que después del proceso de coagulación es sometido parcialmente a un proceso de amasado o malaxado y estirado mecánico caliente, dando origen a una masa hilante homogénea. [5]

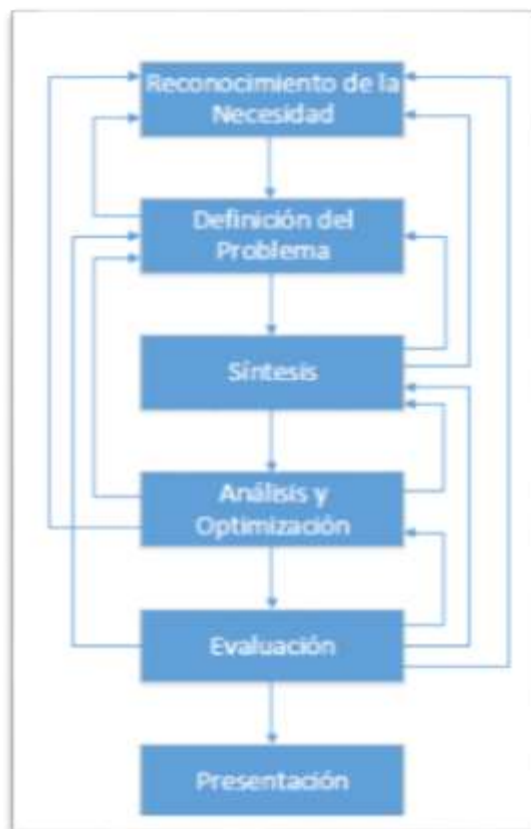
2.2. Marco Referencial

2.2.1. Diseño Mecánico

El diseño mecánico es la creación de planos necesarios para que las máquinas, las estructuras, los procesos o sistemas desarrollen las funciones deseadas, para llevar a cabo un diseño y tomar una correcta decisión se debe pasar a través del siguiente proceso:

- 1.- Definir el problema que nace de una necesidad.
- 2.- Realizar un estudio y establecer alternativas de diseño, analizando la forma y esquema para resolver la necesidad, de acuerdo a eso se escoge la solución.
- 3.-Diseñar de forma preliminar la máquina, estructura, proceso o sistema seleccionado; permitiendo establecer sus características generales y específicas de cada mecanismo.
- 4.- Realizar el análisis de todos los componentes y preparar los planos necesarios con sus respectivas especificaciones. [6]

Gráfico 1. Fases del proceso de diseño



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

2.2.2. Selección de materiales

Es necesario que los materiales para el diseño se los escoja correctamente, de acuerdo al trabajo que vaya a realizar la maquina o estructura a diseñar y las condiciones de funcionamiento a las que será sometido, en donde existen diversos criterios en los que se fundamente la decisión final. Es inusual que un material pueda soportar todos los tipos de esfuerzos a los que proyectará someterse para esto se debe analizar estrictamente los tipos de esfuerzos presentes y escoger el material de acuerdo a sus características que sea más resistente a estos esfuerzos. [7]

2.2.3. Materiales

Ningún mecanismo de los que componen una máquina puede comprometer la salud de los operarios ni de los consumidores del producto. Por esta razón existen normas que rigen el uso de materiales en la construcción.

En el diseño higiénico del equipo de procesado de alimentos se establece que todos los materiales que estén en contacto con los alimentos deben ser no tóxicos, mecánicamente estables, no absorbentes, inertes y resistentes a los productos alimenticios y a todos sus agentes de limpieza, desinfección a las diferentes concentraciones, capaces de soportar altas presiones y temperaturas. [8]

2.2.3.1. Materiales para la fabricación de máquinas para el proceso de alimentos

Las máquinas para procesar alimentos deben cumplir algunos parámetros y normas que eviten el contacto con mecanismos que puedan afectar sus propiedades y la contaminen, estos materiales deben cumplir la norma FDA. Todos los componentes que se encuentran en contacto directo e indirecto no deben desprender ningún tipo de sustancia o partículas que alteren las propiedades del producto a elaborar [9]. Entre los principales materiales empleados en el diseño y fabricación de máquinas para el proceso de alimentos se encuentran:

- Acero inoxidable
- Materiales sintéticos
- Materiales de aluminio

El acero inoxidable de aleación fina suele ser la opción más factible para la construcción en la industria alimenticia, los materiales típicos son AISI-304, AISI-316 Y AISI-316L, descritos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características mecánicas de aceros inoxidables de aleación fina

TIPO	ANSI (W.Nr)	TEMPERATURA AMBIENTE	A ELEVADAS TEMPERATURAS	LIMITES DE UTILIZACION	FABRICACIÓN	PRINCIPALES APLICACIONES
Austenítico	304 (1.4301)	Grado básico inoxidable, buena resistencia a la corrosión atmosférica, dúctil a todas las temperaturas	Buena resistencia a la oxidación de alta temperatura hasta 900°C, buena resistencia mecánica a la tensión y a la deformación permanente.	Susceptible a la corrosión intergranular por cloruros a temperaturas entre 600-800°C .	Soldable (TIG o MMA) pero con posibilidad de ataque intergranular. Se puede doblar y expandir.	Tuberías y cambiadores de calor para industria química, petroquímica, criogénica y calderas. Industria alimentaria construcción y decoración.
Austenítico	316 (1.4401)	La presencia de Mo produce un mejor comportamiento en ambientes clorados húmedos que el 304. Dúctil a todas las temperaturas.	Buena resistencia a la oxidación hasta una temperatura de 900°C. Muy buena resistencia mecánica y a la deformación a temperatura alta.	Susceptible a la rotura por corrosión bajo tensiones y a la corrosión intergranular.	Soldable (TIG o MMA) pero con posibilidad de corrosión intergranular. Se puede doblar y expandir.	Tuberías, cambiadores de calor, en plantas químicas y petroquímicas. Calderas e industria alimentaria.
Austenítico	316L (1.4404)	Similar al AISI 316 pero bajo contenido de carbono lo que evita la corrosión intergranular. Dúctil a todas las temperaturas.	Buena resistencia a la oxidación hasta una temperatura de 900°C pero no se garantizan las propiedades a la deformación por encima de 500°C.	Susceptible a la rotura por corrosión bajo tensiones. Propiedades mecánicas más bajas que el 316.	Soldable (TIG o MMA) sin tratamiento térmico. Se puede doblar y expandir.	Tubos de cambiadores de calor en plantas químicas, petroquímicas y alimentarias.

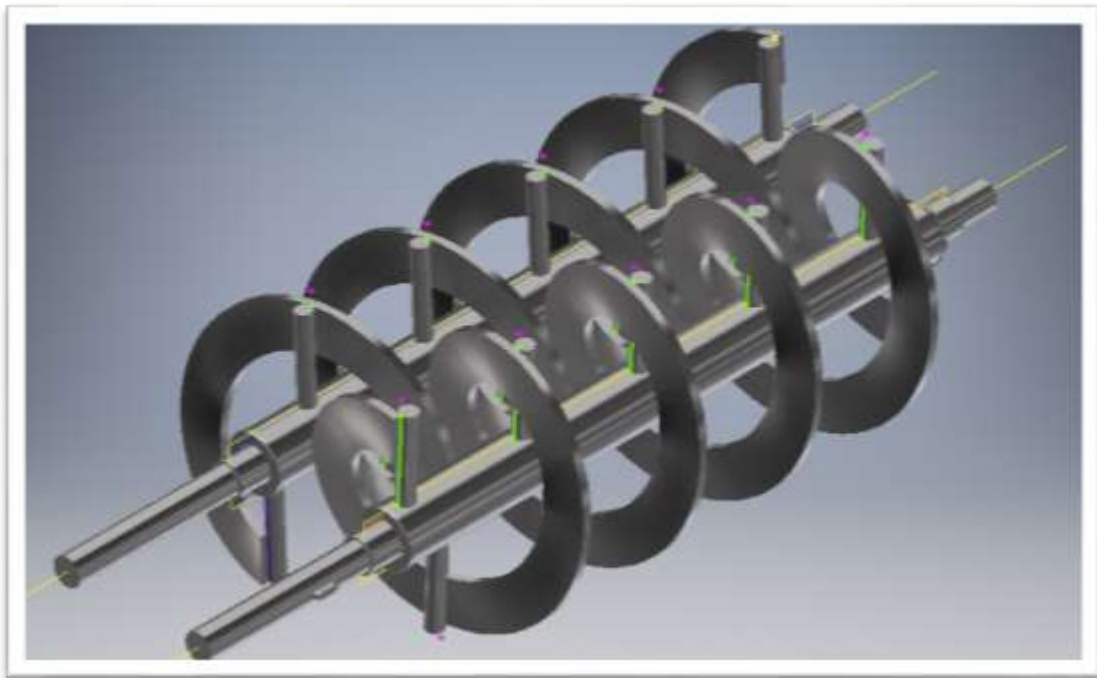
Fuente: Hastinik, S.A.

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

2.2.4. Mezclador de cintas helicoidales

Consiste en un tambor horizontal con eje axial de soporte en algunos casos dos ejes paralelos, la rotación de los dos ejes se efectúa en la parte interna del recipiente en sentido contrario este movimiento hace que la masa se mueva a lo largo del recipiente y al mismo tiempo que se mueva en dirección opuesta, estos movimientos evitan que el producto se acumule en los extremos, las cintas helicoidales están acopladas sobre un mismo eje, el mismo que le dará el movimiento rotacional. [10]

Gráfico 2. Mezclador de cintas helicoidales



Fuente: Autodesk Inventor

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

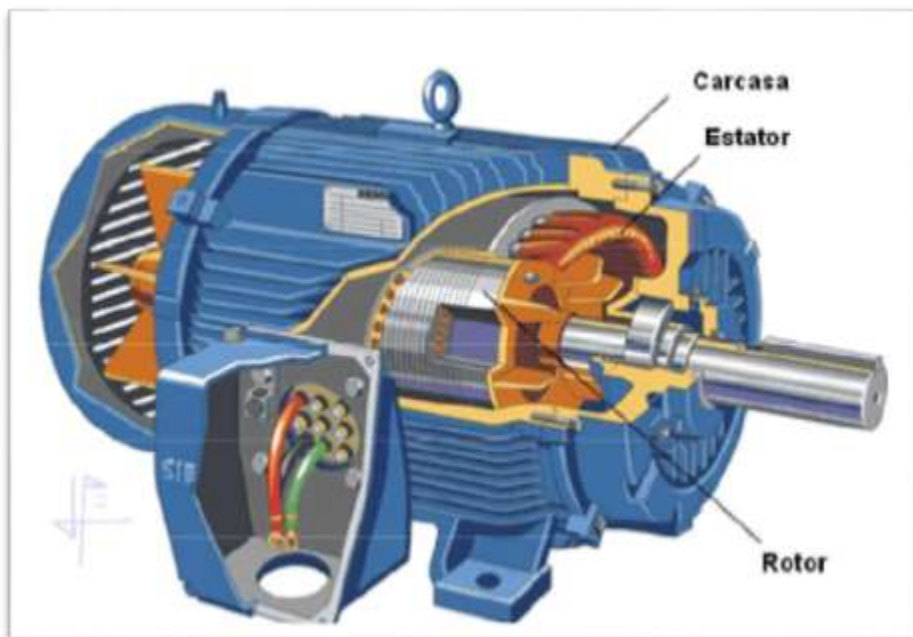
Un mezclador de cintas helicoidales es un mecanismo utilizado para mezclar u homogenizar mezclas, para su utilidad es necesario tener un recipiente en forma de “U”, como su nombre lo indica las cintas tienen forma helicoidal. Habitualmente los mezcladores de cintas helicoidales tienen dos formas de mezclar los productos:

- Por cargas: se establece una cantidad de producto a mezclar, terminado el proceso de mezclado de esa carga es extraída y se le introduce una segunda cantidad de masa o carga.
- Por alimentación continua: en este caso tienen una entrada de alimentación de masa o polvo y otra de salida, la masa a mezclar es introducida constantemente al recipiente por la entrada de alimentación y una vez terminado el proceso se extrae la masa o producto a mezclar sin detener el proceso. [11]

2.2.5. Motor eléctrico

Los motores eléctricos son dispositivos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica a través de la acción de los campos magnéticos que se generan en la bobina, están compuestos por un rotor y un estator. Muchos motores eléctricos son reversibles, ya que pueden transformar la anergia mecánica en eléctrica funcionando de esta manera como generadores. [12]

Gráfico 3. Motor eléctrico



Fuente: Fitzgerald, A. E.

2.2.6. Mecanismos de transmisión mecánica

2.2.6.1. Transmisión por engranajes

Entre los mecanismos para transmitir movimiento se encuentran los engranajes para transmitir potencia entre ejes, esta transmisión es muy rígida e impide deformaciones en el sentido del movimiento. Para la elección de un engranaje adecuado para un determinado trabajo es indispensable tener presente dos factores esenciales: la potencia necesaria a transmitir y la relación de giro. Al realizar el cálculo de potencia es recomendable tener en cuenta las pérdidas en cada fase de reducción. [13]

Tabla 2. Rango de eficiencia en engranajes

TIPO DE ENGRANAJE	RANGO DE EFICIENCIA
Cilíndrico recto	97%-99%
Cilíndrico helicoidal	90%-99%
Cónico recto	97%-99%
Cónico espiral	90%-98%
Hipoidal	90%-98%
Sinfín	60%-99%

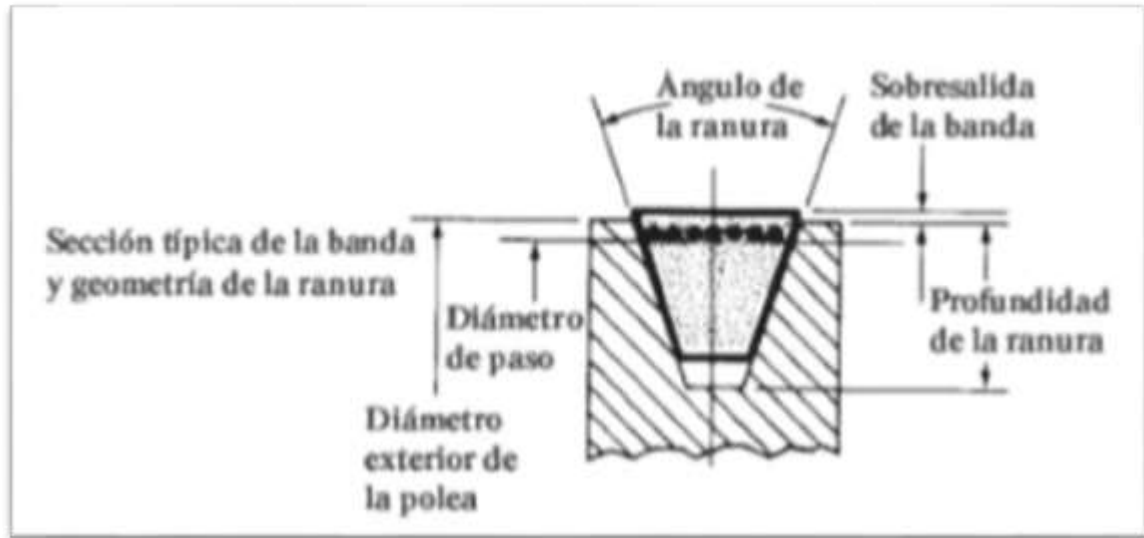
Fuente: Mantenimiento mecánico de máquinas, 2006

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

2.2.6.2. Transmisión por bandas

Las bandas son los mecanismos principales de transmisión de potencia, las bandas trabajan con poleas en cuanto a las cadenas trabajan con ruedas dentadas llamadas catarinas. Cuando las bandas transmiten potencia la fricción hace que se agarre a la polea impulsora e incremente la tensión en el lado tenso de la transmisión. Entre los tipos de bandas se encuentran: acanaladas o dentadas, planas, bandas V normales, bandas V en ángulo doble, entre otros. El tipo de banda más usada en transmisiones industriales, es la transmisión con bandas en V, su forma hace que la banda se ajuste firmemente en la ranura, esto hace que incremente la fricción y permita la transmisión en grandes pares torsionales sin que exista deslizamiento. [14]

Gráfico 4. Sección transversal de una banda en V y la ranura de una polea



Fuente: Robert L. Mott. 2009

2.2.7. Tipos de quesos hilados producidos en Ecuador

- **Queso de hoja.** - Es el queso no madurado que se adquiere partir del queso criollo acidificado de forma natural en presencia de bacterias mesófitas nativas de Ecuador no patógenas, es sometido al calentamiento previo al hilado, la característica principal de este queso es su envoltura en hoja de achira.
- **Queso de capas.** - Es el queso modelado de contextura relativamente estable, no granular, levemente elástica elaborado con leche entera, cuajada con enzimas y aminoácidos orgánicos habitualmente sin cultivos lácticos.
- **Queso mozzarella.** - Es tipo de queso no madurado, escaldado, formado, de contextura suave elástica (pasta filamentosa), cuya cuajada puede o no ser estirada y blanqueada, elaborado de leche, es cuajado con cultivos lácticos, enzimas y ácidos orgánico e inorgánicos. [15]

