



# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE UNA MÁQUINA HILADORA PARA QUESO DE PASTA HILADA TIPO MOZZARELLA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

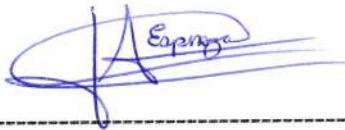
**ALVARO MIGUEL ESPINOZA ZABALA**  
**alvaro.espinoza@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. GUACHAMÍN ACERO WILSON IVÁN, PhD.**  
**wilson.guachamin@epn.edu.ec**

**DMQ, FEBRERO 2023**

## CERTIFICACIÓN

Yo, **ALVARO MIGUEL ESPINOZA ZABALA** declaro que el trabajo de integración curricular 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.



-----  
Alvaro Miguel Espinoza Zabala

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollo por **ALVARO MIGUEL ESPINOZA ZABALA** bajo mi supervisión.



-----  
Ing. Wilson Guachamín, PhD

**DIRECTOR**

## DECLARACIÓN

Yo, **Alvaro Miguel Espinoza Zabala**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



**Alvaro Miguel Espinoza Zabala**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, El amigo incondicional que me ha brindado la entereza y la voluntad de seguir en momentos difíciles. A mis padres, Wilson Espinoza y Katty Zabala, quienes a través de su sacrificio, consejo, conocimiento y guía me han impulsado para culminar otra etapa en mi educación.

A mi hermana, Karen Espinoza, que con su trabajo silencioso a una corta edad no se cansa de ser un ejemplo de ser humano no solo para mí, sino para la gente que la rodea.

**Alvaro Miguel Espinoza Zabala**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento a toda mi familia, que de una u otra forma siempre han estado pendientes de mis estudios, me han aconsejado y presionado durante toda la carrera.

Para mis amigos y compañeros que he ido consiguiendo a través de todos estos años quienes han estado presente no solo en los momentos de estudio, sino que me han brindado alegrías y risas que no podré olvidar. Un agradecimiento especial a mi compañero de titulación, Santiago Ortega, a quien valoro y aprecio mucho por su paciencia, consejo y amistad que nos han permitido sobrellevar momentos de apremio no solo en este trabajo de titulación sino a lo largo de toda la carrera.

A la Universidad, el personal y todos los ingenieros que conforman el cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica por su guía y conocimiento transmitido a lo largo de estos años. En especial al ingeniero Wilson Guachamín, por guiar este proyecto de titulación.

Al ingeniero Wilson Espinoza, por la colaboración y guía para el diseño y construcción de la máquina Hiladora esperando que sirva de base para el crecimiento de la empresa “Industrias WEB”.

**Alvaro Miguel Espinoza Zabala**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo General .....	2
Objetivo Específicos .....	2
<b>Alcance</b> .....	2
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
1.1. El queso .....	3
1.2. Proceso de producción del queso .....	4
1.3. Queso de pasta hilada .....	5
1.3.1. Tipos de quesos hilados producidos en el Ecuador .....	7
1.4. Estándares de calidad requeridos para la producción de quesos .....	7
1.5. Análisis de productos de la competencia (benchmarking) .....	8
1.6. Diseño de elementos mecánicos .....	13
1.6.1. Diseño a fatiga de ejes .....	13
1.7. Selección de rodamientos .....	15
1.7.1. Carga dinámica equivalente del rodamiento .....	15
1.8. Transmisión mediante cadena .....	16
1.8.1. Selección del piñón conductor .....	17
1.8.2. Selección del piñón conducido .....	17
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	18
2.1. Determinación de las especificaciones técnicas de la máquina .....	20
2.1.1. Voz del usuario .....	20
2.1.2. Voz del ingeniero .....	20
2.1.3. Casa de la calidad .....	21
2.2. Especificaciones técnicas .....	22
2.3. Análisis funcional .....	23
2.3.1. Desarrollo de los diagramas funcionales .....	23
2.3.2. Definición de módulos .....	23
2.3.3. Soluciones para cada módulo .....	25
2.3.4. Selección y estudio de alternativas .....	32
2.4. Matriz morfológica .....	38
2.4.1. Diseño conceptual de la máquina .....	39
2.5. Cálculo de componentes y selección de materiales .....	40
2.5.1. Dimensionamiento de la tina .....	40
2.5.2. Dimensionamiento del eje agitador .....	45
2.5.3. Potencia de trabajo .....	52
2.5.4. Diseño a fatiga del eje soporte .....	58
2.5.5. Diseño a fatiga del eje principal .....	60

2.5.6. Selección de chavetas .....	63
2.5.7. Selección de pasador de sujeción .....	64
2.5.8. Selección de chumaceras .....	65
2.6. Protocolo de pruebas propuesto.....	66
2.6.1. Protocolo de uso .....	66
3. RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	68
3.1. Resultados .....	68
3.2. Discusión.....	68
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
4.1. Conclusiones.....	70
4.2. Recomendaciones .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
ANEXOS .....	73

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Variedades de queso establecidas en la norma NTE INEN 1528 .....	3
Tabla 1.2. Aspectos a considerar para el diseño de una máquina dedicada a la industria alimentaria en el Ecuador según el reglamento de buenas prácticas de manufactura (Ministerio de Salud Pública).....	8
Tabla 1.3. Malaxadora MLE - SG .....	8
Tabla 1.4. Hiladora – MF10AV .....	10
Tabla 1.5. Malaxadora HMT .....	11
Tabla 1.6. Hiladora a Vapor LAB 18-600 .....	12
Tabla 1.7. Ecuaciones para diseño a fatiga .....	14
Tabla 2.1. Requerimientos voz del ingeniero.....	21
Tabla 2.2. Especificaciones técnicas .....	22
Tabla 2.3. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 1: Almacenador de la cuajada.....	26
Tabla 2.4. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 2: Sistema de control de la hiladora. ....	27
Tabla 2.5. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 3: Mecanismo de hilado. 28	
Tabla 2.6. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 4: Calentamiento de la cuajada.....	30
Tabla 2.7. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 5: Transporte de pasta hilada .....	32
Tabla 2.8. Combinación de alternativas del Módulo 1: Almacenador de la cuajada .....	32

Tabla 2.9. Conclusiones Módulo 1: Almacenador de cuajada .....	33
Tabla 2.10. Combinación de alternativas del Módulo 2: Sistema de control para la hiladora	34
Tabla 2.11. Conclusiones módulo 2: Sistema de control para la hiladora. ....	34
Tabla 2.12. Combinación de alternativas del Módulo 3: Mecanismo de hilado. ....	35
Tabla 2.13. Conclusiones Módulo 3: Mecanismo de hilado .....	36
Tabla 2.14. Combinación de alternativas del Módulo 4: Calentamiento de la cuajada. ....	36
Tabla 2.15. Conclusión Módulo 4: Calentamiento de la cuajada. ....	37
Tabla 2.16. Combinación de alternativas del Módulo 5: Transporte de la pasta hilada .....	37
Tabla 2.17. Conclusión Módulo 5: Transporte de pasta hilada. ....	38
Tabla 2.18. Matriz morfológica de soluciones.....	39
Tabla 2.19. Propiedades físicas de la cuajada y queso mozzarella.....	40
Tabla 2.20. Tabla de reacciones y momento máximo de la tina. ....	44
Tabla 2.21. Datos iniciales para el experimento. ....	47
Tabla 2.22. Resultados del experimento para determinar la constante k del resorte.....	48
Tabla 2.23. Resultados del experimento para la obtención de fuerzas ejercidas en la hélice en distintas fases .....	49
Tabla 2.24. Comparación de fuerzas experimentales con fuerzas reales en la componente horizontal de la hélice .....	50
Tabla 2.25. Comprobaciones de distancia de centros y diámetros exteriores de piñones....	54
Tabla 2.26. Datos técnicos de la transmisión de potencia. ....	55
Tabla 2.27. Resultados del eje principal. ....	61
Tabla 2.28. Resumen de diagramas del eje principal.....	61
Tabla 2.29. Tabla de valores para determinar el factor de seguridad en el eje principal. ....	63

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1. Proceso de elaboración de queso de pasta hilada. ....	4
Figura 1.2. Máquina hiladora de queso.....	5
Figura 1.3. Hilado manual de la cuajada.....	6
Figura 1.4. Moldes plásticos para Queso.....	6
Figura 1.5. Proceso de Empacado de quesos por calor.....	7
Figura 1.6. Partes de la máquina malaxadora MLE-SG.....	9
Figura 1.7. Mecanismo de malaxado por doble lazo (tornillo sin fin).. ....	9
Figura 1.8. Partes de la máquina Hiladora MFV10AV.....	10



Figura 1.9. Mecanismo de paletas dobles..	10
Figura 1.10. Partes de la máquina Malaxadora HMT-150S..	11
Figura 1.11. Proceso de hilado a través del mecanismo de doble lazo (tornillo sin fin)..	11
Figura 1.12. Máquina Hiladora a Vapor LAB 18-600.....	12
Figura 1.13. Diagrama S-N para el acero UNS G41300 normalizado. ....	13
Figura 1.14. Representación de las cargas radiales y axiales en un rodamiento.....	15
Figura 1.15. Elementos del sistema de transmisión por cadena sin fin. ....	16
Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto.....	19
Figura 2.2. Diagrama funcional Nivel 0 .....	23
Figura 2.3. Diagrama funcional por módulos. ....	24
Figura 2.4. Funciones establecidas en la máquina hiladora sin un orden establecido.....	25
Figura 2.5. Diseño conceptual de la maquina hiladora.....	40
Figura 2.6. Esquema de la tina.....	41
Figura 2.7. Diagrama de cuerpo libre de la tina .....	42
Figura 2.8. DCL de la tina considerando una viga apoyada en sus extremos.....	43
Figura 2.9. Diagrama de cortante y momento flector de la tina.....	44
Figura 2.10. Tornillo sinfín agitador.....	45
Figura 2.11. Geometría de la hélice tipo listón con poste.....	46
Figura 2.12. Prototipo construido del tornillo sinfín y de una hélice .....	46
Figura 2.13. (a) Cuajada (Fase sólida), (b) Fase transitoria, (c) Fase chiclosa (Pasta hilada), (d) Colocación del dinamómetro.....	47
Figura 2.14. Representación esquemática del experimento .....	48
Figura 2.15. Dinamómetro casero .....	48
Figura 2.16. Fuerzas que actúan en la hélice agitadora y análisis de fuerzas. ....	50
Figura 2.17. DCL de la hélice considerando una sección de placa cuasi empotrada .....	51
Figura 2.18. Diagrama del tren de potencia.....	53
Figura 2.19. Tabla de capacidad No.60 paso $\frac{3}{4}$ ", potencia (HP) .....	55
Figura 2.20. Distancia entre centros y ángulos de contacto del tren de potencia.....	56
Figura 2.21. Diagrama de fuerzas del piñón A, conductor .....	57
Figura 2.22. Diagrama de fuerzas del piñón B, conducido.....	57
Figura 2.23. Diagrama de fuerzas del piñón C, auxiliar.....	57
Figura 2.24. Diagrama de fuerzas del piñón D, tensor. ....	57
Figura 2.25. DCL del eje soporte de hélice.....	58
Figura 2.26. Esquema del eje principal.....	60

Figura 2.27. DCL del eje principal. ....	61
Figura 2.28. Tipos de chavetas. ....	64
Figura 2.29. Esquema de conexión del eje motriz con el eje agitador.....	65

## RESUMEN

En los sectores rurales de Ecuador, las microempresas dedicadas a la producción y procesamiento de productos lácteos utilizan técnicas artesanales que pueden ser tecnificadas. Un producto ampliamente elaborado en estas empresas es el queso mozzarella. El objetivo del presente trabajo es diseñar una máquina para elaborar un queso tipo mozzarella. Para ello, se utiliza la información disponible como base para un diseño conceptual. También se consideran los requerimientos y especificaciones técnicas proporcionadas por la empresa "Industrias WEB".

Para diseñar la máquina, los procesos metódicos completos se dividen en módulos, para los que se establece una solución. El diseño conceptual consiste en un mecanismo de hilado horizontal de doble eje con tornillo sin fin que cuenta con un tablero de control que varía la velocidad de operación. A continuación, se utiliza un material para el cálculo y dimensionamiento de los elementos de los componentes mecánicos.

Finalmente, este trabajo sirve de base para la construcción de la máquina, la cual se detalla en "Construcción de un prototipo de máquina hiladora de queso pasta hilada tipo mozzarella", Ortega S. (2023), que es la continuación del presente trabajo.

**Palabras clave:** Máquina hiladora de queso, Dimensionamiento de elementos, Doble eje con tornillo sin fin.

## ABSTRACT

In Ecuador's rural sectors, microenterprises dedicated to the production and processing of milk products use artisanal techniques that can be technified. A product widely elaborated in these enterprises is mozzarella cheese. The objective of the present work is to design a machine to make a mozzarella type cheese. For this purpose, available information is used as basis for a conceptual design. Requirements and technical specifications provided by the company "Industrias WEB", are considered as well.

To design the machine, the complete methodical processes are divided into modules, for which a solution is established. The conceptual design consists of an horizontal spinning mechanism of double axis with worm-type screw that has a control board that varies the speed of operation. Then, a material is used for calculation and dimensioning of the elements of the mechanical components.

Finally, this work serves as basis for the construction of the machine, which is detailed by "Construction of a prototype of a spinning machine for mozzarella type pasta filata cheese", Ortega S. (2023), which is the continuation of the present work.

**Keywords:** Cheese spinning machine, Dimensioning of elements, Double axis with worm-type.

## INTRODUCCIÓN

El sector lácteo ha sido históricamente influyente en la economía ecuatoriana y el consumo de leche es cerca de los 100 lts/persona per cápita/año. El porcentaje de leche disponibilidad son aproximadamente 76%, de este valor el 39% es de consumo humano directo y 37% para la industria láctea; la cual se encarga del procesado de leche pasteurizada y sus derivados como son la mantequilla, queso, entre otros (MAGAP, 2020).

El mercado del queso se encuentra en una fase de crecimiento gracias al incremento de la demanda nacional para su consumo y por la entrada en vigor del Acuerdo Multipartes Ecuador- Unión Europea que rige desde el 2017 (ICEX, 2020). Además, la industria formal presenta datos que la categoría láctea a la que más leche se destina, con un 37% del total, es la de los quesos. Comparando con países de la región, Ecuador posee un bajo consumo, pero posee una gran tradición productora. El mismo estudio muestra que en el año 2017 se produjeron poco más de 36 millones de kilos de este producto y la variedad más apetecida es el queso fresco.

El queso de pasta hilada, derivado del queso fresco, es un producto lácteo sometido a un proceso termo mecánico que funde las proteínas para hacerlo más maleable a través del calentamiento con agua en estado de ebullición y de esta manera se facilite el proceso de hilado o estirado de las fibras que dan la consistencia al producto final.

Los quesos mozzarella han recibido una gran aceptación dentro del mercado ecuatoriano tal como se muestra en el estudio realizado en el 2020 por el Centro de la Industria Láctea de Ecuador (CIL, 2020), donde se manifiesta que el 84,3% de los hogares ecuatorianos consumen quesos, de esta cantidad de hogares el 92,8% adquieren el queso fresco por su tradición y precio y siendo la variedad de pasta hilada (mozzarella) la segunda más solicitada de este grupo con un 11,5%.

Los factores que rigen la producción del queso son la calidad de la materia prima y la tecnología empleada en el desarrollo del proceso del producto. Centrándose en la tecnología, si bien ha existido un desarrollo industrial que ha mejorado los diseños de los equipos, los materiales utilizados y su funcionalidad, la mano de obra encargada del proceso de amasado e hilado es escasa y presenta un déficit en cuanto al tiempo que emplea un empleado para completar el proceso. De igual manera, el proceso actual requiere de personal encargado de pesar el producto final, para mantener un control de calidad en el peso del queso de pasta hilada que sale al mercado, limitando la cantidad de producción que puede ser contemplada en el mercado nacional e internacional.

En función de desarrollar un producto que sea capaz de competir tanto en calidad como en precio con los elaborados en otros países, es necesario automatizar ciertos procesos, copiando modelos de países industrializados que gracias a su línea de proceso incrementa la producción en menor tiempo. Considerando que una máquina automatizada presenta ventajas sobre el proceso artesanal, esta influye de forma positiva en el productor de la materia prima (leche) en crear su pequeña o mediana empresa que no solo se enfoque en la comercialización de la leche, sino que emplee sus recursos para procesarla y obtener este tipo de queso fresco que representaría una mejora en sus ingresos económicos.

Por consiguiente, el presente trabajo desarrolla el diseño de una máquina que realice el proceso de hilado para queso de pasta hilada, buscando mejorar el procesamiento de este tipo de queso mozzarella y empleando maquinaria industrializada capaz de mejorar los volúmenes de producción.

## **Objetivo General**

Diseñar una maquina hiladora para queso de pasta hilada tipo Mozzarella.

## **Objetivo Específicos**

- Investigar las propiedades y condiciones requeridas para la producción de queso de pasta hilada de tal forma que cumpla con los estándares de aprobación sanitaria.
- Realizar un estudio del estado del arte de maquina similares usadas en la industria.
- Realizar un diseño conceptual y de detalle de los componentes de la máquina.

## **Alcance**

El presente proyecto, contempla el diseño de un prototipo de máquina hiladora de queso de pasta hilada tipo mozzarella para la empresa “Industrias WEB”, dedicada a la fabricación de máquinas para la producción de leche y sus derivados. El diseño del prototipo de máquina corresponde a los requerimientos y especificaciones técnicas del cliente, la continuación del proyecto se encuentra en Ortega S. (2023).

El diseño de la máquina hiladora de queso debe poseer un sistema de agitación que garantice que el producto procesado cumpla con las especificaciones de calidad así como la normativa de salud vigente en el Ecuador. Además, de poseer componentes que faciliten el mantenimiento y alarguen la vida útil del quipo sin perder de vista el mantener un precio de venta competitivo en el mercado.

# CAPÍTULO 1

## 1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo estudia temas relacionados con el consumo de queso en el Ecuador, las características técnicas del queso de pasta hilada y el proceso de elaboración de la misma en base a la normativa existente. De esta manera se garantiza que la máquina a diseñar cumpla con estándares de calidad.

Además, este capítulo detalla los componentes que le brindan la funcionalidad a la máquina; así como también un análisis de la competencia para conocer el tipo de máquinas presentes en el mercado.

### 1.1. El queso

Se denomina queso al producto blando, semiduro, duro, madurado o sin madurar que se obtiene por maduración de la cuajada de la leche y presenta características propias a partir de su método de elaboración. Se caracteriza principalmente en que la proporcionalidad entre las proteínas de suero y la caseína no superen a la de la leche; se obtiene a través de dos formas:

- (a) Coagulación total o parcial de la proteína de cualquier tipo de leche, y por efecto del cuajo y por escurrimiento parcial del suero que se segrega. La elaboración del queso resulta en la concentración de proteína láctea (caseína), de tal manera que el contenido de caseína sea más alto que el de la mezcla de los ingredientes lácteos (tipos de leche empleados).
- (b) Técnicas de fabricación que asemejan la coagulación de la proteína de la leche y/o de materias obtenidas de la leche, que dan un producto final que posee las mismas características químicas, físicas y organolépticas que el queso en cuestión.

En la tabla 1.1, se muestran las variedades de queso de acuerdo a las características finales establecidas por la norma NTE INEN 1528

Tabla 1.1. Variedades de queso establecidas en la norma NTE INEN 1528.