El estiramiento se ejecuta en agua caliente como es el caso del queso mozzarella, otras en un recipiente seco el cual recibe calor directamente a través de una camisa [16]. El tiempo promedio empleado en esta etapa es 25 minutos y la temperatura promedio que alcanzada al concluir el hilado del queso es de 77°C, oscilando entre 70°C y 85°C. [17]

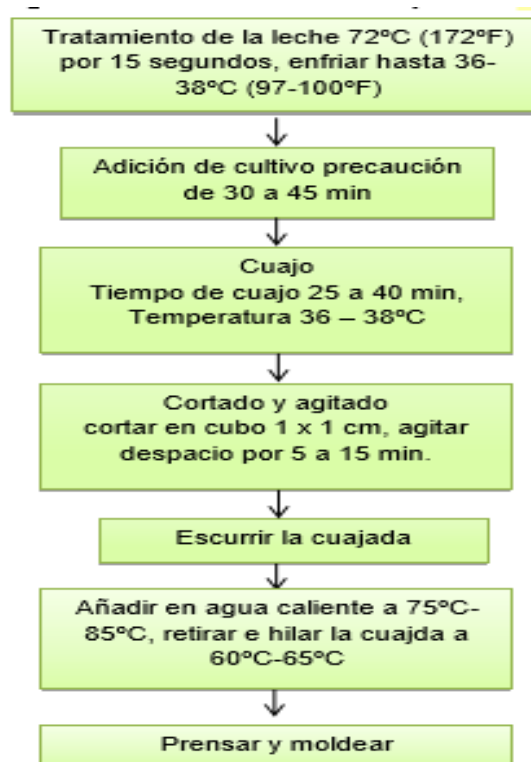
2.2.8. Técnicas de elaboración de quesos hilados

Los quesos hilados simbolizan el segundo grupo más importante de quesos a nivel mundial atrás del queso fresco. Las características principales de este grupo de quesos son las siguientes:

- Grasa en materia seca: 20% a 60%
- Contenido de agua: 35% a 60%
- Contenido de sal: 0,5 a 2%

Los quesos hilados se caracterizan por el proceso de malaxado que se debe realizar en agua caliente. Esto proviene en una masa parecida al plástico y le otorga al queso terminado su característica estructurada fibrosa. A continuación, se presenta el esquema de elaboración del queso de pasta hilada [18] :

Gráfico 5. Diagrama de elaboración de quesos hilados



Fuente: Jairo Javier Galán Ramírez, 2015

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

2.2.9. Malaxado del queso de pasta hilada

El malaxado se hace mediante la aplicación directa de calor, se lo realiza a partir de la cuajada con un grado de acidez controlado de pH (5.0-5.4), se aplica sal (1.2-1.7%) y es sometido a un movimiento rotacional o de estirado permanente, para obtener un calentamiento homogéneo y evitar que se pegue al fondo del recipiente. [19]

2.2.10. Normas de manipulación de alimentos

El prototipo es vinculado a la calidad del producto que se debe presentar ante las exigencias generales de higiene, relacionados con el malaxado del proceso del queso de pasta hilada, el almacenamiento, distribución y venta para el consumo humano con el objetivo de garantizar un producto inocuo, saludable y sano.

De acuerdo al CÓDIGO DE PRACTICA PARA LA MANIPULACIÓN DE ALIMENTOS, todos los materiales y utensilios empleados en lugares donde se manipulan los alimentos que entren en contacto con los alimentos deben:

- Estar constituidos por materiales que no transmitan sustancias tóxicas, sabores, ni olores, no corrosibles y capaces de resistir varias veces limpieza y desinfección de las mismas.
- Las superficies para la manipulación de alimentos debe ser lisas, no poseer hoyos ni grietas, deben evitar en lo posible el uso de madera y otros materiales que no se puedan limpiar y desinfectar adecuadamente,
- Se deberá evitar uso de ciertos metales de tal manera que estos puedan producir corrosión por contacto. [20]

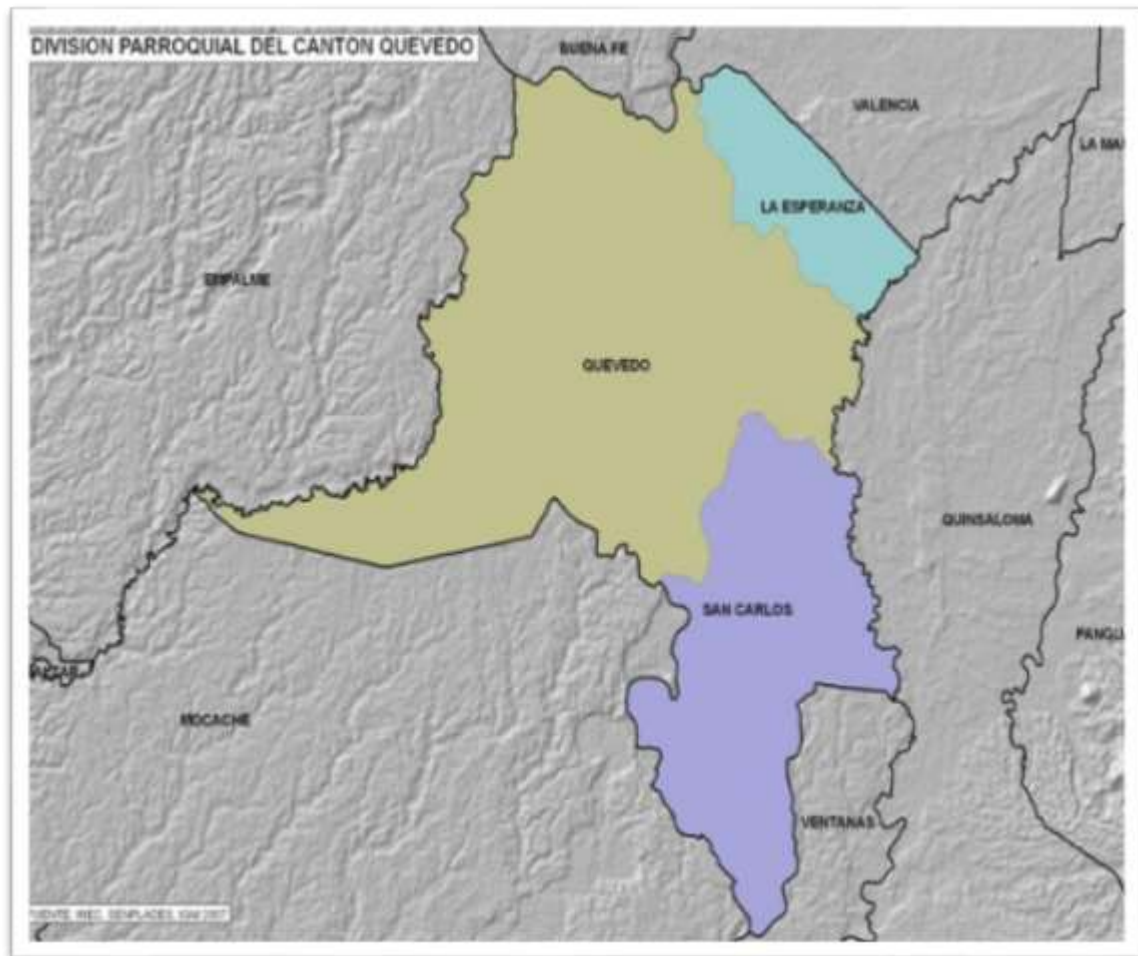
De acuerdo a la NORMA ISO 14159, se debe usar materiales que tengan la propiedad de mantener sus características de superficie originales durante el tiempo de vida previsto cuando esté expuesto a las condiciones encontradas en el ambiente de uso previsto, incluyendo contacto expuesto con el producto, condiciones de limpieza, desinfección, pasteurización o esterilización.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El desarrollo del proyecto investigativo se realizó en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos. Esta ciudad se encuentra en la zona 5 de planificación, representa el 4.2% del territorio de la provincia de Los Ríos (aproximadamente 0.3 mil km²). [21]

Gráfico 6. Cantón Quevedo



Fuente: INEC, SENPLADES, IGM 2007

Latitud: -1.027299

Longitud: -79.467609

UNI: -1379252

UFI: -932468

UTM: PU68

JOG: SA17-08

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación exploratoria

En el presente proyecto se aplicó este tipo de investigación porque el tema no cuenta con antecedentes de estudios técnicos y a través del mismo se determinó los elementos distinguidos de la problemática y la importancia de la investigación, así como el planteamiento de una solución para la necesidad establecida en este proyecto.

3.2.2. Investigación de campo

Este tipo de investigación es fundamental en este proyecto porque se establecen los datos reales del problema y las características del producto que se va a procesar mediante la máquina que se va a diseñar.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método Analítico

En el desarrollo de esta investigación se aplicó para el estudio de la problemática, mediante el análisis y experimentación del proceso del malaxado del queso el mismo que consistió en examinar estrictamente el proceso para que la máquina a diseñar responda a esta necesidad.

3.3.2. Método bibliográfico

Se empleó para la recopilación de diferentes fuentes bibliográficas, tales como artículos científicos y libros sobre el proceso que permitan sintetizar la necesidad con datos reales y objetivar la investigación de acuerdo a la problemática planteada.

3.4. Fuentes de recopilación de información

Para la obtención de información necesaria en el desarrollo de esta investigación se utilizaron fuentes primarias y secundarias, tales como artículos científicos, libros y mediante la observación del desarrollo del proceso, entre otros.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Diseño experimental

En el desarrollo de esta investigación se empleó este método para lograr el más alto nivel de confiabilidad, en base a los resultados obtenidos en el transcurso de la investigación, los cálculos, sometiendo el producto que se pretende procesar a pruebas en prototipos hechos con esta finalidad, pudiendo obtener de esta manera datos reales del sobre el proceso del producto.

3.6. Instrumentos de investigación

Se realizaron procedimientos experimentales para poder establecer los parámetros que se manejaran consecutivamente en el diseño de la máquina, para esto se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Análisis de documentos

3.7. Recursos humanos y materiales

3.7.1. Recurso humano

Para el desarrollo del análisis del proceso del malaxado del queso de pasta hilada se cuenta con la colaboración de la ing. agroindustrial Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez. MSc

3.7.2. Recursos materiales

Software:

- Autodesk Inventor Profesional 2017

Hardware:

- Computadora
- Impresora
- Calculadora
- Libros

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

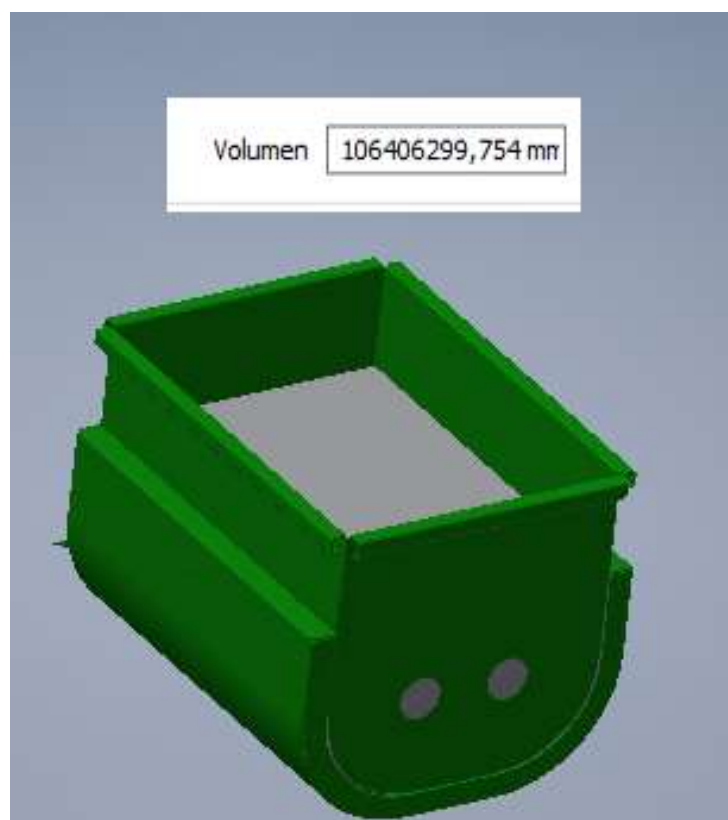
4.1. Cálculo de cantidad de masa

Para empezar con el desarrollo de la investigación se parte con la producción de un pequeño productor artesanal, por lo cual comenzaremos con el cálculo de cantidad de masa:

- **Volumen total del recipiente**

En base a los requerimientos del productor de quesos se establece el diseño del recipiente que va almacenar el producto con las siguientes dimensiones: 700x500mm.

Gráfico 7. Volumen del recipiente



Fuente: Autodesk Inventor, 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

De los datos obtenidos del software Autodesk Inventor se obtuvo el volumen del recipiente a la altura de la camisa de vapor y el volumen de los mezcladores:

Ecuación 1.

$$V_t = V_r - V_m$$

Donde:

Vr: Volumen del recipiente a la altura de la camisa

Vm: Volumen de los mezcladores

Ecuación 2.

$$V_t = (106406.29 - (2135.03 \times 2)) \text{cm}^3$$

$$V_t = 102136.22 \text{ cm}^3$$

- **Cantidad de masa**

Para determinar este valor se tomó como datos los valores de una marqueta de queso de 300x80x260mm con un volumen de 6240cm³, donde se obtuvo una masa de 7.427kg y una densidad de $1.190 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$

Ecuación 3. Cantidad de Masa de Queso

$$x = \frac{1021136.22 \text{cm}^3 * 7.427 \text{ kg}}{6240 \text{cm}^3}$$

$$x = 121.56 \text{kg}$$

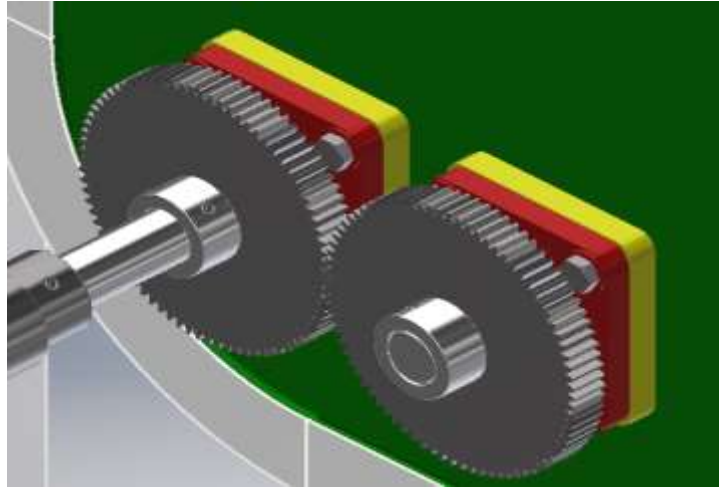
Donde:

X: Cantidad de masa

4.2. Cálculo de engranajes de los mezcladores

Se efectúa el cálculo de los engranajes que dan la transmisión a los mezcladores:

Gráfico 8. Engranajes



Fuente: Autodesk Inventor, 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

4.2.1. Diseño geométrico

Datos

Modulo(m) = 2 mm

Numero de dientes (z) : $z_1 = z_2 = 80$ dientes

Angulo de presión (α) $\alpha = 25^\circ$

Angulo de hélice (β) = 0°

- **Diámetro exterior (d_e)**

Ecuación 4. [22]

$$d_e = m(z + 2)$$

$$d_e = 2(80 + 2)$$

$$d_e = 164\text{mm}$$

- **Diámetro primitivo (d_p)**

Ecuación 5. [14]

$$d_p = mZ$$

$$d_p = 2\text{mm} * 80$$

$$d_p = 160\text{mm}$$

- **Altura del diente (h)**

Ecuación 6. [22]

$$h = 2.25 * m$$

$$h = 4.5\text{mm}$$

- **Relación de transmisión (i)**

Ecuación 7. [22]

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{80}{80} = 1$$

- **Addendum (a)**

Ecuación 8. [22]

$$a = m$$

$$a = 2\text{mm}$$

- **Deddendum (b)**

Ecuación 9. [22]

$$b = 1.25 * m$$

$$b = 1.25 * 2\text{mm}$$

$$b = 2.5\text{mm}$$

- Paso circular (P_c)

Ecuación 10. [14]

$$P_c = \frac{\pi d_p}{z} (\text{Norton})$$

$$P_c = \frac{\pi * 160\text{mm}}{80}$$

$$P_c = 6.28\text{mm}$$

- Paso diametral (P_d)

Ecuación 11. [14]

$$P_d = \frac{25.4}{m}$$

$$P_d = \frac{25.4}{2\text{mm}}$$

$$P_d = 12.7\text{plg}$$

- Espesor del diente (e)

Ecuación 12. [22]

$$e = \frac{P_c}{2}$$

$$e = \frac{6.28\text{mm}}{2}$$

$$e = 3.14\text{mm}$$

- Diámetro de raíz (d_b)

Ecuación 13. [23]

$$d_{b1} = d_{b2} = z_1 m \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = z_2 m \frac{\cos\alpha}{\cos\beta}$$

$$d_{b1} = d_{b2} = 80 * 2\text{mm} * \frac{\cos 20^\circ}{\cos 0^\circ}$$

$$d_{b1} = d_{b2} = 150.35\text{mm}$$

- **Angulo de presión en la punta del diente (α_a)**

Ecuación 14. [23]

$$\alpha_{a1} = \alpha_{a2} = \cos^{-1} \left(\frac{db_1}{de_1} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{db_2}{de_2} \right)$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{a2} = \cos^{-1} \frac{150.35}{164}$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{a2} = 23.54^\circ$$

- **Módulo transversal (m_t)**

Ecuación 15. [23]

$$m_t = \frac{m}{\cos\beta}$$

$$m_t = \frac{2\text{mm}}{\cos 0^\circ}$$

$$m_t = 2\text{mm}$$

- **Distancia de centros (C)**

Ecuación 16. [23]

$$C = r_p + r_g$$

$$C = \frac{160\text{mm}}{2} + \frac{160\text{mm}}{2}$$

$$C = 160\text{mm}$$

- **Longitud del diente (l)**

Ecuación 17. [22]

Seleccionando $x=10$ mediante talladora de tabla 3

Tabla 3.

Longitud del diente
$x=5$ a 8 ; Fresadora (N9)
$x=10$ a 12 ; Talladora (N7) <input checked="" type="checkbox"/>
$x=15$ a 30 ; Rectificadora (N5)

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: Se selecciona un valor $x=10$, al ser el piñón elaborado mediante talladora,

obteniendo ese valor se calcula la longitud del diente.

$$l = x * m$$

$$l = 10 * 2\text{mm}$$

$$l = 20\text{mm}$$

4.2.2. Selección del material para los engranajes

Tabla 4. Aceros Para Engranajes

UNE	AISI	DIN	EN	ESTADO	HB	HR _c	S _y	S _{ut}	Aplicaciones
F 1110	1015	Ck 15	1.1141	Normalizado	110		215	380	Ruedas con poca responsabilidad, alta tenacidad y gran soldabilidad
					170		225	500	
				Cementado	250	25	550	700	Dientes muy tenaces y con buena dureza superficial.
F 1140	1015	Ck 45	1.1101	Normalizado	175		280	550	Ruedas con responsabilidad media, de dientes tenaces.
					255		300	750	
				Temple+rev	450	43	1050	1250	Ruedas y piñones con buena dureza superficial y tenacidad baja.
F 1250	4135	35CrMo4	1.7220	Normalizado	225		755	1020	Piñones tallados sobre el mismo eje.
					230	46	1200	1400	
				Temple+rev	600	57	1500	1700	
F 1270		32NiCrMo4	1.6743	Normalizado	380		1150	1300	Piñones de alta responsabilidad.
					450	43	1300	1450	
				Temple+rev	550	55	1500	1650	
F 1540	3415	14NiCr10	1.5732	Cementado	250	25	650	1100	Ruedas con responsabilidad alta, de dientes tenaces y resistentes a la fatiga superficiales.
					450	45			
F 1560		14NiCr10	1.6723	Cementado	250	25	850	1200	Piñones con responsabilidad alta, de dientes tenaces y resistentes a la fatiga superficiales.
					450	45			

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: Se seleccionó el Acero AISI 1015 que ofrece un comportamiento de resistencia mediana para la aplicación deseada, tal como se observa en la tabla 4.

Datos del material:

Módulo de Young (E)

$$E = E_p = E_g = 208 \text{ GPa} = 208000 \text{ MPa} \quad [24]$$

Coefficiente de Poisson (ν)

$$\nu = \nu_p = \nu_g = 0.3 \quad [24]$$

Dureza de Brinell (HB)

$$HB = 215$$

4.2.3. Calculo de esfuerzos de contacto

Para efectuarse la mezcla se trabaja en bajas revoluciones, en donde se establece que va a trabajar a 150rpm, de acuerdo a esto se escoge un motor reductor de 0.75Kw que entrega estas revoluciones

Datos

Potencia entregada por el motor (P)

$$P = 1CV = 735.5W = 735.5 \frac{Nm}{s}$$

Velocidad angular (ω)

$$\omega = \omega_1 = \omega_2 = 150rpm = 150 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1min}{60s} = 15.71 \frac{rad}{s}$$

- Torque entregado por el motor (T_p)

Ecuación 18. [14]

$$T_p = \frac{P}{\omega}$$

$$T_p = \frac{735.5 \frac{Nm}{s}}{15.71 \frac{rad}{s}}$$

$$T_p = 46.82Nm$$

- Fuerza tangencial nominal (F_t)

Ecuación 19. [14]

$$F_t = \frac{2T_p}{d_p}$$

$$F_t = \frac{2(46.82Nm) * \frac{1000mm}{1m}}{160mm}$$

$$F_t = 585.25N$$

- **Factor de elasticidad (Z_E)**

Ecuación 20. [14]

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1-\nu_p^2}{E_p} \right) + \left(\frac{1-\nu_g^2}{E_g} \right) \right]}}$$

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1-(0.3)^2}{208000\text{MPa}} \right) + \left(\frac{1-(0.3)^2}{208000\text{MPa}} \right) \right]}}$$

$$Z_E = 190.73\text{MPa}^{0.5}$$

- **Factor de zona (Z_H)**

Para engranajes rectos se consideran $\alpha = \alpha_t = \alpha_{wt}$ y $a_w = a$

- **Angulo de engrane frontal (α_t)**

Ecuación 21. [25]

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan\alpha}{\cos\beta}\right)$$

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan 20^\circ}{\cos 0^\circ}\right)$$

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan 20^\circ}{\cos 0^\circ}\right)$$

$$\alpha_t = 20^\circ$$

Ecuación 22. [25]

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos\beta}{\cos^2\alpha_t \tan\alpha_{wt}}}$$

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos\beta}{\cos^2\alpha \tan\alpha}}$$

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos 0^\circ}{\cos^2(20^\circ) \tan(20^\circ)}}$$

$$Z_H = 2.49$$

4.2.3.1. Factor por coeficiente de recubrimiento (Z_ϵ)

- Coeficiente de recubrimiento transversal (ϵ_α)

Ecuación 23. [25]

$$\epsilon_{\alpha 1} = \epsilon_{\alpha 2} = \frac{z_1(\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha)}{2\pi} = \frac{z_2(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha)}{2\pi}$$

$$\epsilon_{\alpha 1} = \epsilon_{\alpha 2} = \frac{80(\tan 23.54^\circ - \tan 20^\circ)}{2\pi}$$

$$\epsilon_{\alpha 1} = \epsilon_{\alpha 2} = \frac{80(\tan 23.54^\circ - \tan 20^\circ)}{2\pi}$$

$$\epsilon_{\alpha 1} = \epsilon_{\alpha 2} = 0.91$$

$$\epsilon_\alpha = \epsilon_{\alpha 1} + \epsilon_{\alpha 2} = 0.91 + 0.91 = 1.82$$

Para dientes rectos ($\epsilon_b = 0$)

Ecuación 24. [25]

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3}}$$

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - 1.82}{3}}$$

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - 1.82}{3}}$$

$$Z_\epsilon = 0.85$$

- Factor por ángulo de la hélice (Z_β)

Ecuación 25. [25]

$$Z_\beta = \sqrt{\cos\beta}$$

$$Z_\beta = \sqrt{\cos 0^\circ}$$

$$Z_\beta = \sqrt{\cos 0^\circ}$$

$$Z_\beta = 1$$

- **Factor de aplicación de la carga (K_A)**

Tabla 5. Factores K_A

Máquina impulsora	Máquina impulsada		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto fuerte
Uniforme (motor eléctrico, turbina)	1.00	1.25	1.75 o mayor
Impacto suave (motor de varios cilindros)	1.25	1.50	2.00 o mayor
Impacto medio (motor de un solo cilindro)	1.50	1.75	2.25 o mayor

Fuente: Norton

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: Se seleccionó el valor de $K_A = 1.25$ para condiciones de cargas de impacto suave de manera uniforme, tal como se indica tabla 5.

- **Factor de carga para tensiones de contacto ($K_{H\alpha}$)**

Ecuación 26. [25]

$$\frac{F_t K_A}{l} = \frac{585.25 \text{ N} * 1.25}{20 \text{ mm}} = 36.58 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$w_t = 36.58 \frac{\text{N}}{\text{mm}} < 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Tabla 6. Factores $K_{H\alpha}$

$\frac{F_t K_A}{l}$		> 100 N/mm				< 100 N/mm
		5	6	7	8	Todos
Dientes rectos endurecidos	Rectos	1.00	1.00	1.10	1.20	$\frac{1}{Z_\epsilon^2} \geq 1,20$
	Helicoidales	1.00	1.10	1.20	1.40	$\frac{\epsilon_\alpha}{\cos^2 \beta b} \geq 1,4$
Dientes rectos no endurecidos	Rectos	1.00	1.00	1.00	1.10	$\frac{1}{Z_\epsilon^2} \geq 1,20$
	Helicoidales	1.00	1.00	1.10	1.20	$\frac{\epsilon_\alpha}{\cos^2 \beta b} \geq 1,4$

Fuente: Norton

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: Se seleccionó el valor de $K_{H\alpha}$, para dientes rectos no endurecidos para un valor $< 100 \frac{N}{mm}$, tal como se indica en la tabla 6.

$$\frac{1}{Z_{\varepsilon}^2} \geq 1.20$$

$$\frac{1}{0.85} \geq 1.20$$

$$\frac{1}{0.85} \geq 1.20$$

$$1.38 \geq 1.20$$

$$K_{H\alpha} = 1.38$$

4.2.3.2. Factor de carga dinámica (K_v)

- Velocidad Tangencial (V_t)

Ecuación 27. [22]

$$V_t = \omega_p \frac{d_p}{2}$$

$$V_t = (150\text{rpm}) \frac{160\text{mm}}{2}$$

$$V_t = \left(150 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) \left(\frac{2\pi\text{rad}}{1\text{rev}}\right) \frac{160\text{mm}}{2} \left(\frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}\right) \left(\frac{1\text{pie}}{0.3048\text{m}}\right)$$

$$V_t = 247.37 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

- **Índice de calidad (Q_v)**

El índice de calidad se lo obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 7. Números recomendados de calidad del engrane contra la velocidad en la línea de paso

Velocidad de paso	Q_v
0–800 $\frac{\text{pie}}{\text{min}}$	6–8
800–2000 $\frac{\text{pie}}{\text{min}}$	8–10
2000–4000 $\frac{\text{pie}}{\text{min}}$	10–12
Más de 4000 $\frac{\text{pie}}{\text{min}}$	12–14

Fuente: Norton

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: Se selecciona el índice de calidad de acuerdo a la velocidad de paso que fluctúa en un valor de 0-800 dándonos un valor $Q_v = 7$

Factor B [14]

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{\frac{2}{3}}}{4}$$

$$B = \frac{(12 - 7)^{\frac{2}{3}}}{4}$$

$$B = 0.73$$

Factor A [14]

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.73)$$

$$A = 65.12$$

- **Factor de carga dinámica (K_v)**

Ecuación 28. [14]

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B$$

$$K_v = \left(\frac{65.12}{65.12 + \sqrt{247.37}} \right)^{0.73}$$

$$K_v = 0.85$$

- **Factor de carga en el flanco del diente (K_B)**

Para un ancho de 20 mm se tiene que:

Tabla 8. Factor de anchura K_B

Ancho del diente		Calidad del acabado									
desde	hasta	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	20	1,06	1,06	1,07	1,08	1,10	1,13	1,17	1,23	1,32	1,48
20	40	1,07	1,08	1,08	1,09	1,11	1,14	1,19	1,25	1,36	1,53
40	100	1,08	1,08	1,09	1,09	1,13	1,16	1,20	1,28	1,40	1,59
100	160	1,10	1,10	1,12	1,13	1,16	1,19	1,23	1,33	1,46	1,66
160	315	1,12	1,13	1,14	1,15	1,18	1,21	1,26	1,34	1,48	1,69
315	360	1,15	1,17	1,18	1,19	1,21	1,24	1,28	1,37	1,51	1,70
360		1,21	1,21	1,22	1,24	1,27	1,29	1,32	1,40	1,54	1,74

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: Se selecciona el factor de carga en el flanco del diente de acuerdo al ancho del diente y el índice de calidad en donde se obtiene un valor

$$K_{B=1.10}$$

Tabla 9. Factor de corrección (F_w)

w_t en N/mm	≥ 350	≈ 300	≈ 250	≈ 200	≈ 100
f_w	=1	$\approx 1,5$	$\approx 1,30$	$\approx 1,45$	$\approx 1,6$

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: El factor de corrección F_w se lo escoge en función de la carga específica de servicio W_t la que se encuentra entre un valor de 0-100, y se escoge un valor $F_w = 1.6$.

Tabla 10. Factor de corrección f_p

Materiales en contacto	Acero	Fundición
f_p	=1	$\approx 0,7-0,6$

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: El factor de corrección F_p se lo selecciona mediante el material con el que serán realizados los engranajes y por este ser un acero se escoge un valor $F_p = 1$.

Los datos de las tablas se presentan a continuación:

$$K_\beta = 1.10$$

$$f_w = 1.6$$

$$f_p = 1$$

- **Factor de carga a la fatiga de flexión en la raíz del diente ($K_{F\beta}$)**

Ecuación 29. [25]

$$K_{F\beta} = 1 + (K_B - 1)f_w f_p$$

$$K_{F\beta} = 1 + (1.1 - 1)(1.6 * 1)$$

$$K_{F\beta} = 1 + (1.1 - 1)(1.6 * 1)$$

$$K_{F\beta} = 1.16$$

$$K_{H\beta} \approx K_{F\beta}^{1.39}$$

$$K_{H\beta} \approx 1.16^{1.39}$$

$$K_{H\beta} \approx 1.23$$

4.2.3.3. Esfuerzo de contacto (σ_H)

- **Tensión nominal de contacto (σ_{H_0})**

Ecuación 30. [25]

$$\sigma_{H_0} = Z_E Z_H Z_\epsilon Z_\beta \sqrt{\frac{F_t (i + 1)}{d_p l i}}$$

$$\sigma_{H_0} = 190.73 \text{MPa}^{0.5} * 2.49 * 0.85 * 1 \sqrt{\frac{585.25 \text{N} (1 + 1)}{(160 \text{m})(20 \text{mm}) 1}}$$

$$\sigma_{H_0} = 190.73 \text{MPa}^{0.5} * 2.49 * 0.85 * 1 * \sqrt{\frac{585.25 \text{N} (1 + 1)}{(160 \text{m})(20 \text{mm}) 1}}$$

$$\sigma_{H_0} = 244.15 \text{MPa}$$

Ecuación 31.

$$\sigma_H = \sigma_{H_0} \sqrt{K_A K_V K_H \beta K_{H\alpha}}$$

$$\sigma_H = 244.15 \text{ MPa} \sqrt{(1.25)(0.85)(1.23)(1.38)}$$

$$\sigma_H = 327.88 \text{ MPa}$$

- **Factor de tamaño (Z_x) [25]**

$$Z_x = 1 \text{ (ISO 6336)}$$

- **Factor por endurecimiento durante el trabajo (Z_w)**

$$HB = 215$$

Tabla 11.

Dureza menor de los dientes	Z_w
≤100 HB	1,200
200 HB	1,159
300 HB	1,100
400 HB	1,040
≥470 HB	1,000

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: El factor Z_w se lo determina de acuerdo a la dureza del material de los engranajes $HB = 215$, interpolando los valores entre 200 HB y 300 HB se obtiene un valor de $Z_w = 1.15$.

- **Factores con influencia en la formación de la película de lubricante Z_L, Z_V, Z_R**

En cálculo simplificado (ISO 6336) se utilizan los siguientes valores.

En engranajes sin rectificar:

$$Z_L Z_V Z_R = 0.85$$

- **Factor de durabilidad (Z_N)**

Se considerará que el n° de ciclos $> 5 \cdot 10^6$ (ISO 6336)

$$Z_N = 1$$

- **Coefficiente mínimo de seguridad para esfuerzo de contacto (S_{Hlim})**

Tabla 12.