Clasificación	Tipo de Queso
Según el contenido de humedad	Duro
	Semiduro
	Semiblando
	Blando

Según el contenido de grasa láctea	Rico en grasa
	Entero o graso
	Semidescremado o bajo en grasa
	Descremado o magno

Fuente: NTE INEN 1528 (2012)

## 1.2. Proceso de producción del queso

Dependiendo del origen de la leche, el resultado final del queso puede variar tanto en su sabor, textura, olor, etc. El queso de pasta hilada es un tipo de queso fresco por lo que es necesario introducir el proceso de pasteurización de la leche (proceso en el cual se somete la leche a una elevada temperatura para eliminar bacterias, gérmenes y otros organismos que son dañinos para la salud) sin alterar la composición y cualidades de la misma.

En la figura 1.1 se muestra un esquema general del proceso de elaboración de quesos frescos.

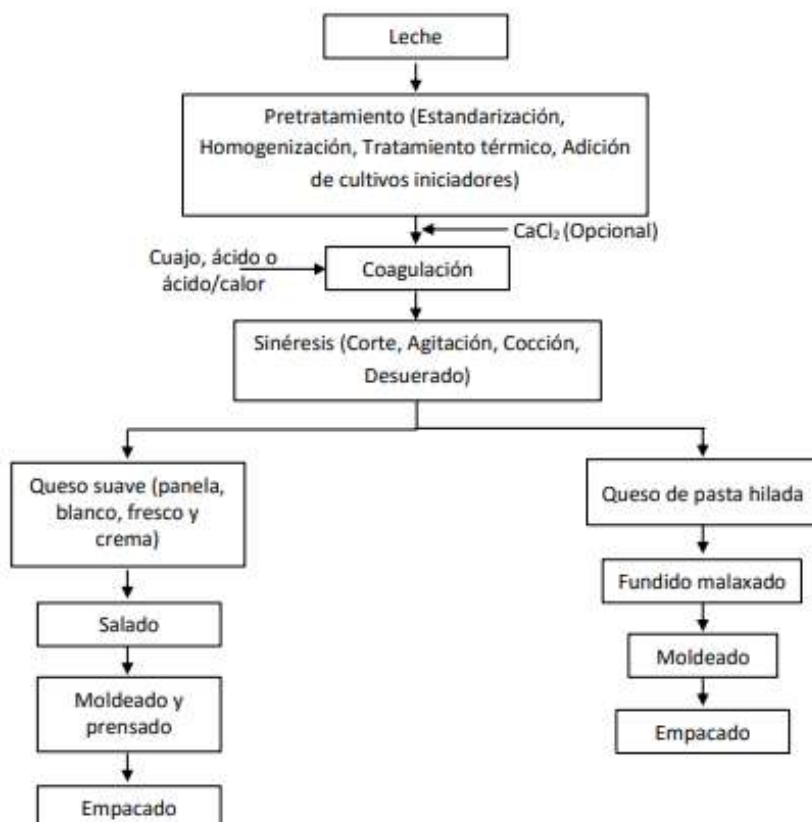


Figura 1.1. Proceso de elaboración de queso de pasta hilada.  
Fuente: Ramírez, C y Vélez, J. (2007).



El proceso de elaboración cuenta con cambios fisicoquímicos tales como la estandarización de la leche, que busca ajustar en las cantidades correctas las grasas, proteínas, material sólido no graso y material sólido total que se han separado previamente.

En el proceso de coagulación de la proteína por acidez, las caseínas coagulan por efecto del pH dependiente de la cantidad de ácido producido por bacterias lácticas o añadido directamente. El proceso final de sinéresis para la obtención del queso se enfoca en la expulsión del suero para la formación del cuajo.

Tal como se muestra en la figura 1.1 de acuerdo a las técnicas de elaboración se obtiene un tipo de queso fresco. El proceso de malaxado es el que le otorga la característica propia al queso de pasta hilada al estirar sus fibras. Por lo general, se obtiene al final la forma del queso después de ser procesado para su moldeado y empaçado.

### **1.3. Queso de pasta hilada**

El origen del queso hilado se origina en el siglo XVI en las regiones de Campania y Lacio, al sur de Italia. Los quesos hilados son aquellos que en el proceso de fabricación reciben un tratamiento térmico el cual busca fundir las proteínas y alinear sus fibras. Este proceso se llama hilado, y consiste en estirar repetidas veces la cuajada caliente de queso. La apariencia de esta masa caliente es la de un gigantesco chicle brillante, capaz de estirarse un par de metros cuando está listo.

El proceso al ser realizado de forma artesanal, se dificulta pues se requiere trabajar a altas temperaturas, por lo que con el paso de los años se han desarrollado máquinas que ayudan a fabricar queso de pasta hilada de forma automática como se muestra en la figura 1.2.



Figura 1.2. Máquina hiladora de queso.

Fuente: (HMT, Malaxadora Hiladora de Quesos, 2021)

Ramírez, C y Vélez, J. (2007) establecen que la elaboración de queso de pasta hilada consiste en tres etapas:

- Fundido malaxado (hilado): Tratamiento térmico mecánico que se encarga de fundir las proteínas de la cuajada y al mismo tiempo alinea las fibras para otorgarle la apariencia de hilos tal como se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3. Hilado manual de la cuajada.

Fuente: (Academia Portalechero, 2018)

- Moldeado: Proceso en el cual la pasta hilada se ubica en moldes de acero inoxidable o plásticos alimenticios como se muestra en la figura 1.4. Los quesos de pasta hilada presentan distintas formas de acuerdo al productor gracias a su capacidad de alinear las fibras de la forma en que se desee.



Figura 1.4. Moldes plásticos para Queso.

Fuente: (iStock, 2022)

- Empacado: En este proceso se procura escurrir el suero retenido de tal manera que se evite la formación de moho cuando este se empaque, usualmente se empaqueta en bolsas de plástico que se comprime con calor o un sellado al vacío, en la figura 1.5 se muestra el proceso de empacado por calor.



Figura 1.5. Proceso de Empacado de quesos por calor.

Fuente: (Lideres, 2016)

### 1.3.1. Tipos de quesos hilados producidos en el Ecuador

La normativa NTE INEN 1528 presenta las siguientes definiciones para este grupo de quesos hilados:

- (a) Queso de capas: Este queso es elaborado con leche de vaca entera, pasteurizado y homogenizado de textura relativamente firme, lisa, poco elástica y no granular. La cuajada tiene enzimas y/o ácidos orgánicos generalmente sin cultivos lácticos.
- (b) Queso mozzarella: Es el queso no madurado, escaldado, moldeado, de textura suave elástica (pasta filamentosa), cuya cuajada puede o no ser blanqueada y estirada. Es preparado de leche entera y cuajada con cultivos lácticos, enzimas y/o ácidos orgánicos o inorgánicos.
- (c) Queso de hoja: Es el queso no madurado obtenido a partir de queso criollo y acidificado de forma natural. Se utiliza bacterias mesófitas nativas de Ecuador no patógenas. El queso es sometido a calentamiento previo al hilado. Una característica peculiar es su envoltura en hoja de achira.

## 1.4. Estándares de calidad requeridos para la producción de quesos

Las disposiciones específicas que se mencionan en la normativa ecuatoriana establecen que la leche utilizada para la fabricación de quesos frescos (pasta hilada) se rige bajo la norma ecuatoriana NTE INEN 10, y su procesamiento se realizará de acuerdo a los principios del Reglamento de Buenas Prácticas de Manufactura del Ministerio de Salud Pública emitido por el ex presidente de la República, Gustavo Novoa Bejarano en el año 2002.

Los requisitos emitidos en dicho reglamento respecto a los equipos empleados en la industria alimentaria se detallan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Aspectos a considerar para el diseño de una máquina dedicada a la industria alimentaria en el Ecuador según el reglamento de buenas prácticas de manufactura (Ministerio de Salud Pública).

<b>Aspecto</b>	<b>Recomendaciones</b>
Material	Materiales tales que la superficie de contacto no transmita sustancias tóxicas, olores, sabores y no reaccione con los ingredientes. Resistente a la corrosión y los procesos de desinfección y limpieza.
Características técnicas	Diseño tal que facilite la limpieza, desinfección e inspección.
Recubrimiento	No se permite el uso de pintura o cualquier material desprendible que represente un riesgo para la inocuidad del alimento.
Instrumentación	Provista de implementos necesarios para su control, operación y mantenimiento. Sistema de calibración para asegurar que los instrumentos de control proporcionen lecturas confiables.

Fuente: Propia

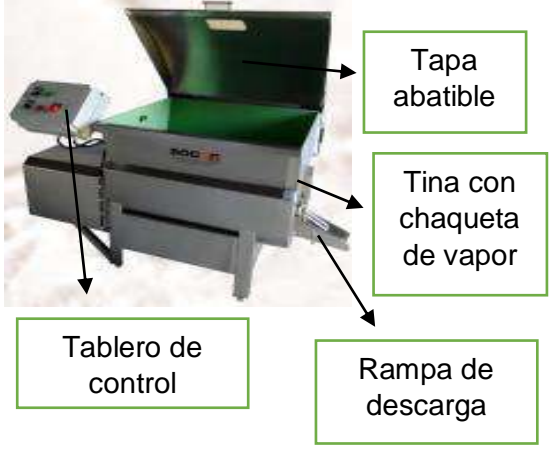

## **1.5. Análisis de productos de la competencia (benchmarking)**

### **Competencia 1: Malaxadora MLE - SG**

La tabla 1.3 presenta algunos datos técnicos de la máquina malaxadora modelo MLE-SG.

Tabla 1.3. Malaxadora MLE - SG

<b>Competencia 1: Malaxadora MLE-SG</b>	
Fabricante	Sogen Alimentos
Modelo	MLE – SG 200 kg
Volumen [lts]	450
Potencia Motor [Hp]	2
Amperaje [A]	6 – 10

Alimentación Eléctrica	220 V (Trifásico/Monofásico)
Calentamiento de vapor [kg/cm <sup>2</sup> ]	1
Material Constructivo	AISI 304
Dimensiones de la maquina [cm]	154x95x130
Precio del Equipo	\$8000
Imagen del Equipo	Mecanismo: Doble lazo (Tornillo sin fin)
 <p>Fig. 1.6. Partes de la máquina malaxadora MLE – SG.</p>	 <p>Fig. 1.7. Mecanismo de malaxado por doble lazo (tornillo sin fin).</p>

Fuente: (Sogen - Alimentos, 2018)

### Características de la competencia 1

Entre las características se encuentran que la circulación de vapor se da en dirección horizontal y emplea una chaqueta en forma de mediacaña. La figura 1.7 muestra como mecanismo de malaxado un doble listón reforzado con soportes. La figura 1.6 muestra los componentes de esta máquina que posee un sistema de descarga tipo guillotina con regulación variable de producto, tapa abatible con visor de proceso y sensor de seguridad, tablero de control y fuerza.

El equipo está diseñado para el proceso de mecanizado, amasado, mezclado y cocimiento por la empresa de Bach que se maneja con productos alimenticios, como queso de pasta hilada, mermelada y cárnicos.

### Competencia 2: Hiladora MF10AV

Se presenta en la tabla 1.4 algunos datos técnicos de la hiladora de queso de la marca COMAT.

Tabla 1.4. Hiladora – MF10AV

<b>Competencia 2: MF10AV – Hiladora</b>	
Fabricante	COMAT
Modelo	MF10AV
Potencia [Hp]	6
Alimentación Eléctrica	380 V – 50 Hz
Capacidad [kg/h]	1200
Peso [kg]	730
Dimensiones de la maquina [cm]	295x120x290
Precio del Equipo	\$ 10000
Imagen del Equipo	Mecanismo: Paletas doble
 <p>Fig. 1.8. Partes de la máquina Hiladora MF10AV.</p>	 <p>Fig. 1.9. Mecanismo de paletas dobles.</p>

Fuente: (Comat, 2019)

### Características de la competencia 2

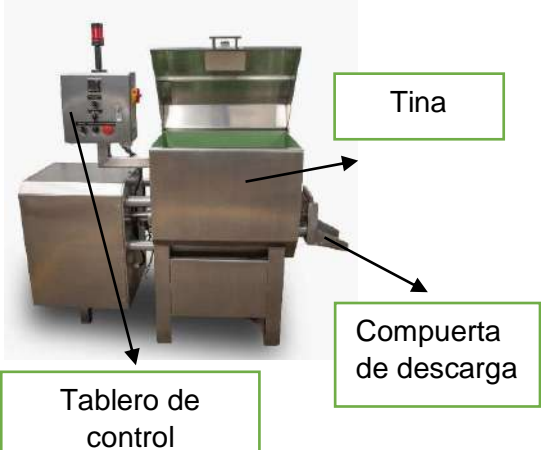

Entre las características que resaltan se encuentran la posibilidad de un control visual por el operador de cada fase del tratamiento de la pasta, como se muestra en la figura 1.8 no tiene tapa lo que garantiza una rápida intervención por parte de la misma. La máquina se fabrica regulada con las últimas normas sanitarias internacionales de tal manera que cada parte es

de fácil acceso permitiendo al usuario una limpieza rápida y fácil. El mecanismo de hilado cuenta con dos paletas rotatorias para el amasado e hilado como se muestra en la figura 1.9. Los materiales utilizados para la construcción son exclusivamente de acero inoxidable AISI 304, con cubierta de teflón, para los que están en contacto con el material de mecanizado.

### Competencia 3: Malaxadora HMT

Se presenta en la tabla 1.5 algunos datos técnicos de la máquina Malaxadora Standard HMT – 150S

Tabla 1.5. Malaxadora HMT

<b>Competencia 3: Malaxadora HMT</b>	
Fabricante	HMT
Modelo	HMT – 150S
Potencia [Hp]	2
Capacidad [kg]	150
Presión de Vapor [kg/h]	1 (15 psi)
Alimentación Eléctrica	220/110 V, 60 Hz (Trifásico/Monofásico)
Dimensiones de la maquina [cm]	175x95x165
Precio del Equipo	\$12000
Imagen del Equipo	Mecanismo: Doble lazo (Tornillo sin fin)
 <p>Fig. 1.10. Partes de la máquina Malaxadora HMT-150S.</p>	 <p>Fig. 1.11. Proceso de hilado a través del mecanismo de doble lazo (tornillo sin fin).</p>

Fuente: (HMT, Catalogo de Productos, 2020)



### Características de la competencia 3

Tal como se muestra en la figura 1.11 se tiene un sistema de doble listón reforzado en soportes para amasado. La figura 1.10 muestra que las partes principales de la máquina son la chaqueta de vapor, emplea una compuerta para descargar el producto, tiene un motor reductor 2HP de alto torque, indicaciones digitales de temperatura de procesos, variación electrónica de las velocidades en los listones.

### Competencia 4: Hiladora a Vapor LAB 18 - 600

Se presenta en la tabla 1.6 algunos datos técnicos de la máquina Hiladora a Vapor LAB 18-600 de la empresa MilkLab.

Tabla 1.6. Hiladora a Vapor LAB 18-600

<b>Competencia 5: Hiladora a Vapor LAB 18 - 600</b>	
Fabricante	MilkLab
Modelo	LAB 18 -600
Producción max/h [kg/h]	1500
Capacidad [Its]	600
Peso [kg]	1450
Alimentación Eléctrica	380 V, 22KW
Dimensiones de la hiladora [cm]	235x135x280
Precio del Equipo	\$ 50000
Imagen del Equipo	
	
Fig. 1.12. Máquina Hiladora a Vapor LAB 18-600.	

Fuente: (Gaitan M., 2013)



## Características de la competencia 4

Entre las características a mencionar de la máquina de la figura 1.12 se tiene que produce quesos hilados tipo mozzarella y quesos fundidos, construida totalmente de acero inoxidable AISI 316, con cubeta doble de pared para la inmisión de vapor al lugar de almacenamiento. La tina de almacenamiento cuenta con dos tornillos sin fin bidireccionales con motores independientes de bajo consumo y velocidad variable, para la descarga del producto cuenta con una compuerta con sistema neumática de dos pistones además cuenta con el panel de seguridad con el interruptor de parada.

### 1.6. Diseño de elementos mecánicos

En este subcapítulo se revisan los fundamentos teóricos necesarios para el diseño de partes mecánicas, así como en la selección de elementos normalizados para que las funciones de la máquina se desarrollen con un resultado satisfactorio a los requisitos establecidos por el cliente.

#### 1.6.1. Diseño a fatiga de ejes

Los ejes están sometidos a cargas variables mientras se encuentran en operación. Esto origina que dichos elementos sufran daño por fatiga.

En el presente estudio el diseño para trabajo a fatiga se basa en el método esfuerzo – vida (S – N). En la figura 1.13 se muestra el diagrama S-N para el acero UNS G41300 normalizado que muestra el comportamiento de la resistencia última del material ante un determinado número de ciclos.

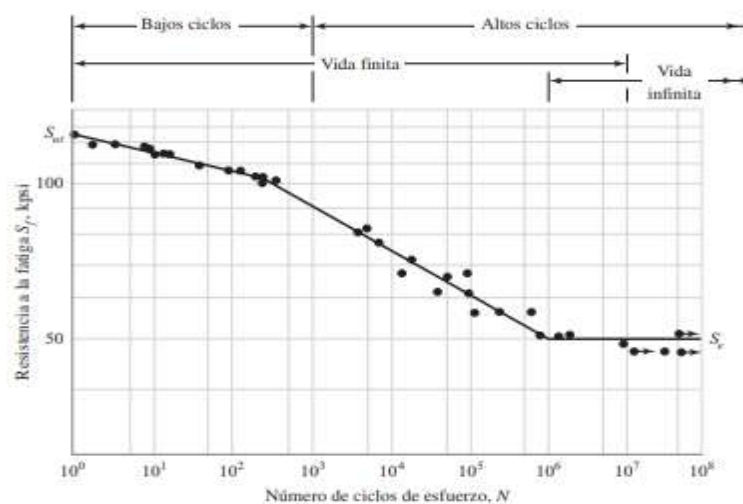


Figura 1.13. Diagrama S-N para el acero UNS G41300 normalizado.  
Fuente: Budynass, 2012

En la tabla 1.8 se muestran las ecuaciones necesarias para diseñar un eje a fatiga.

Tabla 1.8. Ecuaciones para diseño a fatiga.

Ecuaciones		Parámetros	
Factor de concentración de esfuerzo para fatiga	$K_f = 1 + q(K_t - 1)$	$q$ Sensibilidad a la muesca para flexión	(Ec. 1.3)
	$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1)$	$q_s$ Sensibilidad a la muesca a torsión	(Ec. 1.4)
Esfuerzos medios y alternantes	$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3}$	$M_m$ Momento flector medio, Nm	(Ec. 1.5)
	$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3}$	$M_a$ Momento flector alternante, Nm	(Ec. 1.6)
	$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3}$	$d$ Diámetro del eje, m	(Ec. 1.7)
	$\tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$	$T_m$ Par de torsión medio, Nm $T_a$ Par de torsión alternante, Nm	
Esfuerzo medio equivalente, $\sigma'_m$	$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$ $= \left[ \left( \frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$K_t$ Factor de concentración de esfuerzos normales	(Ec. 1.9)
Esfuerzo alternante equivalente, $\sigma'_a$	$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$ $= \left[ \left( \frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$K_{ts}$ Factor de concentración de esfuerzos cortantes	(Ec. 1.10)
Criterio de falla de Goodman	$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$	$S_{ut}$ Resistencia última a la tracción, MPa $S_e$ Límite de la resistencia a la fatiga, MPa $n$ Factor de seguridad a fatiga	(Ec. 1.11)
Resistencia a la fatiga, $S_e$ en MPa	$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e'$	$k_a$ Factor de condición de superficie $k_b$ Factor de tamaño $k_c$ Factor de carga $k_d$ Factor de temperatura $k_e$ Factor de confiabilidad $k_f$ Factor de efectos varios $S_e'$ Límite de resistencia a la fatiga de una probeta bajo cargas de flexión	(Ec. 1.12)

Diámetro del eje	$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ \frac{2(k_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(k_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3}$	Para ejes rotatorios que poseen cargas transversales y momentos torsores constantes, $M_m = 0$ $T_a = 0$	(Ec. 1.13)
------------------	---	---	------------

Fuente: Propia.