Coefficientes de seguridad (AGMA 2001-95)	
Probabilidad de ocurrir el fallo	S_{Hlim}
0,01 %	1,50
0,10 %	1,25
1,00 %	1,00
10,00 %	0,85

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: La norma ISO 6336 establece que el coeficiente mínimo de seguridad S_{Hlim} debe estar entre un valor de 1,1 a 1,4, a través de esto considerará que la posibilidad de fallo es del 0,1% y se obtiene un valor $S_{Hlim} = 1,25$

- **Esfuerzo límite para una tensión de contacto intermitente (σ_{Hlim})**

Tabla 13. Materiales de las ruedas dentadas y su resistencia a flexión en el pie σ_{FE} y presión límite de contacto

Grupo de materiales	Designación según DIN	Estado de tratamiento	Dureza en los flancos	σ_{FE} (N/mm ²)	σ_{Hlim} (N/mm ²)
Hierro fundido laminar DIN EN 1561 (DIN1691)	EN-GJL200(GG20)		180 HB	80	300
	EN-GJL-250(GG25)		20 HB	110	360
Fundición maleable DIN 1692	EN-GJMB-350(GTS35)		150 HB	330	320
	EN-GJMB-650(GTS65)		120 HB	410	460
Hierro fundido grafito esferoidal DIN 1693	EN- GSJ -400(GGG-40)		180 HB	280	370
	EN- GSJ -600(GGG-60)		250 HB	350	490
	EN- GSJ -800(GGG-80)		320 HB	320	600
Acero fundido DIN 1681	OS-52		160 HB	280	320
	OS-60		180 HB	320	380
Aceros construc DIN ENI0025 (DIN17100)	E295(St 50)		160 HB	320	370
	E335(St 60)		190 HB	350	430
	E360(St 70)		210 HB	510	460
Aceros para bonificación	C 45	Normalizado	190HV 10	410	530
	34CrMo4	Bonificado	270HV 10	520	530
	42CrMo4	Bonificado	300HV 10	570	600
	34CrNiMo6	Bonificado	310HV 10	610	630
Aceros de cementación DIN EN 10084 (DINI7210)	16MnCr5	Cementados-templados	720HV 10	860	1470
	15CrNi6		730HV 10	920	1490
	17CrMoV9		740HV 10	1000	1510
Bonificación y cementación	42CrMo4	Nitrurados con gas	550HV 10	770	1070
	16MnCr5		550HV 10	810	1100
	31CrMoV9		610HV 10	840	1230
Bonificación y cementación	C45	Nitrurados-carburado	420HV 10	620	710
	16MnCr5		560HV 10	650	770
	42CrMo4		610HV 10	680	830
	34Cr4		900	1350	

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: El acero seleccionado para los engranajes es un acero para bonificación, y

$$\text{mediante esto se obtiene un valor } \sigma_{Hlim} = 530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- **Esfuerzo de contacto admisible (σ_H)**

Ecuación 32. [25]

$$\sigma_H = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_{Hlim}} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X$$

$$\sigma_H = \frac{530 \frac{N}{mm^2}}{1,25} (1 * 0.85 * 1.15 * 1)$$

$$\sigma_H = \frac{530 \frac{N}{mm^2}}{1,25} (1 * 0.85 * 1.15 * 1)$$

$$\sigma_H = 414.46 \frac{N}{mm^2}$$

- Coeficiente de seguridad contra la formación de picaduras (S_H)

Ecuación 33. [25]

$$S_{H1} = \frac{\sigma_{Hlim1}}{\sigma_{H1}} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X = S_{H2} = \frac{\sigma_{Hlim2}}{\sigma_{H2}} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X$$

$$S_{H1} = S_{H2} = \frac{530 \frac{N}{mm^2}}{414.46 \frac{N}{mm^2}} (1 * 0.85 * 1.15 * 1)$$

$$S_{H1} = S_{H2} = 1.25$$

4.2.3.4. Cálculo de esfuerzos de flexión

- Factor de cabeza, (Y_{FS})

Z_a	$x =$																
	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.4	+0.5	+0.6	+0.7	+0.8	+0.9	+1	
10											4.45	4.36	4.17				
11										4.56	4.41	4.28	4.18				
12									4.66	4.51	4.38	4.27	4.18	4.10			
13									4.60	4.47	4.36	4.27	4.19	4.12			
14								4.70	4.55	4.43	4.34	4.26	4.20	4.13	4.07		
15								4.65	4.51	4.41	4.33	4.26	4.21	4.15	4.08		
16						4.88	4.74	4.59	4.47	4.38	4.32	4.26	4.21	4.16	4.11	4.03	
17						4.83	4.67	4.55	4.45	4.37	4.31	4.26	4.22	4.18	4.13	4.05	
18						4.77	4.63	4.51	4.42	4.36	4.30	4.27	4.23	4.19	4.15	4.08	
19					4.88	4.71	4.58	4.48	4.40	4.34	4.30	4.27	4.24	4.20	4.16	4.10	
20					4.80	4.66	4.55	4.55	4.48	4.43	4.30	4.27	4.25	4.22	4.18	4.12	
22			5.0	4.85	4.70	4.58	4.49	4.41	4.36	4.32	4.30	4.28	4.27	4.24	4.20	4.15	
24			5.07	4.89	4.74	4.62	4.52	4.44	4.38	4.34	4.31	4.30	4.29	4.28	4.23	4.18	
26	5.15	4.95	4.78	4.65	4.55	4.47	4.40	4.36	4.33	4.31	4.30	4.30	4.29	4.28	4.25	4.20	
28	5.0	4.83	4.70	4.58	4.50	4.43	4.37	4.34	4.32	4.31	4.30	4.30	4.30	4.30	4.27	4.23	
30	4.88	4.74	4.62	4.53	4.45	4.40	4.35	4.32	4.31	4.31	4.31	4.30	4.30	4.30	4.28	4.25	
35	4.67	4.57	4.50	4.42	4.37	4.34	4.32	4.30	4.30	4.30	4.32	4.32	4.33	4.33	4.34	4.29	
40	4.53	4.45	4.40	4.35	4.33	4.30	4.29	4.29	4.29	4.32	4.33	4.35	4.36	4.36	4.36	4.33	
45	4.43	4.38	4.34	4.31	4.29	4.28	4.28	4.29	4.31	4.33	4.35	4.37	4.38	4.38	4.38	4.35	
50	4.37	4.33	4.30	4.28	4.27	4.27	4.28	4.29	4.32	4.34	4.36	4.38	4.40	4.40	4.40	4.38	
60	4.28	4.25	4.20	4.25	4.25	4.26	4.28	4.30	4.33	4.35	4.38	4.41	4.43	4.43	4.43	4.41	
70	4.23	4.22	4.22	4.23	4.24	4.26	4.29	4.31	4.34	4.37	4.40	4.43	4.45	4.45	4.45	4.45	
80	4.20	4.20	4.21	4.23	4.24	4.27	4.30	4.33	4.36	4.37	4.42	4.44	4.46	4.46	4.46	4.46	
100	4.18	4.19	4.21	4.24	4.26	4.29	4.32	4.35	4.38	4.42	4.45	4.47	4.49	4.49	4.49	4.49	
150	4.19	4.22	4.25	4.28	4.31	4.35	4.38	4.41	4.44	4.47	4.50	4.51	4.53	4.53	4.53	4.53	
200	4.24	4.33	4.38	4.42	4.45	4.55	4.56	4.57	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.55	4.55	4.55	
400	4.35	4.38	4.42	4.45	4.45	4.56	4.57	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.60	4.60	4.60	
∞	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: De acuerdo al número de dientes del engranaje que en este caso es de 80 se escoge es valor $Y_{FS} = 4,27$

- **Factor por coeficiente de recubrimiento por esfuerzo de flexión (Y_ε)**

Ecuación 34.

Para engranajes rectos paralelos $\varepsilon_\alpha = 1$

$$Y_\varepsilon = 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_\alpha} \text{ (Iso 6336)}$$

$$Y_\varepsilon = 0.25 + \frac{0.75}{1}$$

$$Y_\varepsilon = 0.625$$

- **Factor de ángulo de la hélice (Y_β)**

Ecuación 35.

Si $\varepsilon_\beta \leq 1$ utilizar la fórmula:

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120^\circ} \text{ (Iso 6336)}$$

$$Y_\beta = 1 - 1 \frac{0^\circ}{120^\circ}$$

$$Y_\beta = 1$$

- **Tensión nominal a flexión en la base del diente (σ_F)**

Ecuación 36.

Piñón

$$\sigma_{FO1} = \frac{585.25N}{20mm * 2mm} (4,27)(0.625)(1)$$

$$\sigma_{FO1} = 39.05 \frac{N}{mm^2}$$

Rueda

$$\sigma_{FO2} = 39.05 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{FO2} = 39.05 \frac{N}{mm^2}$$

- **Factor de carga transversal**

$$K_{F\alpha} = K_{H\alpha} = 1.38$$

- **Factor de carga en el flanco del diente**

$$K_{F\beta} = 1.16$$

- **Tensión de cálculo a flexión en la raíz del diente (σ_F)**

Ecuación 37.

$$\sigma_{F1} = \sigma_{FO1} K_A K_V K_{F\alpha}$$

$$\sigma_{F1} = 39.05 \frac{N}{mm^2} (1.25)(0.85)(1.38)$$

$$\sigma_{F1} = 57.28 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{F2} = \frac{\sigma_{FO2}}{\sigma_{FO1}} \sigma_{F1}$$

$$\sigma_{F2} = \frac{39.05 \frac{N}{mm^2}}{39.05 \frac{N}{mm^2}} 57.28 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{F2} = 57.28 \frac{N}{mm^2}$$

- **Esfuerzo de flexión límite**

$$\sigma_{Flim} = 410 \frac{N}{mm^2} (\text{Tabla 14})$$

- **Factor de duración de vida**

Se considerará que el n° de ciclos > $5 \cdot 10^6$ (ISO 6336)

$$Y_N = 1$$

- **Factor de sensibilidad a la entalla del material**

$$Y_{\delta rel} = 1$$

- **Factor de rugosidad o acabado superficial**

Rz para una tolerancia de N7 es igual a 1,6.

Si los materiales tienen un grado de rugosidad $Rz \leq 16 \mu\text{m}$,

$$Y_{\text{rel}} = 1$$

- **Factor De Tamaño**

Dientes de acero con dureza volumétrica, o dientes con estructura perlítica

$m \leq 5$	$Y_X = 1$
$5 < m \leq 30$	$Y_X = 1.03$
$m \geq 30$	$Y_X = 0.85$

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: El factor de tamaño se lo obtiene se acuerdo al módulo, para un módulo $m=2$ se tiene: $Y_X = 1$

- **Límite de fatiga a flexión**

Ecuación 38.

$$\sigma_{\text{FG1}} = \sigma_{\text{FG2}} = \sigma_{\text{lim}} Y_{\text{N1}} Y_{\delta\text{rel}} Y_{\text{rel1}} Y_{\text{X1}}$$

$$\sigma_{\text{FG1}} = \sigma_{\text{FG2}} = 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (1 * 1 * 1 * 1)$$

$$\sigma_{\text{FG1}} = 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- **Coefficiente de seguridad a flexión (S_F)**

Probabilidad de ocurrir el fallo	S_{F1min}
0,01 %	1,50
0,10 %	1,25
1,00 %	1,00
10,00 %	0,85

Fuente: ISO 6336

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: se considerará que la posibilidad de fallo es de 0,1% y se obtiene un valor

$$S_{Hlim} = 1,25$$

$$S_{F1min} = 1.25$$

- **Tensión admisible a flexión (σ_{FP1})**

Ecuación 39.

$$\sigma_{FP1} = \sigma_{FP2} = \frac{\sigma_{FG1}}{S_{F1min}}$$

$$\sigma_{FP1} = \sigma_{FP2} = \frac{410 \frac{N}{mm^2}}{1.25}$$

$$\sigma_{FP1} = \sigma_{FP2} = 328 \frac{N}{mm^2}$$

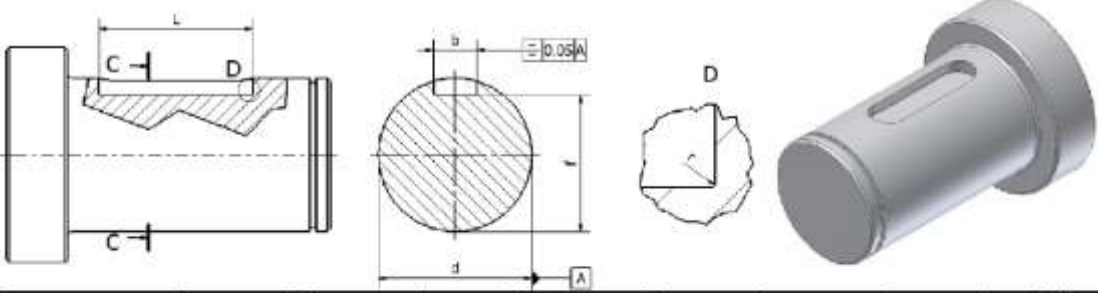
4.3. Cálculo de chaveta

4.3.1. Cálculo de chaveta de piñón

El eje consta de tres secciones donde se ubican las chavetas,

Para un diámetro de 31.75 mm se tiene:

Tabla 15.



d		b	h	f	L	r	Kt	Kts	Longitudes de chavetas normalizadas
Más de	Hasta								
8	10	3	3	d-1.8	6-36	0.2	2.2	2.6	8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40
10	12	4	4	d-2.5	8-45	0.2	2.4	2.8	45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140
12	17	5	5	d-3	10-56	0.3	2.4	2.8	160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400
17	22	6	6	d-3.5	14-70	0.3	2.6	3	
22	30	8	7	d-4	18-90	0.3	2.9	3.2	
30	38	10	8	d-5	22-110	0.5	2.4	2.8	
38	44	12	8	d-5	28-140	0.5	2.8	3.1	
44	50	14	9	d-5.5	36-160	0.5	2.9	3.2	
50	58	16	10	d-6	45-180	0.5	3.2	3.5	
58	65	18	11	d-7	50-200	0.5	3.5	3.8	

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- $d = 31.75 \text{ mm}$
- $b = 10 \text{ mm}$
- $h = 8 \text{ mm}$
- $f = (d - 5) \text{ mm}$
- $f = (31.75 - 5) \text{ mm}$
- $f = 26.75 \text{ mm}$
- $L = 22 \text{ a } 110 \text{ mm}$; se selecciono una longtud de 25 mm

Tabla 16. Material de la Chaveta de piñones

UNE	AISI	DIN	EN 10088	Estado	HB	HRc	Sy Mpa	Sut Mpa
F 1110	1015	Ck 15	1.1141	Norma.	110 170		215 225	380 500
F 1140	1045	Ck 45	1.1101	Norma.	175 255		280 300	550 750

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- Esfuerzo de la chaveta a cortante (τ_{xy})

Ecuación 40.

$$\tau_{xy} = \frac{2 \frac{T_p}{d}}{b(l-b) + \frac{\pi b^2}{4}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{2 \frac{46.82 \text{Nm} \left(\frac{1000 \text{mm}}{1 \text{m}} \right)}{31.75 \text{mm}}}{10 \text{mm}(25 \text{mm} - 10 \text{mm}) + \frac{\pi(10 \text{mm})^2}{4}}$$

$$\tau_{xy} = 12.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Donde:

T_p : Torque entregado por el motor

$$\sigma' = \sqrt{3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{3 \left(12.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2}$$

$$\sigma' = 22.34 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$CS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$CS = \frac{225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{22.34 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$CS = 10.07$$

$$d \geq \frac{2\sqrt{3}T_p CS}{dbS_y} - b(4 - \pi)$$

$$d \geq \frac{2\sqrt{3}(46.82\text{Nm}) \left(\frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}\right) (10.07)}{(31.75\text{mm})(10\text{mm})(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})} - (10\text{mm})(4 - \pi)$$

$$d \geq 14.28\text{mm}$$

- **Esfuerzo de la chaveta a compresión (σ_x)**

Ecuación 41.

$$\sigma_x = \frac{2 \frac{T_p}{d}}{b(l - b)}$$

$$\sigma_x = \frac{2 \frac{46.82\text{Nm}}{31.75 \text{mm}} \left(\frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}\right)}{20\text{mm}(25\text{mm} - 20\text{mm})}$$

$$\sigma_x = 29.49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$CS = \frac{db(l - b)S_y}{2T_p}$$

$$CS = \frac{31.75\text{mm}(10\text{mm})(25\text{mm} - 10\text{mm}) \left(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{2(46.82\text{Nm}) \left(\frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}\right)}$$

$$CS = 11.44$$

$$l \geq \frac{2T_p CS}{dbS_y} + b$$

$$l \geq \frac{2(46.82\text{Nm}) \left(\frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}\right) (11.44)}{(31.75\text{mm})(10\text{mm}) \left(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)} + 10\text{mm}$$

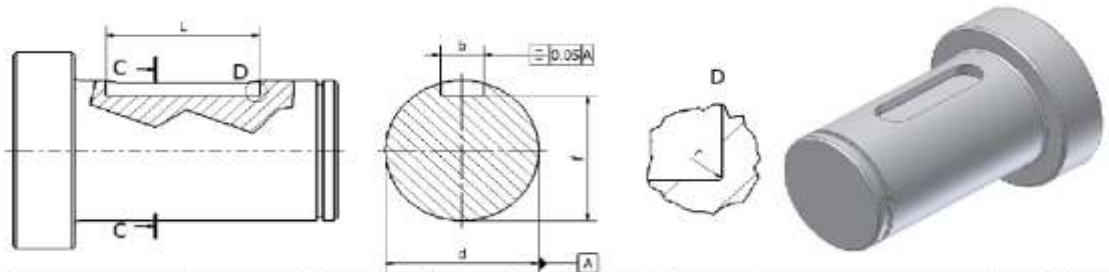
$$l \geq \frac{2(46.82\text{Nm}) \left(\frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}\right) (11.44)}{(31.75\text{mm})(10\text{mm}) \left(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)} + 10\text{mm}$$

$$\mathbf{l \geq 25\text{mm}}$$

4.3.2. Cálculo de chaveta de mezcladores

El eje consta de tres secciones donde se ubican las chavetas,

Para un diámetro de 38.15 mm se tiene:



d		b	h	f	L	r	Kt	Kts	Longitudes de chavetas normalizadas 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400
Más de	Hasta								
8	10	3	3	d-1.8	6-36	0.2	2.2	2.6	
10	12	4	4	d-2.5	8-45	0.2	2.4	2.8	
12	17	5	5	d-3	10-56	0.3	2.4	2.8	
17	22	6	6	d-3.5	14-70	0.3	2.6	3	
22	30	8	7	d-4	18-90	0.3	2.9	3.2	
30	38	10	8	d-5	22-110	0.5	2.4	2.8	
38	44	12	8	d-5	28-140	0.5	2.8	3.1	
44	50	14	9	d-5.5	36-160	0.5	2.9	3.2	
50	58	16	10	d-6	45-180	0.5	3.2	3.5	
58	65	18	11	d-7	50-200	0.5	3.5	3.8	

d = 38.15 mm

b = 12 mm

h = 8 mm

f = (d - 5)mm

f = (38.15 - 5)mm

f = 33.15 mm

L = 28 a 140 mm; se selecciono una longtud de 60 mm

Tabla 17. Material de chaveta de mezcladores

AISI	EN 10088	DIN	UNE 36016	Dureza HB	Alar. %	Sy Mpa	Sut Mpa
304	1,4301	1,4301	F 3504	190	45	230	540-750
316	1,4401	1,4401	F 3534	200	40	240	530-680

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- **Esfuerzo de la chaveta a cortante**

$$\tau_{xy} = \frac{2 \frac{T_p}{d}}{b(l-b) + \frac{\pi b^2}{4}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{2 \frac{46.82 \text{Nm}}{38.15 \text{mm}} \left(\frac{1000 \text{mm}}{1 \text{m}} \right)}{12 \text{mm}(60 \text{mm} - 12 \text{mm}) + \frac{\pi(12 \text{mm})^2}{4}}$$

$$\tau_{xy} = 3.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{3 \left(3.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2}$$

$$\sigma' = 6.17 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$CS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$CS = \frac{225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{6.17 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$CS = 36.46$$

$$d \geq \frac{2\sqrt{3}T_p CS}{dbS_y} - b(4 - \pi)$$

$$d \geq \frac{2\sqrt{3}(46.82 \text{Nm}) \left(\frac{1000 \text{mm}}{1 \text{m}} \right) (36.46)}{(38.15 \text{mm})(12 \text{mm})(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})} - (12 \text{mm})(4 - \pi)$$

$$d \geq 47.11 \text{mm}$$

- **Esfuerzo de la chaveta a compresión**

$$\sigma_x = \frac{2 \frac{T_p}{d}}{b(l - b)}$$

$$\sigma_x = \frac{2 \frac{46.82 \text{Nm}}{38.15 \text{mm}} \left(\frac{1000 \text{mm}}{1 \text{m}} \right)}{12 \text{mm} (60 \text{mm} - 12 \text{mm})}$$

$$\sigma_x = 4.26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$CS = \frac{db(l - b)S_y}{2T_p}$$

$$CS = \frac{38.15 \text{mm} (12 \text{mm}) (60 \text{mm} - 12 \text{mm}) \left(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{2 (46.82 \text{Nm}) \left(\frac{1000 \text{mm}}{1 \text{m}} \right)}$$

$$CS = 52.8$$

$$l \geq \frac{2T_p CS}{dbS_y} + b$$

$$l \geq \frac{2 (46.82 \text{Nm}) \left(\frac{1000 \text{mm}}{1 \text{m}} \right) (52.8)}{(38.15 \text{mm}) (12 \text{mm}) \left(225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)} + 10 \text{mm}$$

$$l \geq 58 \text{mm}$$

4.4. Calculo Estático

Se realiza el cálculo estático para determinar los diámetros de los ejes que irán anclados a los mezcladores:

- **Fuerza normal (F_n)**

$$F_n = F_t \cos \alpha$$

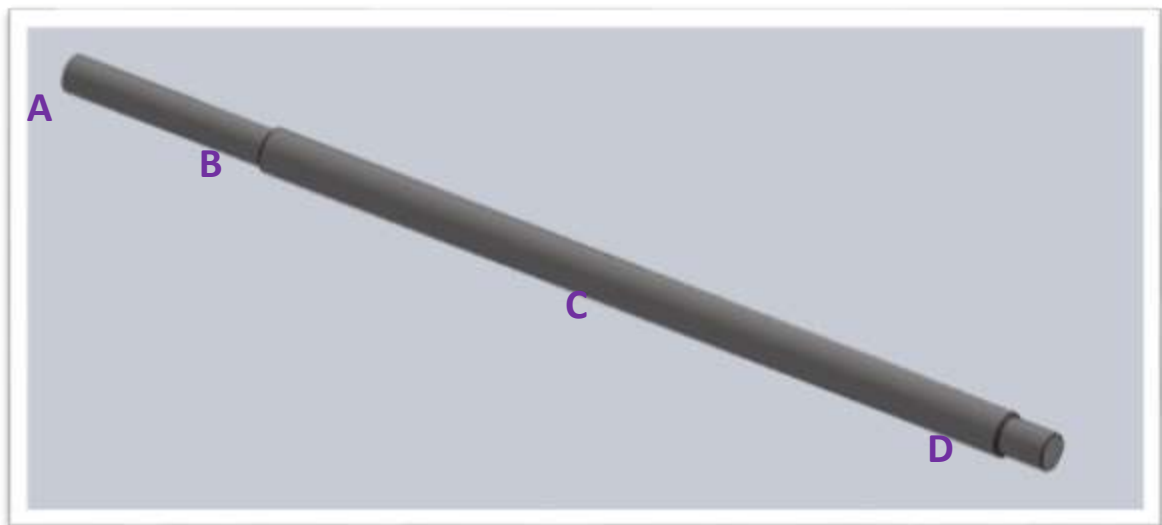
$$F_n = 585.25 \text{ N} * \cos 20^\circ$$

$$F_n = 1309.3 \text{ N}$$

- **Diagrama de cuerpo libre**

De acuerdo a las dimensiones y capacidad de la máquina, se diseñó un sistema de eje de la siguiente manera:

Gráfico 9. Diagrama del eje



Fuente: Autodesk Inventor

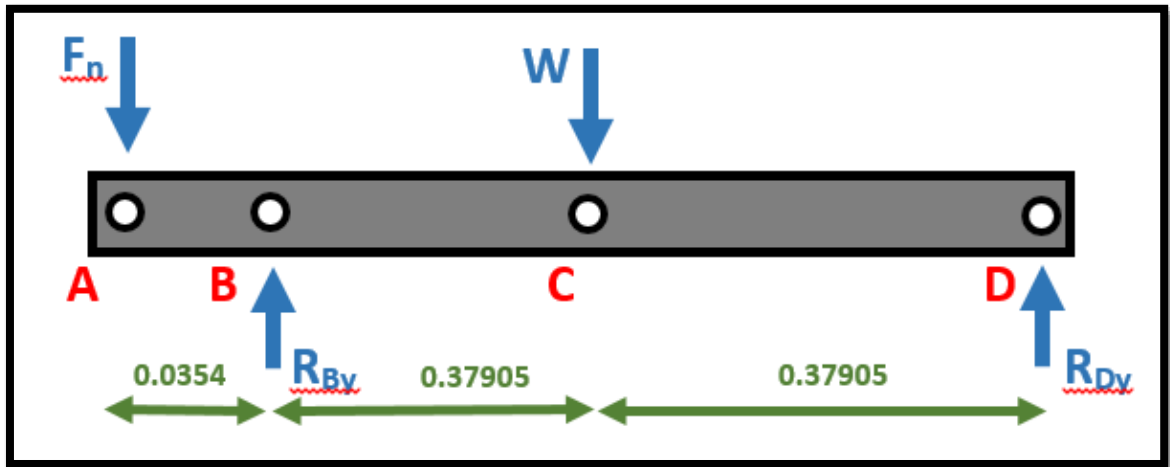
Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Donde en el tramo A, se va a colocar una transmisión por engranajes, en los tramos B y D, se encontrarán los rodamientos de soporte del eje, y se aplicará una carga de peso del material de queso justo en el centro de la sección BD, es decir en el punto C.

Los diagramas de fuerzas se desarrollan en los planos (x,y) y (x,z)

- Diagrama (xy)

Gráfico 10.

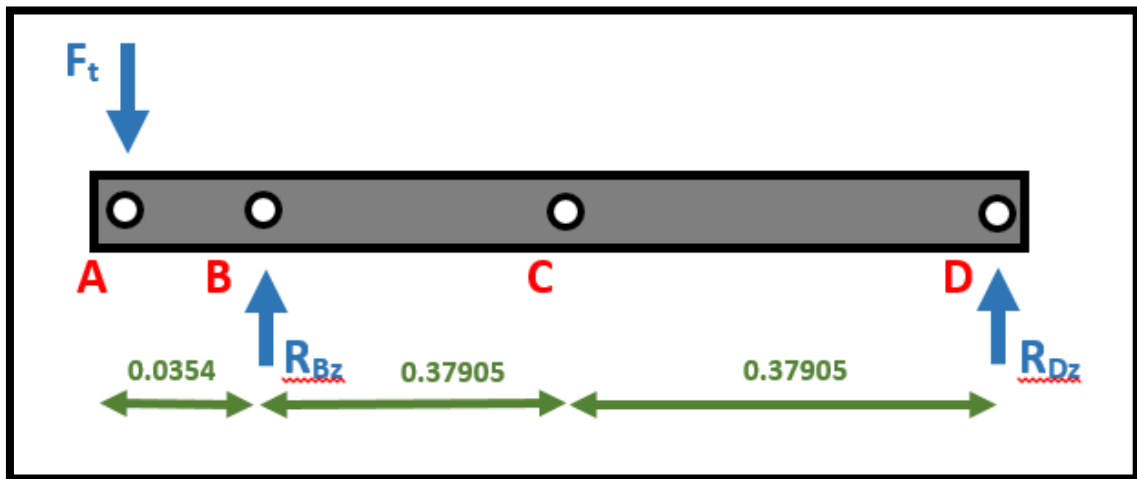


Fuente: Autor, 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- Diagrama (xz)

Gráfico 11.



Fuente: Autor, 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- **Equilibrio de Fuerzas**

En plano xy

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_n + R_{By} - W + R_{Dy} = 0$$

$$R_{By} + R_{Dy} = F_n + W$$

$$R_{By} + R_{Dy} = (549.86 + 1191.29)N$$

$$R_{By} + R_{Dy} = 1741.15N \text{ (1)}$$

$$\sum M_{Dy} = 0$$

$$W(0.37905) - R_{By}(0.7581mm) + F_n(0.7935mm) = 0$$

$$R_{By} = \frac{F_n(0.7935mm) + W(0.37905mm)}{(0.7581mm)}$$

$$R_{By} = \frac{(549.86N)(0.7935mm) + (1191.29N)(0.37905mm)}{(0.7581mm)}$$

$$R_{By} = 1171.81N$$

Reemplazando R_{By} en (1)

$$1171.81N + R_{Dy} = 1741.15N$$

$$R_{Dy} = 1741.15N - 1171.81N$$

$$R_{Dy} = 569.34N$$

En plano xz

$$\sum F_z = 0$$

$$-F_t + R_{Bz} + R_{Dz} = 0$$

$$R_{Bz} + R_{Dz} = F_t$$

$$R_{Bz} + R_{Dz} = 585.25\text{N} \text{ (2)}$$

$$\sum M_{Dz} = 0$$

$$-R_{Bz}(0.7581\text{mm}) + F_t(0.7935\text{mm}) = 0$$

$$R_{Bz} = \frac{F_t(0.7935\text{mm})}{(0.7581\text{mm})}$$

$$R_{Bz} = \frac{(585.25\text{N})(0.7935)}{(0.7581)}$$

$$R_{Bz} = 612.58\text{N}$$

Reemplazando R_{Bz} en (2)

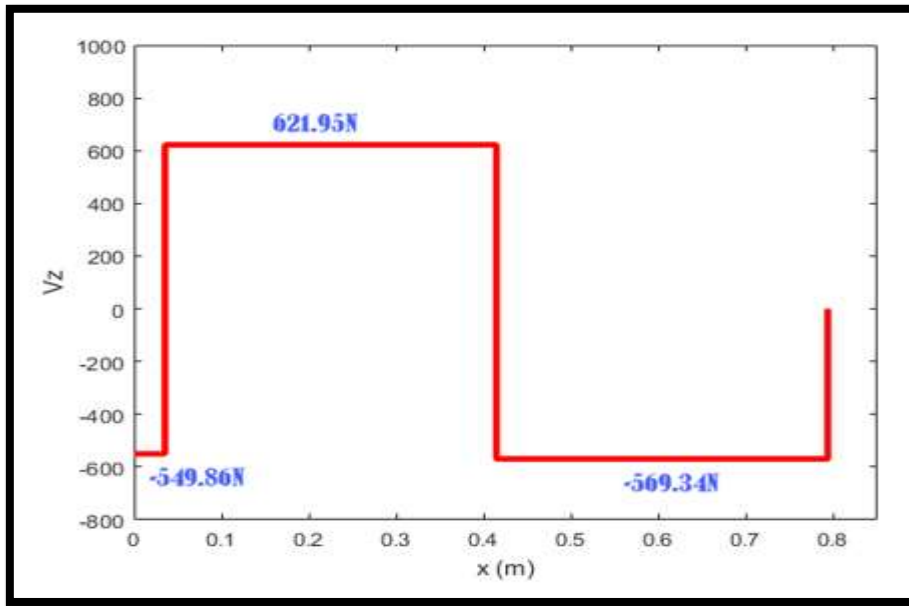
$$612.58\text{N} + R_{Dz} = 585.25\text{N}$$

$$R_{Dz} = 585.25\text{N} - 612.58\text{N}$$

$$R_{Dz} = -27.33\text{N}$$

- Diagrama de fuerzas cortantes en y

Gráfico 12.

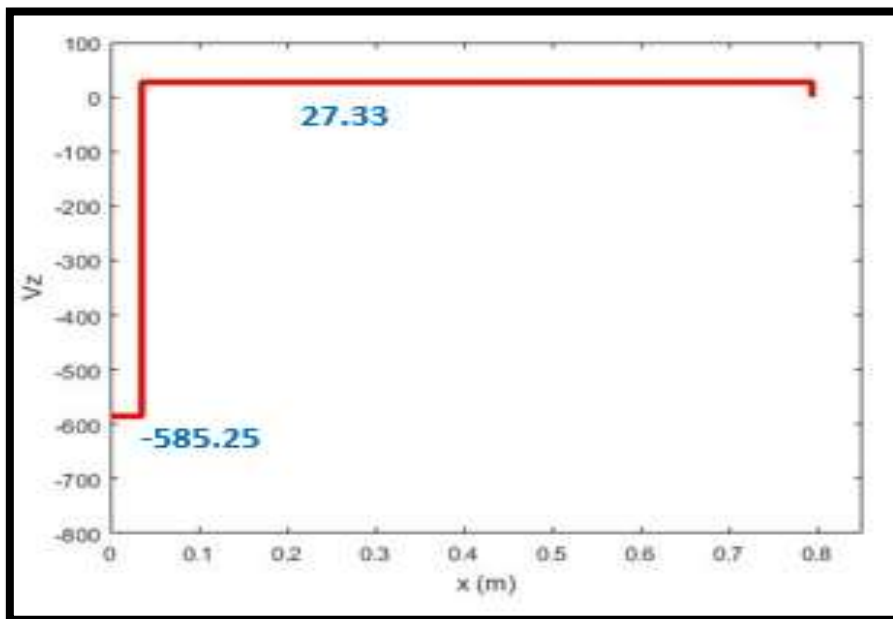


Fuente: Matlab

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- Diagrama de fuerzas cortantes en z

Gráfico 13.