## 1.7. Selección de rodamientos

Los rodamientos son elementos que garantizan un enlace móvil gracias a su baja resistencia a la rodadura, y se utilizan para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o cargas combinadas.

### 1.7.1. Carga dinámica equivalente del rodamiento

Esta sección se realiza en base a las recomendaciones del fabricante sobre las velocidades de giro que debe soportar y los factores para calcular la carga radial dinámica equivalente, tal como se muestra en la ecuación 1.14.

$$P = XFr + YFa \quad (Ec. 1.14)$$

Donde:

$P$ : Carga radial dinámica equivalente, [N]

$Fr$ : Carga radial real, [N]

$Fa$ : Carga axial real, [N]

$X$ : Factor de carga radial

$Y$ : Factor de carga axial

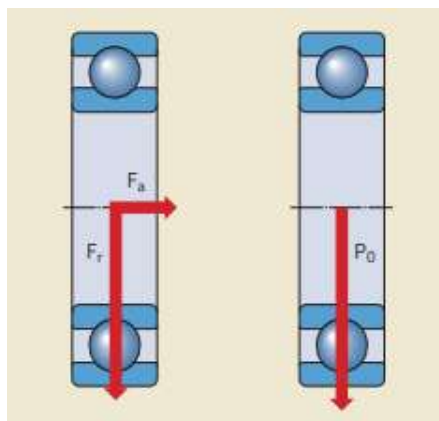


Figura 1.14. Representación de las cargas radiales y axiales en un rodamiento.

Fuente: SKF

Los factores de carga radial y axial se obtienen a partir de la relación  $\frac{f_o * F_a}{C_{cor}}$  correspondiente a un catálogo de rodamientos. Conociendo la carga dinámica de los rodamientos se procede a calcular la vida nominal de los rodamientos  $L_{10}$ . Expresado en la ecuación 1.15.

$$L_{10} = \left( \frac{C_r}{F_r} \right)^k \quad (Ec. 1.15)$$

Donde:

$L_{10}$  Vida nominal en  $10^6$ , [RPM]

$C_r$  Capacidad básica de carga dinámica, [N]

$k$  Exponente de la vida útil para rodamientos

$f_o$  Factor para calcular la carga radial equivalente

La vida del rodamiento expresada en horas de servicio se expresa en la ecuación 1.16.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * \omega} * L_{10} \quad (Ec. 1.16)$$

Donde:

$L_{10h}$  Vida nominal básica (confiabilidad del 90%), en horas

$\omega$  Velocidad de giro, [RPM]

## 1.8. Transmisión mediante cadena

La transmisión por cadena se da a través de dos o más ruedas dentadas y una cadena. En la figura 1.15 se observa el sistema de transmisión por cadena que se emplea para transmitir potencia mecánica entre ejes. Se emplea principalmente para relaciones de velocidades bajas y constantes pues no presenta arrastre ni deslizamiento, tiene vida prolongada y capacidad de mover varios ejes con una sola fuente de potencia. (CEJAROSU, 2005)

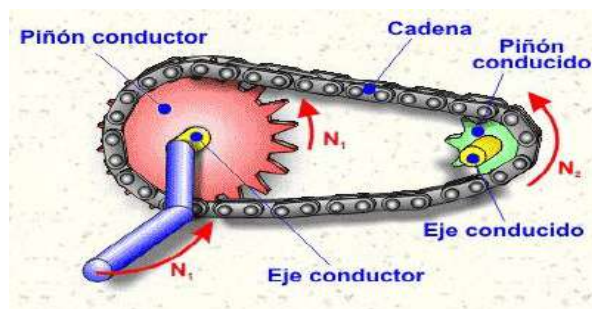


Figura 1.15. Elementos del sistema de transmisión por cadena sin fin.

Fuente: CEJAROSU, 2005.

Para obtener la potencia real transmitida  $P$  es necesario conocer la potencia del motor  $P_M$  y multiplicarla por el factor de servicio  $n_s$ .

$$P = P_M * n_s \quad (\text{Ec. 1.17})$$

### 1.8.1. Selección del piñón conductor

Con la potencia de diseño  $P$  y velocidad de del motor  $\omega_1$ , se selecciona el piñón conductor con su número de dientes  $Z_1$ .

### 1.8.2. Selección del piñón conducido

Para determinar la relación de transmisión ( $i$ ) se emplea la ecuación 1.18.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (\text{Ec. 1.18})$$

Donde:

$Z_1$  Número de dientes del piñón conductor

$Z_2$  Número de dientes del piñón conducido

$\omega_1$  Velocidad angular del piñón conductor, [RPM]

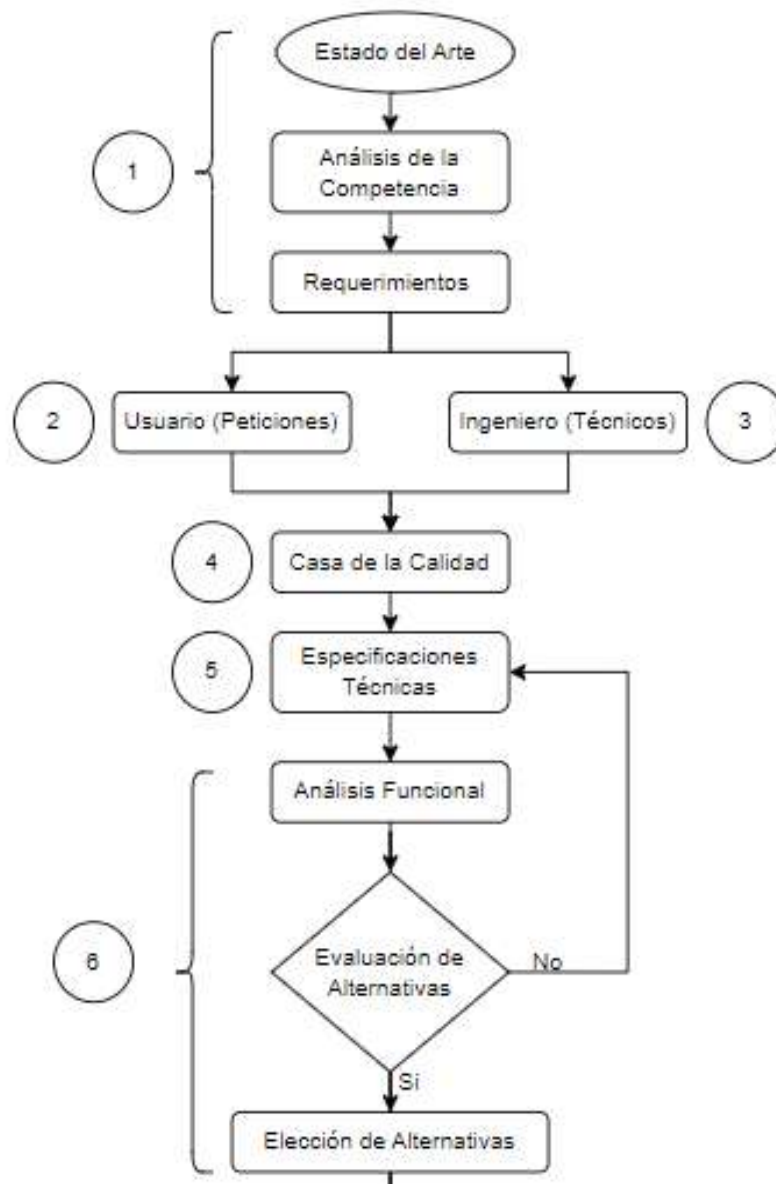
$\omega_2$  Velocidad angular del piñón conducido, [RPM]

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

El presente proyecto parte del problema definido en la introducción y se centra en resolver las necesidades planteadas por el cliente (Ingeniero Wilson Espinoza) que trabaja con pequeñas y medianas empresas en el procesamiento de productos derivados de la leche. La figura 2.1 muestra el proceso de selección y diseño de la máquina hiladora.

En este capítulo, el problema planteado se desarrollará a través de la metodología de diseño concurrente aplicando a la casa de la calidad, las especificaciones técnicas, análisis funcional, selección de alternativas, diseño y selección de elementos que serán utilizados posteriormente en la en la construcción de un prototipo de máquina hiladora.



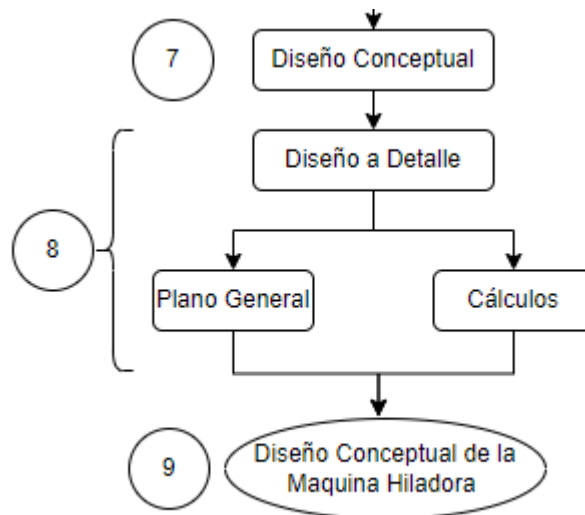


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto.

Fuente: Propia.

En el capítulo 1 se desarrolló la introducción (primer paso) donde se investiga el estado del arte y se analiza la competencia, en estas secciones se detalla el proceso de elaboración de queso de pasta hilada y las máquinas hiladoras disponibles en el mercado.

Se prosigue con los requerimientos establecidos en el capítulo 2 por el cliente a través de la voz del usuario (segundo paso) y como transformar estos requerimientos a criterios ingenieriles representados en la voz del ingeniero (tercer paso). Una vez establecidos se procede a desarrollar la casa de la calidad (cuarto paso) que busca encontrar los principales requerimientos y su prioridad a tomar en cuenta al momento del diseño de la máquina, luego de este paso se procede a llenar la tabla de especificaciones técnicas (quinto paso).

Posterior se realizará el análisis funcional de la máquina detallado de mejor forma en el subcapítulo 2.3 facilitando la creación de módulos y establecer la solución más factible a diferentes alternativas propuestas en dichos módulos (sexto paso). Este proceso se realizará con un rediseño hasta encontrar la mejor solución. Dicha solución se obtiene mediante el desarrollo del método de criterios ponderados que servirá para realizar el primer diseño conceptual (séptimo paso), este se caracteriza por ser una representación no a detalle de la máquina que servirá como una previsualización de la misma.

Una vez definido el diseño conceptual se procede a elaborar el diseño a detalle (octavo paso) que cuenta con los cálculos y el plano general, así como también la selección de elementos normalizados que determinarán el diseño conceptual de la máquina hiladora de queso de pasta hilada tipo mozzarella (noveno paso).

## **2.1. Determinación de las especificaciones técnicas de la máquina**

Las especificaciones técnicas son las condiciones, requisitos e instrucciones que se plantean para desarrollar el diseño de una máquina que sea capaz de producir queso de pasta hilada tipo mozzarella, a través del proceso de hilado de la cuajada.

### **2.1.1. Voz del usuario**

Mediante una conversación con el Ingeniero Wilson Espinoza, gerente propietario de una empresa metalmecánica dedicada a la fabricación y comercialización de maquinaria productora de quesos y yogurt de pequeñas y medianas empresas, se compilará la información sobre los requerimientos que la máquina debe poseer en base a las peticiones y beneficios que la máquina deba otorgar a las pequeñas empresas donde él trabaja. Dichas especificaciones se enlistan a continuación:

- Que no sea ruidosa
- Que ocupe poco espacio
- Que sea económica
- Que en caso de daños sea de fácil reparación
- Que sea segura para el operario
- Que sea de fácil uso y operación
- Que sea liviana
- Que su capacidad de trabajo no se rija por un solo volumen
- Que requiera un mínimo mantenimiento
- Que sea construida de acuerdo a los lineamientos de la normativa ecuatoriana respecto a los materiales para el procesamiento de productos alimenticios
- Que no consuma mucha energía

### **2.1.2. Voz del ingeniero**

Ya conocidos los requerimientos del usuario se procede a relacionarlas con características técnicas, las mismas se enlistan a continuación:

- Control de vibraciones
- Compacta
- Costo de la máquina
- Mantenimiento
- Seguridad industrial



- Funcionamiento semiautomático
- Peso
- Versatilidad
- Confiabilidad
- Acero Inoxidable
- Eficiente

### 2.1.3. Casa de la calidad

La casa de la calidad se encarga de relacionar las demandas de los clientes junto con las características técnicas propuestas por los diseñadores, de esta manera se establecen las correlaciones y las prioridades que surgen al momento de implementar alternativas en las fases de diseño y construcción, ver ANEXO A.

Tabla 2.1. Requerimientos voz del ingeniero.

<b>Voz del Usuario</b>	<b>Voz del Ingeniero</b>
Que no sea ruidosa	Control de vibraciones
Que ocupe poco espacio	Compacta
Que sea económica	Costo de la máquina
Fácil mantenimiento	Mantenimiento
Que sea segura para el operario	Seguridad industrial
Fácil operación	Funcionamiento semiautomático
Liviana	Peso
Pueda trabajar con diferentes volúmenes de producción	Versatilidad
Mínimo mantenimiento	Confiabilidad
Que cumpla con los lineamientos de la normativa ecuatoriana	Acero inoxidable
Que ahorre energía	Eficiente

Fuente: Propia

Los aspectos más importantes del análisis de la casa de la calidad se enlistan a continuación:

- El aspecto primordial para el diseño se centra en la parte de señales y control para que el mecanismo presente un funcionamiento semiautomático.

- El costo de la máquina debe ser económico pues el cliente remarca que para poder vender estas máquinas hacia las pequeñas y medianas empresas el precio debe ser capaz de competir con otro tipo de maquinaria que se importa en la actualidad.
- El tamaño y geometría de la máquina debe permitir ocupar espacios compactos pues la infraestructura, de las empresas con las que el cliente trabaja, es pequeña.
- El producto debe contar con los estándares de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana, es por ello que se utiliza acero inoxidable al procesar alimentos.
- Los elementos y el ensamble deben concebirse de tal manera que en caso de averías permitan reparar elementos internos de forma rápida, así como permitir el mantenimiento ya sea de carácter preventivo o correctivo.

## 2.2. Especificaciones técnicas

Una vez finalizado el estudio de la casa de la calidad podemos enumerar las especificaciones técnicas como se muestra en la tabla 2.2, esta tabla nos permite obtener las características y el enfoque del diseño y construcción de la máquina hiladora.

Tabla 2.2. Especificaciones técnicas

<b>Empresa:</b> Industrias WEB		<b>Producto:</b> Máquina hiladora para queso de pasta hilada tipo mozzarella		<b>Fecha inicial:</b> 17/11/2021 <b>Última revisión:</b> 15/11/2022
<b>Diseñadores:</b> Espinoza Alvaro, Ortega Santiago		Página 1		
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	20/12/2021	C	R	Máquina hiladora de queso de pasta hilada tipo Mozzarella
		C	R	Capacidad: 70 Kg Cuajada, 600 lts
Energía	20/12/2021	C+I	D	Alimentación eléctrica trifásica, motorreductor de potencia no mayor a 3 HP
Dimensiones del producto	20/12/2021	C	R	Queso: 250, 400 y 500 gramos
			D	Área de ocupación de la máquina no superior a 5 m <sup>2</sup>
Señales y control	20/12/2021	I	D	Sistema de control del proceso completo de hilado y dosificado.
Vida útil y Mantenimiento	20/12/2021	C+I	D	Fácil montaje y desmontaje para mantenimientos de carácter preventivo y correctivo.
Materiales	20/12/2021	C+I	R	Elaborado en acero inoxidable apto para el procesamiento de alimentos.
Costo	20/12/2021	C	D	Costo inferior a los \$5000

Nota: Propone: C: Cliente; I: Ingeniería. R/D: R: Requerimiento; D: Deseo

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos de la casa de la calidad (ver Anexo A) establecen que las especificaciones técnicas de mayor interés para el diseño se centran en desarrollar un sistema de hilado con elementos que faciliten el montaje y desmontaje para el mantenimiento.

## 2.3. Análisis funcional

El análisis funcional es una técnica de diseño cuyo objetivo es clasificar funciones y operaciones de los componentes mecánicos del producto, con el objetivo de buscar nuevas soluciones a una problemática. Una ventaja del uso de este recurso es obtener mejores soluciones a un mejor costo. Para este tipo de análisis, se debe establecer las funciones primarias y secundarias del producto. La función primaria es aquella por la cual el usuario adquiere el producto. Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente. Una vez ya establecidas todas las funciones secundarias, se procede a agrupar funciones secundarias similares en un solo modulo. Esto se realiza para cubrir con los requerimientos de los conjuntos de funciones y ayuda a la reducción de tiempo de producción, optimización de recursos, ampliar la gama, entre otros.

### 2.3.1. Desarrollo de los diagramas funcionales

En la figura 2.2 se presenta el diagrama funcional Nivel cero, donde se muestra la función principal o primaria de la máquina a diseñar tomando en cuenta el primer paso que vendría a ser el ingreso de la cuajada y el sistema de encendido para que al final de todo el proceso se obtenga la pasta hilada tipo mozzarella dosificada.

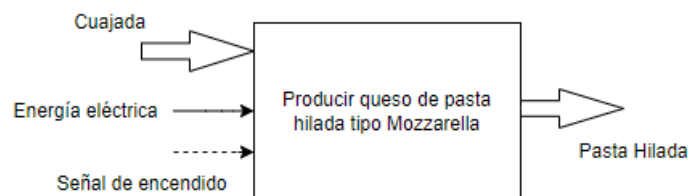


Figura 2.2. Diagrama funcional Nivel 0

Fuente: Propia

### 2.3.2. Definición de módulos

La modularidad consiste en generar diversos bloques constructivos, orientados a ordenar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto. Aquellos

módulos están orientados fundamentalmente a materializar una o más funciones del producto, exigiendo una atención especial en la elaboración de la estructura funcional a partir del nivel 0.