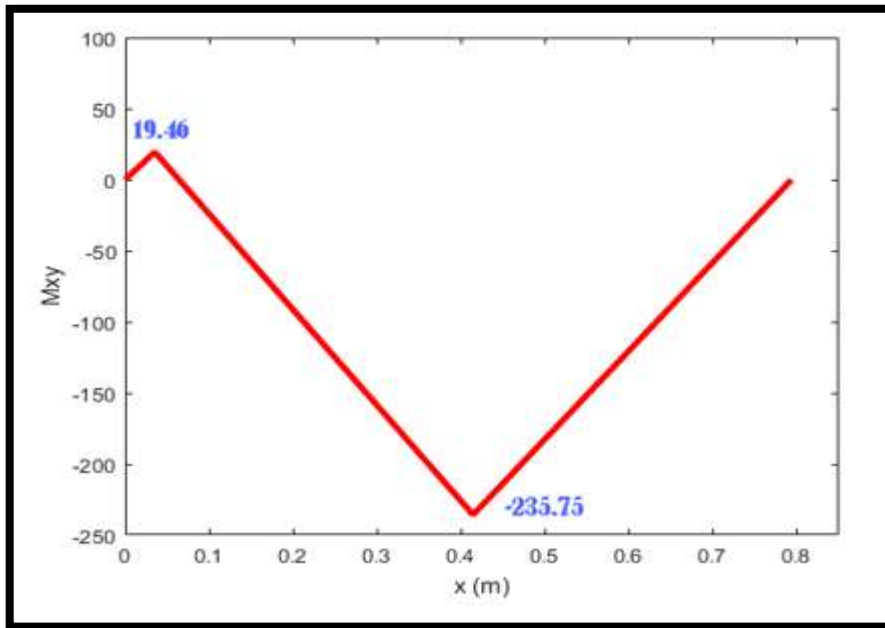


Fuente: Matlab

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- Diagrama de momento flector en xy

Gráfico 14.

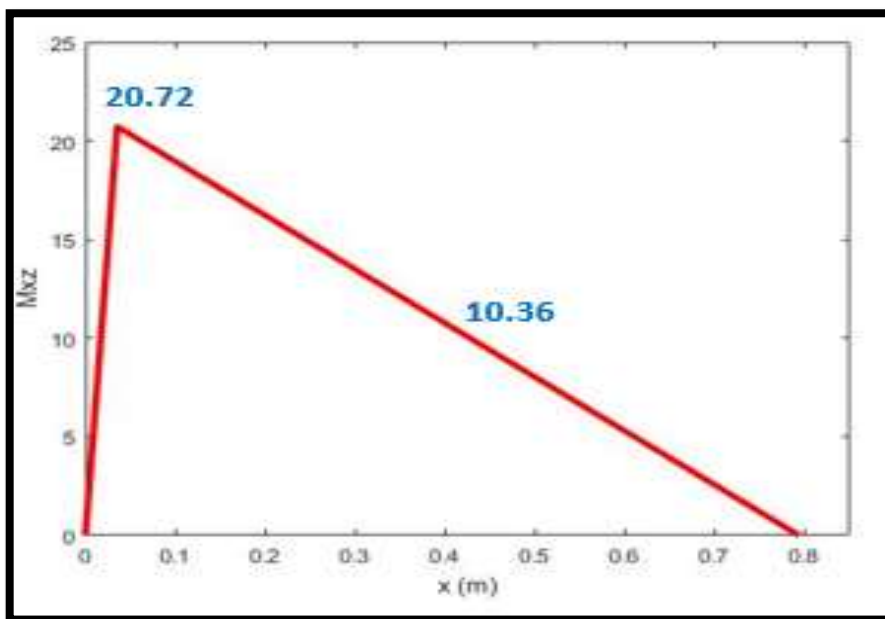


Fuente: Matlab

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- Diagrama de momento flector en xz

Gráfico 15.

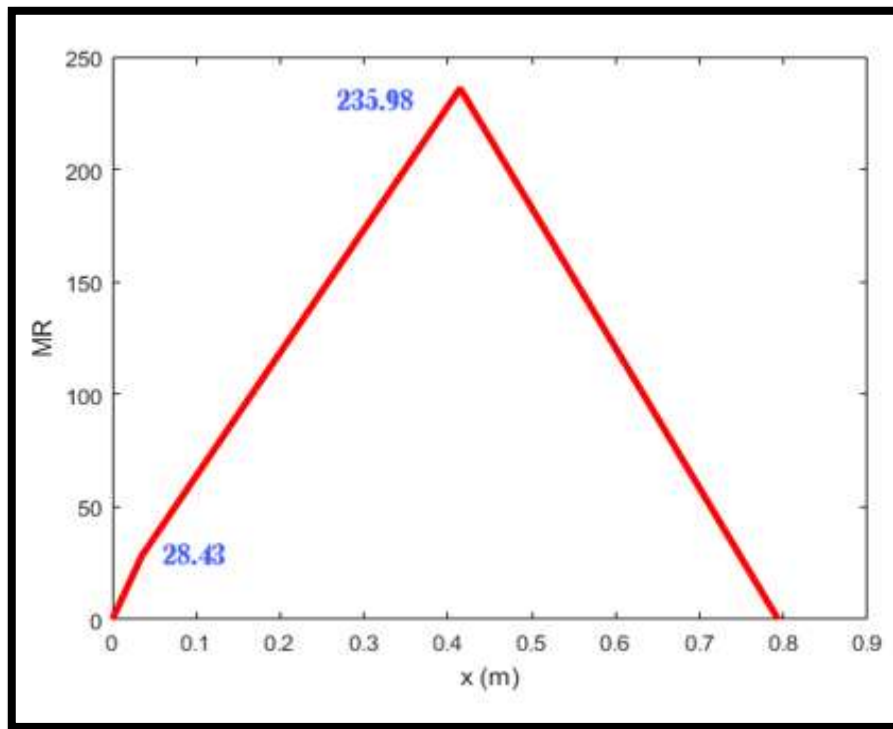


Fuente: Matlab

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- Diagrama de momento flector resultante

Gráfico 16.



Fuente: Matlab

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

- **Ecuación Teco Von Mises**

Mediante esta ecuación determinamos el diámetro de los ejes:

$$\left[\begin{array}{l} S_y = 215\text{MPa (AISI 304)} \\ N = 1.5 \\ M_f = 235.98\text{Nm} \\ T_p = 46.82\text{Nm} \\ F = 0\text{N} \end{array} \right.$$

Ecuación 42.

$$\left(\frac{S_y \pi}{4N}\right)^2 d^6 - (F^2)d^2 - (16MF)d - (64M_f^2 + 48T_p^2) = 0$$

$$\left(\frac{215 * 10^6 \text{Nm} * \pi}{4(1.5)}\right)^2 d^6 - ((0)^2)d^2 - (16(235.98\text{Nm})0\text{N})d - (64(235.98\text{Nm})^2 + 48(46.82\text{Nm})^2) = 0$$

$$(1.27 * 10^{16}\text{Nm})d^6 - 3669161.26 = 0$$

$$(1.27 * 10^{16}\text{Nm})d^6 = 3669161.26$$

$$d^6 = \frac{3669161.26}{(1.27 * 10^{16}\text{Nm})}$$

$$d = \sqrt[6]{\frac{3669161.26}{(1.27 * 10^{16}\text{Nm})}}$$

$$d = 0.0257\text{m} = 26\text{mm}$$

Estandarizando a un valor estándar

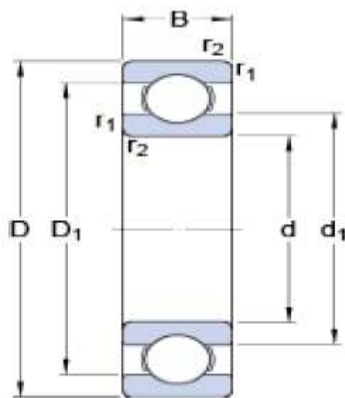
d = 30 mm

4.5. Diseño de rodamientos

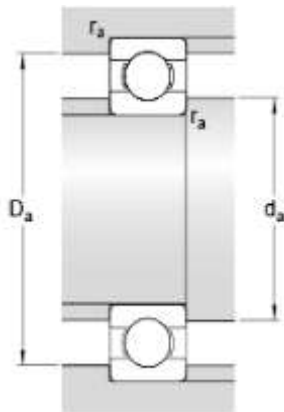
A continuación, se efectúa la selección de rodamientos que permitirán facilitar la rotación de los ejes:

- **Selección del rodamiento**

Se seleccionó un rodamiento de bolas SKF 16009, a continuación, se detallan sus características:



d	31.75 mm
D	75 mm
B	10 mm
d 1 ≈	55 mm
D 1 ≈	65 mm
r 1,2 min.	0.6 mm



d a min.	30 mm
D a max.	71.8 mm
r a max.	0.6 mm

- **Datos del rodamiento seleccionado**

Capacidad de carga dinámica C	14.0 kN
Capacidad de carga estática Co	10.8 kN
Carga limite P u	0.52 kN
Velocidad nominal	20000 r/min
Velocidad limite	12000 r/min
Factor k r	0.02
Factor fo	14.2

- **Vida del rodamiento**

Tabla 18. Vida del rodamiento (L_h)

CLASE DE MÁQUINAS.	L_h (horas de servicio)
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos de uso médico.	300 a 3000
Máquinas usadas intermitentemente: máquina-herramienta portátil, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción...	3000 a 8000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad funcionamiento intermitentemente: ascensores, grúas para mercancías embaladas...	8000 a 12000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no utilizadas totalmente: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso general, machacadoras giratorias.	10000 a 25000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizadas totalmente: máquina-herramienta, ventiladores, máquinas para trabajar madera, grúas para materiales a granel, cintas transportadoras, equipos de imprenta y máquinas para la industria mecánica en general.	20000 a 30000
Máquinas para trabajo continuo, 24h al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de minas, bombas, maquinaria textil.	40000 a 50000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos.	60000 a 100000

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: El valor L_h se los obtiene de acuerdo a la clase de máquina, se selecciona

$L_h = 300 - 3000$ horas de servicio.

Comprobación

Ecuación 43.

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^a$$

Para rodamientos de bolas $a=3$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \left(15.71 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)} \left(\frac{14.0 * 10^3}{962.82} \right)^3$$

$L_h = 1188.60$ horas de servicio

- **Ajustes en rodamientos**

Tabla 19. Ajustes recomendados para ejes de acero.

Condiciones de carga	Aplicaciones	Diámetro del eje o árbol		Tolerancia del eje
		Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	
Carga ligera P=6%C	Cintas transportadoras, reductores poco cargados	d<100	d<40	j6
		100=d<140	40=d<100	k6
Carga normal 6%C<P=12%C	Motores eléctricos, de combustión, turbinas, bombas, máquina-herramienta	d<100	d<40	j5
		100=d<140	40=d<100	k5
Carga severa P>12%C	Molinos para canteras, maquinaria pesada, ferrocarriles, trenes de laminación		d<50	n6
			50=d<140	p6
Ajustes para alojamientos de acero y fundición.				Tolerancia alojamiento
Carga ligera P=6%C	Poleas para cables, rodillos de cintas transportadoras			M7
Carga normal 6%C<P=12%C	Ruedas de traslación en grúas, cubos con rodamientos de bolas			N7
Carga severa P>12%C	Cabezas de biela, cubos con rodamientos de rodillos			P7

Fuente: Juan Marín

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Interpretación: De acuerdo a las condiciones de carga la tolerancia agujero-eje debe ser

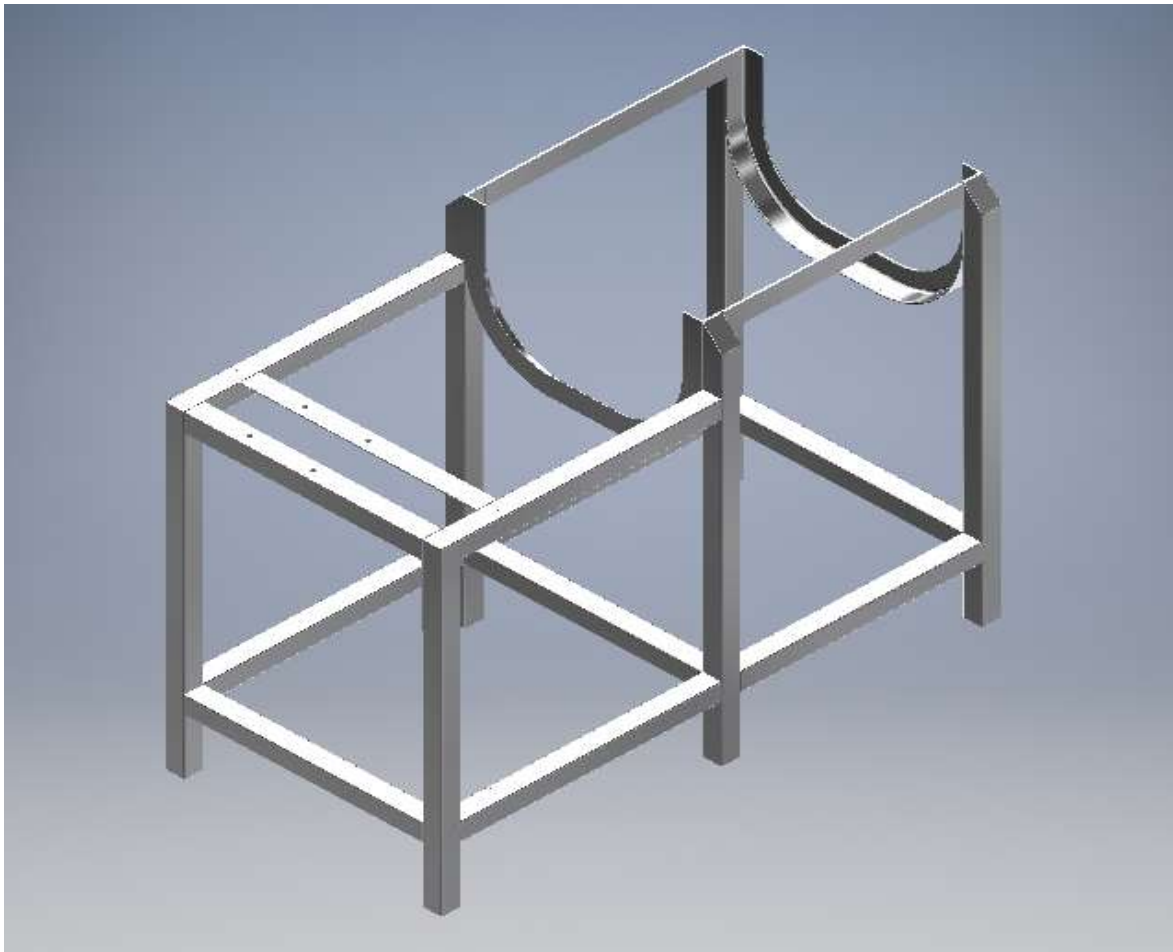
N7j6

4.6. Diseño de la estructura

La estructura de soporte se diseña en base a los parámetros calculados con anterioridad, se establece que debe resguardar parámetros de diseños y estéticos.

Para comprobar si la estructura cumple con las exigencias apropiadas se efectúa la simulación en el software Solidworks para realizar el análisis de elementos finitos. Se diseña la estructura estableciendo el material base acero inoxidable AISI 304 obteniendo lo siguiente:

Gráfico 17. Estructura de la máquina

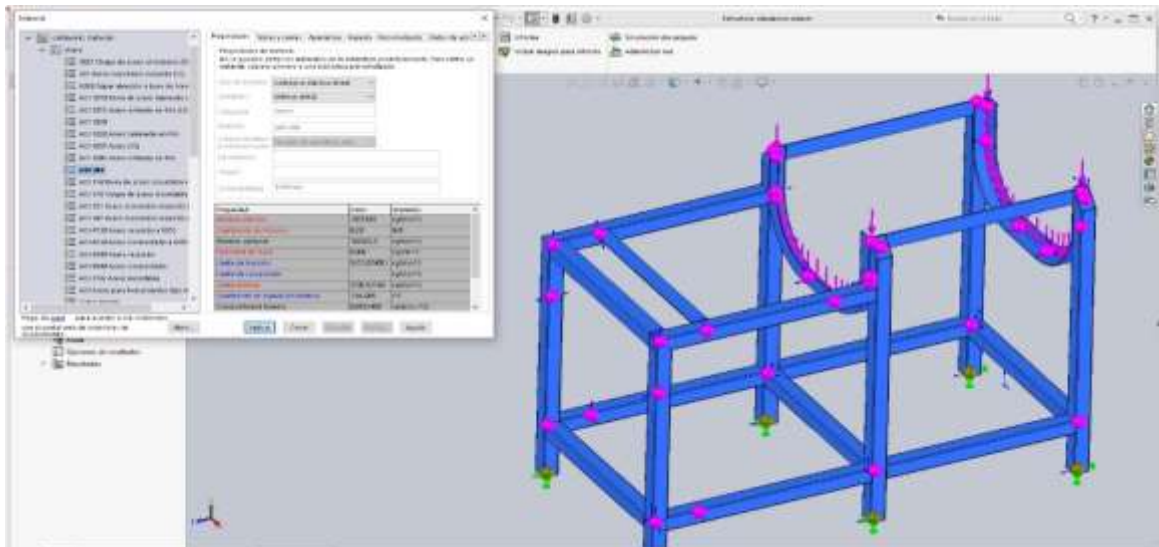


Fuente: Autor 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Se establecen los puntos de restricciones en donde la estructura será fija, en este caso estará fijada en el suelo, así como lo muestra el gráfico:

Gráfico 18. Restricciones y puntos fijos de la estructura

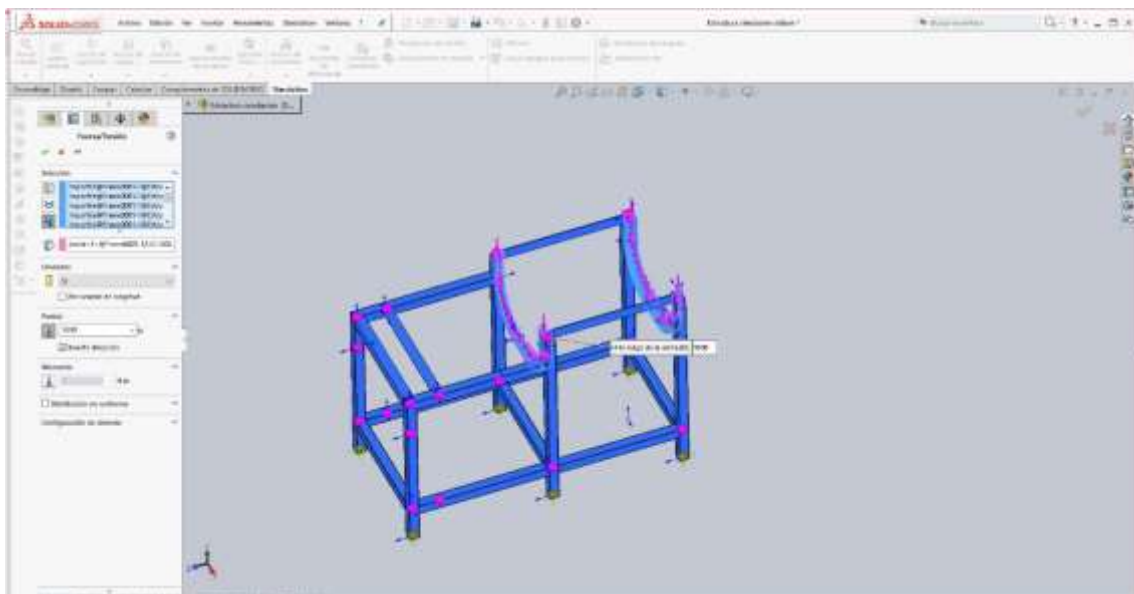


Fuente: Autor 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Se procede a aplicar las cargas a la que estará sometida la estructura en este caso el peso de todos los mecanismos que estarán sobre ella, incluyendo mezcladores, ejes, recipiente entre otros componentes y el peso de la masa que va a ser procesada 121.56 kg:

Gráfico 19. Fuerzas aplicadas en la estructura

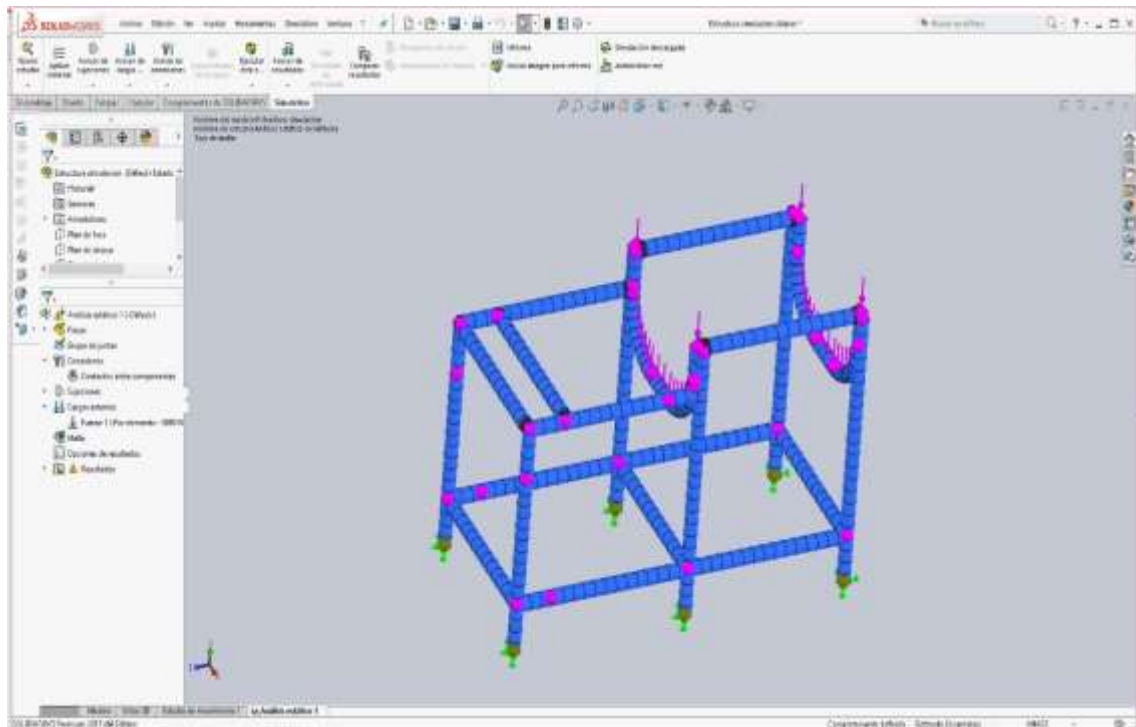


Fuente: Autor 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Posteriormente se efectúa el mallado automático que genera el software, el mismo que establece los parámetros de diseño para registrar todas las restricciones:

Gráfico 20. Esquema de mallado estructural

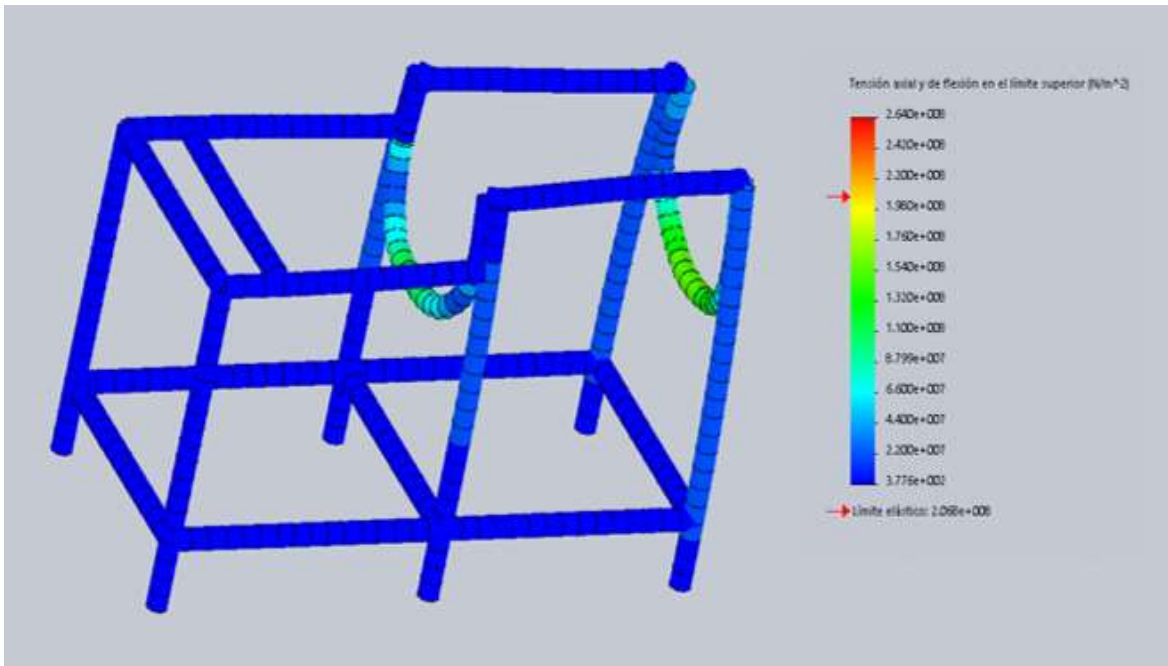


Fuente: Autor 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

Finalmente, este es el resultado de análisis:

Gráfico 21. Resultado del análisis de elementos finitos



Fuente: Autor 2017

Elaborado por: Alvarado Betancourt Edison (2017)

El resultado obtenido permite interpretar que los esfuerzos crean una deflexión máxima de 0.002 m. Se obtuvo también que el esfuerzo máximo que soporta la estructura es el que se muestra en el gráfico 21, de color verde que es aproximadamente de $1.6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ el cual no sobrepasa del límite de elasticidad que es de $2.068 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, esto representa que el material asignado se encuentra dentro de los requerimientos para un óptimo funcionamiento y va cumplir con un alto factor de seguridad puesto que el software nos admite simular las condiciones de trabajo real.

4.7. Estudio económico

COSTOS DIRECTOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	TOTAL
1	Ángulo L80x80x10 (INOX AISI 304)	unidad	136,05	136,05
1	Ángulo L50x50x6 (INOX AISI 304)	unidad	90,70	90,70
2	Tubo cuadrado de 2"x2.5 (INOX AISI 304)	unidad	77,37	154,74
1	Plancha de 9mm (INOX AISI 304)	unidad	725,00	725,00
2	Plancha de 3mm (INOX AISI 304)	unidad	284,86	569,72
2	Eje de 1" 1/2 (INOX AISI 304)	metro	52,27	104,54
1	Tubo cédula 40 de 2" (INOX AISI 304)	unidad	123,75	123,75
1	Eje de 2" 1/2 x 85mm (INOX AISI 304)	unidad	13,10	13,10
2	Eje de 3/4 (INOX AISI 304)	metro	13,25	26,50
1	Pulsador de marcha	unidad	12,50	12,50
1	contactor siemens 380/440v	unidad	47,00	47,00
1	Breaker 5SX1310-7 3P 10A 240V 10KA	unidad	18,45	18,45
2	Disco de corte NORTON 12"x3mm	unidad	4,50	9,00
1	Disco para desbastar 4 1/2"X1/4"X7/8"	unidad	3,25	3,25
1	Enchufle clavija de 32 AMP.	unidad	2,50	2,50
2	pedazos de plancha nylon de 137x40x18mm	unidad	7,70	15,40
1	pedazos de plancha nylon de 240x137x6mm	unidad	6,30	6,30
4	ejes de nylon de 73x40mm	unidad	3,25	13,00
4	chumacera	unidad	15,25	61,00
1	motor reductor SIEMENS-1400/150 RPM-220	unidad	3,25	3,25
2	válvulas de apertura	unidad	3,25	6,50
1	reley térmico Siemens 20-25 AMP	unidad	43,00	43,00
SUBTOTAL				2185,25
MANO DE OBRA				
Descripción	#	Salario/Hora	Horas	Total
Soldador	1	10	17	170
Tornero	1	10	6	60
Maestro Mecánico	1	10	60	600
SUBTOTAL				830
COSTOS INDIRECTOS				
Ingeniería y diseño	1	16	24	384
COSTO TOTAL				
Subtotal(costo directos+mano de obra+costos indirectos)				2569,25
Costos imprevistos 5%				128,46
IVA 12 %				323,73
TOTAL				3021,44

- **Cantidad de producción artesanal**

DESCRIPCCION	KG	UNIDADES	COSTO
Producción diaria	600	5000	\$ 6.250
	Valor semanal		\$ 37.500
	Valor anual		\$ 1'950.000
COSTO DE OPERADORES			
Cantidad		Costo anual	
3		14400	
TOTAL DE INGRESOS ANUALES			\$ 1'935.600

Artesanalmente sin máquina un quesero procesa 600kg de pasta hilada lo que le sirven para producir 5000 unidades, el valor de cada unidad es de \$ 1,25 lo que equivale a \$6250 diariamente, anualmente 1'950.000, restando el sueldo mensual de los 3 operadores el total de ingresos anuales es de **\$ 1'935.600**.

- **Cantidad de producción con máquina**

DESCRIPCCION	KG	UNIDADES	COSTO
Producción diaria	972,48	8104	\$ 10.130
	Valor semanal		\$ 60.780
	Valor anual		\$ 3'160.560
COSTO DE OPERADORES			
Cantidad		Costo anual	
1		7200	
OTROS COSTOS			
Costo de mantenimiento		400	
Costos de energía eléctrica		150	
TOTAL DE INGRESOS ANUALES			\$ 3'160.010

Un quesero producirá con máquina diariamente 972,48kg para 8104 unidades lo que equivale a un valor de 10130 semanales, 3'160.560 anuales, restándoles los valores de costos de operador, mantenimiento y energía eléctrica, el total de ingresos anuales es de **\$ 3'160.010**.

- **Beneficio**

Producción sin máquina	\$ 1'935.600
Producción con máquina	\$ 3'160.010
Ganancias	\$ 1'210.560

Comparando el valor anual de producción sin máquina entre el valor de producción con máquina se obtiene que un productor quesero anualmente obtendrá **\$ 1'210.560** más de producción.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los estudios realizados en esta investigación nos permitieron determinar que los materiales necesarios para su construcción son el acero inoxidable AISI 304 en la estructura, ejes, mezcladores y sus componentes, el acero AISI 1015 en los engranajes, la capacidad de la máquina para el proceso del malaxado es 121.56kg de queso, cumpliendo satisfactoriamente la necesidad del productor quesero al realizar el proceso del malaxado del queso de pasta hilada.
- Se diseñó la máquina para el proceso del malaxado del queso de pasta hilada, la cual ya con su conjunto ensamblado presenta las siguientes dimensiones de 1733x1204x500mm (largo, alto y ancho respectivamente), dimensionando y comprobando el correcto rendimiento en la aplicación de mecanismo utilizado en el diseño, donde corrimos la simulación utilizando el análisis de elementos finitos para ver las posibles fallas que pueda sufrir la estructura.
- Se detallaron los costos necesarios de todos los materiales y mecanismos para la construcción de la máquina para el proceso del malaxado del queso, la cual su valor total es de \$ 3021,44.