Las funciones secundarias se muestran en la figura 2.3. Los módulos definidos para este proyecto son:

- Módulo 1: Ingreso y almacenado de la cuajada
- Módulo 2: Sistema de control para la hiladora
- Módulo 3: Mecanismo de hilado
- Módulo 4: Calentamiento de la cuajada
- Módulo 5: Transporte de la pasta hilada

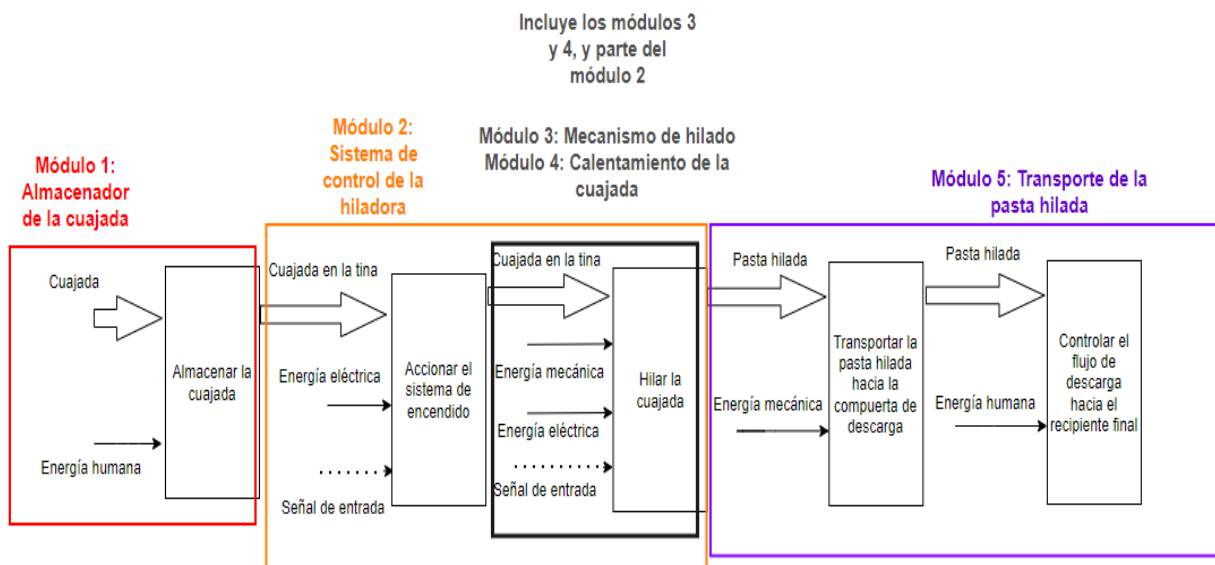


Figura 2.3. Diagrama funcional por módulos.

Fuente: Propia

En la figura 2.3 se muestra el nivel 1 de la máquina, la cual conforma todas las acciones que requiere para alcanzar su objetivo principal detallado en el nivel 0. Cada una de estas funciones combinadas con las señales de entrada y salida dan la funcionalidad necesaria a la máquina.

El diagrama funcional mostrado establece un orden cronológico para el procesamiento de queso de pasta hilada, como primera función secundaria se debe almacenar la cuajada en la tina fabricada de acero inoxidable que con un mecanismo de control acciona el sistema de hilado para desarrollar la función secundaria de "Hilar la cuajada". Dentro de la función

detallada como “Hilar la cuajada”, se establecen ciertas funciones entrelazadas que se muestran en la figura 2.4.

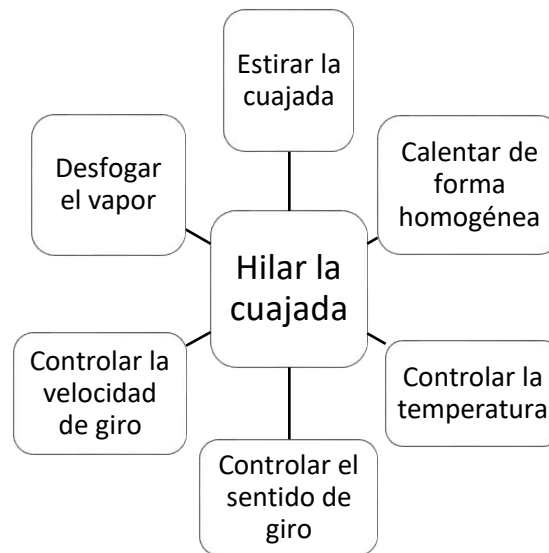


Figura 2.4. Funciones establecidas en la máquina hiladora sin un orden establecido.

Fuente: Propia.

En la figura 2.4 se ejemplifica que el proceso central de hilar la cuajada requiere de seis funciones secundarias las cuales en ciertos momentos se desarrollan al mismo tiempo o sin un orden establecido. El orden es alterado de acuerdo a la necesidad del operador en ese momento. Cuando la cuajada es transformada a pasta hilada se procede descargar el producto terminado.

Después de definir los módulos, se procede a generar posibles soluciones que satisfagan las funciones secundarias, para así, mediante un sistema de evaluaciones de las alternativas generadas seleccionar la más viable y obtener el diseño conceptual de la máquina.

### 2.3.3. Soluciones para cada módulo

En esta sección se presentan alternativas de solución para los siete módulos presentados en la figura 2.3. Para la evaluación y selección de la solución para cada módulo se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados. Este método evalúa los parámetros de cada propiedad a través de una estimación numérica de acuerdo a la característica de cada alternativa propuesta, se definen los criterios de diseño para cada módulo y se establece una prioridad sobre los requisitos que estos deben cumplir.

#### Módulo 1: Almacenador de la cuajada

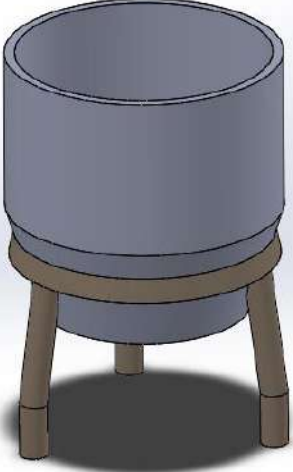
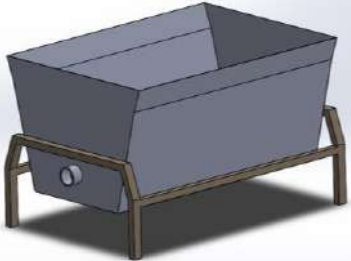
Es el módulo encargado de proveer una estructura sólida capaz de soportar el peso de la cuajada, elementos del sistema de hilado y peso de la misma tina, de tal forma que su forma geométrica permita trabajar la cuajada y convertirla en pasta hilada. Este módulo cumple con la siguiente función:

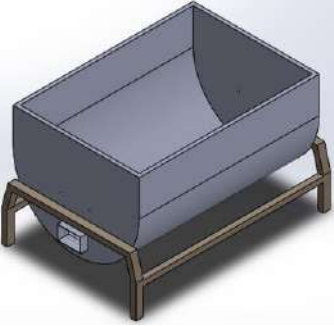
- Almacenar la cuajada.

### Almacenar la cuajada

Es el recipiente donde se va a colocar la cuajada para el proceso de hilado y la estructura que lo soporta, debe ser de gran relación de volumen y ser elaborado en un material especial para el tratado de alimentos. Para este módulo 1, se presentan 3 alternativas como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 1: Almacenador de la cuajada.

Alternativa 1	Tina cuerpo circular	
	Ventajas	Desventajas
	<p>Fácil construcción. Fácil mantenimiento. Más compacta respecto a la alternativa 2 y 3.</p>	<p>Permite como mecanismo de hilado solo un movimiento centrífugo. Al ser la descarga de pasta hilada por la parte inferior requiere una mayor altura en su estructura. Por su geometría se emplea en volúmenes de producción pequeños.</p>
Alternativa 2	Tina base trapezoidal	
	Ventajas	Desventajas
	<p>Fácil construcción. Permite más de una forma de hilado. Buena resistencia a vibraciones moderadas por su estructura soportante.</p>	<p>Cambios de sección generan vértices peligrosos para la seguridad del operario. Menor capacidad con la misma cantidad de material por sus cambios de sección.</p>
Alternativa 3	Tina Base Redonda	
	Ventajas	Desventajas

	<p>Permite más de una forma de hilado.</p> <p>Abarca una mayor capacidad con menos material por su forma geométrica.</p> <p>Buena resistencia a vibraciones gracias a su estructura soportante.</p>	<p>Construcción relativamente compleja.</p> <p>Costo de fabricación moderado.</p>
---	---	---

Fuente: Propia

## Módulo 2: Sistema de control de la hiladora


Es el módulo encargado del controlar el proceso de hilado, genera las señales de activación y funcionamiento del sistema de hilado. Para este módulo se presenta 2 alternativas, las cuales se detallan en la tabla 2.4. Este módulo cumple con las siguientes funciones:


- Accionar el sistema de encendido y apagado.
- Controlar la dirección de giro.
- Controlar la velocidad de giro.

### Funcionamiento del sistema

Abarca las funciones de encender la máquina hiladora, controlar operaciones de funcionamiento tales como: la dirección, velocidad de giro, apagado, entre otras.

Tabla 2.4. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 2: Sistema de control de la hiladora.

Alternativa 1	Tablero de control	
	Ventajas	Desventajas
	<p>Los componentes del tablero son de fácil adquisición.</p> <p>No existe la pérdida de señales.</p> <p>El personal calificado es de menor presupuesto que un trabajador especialista en PLC.</p>	<p>Capacitación para operar el equipo.</p> <p>Requieren constante mantenimiento.</p> <p>Cuando ocurre una falla puede ser difícil encontrar el elemento afectado.</p>
Alternativa 2	PLC	
	Ventajas	Desventajas

	<p>Bajo costo de mano de obra, debido a la automatización del proceso.</p> <p>Mejoramiento del monitoreo de procesos.</p> <p>Solo requiere una operación de control del proceso pues el código realiza todo el trabajo en comparación a la alternativa 1 donde los cambios se realizan de forma manual.</p>	<p>Perdidas de señales.</p> <p>Se requiere de personal calificado para posibles desconfiguraciones de no estar el proveedor presente.</p> <p>De quemarse un sistema se cambia el PLC por completo y no los componentes.</p>
---	---	---

Fuente: Propia.


### Módulo 3: Mecanismo de Hilado

Es el módulo encargado del proceso de hilado de la cuajada, y es el elemento motriz capaz de estirar la cuajada de forma continua. Este módulo cumple con la función de estirar la cuajada.

#### Estirar la cuajada

Consiste en un mecanismo rotatorio el cual permita estirar la cuajada dentro de la tina de almacenaje, para este módulo se presentan 4 alternativas como se aprecia en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 3: Mecanismo de hilado.

Alternativa 1	Tornillo de aspas geometría completa	
	Ventajas	Desventajas
	<p>El recorrido del tornillo abarca mayor cantidad de cuajada por su amplia área de contacto.</p> <p>El movimiento no solo es de rotación, sino que es longitudinal según la carrera del tornillo.</p>	<p>Se incrementa el costo y peso pues presenta mayor superficie por aspa.</p> <p>Alto costo de construcción por aspa debido a su geometría.</p> <p>Difícil montaje y desmontaje para mantenimiento por su geometría compacta.</p>
Alternativa 2	Tornillo de aspas en sección	
	Ventajas	Desventajas



	<p>Las aspas generan un movimiento de hilado tanto por fuera de su superficie como por dentro.</p> <p>El movimiento no solo es de rotación, sino que es longitudinal según la carrera del tornillo.</p> <p>Tiempo de hilado menor con este mecanismo.</p>	<p>Alto costo de construcción por las aspas debido al nivel de detalle en su geometría.</p> <p>Requiere de un montaje rígido en los ejes soportes por cada paso de hélice para que la misma no fleje mientras trabaja.</p>
<p>Alternativa 3</p>	<p>Eje de paletas con dientes</p>	
	<p><b>Ventajas</b></p> <p>Agarre mejor de la cuajada en la tina para la mezcla hilada gracias a sus dientes.</p> <p>Fácil construcción pues es una geometría simple.</p>	<p><b>Desventajas</b></p> <p>Si los dientes no son capaces de agarrar la cuajada solo rotará la masa en la tina y no la estirará.</p> <p>Movimiento de hilado solo radial pues el mecanismo solo funciona al rotar las paletas.</p>
<p>Alternativa 4</p>	<p>Eje de paletas tipo rejilla con pinchos</p>	
	<p><b>Ventajas</b></p> <p>Aumento de hilado a través de la rejilla de la paleta.</p> <p>Reduce peso por sus secciones huecas en las paletas.</p> <p>Construcción moderada a consecuencia de la rejilla.</p>	<p><b>Desventajas</b></p> <p>Movimiento de hilado solo radial pues el mecanismo solo funciona al rotar las paletas.</p> <p>Costo elevado por el nivel de detalle de los pinchos a los extremos de las paletas.</p>

Fuente: Propia.

#### Módulo 4: Calentamiento de la cuajada

Es el módulo encargado de calentar la cuajada pues para que sea posible estirar las fibras hasta finos hilos se requiere que esta facilite el amasado. Comprende los elementos reguladores y acoples necesarios para el ingreso del calor (vapor) hacia la tina. Este módulo cumple con las siguientes funciones:

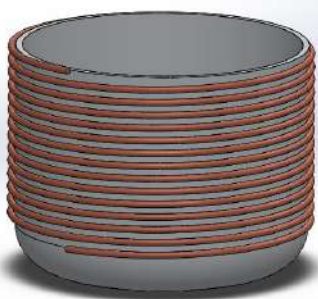
- Calentar de forma homogénea la cuajada.
- Controlar la temperatura.
- Desfogar el vapor acumulado.

### Etapa de calentamiento


Consiste en un sistema que permita controlar la temperatura del proceso de hilado conjuntamente con el desfogue del vapor acumulado, además de asegurar el calentamiento homogéneo en toda su estructura, para este módulo se presentan 2 alternativas. En el control de temperatura se establece que la mejor manera de operar de forma automática es usar una electroválvula para vapor con un termómetro. De igual manera para el desfogue del vapor se emplea una válvula termodinámica (trampa de vapor), se enlistan sus características en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 4: Calentamiento de la cuajada.


<b>Calentamiento</b>		
Alternativa 1	Chaqueta de vapor	
	Ventajas	Desventajas
	<p>Ahorra tiempo de calentamiento gracias al vapor.</p> <p>Ahorro de combustible pues el agua calentada se emplea de tuberías y equipos ya existentes en las fábricas de producción de lácteos.</p> <p>Genera un calentamiento homogéneo en todo su volumen.</p>	<p>Requiere inspección antes del funcionamiento, revisión de válvulas, conductos obstruidos.</p> <p>Costo de fabricación adicional por la chaqueta de vapor.</p>
Alternativa 2	Calentamiento directo a la tina por llama	
	Ventajas	Desventajas

	<p>Costo económico pues el calentamiento es externo (usando llama) y no requiere elementos internos.</p>	<p>Calentamiento no uniforme por todo el volumen. Usar un gas inflamable, posible agente de accidentes. Control permanente del gas.</p>
---	--	---

### Control de Temperatura

<p>Alternativa 1</p>	<p>Control a través de electroválvula con señal de termómetro</p>	
	<p><b>Ventajas</b></p> <p>Proporciona un control más rápido. Tiempo de estabilización más rápido por su carácter automático. Control estabilizado de temperatura. Sistema de accionamiento simple.</p>	<p><b>Desventajas</b></p> <p>Requiere de personal capacitado en el tema para su instalación. Representa un mayor costo respecto a una válvula común.</p>

### Desfogue del Vapor

<p>Alternativa 1</p>	<p>Válvula termodinámica</p>	
	<p><b>Ventajas</b></p> <p>Pueden operar sin ajustes ni cambios de válvula. Alta vida útil. Compactas, sencillas y ligeras. Es ideal para vapor de alta presión. Ofrece gran resistencia a la corrosión.</p>	<p><b>Desventajas</b></p> <p>Representa mayor inversión que una válvula común.</p>

Fuente: Propia.

## Módulo 5: Transporte de pasta hilada

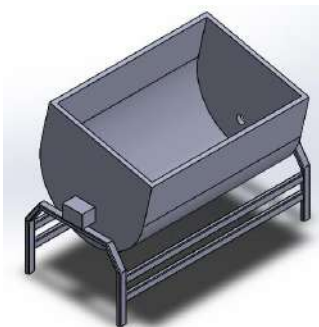
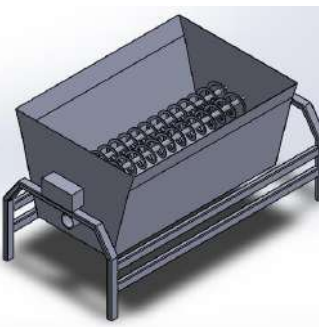
Es el módulo encargado de descargar (extraer) la pasta hilada una vez finalizado el proceso de hilado fuera del mecanismo de hilado y parte de la tina. Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Salida de la pasta hilada una vez finalizado el proceso.
- Controlar el flujo de descarga de salida.

### Mecanismo de transporte

Este consiste de un mecanismo en el cual la pasta hilada salga de la tina una vez finalizado el proceso, para ello se presentan 2 alternativas para el módulo 5, como se muestra en la tabla 2.7

Tabla 2.7. Análisis comparativo entre las alternativas del Módulo 5: Transporte de pasta hilada.

Alternativa 1	Rotación de la tina para la descarga	
	Ventajas	Desventajas
	<p>Sistema práctico y fácil de desarrollar.</p> <p>Mecanismo de descarga más rápido.</p>	<p>La pasta hilada no se descarga completa se retiene en la tina o en el mecanismo de hilado.</p> <p>Requiere un elemento de almacenamiento de gran tamaño para descargar toda la pasta hilada.</p>
Alternativa 2	Empuje del mismo mecanismo de hilado para descarga	
	Ventajas	Desventajas
	<p>Fácil construcción.</p> <p>Solo requiere una compuerta para controlar la proporción de pasta hilada en la descarga.</p> <p>Emplea el mismo mecanismo de hilado para descargar la pasta hilada.</p>	<p>El operario para verificar que toda la pasta ha sido descargada debe apagar el mecanismo por seguridad y extraer la pasta sobrante.</p>

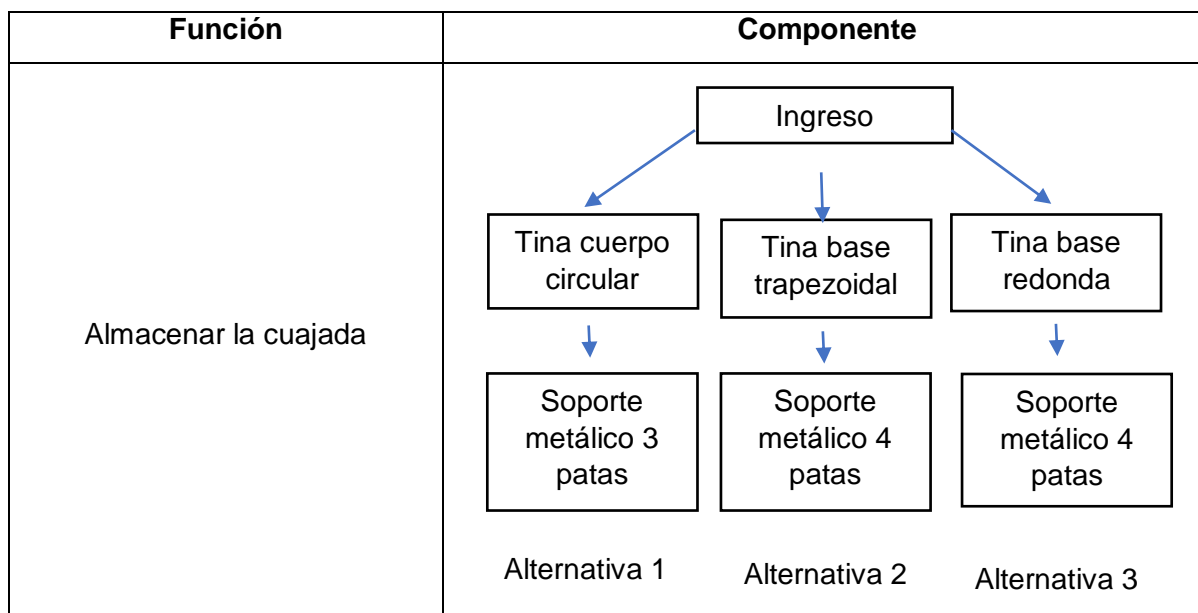
Fuente: Propia.

### 2.3.4. Selección y estudio de alternativas

#### Matriz morfológica módulo 1: Almacenador de la cuajada

La combinación de diferentes soluciones se muestra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Combinación de alternativas del Módulo 1: Almacenador de la cuajada.



Fuente: Propia

### Evaluación y selección de las alternativas del Módulo 1: Almacenador de la cuajada

Los criterios de valoración más determinantes que se consideraron fueron:

- **Criterio 1:** *Facilidad de ingreso del material. La máquina debe permitir el ingreso del material de manera práctica y sin complicaciones para el operario.*
- **Criterio 2:** *Capacidad de almacenamiento. Para lograr el requerimiento establecido por el usuario de capacidad.*
- **Criterio 3:** *Costo moderado, porque se busca un diseño económico.*
- **Criterio 4:** *Estabilidad para evitar desplazamientos, vuelque y vibraciones no aceptables.*

La evaluación del peso específico del módulo 1, muestra que se busca un costo moderado como primera prioridad, seguido de la capacidad de almacenamiento, la estabilidad y por último la facilidad de ingreso de la cuajada. Esto se resume en el ANEXO D y como conclusión del análisis se obtiene que la mejor solución para el módulo es la alternativa 3, la cual se detalla en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Conclusiones Módulo 1: Almacenador de cuajada.

Conclusión	Costo moderado	Capacidad de almacenamiento	Estabilidad	Fácil ingreso del material	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1 Tina circular	0,200	0,100	0,034	0,018	0,352	3

Alternativa 2 Tina trapezoidal	0,067	0,050	0,083	0,041	0,241	2
Alternativa 3 Tina redonda	0,133	0,150	0,083	0,041	0,407	1

Fuente: Propia.

## Matriz morfológica módulo 2: Sistema de control para la hiladora

La combinación de diferentes soluciones se muestra en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Combinación de alternativas del Módulo 2: Sistema de control para la hiladora.

Función	Componente	
Accionar el sistema de encendido y apagado	Pulsadores eléctricos	Programación
Controlar la dirección de giro	Conexión eléctrica	Lenguaje de Programación Completa de PLC
Controlar la velocidad de giro	Perillas de contacto	
	Alternativa 1	Alternativa 2

Fuente: Propia

## Evaluación y selección de las alternativas del Módulo 2: Sistema de control para la hiladora

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- **Criterio 1:** *Costo moderado porque se busca un diseño económico.*
- **Criterio 2:** *Facilidad de Manejo. Mayor operatividad por parte de los empleados.*
- **Criterio 3:** *Ahorro de Energía para minimizar el consumo eléctrico de la máquina.*
- **Criterio 4:** *Mantenimiento para facilitar la reparación y configuración del control.*

La evaluación de peso específico del módulo 2 muestra que el grado mayor de importancia se da a la facilidad del manejo del control, seguido del costo, el mantenimiento y por último el ahorro de energía, esto se aprecia mejor en el ANEXO E. Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 2.11 la mejor alternativa es la número 2 para este módulo.

Tabla 2.11. Conclusiones módulo 2: Sistema de control para la hiladora.

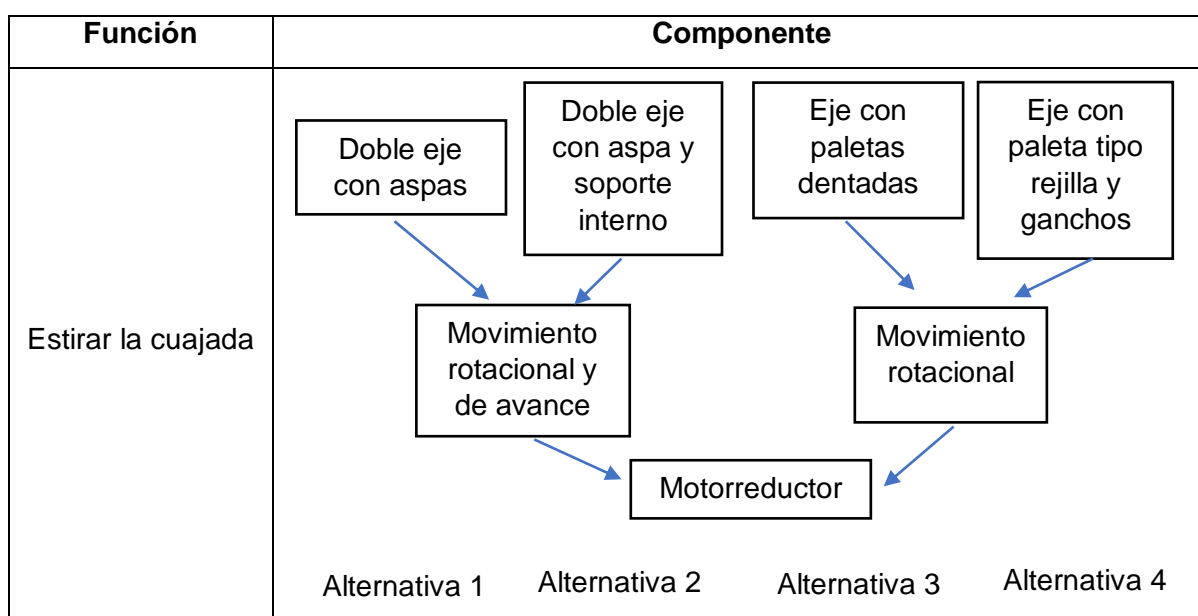
Conclusión	Fácil manejo	Costo	Mantenimiento	Ahorro de energía	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1 Pulsadores eléctricos	0,267	0,200	0,067	0,033	0,567	1
Alternativa 2 Programación	0,133	0,100	0,133	0,067	0,433	2

Fuente: Propia.

### Matriz morfológica Módulo 3: Mecanismo de hilado

La combinación de diferentes soluciones se muestra en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Combinación de alternativas del Módulo 3: Mecanismo de hilado.



Fuente: Propia

### Evaluación y selección de las alternativas del Módulo 3: Mecanismo de hilado

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- **Criterio 1:** *Versatilidad en los grados de libertad para el estirado de la cuajada.*
- **Criterio 2:** *Facilidad de Mantenimiento para no requerir herramientas y equipos especiales para su mantenimiento.*
- **Criterio 3:** *Energía eléctrica. Se busca un mecanismo que opere con mayor efectividad para minimizar el consumo eléctrico de la máquina.*
- **Criterio 4:** *Confiabilidad para garantizar una probabilidad baja de falla en el cumplimiento de hilado.*
- **Criterio 5:** *Costo moderado porque se busca una alternativa con menor inversión.*

La evaluación de peso específico del módulo 3, muestra que la prioridad es encontrar una alternativa confiable y versátil que ofrezca un fácil mantenimiento con elementos que no requieran equipo especializado. Un bajo consumo de energía eléctrica pues se busca una alternativa efectiva que emplee menos recursos alcanzando los mismos objetivos. Esto se aprecia mejor en el ANEXO F. Como resultado se obtiene que la alternativa 2 es la mejor solución para el módulo 3 según se puede apreciar los resultados en la tabla 2.13.

Tabla 2.13. Conclusiones Módulo 3: Mecanismo de hilado.

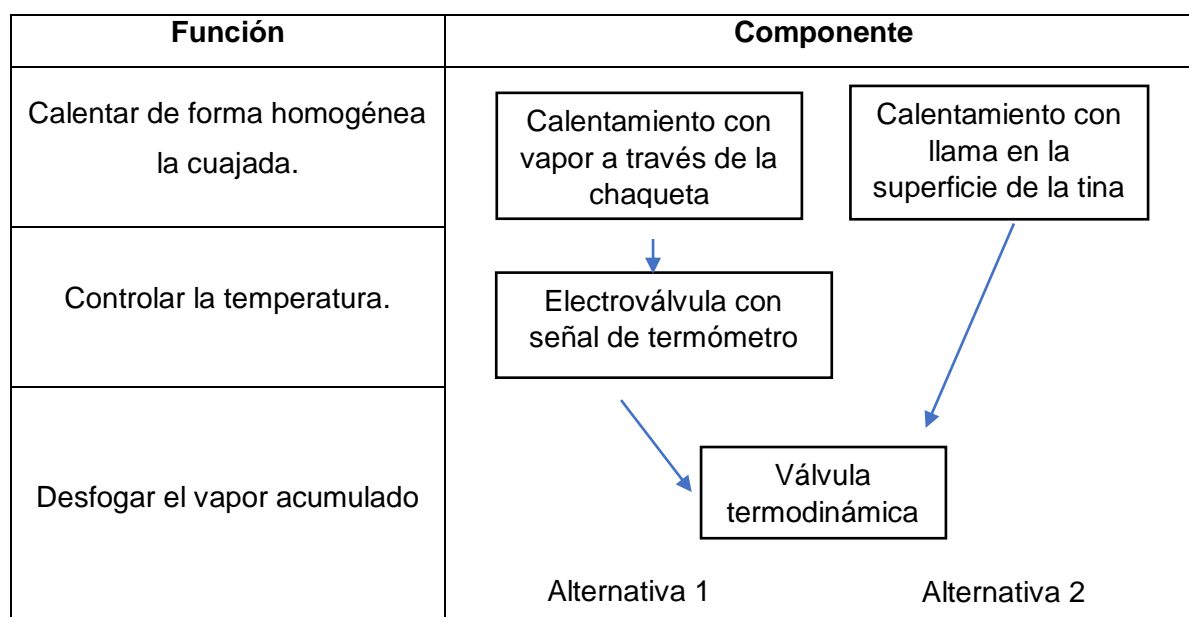
Conclusión	Confiabilidad	Versatilidad	Fácil mantenimiento	Energía eléctrica	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1 Doble eje aspa	0,067	0,093	0,050	0,014	0,024	0,248	2
Alternativa 2 Doble eje aspa y soporte	0,133	0,093	0,050	0,039	0,024	0,339	1
Alternativa 3 Eje paletas dentadas	0,033	0,040	0,080	0,053	0,010	0,216	3
Alternativa 4 Eje paletas (rejilla)	0,100	0,040	0,020	0,027	0,010	0,197	4

Fuente: Propia.

### Matriz morfológica Módulo 4: Calentamiento de la cuajada

La combinación de diferentes soluciones se muestra en la tabla 2.14.

Tabla 2.14. Combinación de alternativas del Módulo 4: Calentamiento de la cuajada.



Fuente: Propia.



## Evaluación y selección de las alternativas del Módulo 4: Calentamiento de la cuajada

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- **Criterio 1:** *Confiabilidad para garantizar una probabilidad baja de falla en el calentamiento de la tina que almacena la cuajada.*
- **Criterio 2:** *Seguridad Industrial para obtener la alternativa que brinde seguridad y confianza a los empleados para manipular el medio de calentamiento de la tina.*
- **Criterio 3:** *Costo moderado que brinde un ahorro energético en el proceso de calentamiento.*

La evaluación de peso específico del módulo 4, muestra que se prioriza la confiabilidad para reducir fallos al momento de calentar la tina, seguido de la seguridad que el medio de calentamiento brinde al operario y por último el costo de operación, esto se aprecia mejor en el ANEXO G. Como resultado se obtiene que la alternativa 1 es la mejor solución para el módulo 4 según se puede apreciar los resultados en la tabla 2.15.

Tabla 2.15. Conclusión Módulo 4: Calentamiento de la cuajada.

<b>Conclusión</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Seguridad industrial</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
Alternativa 1 Chaqueta de vapor	0,333	0,222	0,111	0,666	1
Alternativa 2 Llama en la superficie	0,167	0,111	0,056	0,334	2

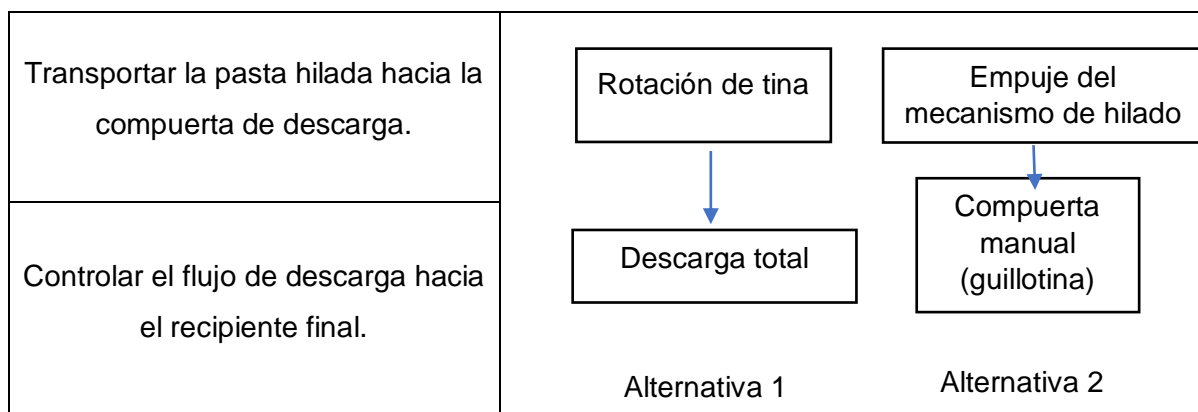
Fuente: Propia.

## Matriz morfológica Módulo 5: Transporte de la pasta hilada

La combinación de diferentes soluciones se muestra en la tabla 2.16.

Tabla 2.16. Combinación de alternativas del Módulo 5: Transporte de la pasta hilada

<b>Función</b>	<b>Componente</b>
----------------	-------------------



Fuente: Propia

### Evaluación y selección de las alternativas del Módulo 5: Transporte de la pasta hilada

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- **Criterio 1:** *Ergonomía, seguridad y confort del operario que efectúa la operación.*
- **Criterio 2:** *Costo económico para buscar una alternativa que proporcione un sistema barato.*
- **Criterio 3:** *Traslado de la pasta hilada. Se busca seleccionar la mejor forma de transportar la pasta hilada hacia la dosificadora.*

La evaluación de peso específico del módulo 5, muestra que la prioridad la tiene la alternativa que proporcione un sistema más sencillo del traslado de pasta hilada, seguido de la ergonomía y por último el costo, se aprecia de mejor manera en el ANEXO H. Como resultado se obtiene que la alternativa 2 es la mejor solución para el módulo 5 según se puede apreciar los resultados en la tabla 2.17.

Tabla 2.17. Conclusión Módulo 5: Transporte de pasta hilada.

Conclusión	Traslado de pasta hilada	Ergonomía	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1 Rotación tina	0,167	0,111	0,083	0,362	2
Alternativa 2 Mecanismo de empuje	0,333	0,222	0,083	0,638	1

Fuente: Propia.

## 2.4. Matriz morfológica

En este subcapítulo se muestra un arreglo ordenado de las soluciones seleccionadas entre las alternativas presentadas en cada módulo, de esta manera se entrelazan las funciones

para darle forma al diseño conceptual de la máquina. En la tabla 2.18 se muestra la matriz morfológica de la máquina hiladora para queso de pasta hilada.

Tabla 2.18. Matriz morfológica de soluciones

Modulo	Alternativas de diseño			
Almacenador de la cuajada	Tina cuerpo circular	Tina base trapezoidal	Tina base redonda	
Sistema de control para la hiladora	Tablero de control		PLC	
Mecanismo de hilado	Doble eje con aspas	Doble eje con aspas y soporte	Eje con paletas dentadas	Eje con paleta tipo rejilla y ganchos
Calentamiento de la cuajada	Chaqueta de vapor		Llama de fuego	
Transporte de la pasta hilada	Rotación de tina		Empuje del mecanismo	

Fuente: Propia

### 2.4.1. Diseño conceptual de la máquina

En la figura 2.5 se presenta el modelo conceptual de la máquina hiladora tomando en cuenta las soluciones seleccionadas para cada módulo previamente planteado. En la figura se observa las partes de los diferentes módulos como por ejemplo el módulo 1, que consiste en la tina de base redonda el cual ya contiene una chaqueta de vapor para su calentamiento (módulo 4). El módulo 3 es el sistema de doble eje con hélices este trabajara directamente con el material, el módulo 5 es el empuje que se genera por el movimiento de las hélices para llevar el material hasta la compuerta de salida.

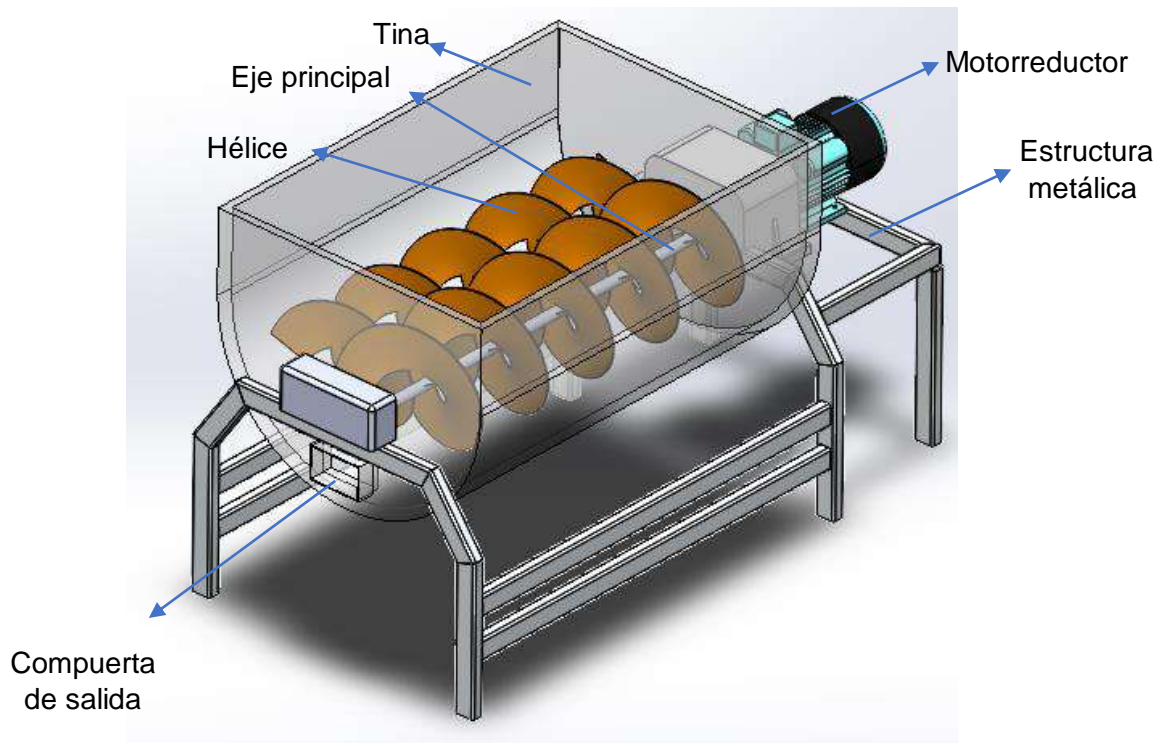


Figura 2.5. Diseño conceptual de la máquina hiladora  
Fuente: Propia

## 2.5. Cálculo de componentes y selección de materiales

Una vez obtenido el diseño conceptual de la máquina hiladora, en este subcapítulo se desarrolla el diseño a detalle en base a las especificaciones técnicas mostradas en la sección 2.2.

### 2.5.1. Dimensionamiento de la tina

En base a la información recopilada se presenta el volumen de trabajo requerido para la máquina que es de 70 Kg de cuajada, basado en las propiedades del producto, como primera consideración se establece que la densidad de la cuajada es muy similar a la de la leche ( $1046 \text{ Kg/m}^3$ ) puesto que la temperatura de trabajo oscila entre los 60 hasta los  $80^\circ\text{C}$ . La segunda consideración se establece en la medición del queso mozzarella como producto final respecto a su peso y volumen que ocupa. La tabla 2.19 muestra las propiedades físicas de distintos estados de la materia durante el proceso.