5.2. Recomendaciones

- Se debe tomar en cuenta que al ingresar el producto por la parte alimentadora no sobrecargar la maquina a más de lo que está estipulado en el diseño, por tal razón de que se está forzando, conduciendo a un colapso y una paralización al momento de efectuarse la producción.
- Se debe tomar en cuenta que el producto debe ingresar a media de que la maquina vaya realizando el proceso, porque las medidas de diseño establecen que el producto se va hilando de acuerdo a las revoluciones de los mezcladores.
- Es necesario que después de cada proceso se realice la respectiva limpieza de todos los mecanismos que están en constante contacto directo con el producto para evitar contaminación.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

- [1] R. G. B. y. J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, McGraw-Hill/Interamericana, 2008, pp. 4-5.
- [2] C. R. Romeva, Selección de materiales en el diseño de máquinas, EDICIONES UPC, 2008.
- [3] Michael F. Ashby , David R. H. Jones, Materiales para ingeniería 1, Barcelona: Reverté, S.A., 2008.
- [4] S. Ramirez-Nolla y J. F. Vélez-Ruiz, «Queso Oaxana: panorama del proceso de elaboración, características fisicoquímicas y estudios recientes de una queso típico mexicano,» p. 12, 2012.
- [5] Villegas de Gante, A. Antonio, G Hernández, Evolución de la calidad textural de queso Oaxaca elaborado con tres técnicas distintas, Alfa Editores Técnicos. 1:29-36, 2005.
- [6] I. J. F. M. S. Zapata, Diseño de Elementos de Máquinas 1- Primera Edición, Piura, 2013.
- [7] J. William D. Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 1, Barcelona: Reverté, S.A., 2007.
- [8] J. GERE, Mecánica de Materiales, España: OVA, 2009.
- [9] Festo, «Conocimientos profesionales y soluciones para la industria alimentaria y de bebidas- Festo,» 2013. [En línea]. Available: www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_materials_es.pdf. [Último acceso: 30 Marzo 2017].
- [10] A. Manufacturas, «ALFA Manufacturas-Mezclador de cintas helicoidales,» [En línea]. Available: <http://www.alfamanufacturas.com/curriculum/Mezcladoras/MEZCLADOR%20DE%20LISTONES%20HELICOIDALES.pdf>. [Último acceso: 28 Marzo 2017].
- [11] QuimiNet, «QumiNet.com,» 11 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/las-mezcladoras-de-cintas-helicoidales-para-mezclar-polvos-y-granulados-2638621.htm>. [Último acceso: 28 Marzo 2017].
- [12] A. E. Fitzgerald, Electric Machinery, Mc Graw Hill , 2013.
- [13] Francisco T. Sánchez Marín, Antonio Pérez Gonzales, Joaquín L. Sancho Bru, Pablo j. Rodríguez Cervantes, Mantenimiento Mecánico de Máquinas, Publicacions de la Universitat Jaume I., 2006.

- [14] P. Robert L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Mexico: PEARSON Educación, 2009.
- [15] N. - I. -. 1528, «Norma general para quesos frescos no madurados,» *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2012.
- [16] A. C. C. Vargas, «Efectos de la adición de un dextrano sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y funcionales de queso de pasta hilada semigraso,» de *Tesis de Magister en Ciencias y Tecnología de Alimentos*, Bogotá - Colombia, 2014, pp. 16 - 18.
- [17] Juan Sebastián Ramírez Navas ; Mauricio Osorio Londoño; Aida Rodríguez de Stouvenel, «El queso: Un queso colombiano de pasta hilada,» *Tecnología Lactea Latinoamericana*, pp. 63 - 66, Colombia - 2010.
- [18] J. J. G. Ramirez, «Propuesta de Desarrollo de Diferentes Sabores de Queso de Cabra,» Cuenca, 2015, pp. 73 - 74.
- [19] Novoa C, Rodríguez A., «Guía para elabora quesos colombianos,» Bogotá , 1995.
- [20] I.-I. E. d. Normalización, *Código de Práctica para manipulación de alimentos*, Quito, 1987.
- [21] A. E. I. SI- DIRECCIÓN DE MÉTODOS, «SNI,» 24 Febrero 2014. [En línea]. Available: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1205_QUEVEDO_LOS%20RIOS.pdf. [Último acceso: 3 Abril 2017].
- [22] J. M. .. M. García, *Apuntes de Diseño de Máquinas*, San Vicente: Club Universitario, 2008.
- [23] V. D. Bhandari, *Machine Design Data Book*, India: McGraw Hill Education , 2014.
- [24] Prakash Mahadeo Dixit- Uday Shanker Dixit, *Modeling of Metal Forming and Machining Processes*, London: Springer, 2008.
- [25] I. 6336-1, *Calculation of load capacity of spur and helical gears*, 1996.

CAPITULO VII

ANEXOS

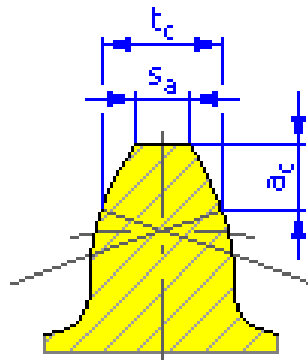
Anexo 1. Datos de engranajes

Parámetros comunes

Coefficiente de engranaje	i	1,0000 su
Coefficiente de engranaje deseado	i_{in}	1,0000 su
Módulo	m	2,000 mm
Ángulo de hélice	β	0,0000 gr
Ángulo de presión	α	20,0000 gr
Distancia al centro	a_w	160,000 mm
Distancia al centro del producto	a	160,000 mm
Separación circular	p	6,283 mm
Separación circular base	p_{tb}	5,904 mm
Ángulo de presión de funcionamiento	α_w	20,0000 gr
Coefficiente de contacto	ε	1,8257 su
Desviación límite del paralelismo entre ejes	f_x	0,0110 mm
Desviación límite del paralelismo entre ejes	f_y	0,0055 mm

Fuente: Autodesk Inventor

Gráfico 22. Datos del engranaje



FUENTE: Autodesk Inventor, 20017

Engranajes

		Engranaje 1	Engranaje 2
Tipo de modelo		Componente	Sin modelo
Número de dientes	z	80 su	80 su
Corrección unitaria	x	0,0000 su	0,0000 su
Diámetro de separación	d	160,000 mm	160,000 mm
Diámetro exterior	d_a	164,000 mm	164,000 mm

Diámetro raíz	d_f	155,000 mm	155,000 mm
Diámetro de círculo base	d_b	150,351 mm	150,351 mm
Diámetro de separación de trabajo	d_w	160,000 mm	160,000 mm
Anchura de cara	b	20,000 mm	20,000 mm
Coefficiente de anchura de cara	b_r	0,1250 su	0,1250 su
Altura de cabeza del diente	a^*	1,0000 su	1,0000 su
Juego	c^*	0,2500 su	0,2500 su
Empalme raíz	r_f^*	0,3500 su	0,3500 su
Grosor de diente	s	3,142 mm	3,142 mm
Grosor de diente tangencial	s_t	3,142 mm	3,142 mm
Grosor de diente sobre cuerda	t_c	2,774 mm	2,774 mm
Altura de cabeza de diente sobre cuerda	a_c	1,495 mm	1,495 mm
Cota sobre cuerda	W	58,331 mm	58,331 mm
Dientes de cota sobre cuerda	z_w	10,000 su	10,000 su
Cota sobre (entre) conductores	M	165,047 mm	165,047 mm
Diámetro de conductor	d_M	3,500 mm	3,500 mm
Desviación límite del ángulo de hélice	F_β	0,0110 mm	0,0110 mm
Oscilación circunferencial radial límite	F_r	0,0280 mm	0,0280 mm
Desviación límite de la separación axial	f_{pt}	0,0085 mm	0,0085 mm
Desviación límite de la separación básica	f_{pb}	0,0080 mm	0,0080 mm
Número virtual de dientes	z_v	80,000 su	80,000 su
Diámetro de separación virtual	d_n	160,000 mm	160,000 mm
Diámetro exterior virtual	d_{an}	164,000 mm	164,000 mm
Diámetro de círculo base virtual	d_{bn}	150,351 mm	150,351 mm
Corrección unitaria sin conicidad	x_z	-1,3702 su	-1,3702 su
Corrección unitaria sin entalladura	x_p	-3,6594 su	-3,6594 su
Corrección unitaria con entalladura admitida	x_d	-3,8294 su	-3,8294 su
Truncamiento cabeza diente	k	0,0000 su	0,0000 su
Unidad de grosor del diente exterior	s_a	0,7989 su	0,7989 su
Ángulo de presión en la punta	α_a	23,5412 gr	23,5412 gr

Fuente: Autodesk Inventor

Cargas

		Engranaje 1	Engranaje 2
Potencia	P	1,000 kW	0,980 kW
Velocidad	n	1000,00 rpm	1000,00 rpm
Par de torsión	T	9,549 N m	9,358 N m
Eficiencia	η	0,980 su	
Fuerza radial	F_r	43,446 N	
Fuerza tangencial	F_t	119,366 N	
Fuerza axial	F_a	0,000 N	
Fuerza normal	F_n	127,027 N	
Velocidad circunferencial	v	8,378 mps	
Velocidad de resonancia	n_{EI}	2685,365 rpm	

Fuente: Autodesk Inventor

Material

		Engranaje 1	Engranaje 2
		Acero fundido al carbono	Acero fundido al carbono
Resistencia máxima a tracción	S_u	590 MPa	590 MPa
Límite de elasticidad	S_y	300 MPa	300 MPa
Módulo de elasticidad	E	206000 MPa	206000 MPa
Coefficiente de Poisson	μ	0,300 su	0,300 su
Límite de fatiga por plegado	σ_{Flim}	316,0 MPa	316,0 MPa
Límite de fatiga por contacto	σ_{Hlim}	1140,0 MPa	1140,0 MPa
Dureza de postizo de diente	JHV	210 su	210 su
Dureza de lado del diente	Muy alto voltaje	600 su	600 su
Número base de ciclos de carga en plegado	N_{Flim}	3000000 su	3000000 su
Número base de ciclos de carga en contacto	N_{Hlim}	100000000 su	100000000 su
Exponente de curva de Wöhler para plegado	q_F	6,0 su	6,0 su
Exponente de curva de Wöhler para contacto	q_H	10,0 su	10,0 su
Tipo de tratamiento	tipo	2 su	2 su

Fuente: Autodesk Inventor

Cálculo de resistencia

- **Factores de carga adicional**

Factor de aplicación	K_A	1,200 su	
Factor dinámico	K_{Hv}	1,798 su	1,798 su
Factor de carga de cara	K_{Hp}	2,812 su	2,046 su
Factor de carga transversal	$K_{H\alpha}$	1,380 su	1,513 su
Factor de sobrecarga única	K_{AS}	1,000 su	

Fuente: Autodesk Inventor

- **Factores de contacto**

Factor de elasticidad	Z_E	189,812 su
Factor de zona	Z_H	2,495 su

Factor de coeficiente de contacto	Z_e	0,851 su	
Factor de contacto de par único de dientes	Z_B	1,000 su	1,000 su
Factor de vida útil	Z_N	1,000 su	1,000 su
Factor de lubricante	Z_L	0,962 su	
Factor de rugosidad	Z_R	1,000 su	
Factor de velocidad	Z_v	0,994 su	
Factor de ángulo de hélice	Z_β	1,000 su	
Factor de tamaño	Z_X	1,000 su	1,000 su
Fact. endurecimiento por deformación en frío	Z_W	1,000 su	

Fuente: Autodesk Inventor

- **Factores de plegado**

Factor de forma	Y_{Fa}	2,234 su	2,234 su
Factor de corrección de tensión	Y_{Sa}	1,794 su	1,794 su
Factor de dientes con muescas rectific.	Y_{Sag}	1,000 su	1,000 su
Factor de ángulo de hélice	Y_β	1,000 su	
Factor de coeficiente de contacto	Y_e	0,661 su	
Factor de carga alterna	Y_A	1,000 su	1,000 su
Factor de tecnología de producción	Y_T	1,000 su	1,000 su
Factor de vida útil	Y_N	1,000 su	1,000 su
Factor de sensibilidad de muesca	Y_δ	1,255 su	1,255 su
Factor de tamaño	Y_X	1,000 su	1,000 su
Factor de superficie de raíz de diente	Y_R	1,000 su	

Fuente: Autodesk Inventor

- **Resultados**

Coefficiente de seguridad contra corrosión	S_H	3,422 su	3,422 su
Coef. seguridad contra rotura de diente	S_F	7,516 su	7,516 su
Seguridad estática en contacto	S_{Hst}	2,637 su	2,637 su
Seguridad estática en plegado	S_{Fst}	14,967 su	14,967 su

Fuente: Autodesk Inventor

Anexo 2. Propiedades del acero AISI 304

Navegador de materiales

Buscar

Materiales de documento

Nombre

- Acero inoxidable
- Acero inoxidable AISI 304**
- Genérico

Biblioteca de materiales de Autodesk

Nombre	Categoría
Acero ASTM A53	Metal
Acero ASTM A572	Metal
Acero ASTM A913	Metal
Acero inoxidable	Metal
Acero inoxidable 302 AISI	Metal
Acero inoxidable AISI 202	Metal
Acero inoxidable AISI 304	Metal
Acero inoxidable AISI 309	Metal
Acero inoxidable AISI 310	Metal
Acero inoxidable AISI 317	Metal
Acero inoxidable AISI 405	Metal
Acero inoxidable AISI 430	Metal
Acero inoxidable AISI 440C, soldado	Metal
Acero inoxidable AISI 446	Metal
Acero inoxidable, 440C	Metal
Acero inoxidable, austenítico	Metal
Acero inoxidable, bruñido	Metal
Acero inoxidable, pulido	Metal
Acero MAN-TEN	Metal
Acero RQC100	Metal
Acero, acabado de pintura, azul	Metal
Acero, acabado d...ris oscuro, mate	Metal

Editor de materiales: Acero inoxidable AISI 304

Identidad | Aspecto | Físico

► Información

▼ Térmico básico

Conductividad térmica 2,167E-04 UTB/ (en · seg · °)

Calor específico 0,119 utb/ (Lb · °F)

Coefficiente...ión térmica 9,611E-06 inv °F

▼ Mecánico

Comportamiento Isótropo

Módulo de Young 2,828E+07 psi

Coefficiente de Poisson 0,29

Módulo cortante 1,247E+07 psi

Densidad 0,289 libra por pulgada cúb

▼ Resistencia

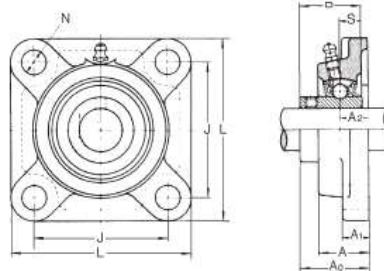
Límite de elasticidad 3,118E+04 psi

Resistencia ...a a tracción 7,324E+04 psi

Tratado térmicamente

Fuente: Autodesk Inventor

Anexo 3. Catálogo de chumacera



Soporte de brida cuadrada
MUCF 200 Inoxidable de 12 a 50 mm.
MUCB 200 Plastic serie de 12 a 40 mm.

Ø EJE mm	MODELO	DIMENSIONES										TAMAÑO PERNO mm	CAPACIDAD BÁSICA DE CARGA(KN)			ALOJA- MIENTO Nº	PESO kg
		H	L	J	A	N	N1	H1	H2	B	Nº		DINÁMICA Cr	ESTÁTICA Cor			
12	UCF 201	86	64	15	12	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC 201	12.8	6.6	F 203	0.63	
15	UCF 202	86	64	15	12	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC 202	12.8	6.6	F 203	0.61	
17	UCF 203	86	64	15	12	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC 203	12.8	6.6	F 203	0.60	
20	UCF 204	86	64	15	12	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC 204	12.8	6.6	F 204	0.58	
25	UCF 205	95	70	16	14	27	12	35.7	34.1	14.3	M10	UC 205	14.0	7.9	F 205	0.72	
30	UCF 206	108	83	18	14	31	12	40.2	38.1	15.9	M10	UC 206	19.6	11.3	F 206	1	
35	UCF 207	117	92	19	16	34	14	44.4	42.9	17.5	M12	UC 207	25.9	15.4	F 207	1.4	
40	UCF 208	130	102	21	16	36	16	51.2	49.2	19	M14	UC 208	29.3	17.9	F 208	1.8	
45	UCF 209	137	105	22	18	38	16	52.2	49.2	19	M14	UC 209	33.0	20.5	F 209	2.1	
50	UCF 210	143	111	22	18	40	16	54.6	51.6	19	M14	UC 210	35.5	23.2	F 210	2.4	
55	UCF 211	162	130	25	20	43	19	58.4	55.6	22.2	M16	UC 211	43.0	29.4	F 211	3.4	
60	UCF 212	175	143	29	20	48	19	68.7	65.1	25.4	M16	UC 212	52.5	36.1	F 212	4	
65	UCF 213	187	149	30	20	50	19	69.7	65.1	25.4	M16	UC 213	57.5	40.0	F 213	5	
70	UCF 214	193	152	31	24	54	19	75.4	74.6	30.2	M16	UC 214	62.0	44.0	F 214	5.6	
75	UCF 215	200	159	34	24	56	19	78.5	77.8	33.3	M16	UC 215	66.0	48.2	F 215	6	
80	UCF 216	208	165	34	24	58	23	83.3	82.6	33.3	M20	UC 216	72.5	53.0	F 216	7.5	
85	UCF 217	220	175	36	26	63	23	87.6	85.7	34.1	M20	UC 217	83.5	61.8	F 217	8.8	
90	UCF 218	235	187	40	26	68	23	96.3	96	39.7	M20	UC 218	95.5	71.4	F 218	10.7	

Fuente: Catálogos SKF

Anexo 4. Características del motor seleccionado

53N/167	Motor reductor Marca SIEMENS Potencia 0'75 kw, 1.400 rpm, 220/380V Reductor Marca CEHSHEIMER 1CV Potencia 1 CV Entrada 1.500 rpm; salida 150 rpm Patas	
---------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: Catálogos SIEMENS

Anexo 5. Planos