Tabla 2.19. Propiedades físicas de la cuajada y queso mozzarella.

Estado	Densidad $\text{Kg/m}^3$
Cuajada	1046
Mozzarella	1010,12

Fuente: Propia.

El volumen del recipiente parte de acuerdo a la necesidad de trabajar con el producto con mayor densidad establecida en la tabla 2.19, además se considera que el volumen del recipiente debe de ser el doble de lo calculado pues de esta manera se evita salpicaduras y que el producto se derrame mientras se procesa la cuajada. El volumen requerido se obtiene a partir de la ecuación 2.1.

$$V = 2 * \left( \frac{m}{\rho} \right) \quad (Ec. 2.1)$$

Donde:

$V$ : Volumen requerido de la tina [ $m^3$ ]

$\rho$ : Densidad del producto [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]

$m$ : Masa de cuajada de trabajo [ $Kg$ ]

$$V = 2 * \left( \frac{70}{1046} \right) = 0,1338 [m^3]$$

El recipiente de la tina presenta una forma de U, la base es una semicircunferencia y una zona rectangular en la parte superior, ver figura 2.6.

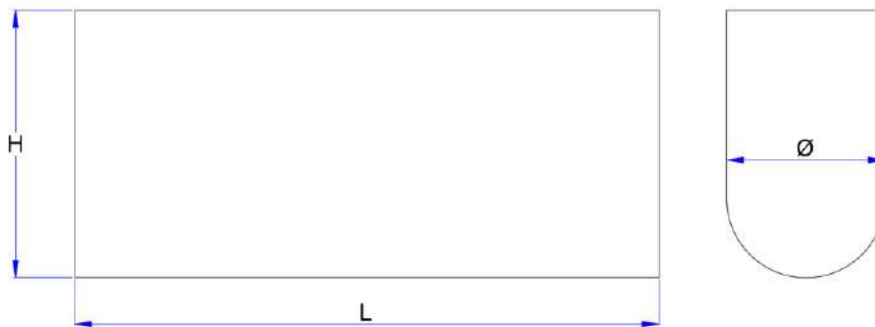


Figura 2.6. Esquema de la tina.  
Fuente: Propia.

Para el dimensionamiento de la tina se establecen las medidas necesarias que establezcan un volumen de trabajo igual o superior al calculado anteriormente. Se toma en consideración que se trabaja con la mitad de la tina, la expresión de cálculo se muestra en la ecuación 2.2.

$$Vt = \left[ L * \left( \frac{\pi * \phi^2}{8} \right) \right] + \left[ L * \left( H - \frac{\phi}{2} \right) * \phi \right] \quad (Ec. 2.2)$$

Donde:

$Vt$ : Volumen de la tina [ $m^3$ ]

$L$ : Longitud de la tina [ $m$ ]

$H$ : Altura de la tina [m]

$\emptyset$ : Diámetro de la base de la tina [m]

$$V_t = \left[ 0,7 * \left( \frac{\pi * 0,4^2}{8} \right) \right] + \left[ 0,7 * \left( 0,6 - \frac{0,4}{2} \right) * 0,4 \right] = 0,156 [m^3]$$

$$V_t > V; 0,156 [m^3] > 0,134 [m^3]$$

Se debe cumplir la condición  $V_t > V$  para que el volumen de tina sea suficiente. Al realizar una comparación entre volúmenes, se observa que el volumen de la tina es mayor al volumen requerido por lo que las dimensiones propuestas para la tina satisfacen la demanda de producto requerido.

### 2.5.1.1. Cálculo del espesor de la tina

Para el cálculo del espesor se realiza un análisis considerando al sistema que se encuentra sometido a una presión hidrostática, ya que la tina está sumergida bajo la cuajada que adquiere un comportamiento de fluido. La fuerza de presión se descompone en sus componentes horizontal ( $F_H$ ) y vertical ( $F_V$ ), por su simetría se analiza en la mitad de la tina, ver figura 2.7.

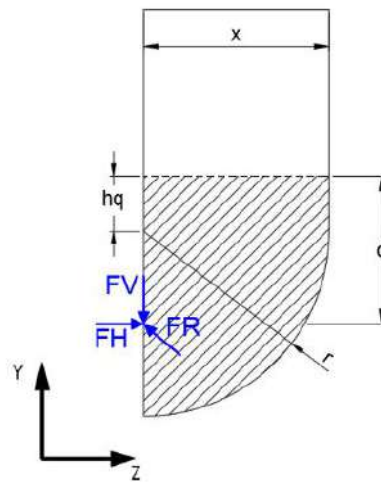


Figura 2.7. Diagrama de cuerpo libre de la tina.

Fuente: Propia.

El peso específico del queso mozzarella se obtiene con la ecuación 2.3. Las ecuaciones 2.4 y 2.5. Corresponden al valor de las fuerzas horizontal y vertical respectivamente. Mediante la ecuación 2.6 se estima una longitud de contacto en la tina.

$$\gamma = \rho * g \quad (Ec. 2.3)$$

$$F_H = \gamma * L_c * r * h_c \quad (Ec. 2.4)$$

$$F_V = Vt * \gamma \quad (Ec. 2.5)$$

$$L_c = \frac{\pi\phi}{2} + \left(\frac{1}{3}\right)\frac{H}{2} \quad (Ec. 2.6)$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del queso mozzarella [ $Kg/m^2s^2$ ]

$\rho$ : Densidad del queso mozzarella [ $Kg/m^3$ ]

$g$ : Gravedad [ $m/s^2$ ]

$F_H$ : Fuerza horizontal [ $N$ ]

$L_c$ : Longitud del recipiente en contacto [ $m$ ]

$r$ : Radio de la superficie curva [ $m$ ]

$c$ : Distancia de la superficie al centroide de la tina [ $m$ ]

$F_V$ : Fuerza vertical [ $N$ ]

$Vt$ : Volumen que ocupa el fluido en el recipiente [ $m^3$ ]

$$L_c = \frac{\pi(0,4)}{2} + \left(\frac{1}{3}\right)\frac{0,6}{2} = 0,73 [m]$$

$$\gamma = 1046 * 9,81 = 10261,26 [Kg/m^2s^2]$$

$$F_H = 10261,26 * 0,73 * 0,2 * 0,238 = 335,74 [N]$$

$$F_V = 0,156 * 10261,26 = 1600,75 [N]$$

Conocidas las componentes horizontal y vertical se asume que la fuerza  $F_V$  es la que actúa sobre la longitud del recipiente en contacto, ver figura 2.8.

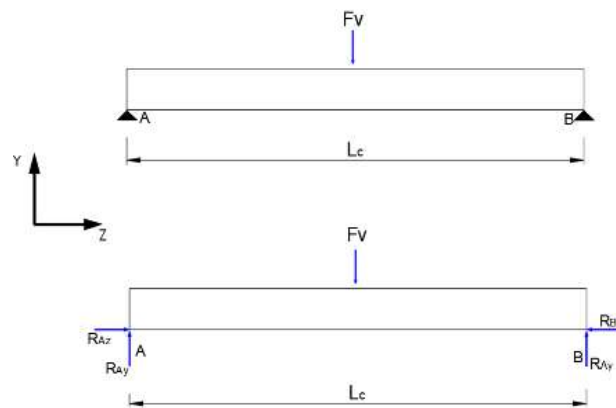


Figura 2.8. DCL de la tina considerando una viga apoyada en sus extremos.

Fuente: Propia.

Se procede al cálculo de las reacciones y momentos para encontrar el momento máximo  $M_{Max}$  que será utilizado en la ecuación (Ec. 2.7).

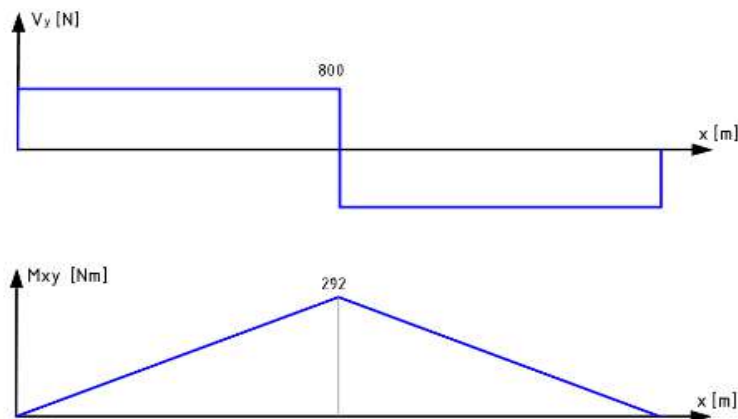


Figura 2.9. Diagrama de cortante y momento flector de la tina.

Fuente: Propia.

Tabla 2.20. Tabla de reacciones y momento máximo de la tina.

$R_{Ay}$	800 [N]
$R_{Ay}$	800 [N]
$M_{Max}$	292 [Nm]

Fuente: Propia.

Es necesario conocer la inercia, para ello se emplea el software AutoCAD donde se asume el material como acero inoxidable para lo cual se asume un espesor de  $t = 2$  [mm].

$$\sigma_{max} = \frac{M_{Max} * c}{I} \quad (Ec. 2.7)$$

$$\sigma_{max} = \frac{292 * 0,238}{6,13 \times 10^{-5}} = 1,13 \text{ [MPa]}$$

La resistencia a la fluencia del AISI 304 es de 310 [MPa]. Al comparar estos dos valores se determina que la tina no fallara por flexión, partiendo del concepto de que durante el proceso se inyecta calor generando deformación con espesores menores, se opta por utilizar un espesor de 3 mm por disponibilidad en el mercado.

### 2.5.1.2. Cálculo de la deflexión en la tina

El peso del fluido puede deformar la tina por lo que se establece como criterio para una deflexión máxima permisible en la tina de  $\frac{L}{360} \approx 2$  [mm]. Con la ecuación 2.8 se establece la deflexión alcanzada con las cargas calculadas.



$$\delta_{max} = \frac{FV * L_c^3}{384 * E * I} \quad (Ec. 2.8)$$

Donde:

$I$ : Segundo momento de área de la sección de la tina [ $m^4$ ]

$E$ : Módulo de elasticidad del acero inoxidable AISI 304 [ $GPa$ ]

$\delta_{max}$ : Deflexión máxima de la tina [ $mm$ ]

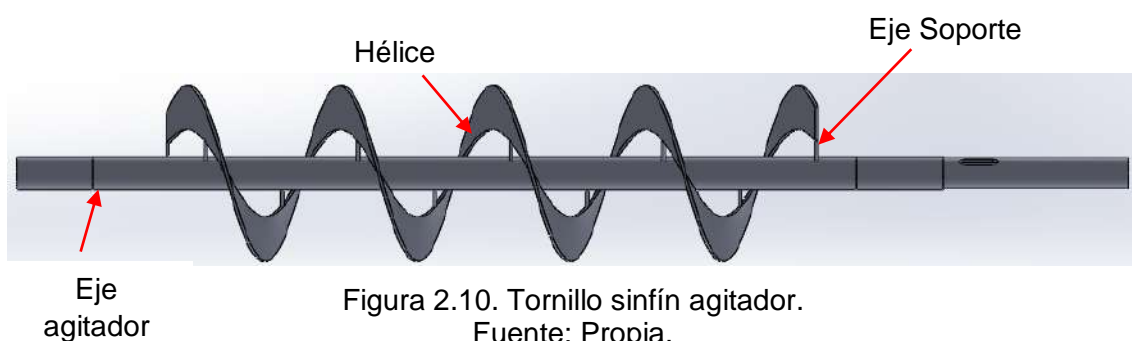
$$\delta_{max} = \frac{1600,75 * 0,73^3}{384 * 193 \times 10^9 * 1,575 \times 10^{-6}}$$

$$\delta_{max} = 0,0053 \text{ [mm]}$$

De acuerdo al resultado obtenido la deflexión máxima es menor al criterio de deflexión máxima permisible por lo que se determina que la tina no fallará por deflexión con un espesor de 3 mm.

## 2.5.2. Dimensionamiento del eje agitador

En el diseño conceptual se estableció la geometría del tornillo sin fin que servirá como agitador y sistema de avance de la pasta hilada tal como se muestra en la figura 2.10. En esta sección se desarrollará el dimensionamiento de las partes que lo conforman.



### 2.5.2.1. Dimensionamiento de la hélice para eje agitador

Para asegurar que la cuajada en su etapa más “sólida” se mueva libremente a través de las hélices previo a que esta se convierta en pasta hilada, se asume las dimensiones de la tina calculada para tener el radio exterior de la hélice  $\phi = 0,2 \text{ [m]}$ ; así como el paso de la hélice la cual se asume un  $p = 175 \text{ [mm]}$  de tal manera que el sistema consta con 4 hélices; al ser un sistema de doble tornillo se tiene en total 8 hélices. Se selecciona una hélice tipo helicoidal

de listón sujeta con poste como se muestra en la figura 2.11, ya que esta geometría por poste ayuda al traslado de sustancias pegajosas o viscosas, evitando que estas se adhieran al sistema de transporte.

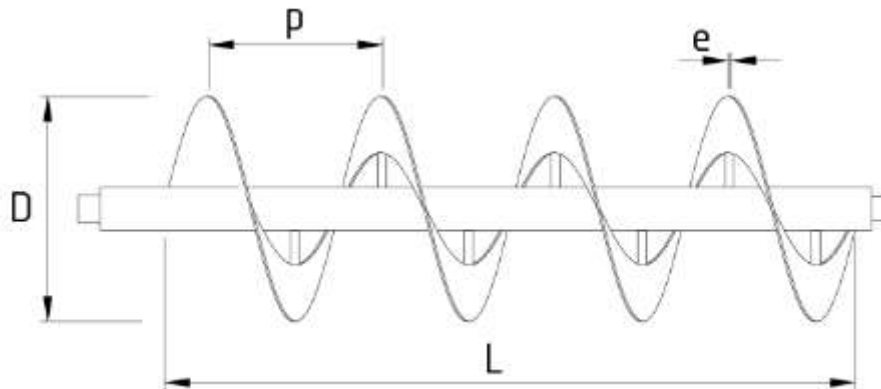


Figura 2.11. Geometría de la hélice tipo listón con poste.  
Fuente: Propia.

Las dimensiones de la hélice se determinan en base a las condiciones necesarias para el estirado adecuado del producto a través de sus etapas de hilado; las etapas son: (a) cuajada (fase sólida), (b) fase de transición y (c) fase chiclosa (pasta hilada) como se muestra la figura 2.12. Para las 3 etapas se realizó un experimento para determinar la fuerza necesaria para mover el producto en cada etapa del proceso, se elaboró un pequeño prototipo del tornillo sin fin, ver figura 2.12, así como también una olla con tapa para manivela manual de agitación de una hélice.



Figura 2.12. Prototipo construido del tornillo sin fin y de una hélice  
Fuente: Propia.

De esta manera se asemeja la geometría y se extrapola las fuerzas relacionando el área de contacto del experimento con el área original para encontrar las fuerzas que actúan sobre la hélice. Con la implementación de un dinamómetro, como se observa en la figura 2.13 (d) se determinó la fuerza necesaria para mover el material en sus 3 fases.



Figura 2.13. (a) Cuajada (Fase sólida), (b) Fase transitoria, (c) Fase chiclosa (Pasta hilada), (d) Colocación del dinamómetro.

Fuente: Propia.

El esquema del experimento se muestra en la figura 2.14, y sus variables son detalladas en la tabla 2.21. Para obtener los valores de fuerza se construyó un dinamómetro casero, ver figura 2.15. Para ello se empleó un resorte al cual se le calculó la constante elástica del muelle a través del sometimiento de distintos pesos para medir la extensión  $\Delta x$  del resorte y obtener un promedio como se muestra en la tabla 2.22.

Tabla 2.21. Datos iniciales para el experimento.

Variables	Valor
Velocidad angular experimental	$\omega_{exp} = 20 [RPM]$
Radio promedio de la hélice	$c = 0,0575 [m]$
Radio de la manivela	$r_1 = 0,09 [m]$
Alto de la hélice	$a = 0,06 [m]$
Radio de la hélice	$r_2 = 0,115 [m]$
Relación de radios $\frac{r_1}{r_2}$	0,15652

Fuente: Propia

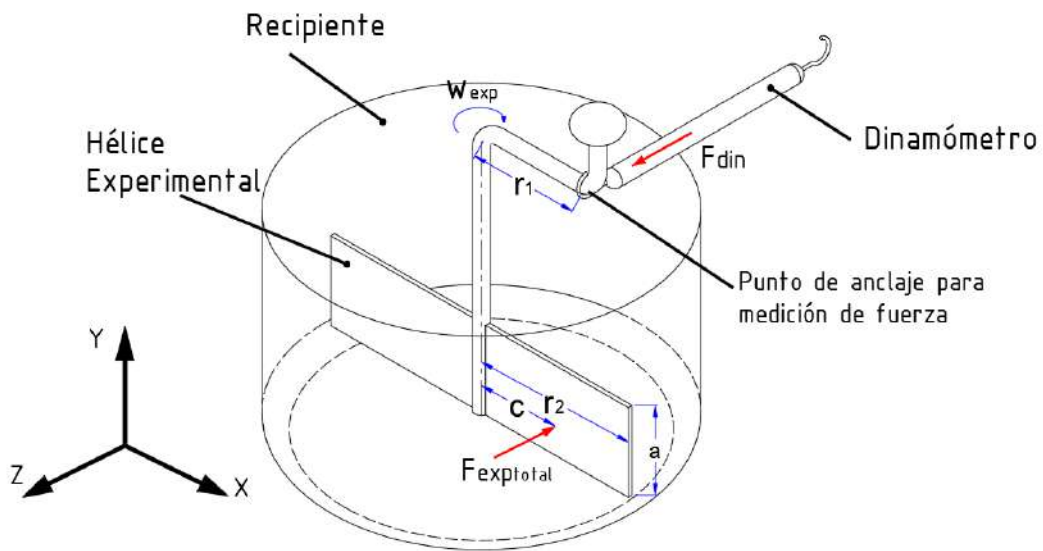


Figura 2.14. Representación esquemática del experimento  
Fuente: Propia.



Figura 2.15. Dinamómetro casero  
Fuente: Propia.

Tabla 2.22. Resultados del experimento para determinar la constante k del resorte.

Masa (gr)	F (N)	$\Delta x$ (m)	K (N/m)
45	0,441	0,004	110,36
100	0,981	0,008	122,63
200	1,962	0,018	109,00
140	1,373	0,012	114,45
30	0,245	0,002	147,15
<b>Promedio K</b>			<b>120,72</b>

Fuente: Propia.

Conocido el valor de la constante k, en la tabla 2.22 se obtienen las fuerzas ejercidas en la hélice durante las fases del proceso de obtención de pasta hilada. A través de un balance de fuerzas; se igualan los torques ejercidos en los extremos del eje de transmisión y se realiza

una relación de radios para encontrar la fuerza total experimental que es ejercida por el material sobre la hélice. Los valores de las fuerzas totales experimentales para cada etapa del proceso de obtención de pasta hilada se encuentran en la tabla 2.23.

Tabla 2.23. Resultados del experimento para la obtención de fuerzas ejercidas en la hélice en distintas fases.

Experimento						
Constante K del resorte (120,72 N/m)						
#	Cuajada		Transitoria		Chiclosa	
	$\Delta x$ (m)	$F_{Texp}$ (N)	$\Delta x$ (m)	$F_{Texp}$ (N)	$\Delta x$ (m)	$F_{Texp}$ (N)
1	0,0400	7,51	0,0250	4,70	0,0750	14,09
2	0,0350	6,57	0,0300	5,63	0,0600	11,27
3	0,0400	7,51	0,0350	6,57	0,0750	14,09
4	0,0350	6,57	0,0400	7,51	0,0650	12,21
5	0,0400	7,51	0,0250	4,70	0,0750	14,09
6	0,0450	8,45	0,0350	6,57	0,0700	13,15
7	0,0350	6,57	0,0400	7,51	0,0650	12,21
8	0,0450	8,45	0,0250	4,70	0,0700	13,15
9	0,0550	10,33	0,0350	6,57	0,0750	14,09
10	0,0500	9,39	0,0450	8,45	0,0650	12,21
<b>Promedio</b>		7,89		6,29		13,09

Fuente: Propia.

De acuerdo a la tabla 2.23, se requiere mayor fuerza en la fase denominada “chiclosa”. Con la fuerza experimental total encontrada se relaciona a través de una relación de áreas de superficies de contacto de la hélice experimental y del prototipo con las medidas previamente determinadas en el diseño. Para la fuerza total requerida ( $F_{Treq}$ ) se le aplica un factor de seguridad y se multiplica por  $n$ : número de hélices en contacto de la maquina hiladora.

$$F_{HR} = \frac{F_{Texp} * A_{HR}}{A_{exp}} \quad (Ec. 2.9)$$

Donde:

$F_{HR}$ : Fuerza en la hélice real [N ]

$F_{Texp}$ : Fuerza total experimental en la hélice [N]

$A_{HR}$ : Área superficial de hélice real [ $m^2$ ]

$A_{exp}$ : Área experimental de la hélice [ $m^2$ ]

$$F_{HR} = \frac{13,09 * 0,06}{0,0165} = 47,6 [N]$$

$$FT_{req} = FS * F_{HR} * n = 1,5 * 47,6 * 8$$

$$FT_{req} = 571,21 [N]$$

Tabla 2.24. Comparación de fuerzas experimentales con fuerzas reales en la componente horizontal de la hélice

Comprobación de fuerzas encontradas		
Fase de queso	Fuerza experimental	Fuerza real total
Cuajada	7,89 [N]	344,29 [N]
Transitoria	6,29 [N]	274,47 [N]
Chiclosa	13,09 [N]	571,21 [N]

Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla 2.24 se observa que se necesitara más fuerza en la fase chiclosa, siendo esta la fase crítica por ende se utilizara este valor de fuerza  $Fr = 571,21 [N]$ , para determinar las componentes de dicha fuerza se realiza un análisis de fuerzas, tomando en cuenta el centro de la hélice  $C = 150 [mm]$ , como se realizó en el cálculo de la hélice experimental, la representación gráfica se muestra en la figura 2.16.

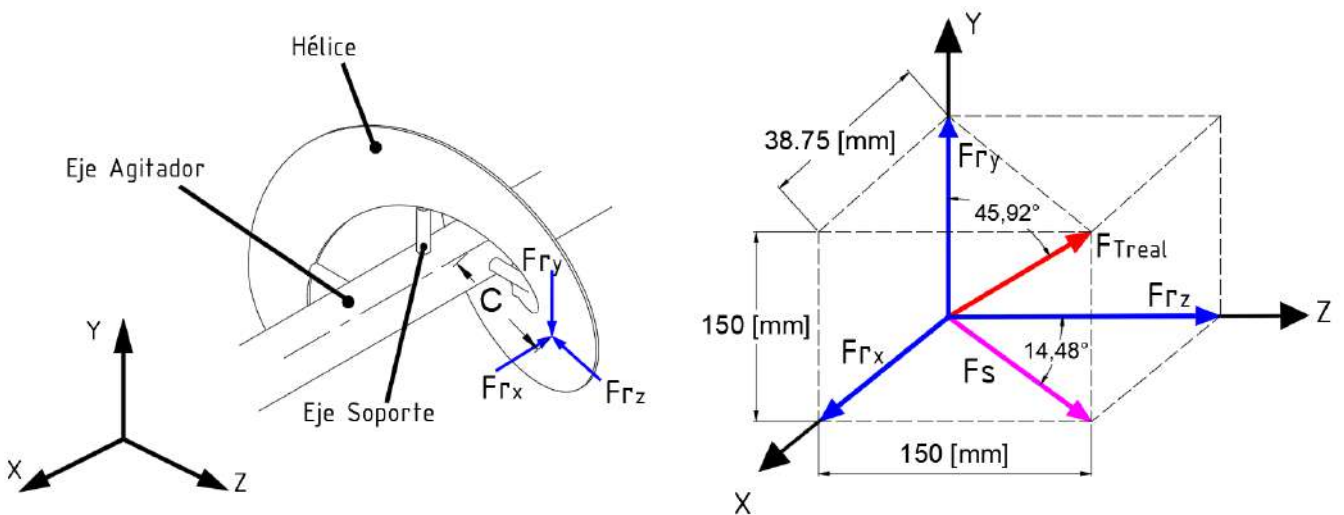


Figura 2.16. Fuerzas que actúan en la hélice agitadora y análisis de fuerzas.

Fuente: Propia.

El análisis de fuerzas se toma en una sección de hélice ( $\frac{1}{4}$  de vuelta), la longitud de  $38,75 [mm]$  para el eje "X". Para hallar las fuerzas ( $F_{rx}, F_{ry}, F_{rz}$ ) en cada dirección se requiere un análisis del vector total con sus ángulos proyectados en el espacio. Los valores de las

componentes de la fuerza real total resultante en la hélice del eje principal se muestran a continuación:

$$Fr_x = 142,82 [N] \quad Fr_y = 397,37 [N] \quad Fr_z = 397,37 [N]$$

### 2.5.2.1.1. Determinación del espesor de la hélice

Se realiza una analogía asumiendo una placa de  $\frac{1}{4}$  de la longitud de la hélice, como se muestra la figura 2.17. Como datos se tiene un espesor estimado  $t = 3 [mm]$ ,  $a = 0,3141 [m]$  y  $b = 0,05 [m]$  para la obtención del esfuerzo y la deflexión de la hélice se utiliza las ecuaciones 2.16 y 2.17 (Warren C., Young Richard G., Budynas, 2002), respectivamente.

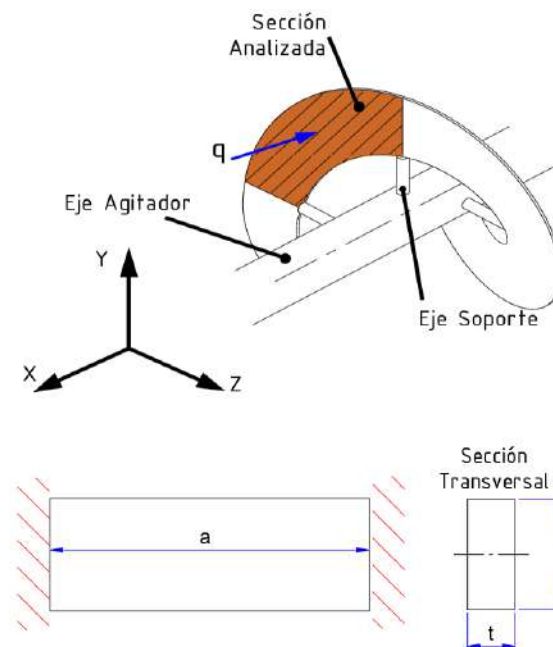


Figura 2.17. DCL de la hélice considerando una sección de placa cuasi empotrada  
Fuente: Propia

$$\sigma_{max} = \frac{-\beta q b^2}{t^2} \quad (Ec. 2.10)$$

$$\delta_{max} = \frac{-\alpha q b^4}{Et^3} \quad (Ec. 2.11)$$

Donde:

$\beta$ : Factor de relación de tamaño para esfuerzo, ANEXO O.

$\alpha$ : Factor de relación de tamaño para deformación, ANEXO O.

$q$ : Carga distribuida sobre el área analizada  $\left[\frac{lb}{in^2}\right]$

$b$ : Ancho de la placa  $[in]$

$t$ : Espesor de la placa  $[in]$

$E$ : Módulo de elasticidad del acero inoxidable AISI 304  $[Psi]$

$\delta_{max}$ : Deflexión máxima de la hélice [in]

El valor de  $\beta$  y  $\alpha$  se determina mediante la relación  $a/b$ , las ecuaciones mostradas están en el sistema inglés por lo que las variables consideradas se transforman a este sistema para hallar los valores de las ecuaciones planteadas.

$$\sigma_{max} = \frac{-0,75 * 1,36 * 1,968^2}{0,11^2} = 326,48 [Psi]$$

$$\sigma_{max} \approx 2,25 [MPa]$$

$$\delta_{max} = \frac{1,36 * 1,968^4}{28 * 10^6 * 0,11^3} = 0,547 * 10^{-3} [in]$$

$$\delta_{max} \approx 0,03 [mm]$$

Basado en el criterio de la deflexión máxima permisible se asume un valor de  $\frac{L}{360} \approx 0,87 mm$ , y la resistencia elástica del acero inoxidable 304 de 310 [MPa]. Al comparar estos valores se concluye que el espesor asumido, la hélice tolera las cargas a la que está sometida.

### 2.5.3. Potencia de trabajo

Para obtener la potencia requerida total se debe conocer la potencia que se necesita para mover la pasta hilada. Para determinar la potencia máxima de movimiento requerido se emplean las ecuaciones 2.12 y 2.13, se toma en consideración la fuerza total calculada experimentalmente que posteriormente fue extrapolada en la sección 2.5.2.1. Con una velocidad angular máxima de trabajo de  $\omega_{max} = 40 [RPM]$

$$P_{requerida} = \frac{\omega_{max} * T_H}{745} \quad (Ec. 2.12)$$

$$T_H = F_T * c \quad (Ec. 2.13)$$

Donde:

$\omega_{max}$ : Velocidad angular [rad/s ]

$T_H$ : Torque generado por el contacto de las hélices y la pasta hilada.

$F_T$ : Fuerza ejercida total de contacto entre la hélice y la pasta hilada [N]

$c$ : Distancia del eje neutro al extremo de la hélice [m]

$$T_H = 571,21 * 0,15 = 85,68 [Nm]$$

$$P_{requerida} = \frac{4,19 * 85,68}{745} = 0,48 [HP]$$



Para determinar la potencia total de trabajo se emplea la ecuación 2.14 que considera el rendimiento del motorreductor, el factor de seguridad y el factor de servicio, ver ANEXO B

$$P_{Total} = \frac{P_{requerida} * F_{servicio}}{\eta} \quad (Ec. 2.14)$$

Donde:

$F_s$ : Factor de servicio para carga fluctuante moderada con tiempo de trabajo inferior a 8 horas de trabajo/día, ver ANEXO B

$\eta$ : Rendimiento del motorreductor

$$P_{Total} = \frac{0,48 * 1,5}{0,7} = 1,04 [HP]$$

Con fines de practicidad ya que se considera que se pierde potencia por fricción entre elementos se selecciona un motorreductor para el proceso de hilado de queso con una potencia de salida de 1,5 [HP], de la marca Rossi cuya ficha técnica se encuentra detallada en el ANEXO L.

### 2.5.3.1. Cálculo del tren de transmisión

El criterio de selección de los piñones será la distancia entre centros, la potencia transmitida y la velocidad angular. Se conoce que el motorreductor entrega una potencia de salida de 1,5 [HP], la velocidad angular de trabajo 36 [RPM] y la distancia entre centros tentativos entre los 4 piñones como se muestra en la figura 2.18.

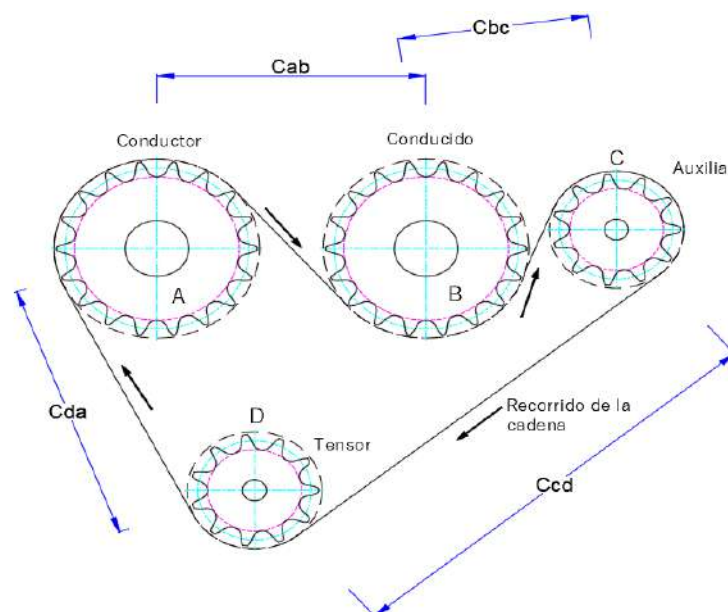


Figura 2.18. Diagrama del tren de potencia  
Fuente: Propia.

### 2.5.3.1.1. Selección de piñón para los ejes agitadores

Considerando que se dispone de dos ejes agitadores del mismo diámetro  $\emptyset = 1.5 [in]$ , ver sección 2.5.2, se asume un valor de  $Z = 18$  dientes,  $paso = 3/4"$ , tipo B, ver ANEXO M para geometría del piñón, se procede a comprobar la distancia tentativa con el diámetro exterior  $D_e$  del piñón preseleccionado. Las distancias tentativas entre los piñones son:  $C_{ab} = 160 [mm]$ ,  $C_{bc} = 110 [mm]$ ,  $C_{cd} = 280 [mm]$ ,  $C_{da} = 165 [mm]$  (ver figura 2.19), esto de acuerdo a la geometría de la tina mostrada en la sección 2.5.1, ver ANEXO N.

### 2.5.3.1.2. Selección del piñón auxiliar y piñón tensor

La funcionalidad del piñón auxiliar es permitir cambiar el sentido de giro del piñón conducido por medio de la guía que recorre la cadena como se observa en la figura 2.18. Estos dos piñones poseen el mismo diámetro por lo que el valor de  $Z$  será igual. Se asume un valor de  $Z = 11$  dientes,  $paso = 3/4"$ , tipo B. Mediante la ecuación 1.18 de la sección 1.8 se determina los  $RPM$  de trabajo para el piñón auxiliar y tensor.

$$\omega_2 = \frac{Z_1 * \omega_1}{Z_2} = \frac{18 * 36}{11}$$

$$\omega_2 = 58.90 \text{ RPM} \approx 59 \text{ RPM}$$

La comprobación de las distancias de centros con valores preseleccionados de los piñones se detalla en la siguiente tabla 2.25.

Tabla 2.25. Comprobaciones de distancia de centros y diámetros exteriores de piñones.

Relación	Estado
$De_{z18} < C_{ab}$	$118 [mm] < 160 [mm]$ Cumple
$De_{z18} + De_{z11} < 2C_{bc}$	$118 + 75 [mm] < 2(110) [mm]$ $193 [mm] < 220 [mm]$ Cumple
$De_{z18} < C_{cd}$	$75 [mm] < 260 [mm]$ Cumple
$De_{z18} + De_{z11} < 2C_{da}$	$118 + 75 [mm] < 2(165)[mm]$ $193 [mm] < 330 [mm]$ Cumple

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla 2.31, los piñones seleccionados cumplen con este primer parámetro de análisis de acuerdo a la geometría de la tina, la comprobación de las potencias que se pueden transmitir se la realizan en la siguiente sección.

### 2.5.3.1.3. Selección de cadena

Mediante la figura 2.19 se observa la tabla de capacidad para una cadena estándar sencilla No. 60 de paso  $\frac{3}{4}$ ". Para verificar la selección previamente asumida se comprueba mediante los RPM y el número de dientes ( $Z$ ), teniendo en cuenta la potencia de trabajo de 1,15 [HP] se procede a comparar los valores interpolados de acuerdo con nuestros datos obteniendo de una potencia de 0.97 [HP] del piñón  $Z = 18$ . Este valor de potencia obtenido está dentro del rango permitido por lo que se determina un favorable funcionamiento para el tren de potencia con los piñones seleccionados.

**TABLA DE CAPACIDAD**  
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 60 PASO  $\frac{3}{4}$ "

No. de dientes piñón conductor	R.P.M. DEL PIÑÓN CONDUCTOR																			
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000
9	0.15	0.33	0.62	0.15	1.67	2.16	3.12	4.04	4.94	5.82	6.68	7.54	8.38	9.21	9.99	8.77	6.96	5.70	4.77	4.01
10	0.16	0.37	0.70	1.30	1.87	2.43	3.49	4.53	5.53	6.52	7.49	8.44	9.39	10.3	11.2	10.3	8.15	6.67	5.59	4.71
11	0.18	0.41	0.77	1.44	2.07	2.60	3.87	5.02	6.13	7.23	8.30	9.36	10.4	11.4	12.5	11.9	9.41	7.70	6.45	5.51
12	0.20	0.45	0.85	1.58	2.28	2.95	4.25	5.51	6.74	7.94	9.12	10.3	11.4	12.6	13.7	13.5	10.7	8.77	7.35	6.21
13	0.22	0.50	0.92	1.73	2.49	3.22	4.64	6.01	7.34	8.65	9.94	11.2	12.5	13.7	14.9	15.2	12.1	9.89	8.29	7.01
14	0.24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.49	5.02	6.51	7.96	9.37	10.8	12.1	13.5	14.8	16.2	17.0	13.5	11.1	9.26	7.9
15	0.25	0.58	1.08	2.01	2.90	3.76	5.41	7.01	8.57	10.1	11.6	13.1	14.5	16.0	17.4	18.8	15.0	12.3	10.3	8.77
16	0.27	0.62	1.16	2.16	3.11	4.03	5.80	7.52	9.19	10.8	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.2	16.5	13.5	11.3	9.61
17	0.29	0.66	1.24	2.31	3.32	4.30	6.20	8.03	9.81	11.6	13.3	15.0	16.7	18.3	19.9	21.6	18.1	14.8	12.4	10.4
18	0.31	0.70	1.31	2.45	3.53	4.58	6.59	8.59	10.4	12.3	14.1	15.9	17.7	19.5	21.2	22.9	19.7	16.1	13.5	11.3
19	0.33	0.75	1.38	2.60	3.74	4.85	6.99	9.05	11.1	13.0	15.0	16.9	18.8	20.6	22.5	24.3	21.4	17.5	14.8	12.4
20	0.35	0.79	1.47	2.75	3.96	5.13	7.38	9.57	11.7	13.8	15.8	17.9	19.9	21.8	23.8	25.7	23.1	18.9	15.9	13.3
21	0.36	0.85	1.55	2.90	4.17	5.40	7.78	10.1	12.3	14.5	16.7	18.8	20.9	23.0	25.1	27.1	24.8	20.3	17.0	14.4
22	0.38	0.87	1.63	3.05	4.39	5.67	8.19	10.6	13.0	15.3	17.5	19.8	22.0	24.2	26.4	28.5	26.6	21.8	18.2	15.1
23	0.40	0.92	1.7	3.19	4.60	5.96	8.59	11.1	13.6	16.0	18.4	20.8	23.1	25.4	27.7	29.9	28.4	23.3	19.5	16.1

Figura 2.19. Tabla de capacidad No.60 paso  $\frac{3}{4}$ ", potencia (HP)  
Fuente: (Intermec, 2020) pg. 53

### 2.5.3.1.4. Longitud de la cadena

Mediante el software utilizado se logra determinar una longitud estimada de 55 pasos es decir aproximadamente 1048 [mm], además de los ángulos de contactos para cada piñón, cuyos datos se encuentran la tabla 2.26 y se aprecia en la figura 2.20.

Tabla 2.26. Datos técnicos de la transmisión de potencia.

Datos técnicos de la transmisión de potencia Piñones – Cadena		
Cadena	ANSI No.60 paso $\frac{3}{4}$ "	
Tipo	Sencillo, Tipo B	
Velocidad angular	Piñón <sub>A,B</sub> (Z18)	36 RPM – 40 RPM <sub>max</sub>
	Piñón <sub>C,D</sub> (Z11)	59 RPM – 65 RPM <sub>max</sub>
Distancia entre centros	Piñón <sub>A</sub> a Piñón <sub>B</sub>	160 mm
	Piñón <sub>B</sub> a Piñón <sub>C</sub>	113,7 mm
	Piñón <sub>C</sub> a Piñón <sub>D</sub>	279,1 mm

	<i>Piñon<sub>D</sub> a Piñon<sub>A</sub></i>	174,9 mm
Longitud de la cadena	55 pasos	1048 mm
Angulo de contacto	<i>Piñon<sub>A</sub> (conductor)</i>	165,8°
	<i>Piñon<sub>B</sub> (conducido)</i>	131,9°
	<i>Piñon<sub>C</sub> (auxiliar)</i>	208,8°
	<i>Piñon<sub>D</sub> (tensor)</i>	103,4°

Fuente: Propia

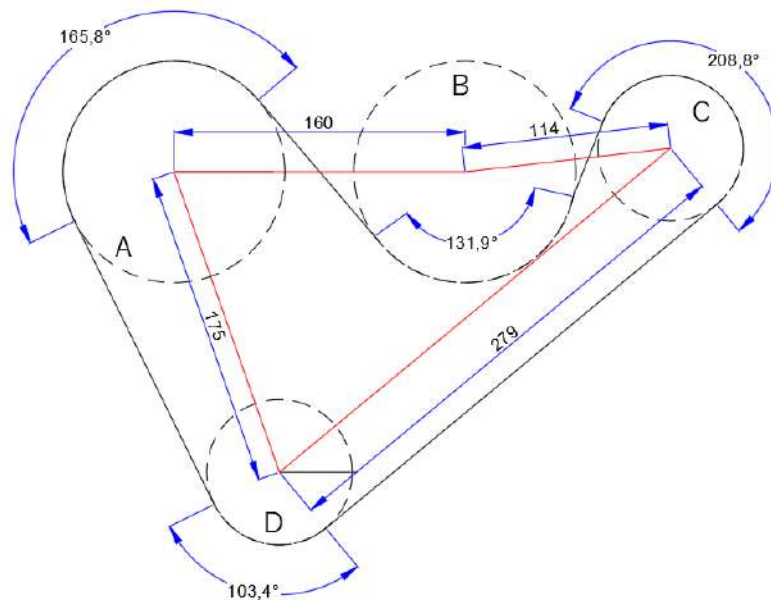


Figura 2.20. Distancia entre centros y ángulos de contacto del tren de potencia  
Fuente: Propia

### 2.5.3.1.5. Cálculo de la tensión de la cadena

Para determinar la fuerza que se genera en la cadena se considera la velocidad angular de trabajo  $\omega_1 = 36 [RPM]$ , con la potencia del motor de 1,5 [HP], calculada en la sección 2.5.3.3.2, por medio de la ecuación 2.15, se determina el torque que se genera en el piñón conductor. La fuerza ( $F$ ) representa la tensión que tiene la cadena, se calcula mediante la ecuación 2.16. Se tiene los valores de diámetro para cada uno de los piñones seleccionados de  $d_A = d_B = 118 [mm]$  y  $d_C = d_D = 75 [mm]$ .

$$P = \frac{T * \omega}{7120.91} \quad (Ec. 2.15)$$

$$F = \frac{2T_A}{d_A} \quad (Ec. 2.16)$$

Donde:

$P$ : Potencia del Motor [HP]

$T_A$ : Torque del piñón A (conductor) [Nm]

$\omega$ : Velocidad angular [RPM]

$F$ : Fuerza generada por la cadena [N]

$$T = \frac{P * 7120.91}{\omega} = \frac{1,5 * 7120.91}{36} = 296,70 \text{ [Nm]}$$

$$F = \frac{2(296,7)}{0.118} = 5028,89 \text{ [N]}$$

De la figura 2.21 a 2.24 se observa la fuerza de la cadena que actúa sobre los elementos del tren de potencia, determinando así las fuerzas resultantes.

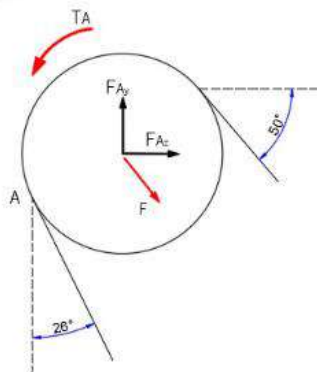


Figura 2.21. Diagrama de fuerzas del piñón A, conductor.  
Fuente: Propia.

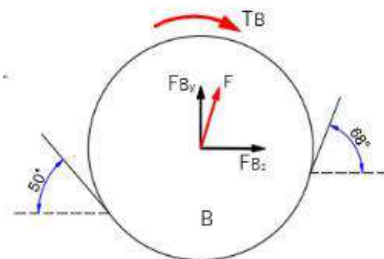


Figura 2.22. Diagrama de fuerzas del piñón B, conducido.  
Fuente: Propia.

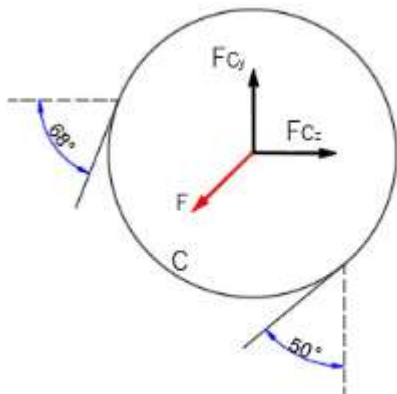


Figura 2.23. Diagrama de fuerzas del piñón C, auxiliar.  
Fuente: Propia.

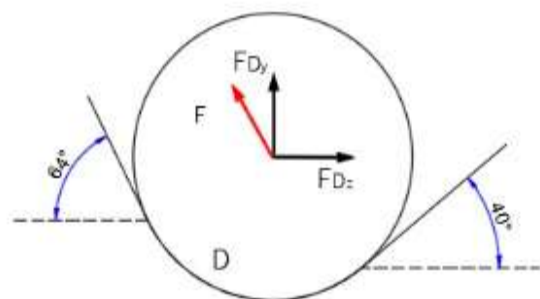


Figura 2.24. Diagrama de fuerzas del piñón D, tensor.  
Fuente: Propia.

Los valores de las fuerzas obtenidas en los piñones sirven para ubicar las reacciones que estos ejercen en el eje agitador, ver figura 2.27.

$$\begin{aligned}
 F_{Ay} &= 667,58 \text{ [N]} & F_{Az} &= 1027,99 \text{ [N]} \\
 F_{By} &= 810,35 \text{ [N]} & F_{Bz} &= 5116,36 \text{ [N]} \\
 F_{Cy} &= 1430,20 \text{ [N]} & F_{Cz} &= 1968,50 \text{ [N]} \\
 F_{Dy} &= 1287,43 \text{ [N]} & F_{Dz} &= 6056,87 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

### 2.5.4. Diseño a fatiga del eje soporte

El eje soporte se encuentra unido al eje agitador y a la hélice, es proclive a recibir carga variable por lo que se emplea un análisis a fatiga, para ello en la figura 2.25 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje soporte asumiendo una viga empotrada a un extremo el cual corresponde a la soldadura con el eje agitador. El sistema de referencia se rota de acuerdo a la vista analiza para el DLC, considerando una distancia C como el punto crítico del eje para el análisis de las fuerzas que afectan al eje soporte.

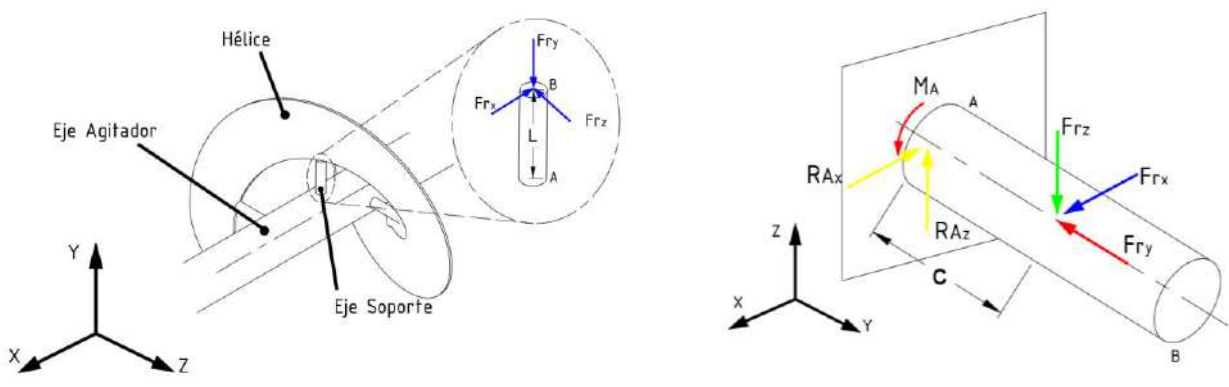


Figura 2.25. DCL del eje soporte de hélice.  
Fuente: Propia.

Con las ecuaciones 2.17, 2.18 se encuentran los momentos producidos en cada dirección y el momento resultante. Se tiene como datos iniciales las fuerzas resultantes en la sección 2.5.2.1 y una longitud del eje soporte estimado de  $L = 31 \text{ [mm]}$ ,  $c = \frac{L}{2}$ .

$$M_x = Fr_x * c; M_z = Fr_z * c \quad (\text{Ec. 2.17})$$

$$M_{max} = \sqrt{M_x^2 + M_z^2} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

$M_x$ : Momento en la dirección x [Nm]

$M_z$ : Momento en la dirección z [Nm]

$c$ : Brazo de palanca del eje soporte [m]

$M_{max}$ : Momento Flector [Nm]

$$M_x = 0,86 \text{ [Nm]}$$

$$M_z = 3,32 \text{ [Nm]}$$

$$M_{max} = \sqrt{3,32^2 + 0,86^2} = 3,43 \text{ [Nm]}$$

El eje soporte no recibe un momento torsor porque el radio del soporte  $r = 0$ , por tanto  $\tau_m = \tau_a = 0$ . Se procede a encontrar un diámetro mínimo de acuerdo a la ecuación 1.13. Se determina el factor  $K_f = 1,8$ , utilizando la ecuación 1.3, se asume un factor de seguridad de  $n = 1,5$  y un valor de  $S_{ut} = 568 \text{ [MPa]}$ , para material acero inoxidable AISI 304. Para encontrar la resistencia a la fatiga se emplea la ecuación 1.12 de la sección 1.6.2, es necesario encontrar cada factor descrito en la ecuación, (Shigley, 2012, pg. 273).

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

Para encontrar  $S'_e$  se usa la ecuación 2.19.

$$S_e' = 0,5 * S_{ut} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

$$S_e' = 0,5 * 568 = 284 \text{ [MPa]}$$

Para encontrar el factor de superficie  $k_a$  se considera el acabado superficial como laminado en caliente, se emplea la ecuación 2.20.

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 2.20})$$

$$k_a = 4,51 * 568^{-0,265} = 0,839$$

Para encontrar el factor de tamaño  $k_b$  se asume inicialmente un diámetro de 12.7 [mm], se emplea la ecuación 2.21.

$$k_b = 0,879 d^{-0,107} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

$$k_b = 0,879 * 0,5^{-0,107} = 0,9466$$

Para encontrar el factor de carga  $k_c$  se considera carga por flexión por lo que tiene un valor de  $k_c = 1$ . El factor de temperatura  $k_d$  se establece en un valor de  $k_d = 1$ , considerando temperaturas menores a 120 °C. Para encontrar el factor de confiabilidad  $k_e = 0,868$  se considera una confiabilidad del 95%. (Shigley, 2012). A partir de la ecuación 1.13 se determina un diámetro estimado.

$$S_e = 195,78 \text{ [MPa]}$$

$$d = \left( \frac{16(1,5)}{\pi} \left\{ \frac{2(1,8 * 3,43)}{195,78 \times 10^6} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,007837 [m] = 7,84 [mm]$$

Con el momento máximo, se encuentra el esfuerzo máximo con la ecuación 1.2 de la sección 1.6.2. Se realiza un arreglo matemático a esta ecuación, dándonos una relación con el radio  $r$ , se asume un diámetro para el eje soporte de  $\phi = \frac{5}{16} [in] = 7,93 [mm]$ .

### 2.5.5. Diseño a fatiga del eje principal

En la figura 2.26 se muestra la geometría de eje principal con los soportes y elementos que forman parte del mismo, estableciendo variables previo a realizar el análisis de fuerzas para el eje.

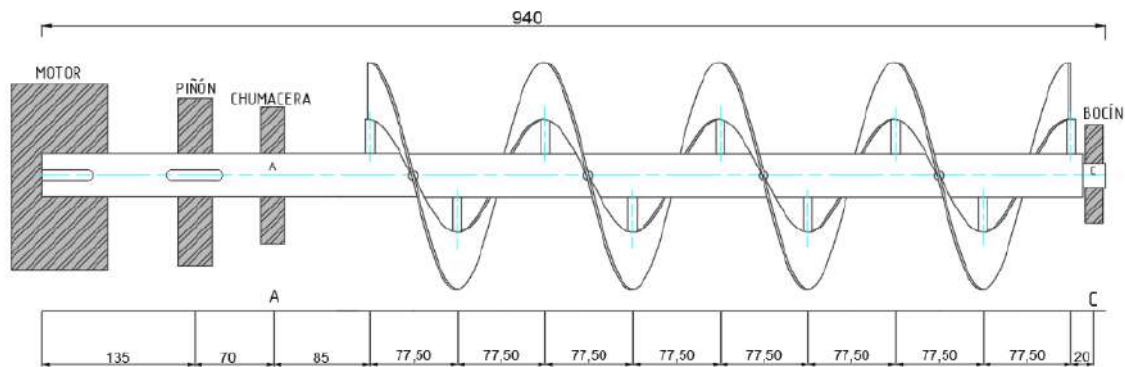
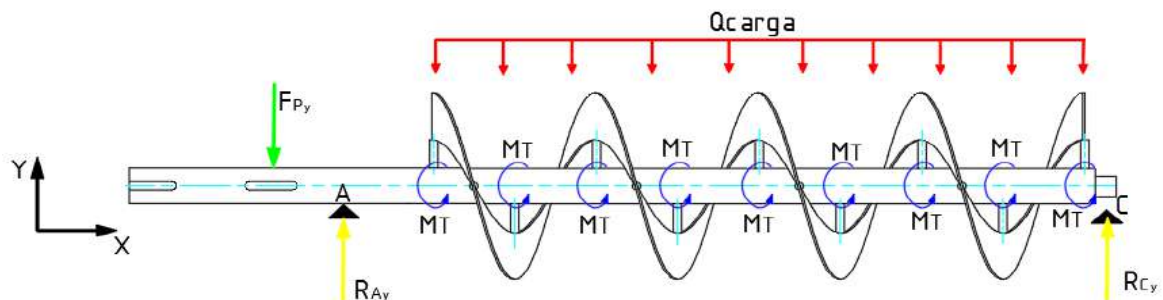


Figura 2.26. Esquema del eje principal.  
Fuente: Propia.

En la figura 2.27 se observa el diagrama de cuerpo libre en los planos  $x - z$  y  $x - y$ ; donde se aprecian las fuerzas externas que actúan sobre este. El momento torsor ( $M_T$ ) se calcula a través de la división del torque generado ( $T_H$ ) del contacto de la hélice con la pasta hilada (ver sección 2.5.3) sobre el número de ejes soportes que conectan la hélice con el eje agitador.

Es así que cada eje soporte unido a la hélice presenta un momento de  $M_T = 4,75 [Nm]$ .





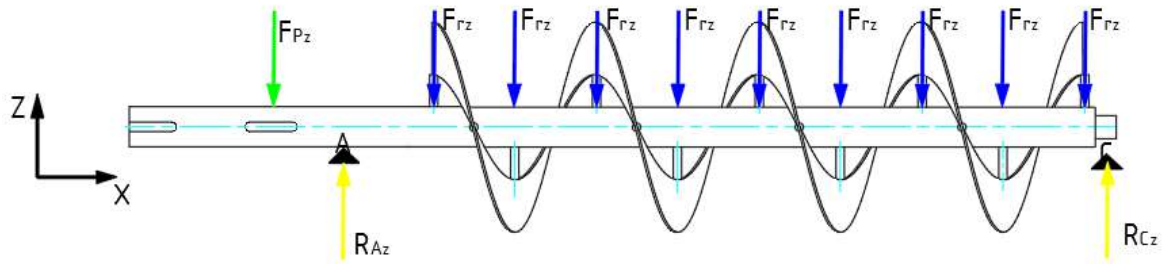


Figura 2.27. DCL del eje principal.  
Fuente: Propia.

Donde:

$R_{Ay}; R_{Az}$ : Reacciones en el punto A [N]

$F_{Py}; F_{Pz}$ : Fuerzas del piñón transmitidas por la tensión en la cadena [N]

$R_{Cy}; R_{Cz}$ : Reacciones en el bocín [N]

$Q_{carga}$ : Carga distribuida del material 1161,29 [N/m]

$M_T$ : Momento torsor generado [Nm]

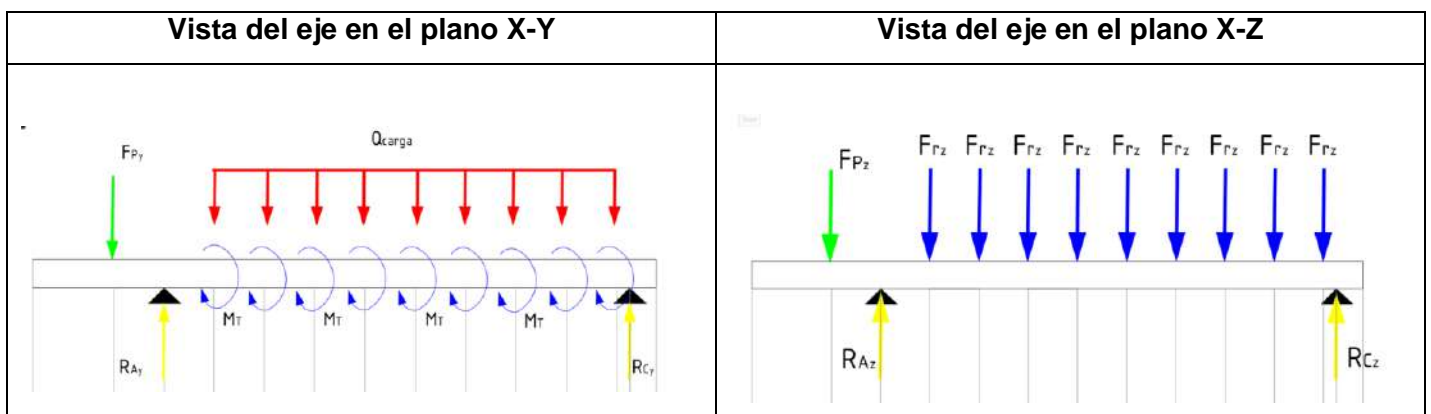
A partir de las cargas que se ejercen sobre el eje principal se calculan las reacciones en los puntos A y C, dichos valores se presentan en la tabla 2.27. Con estos valores se procede a obtener los diagramas graficas de cortantes y momentos en los diferentes planos mostrados en la tabla 2.28

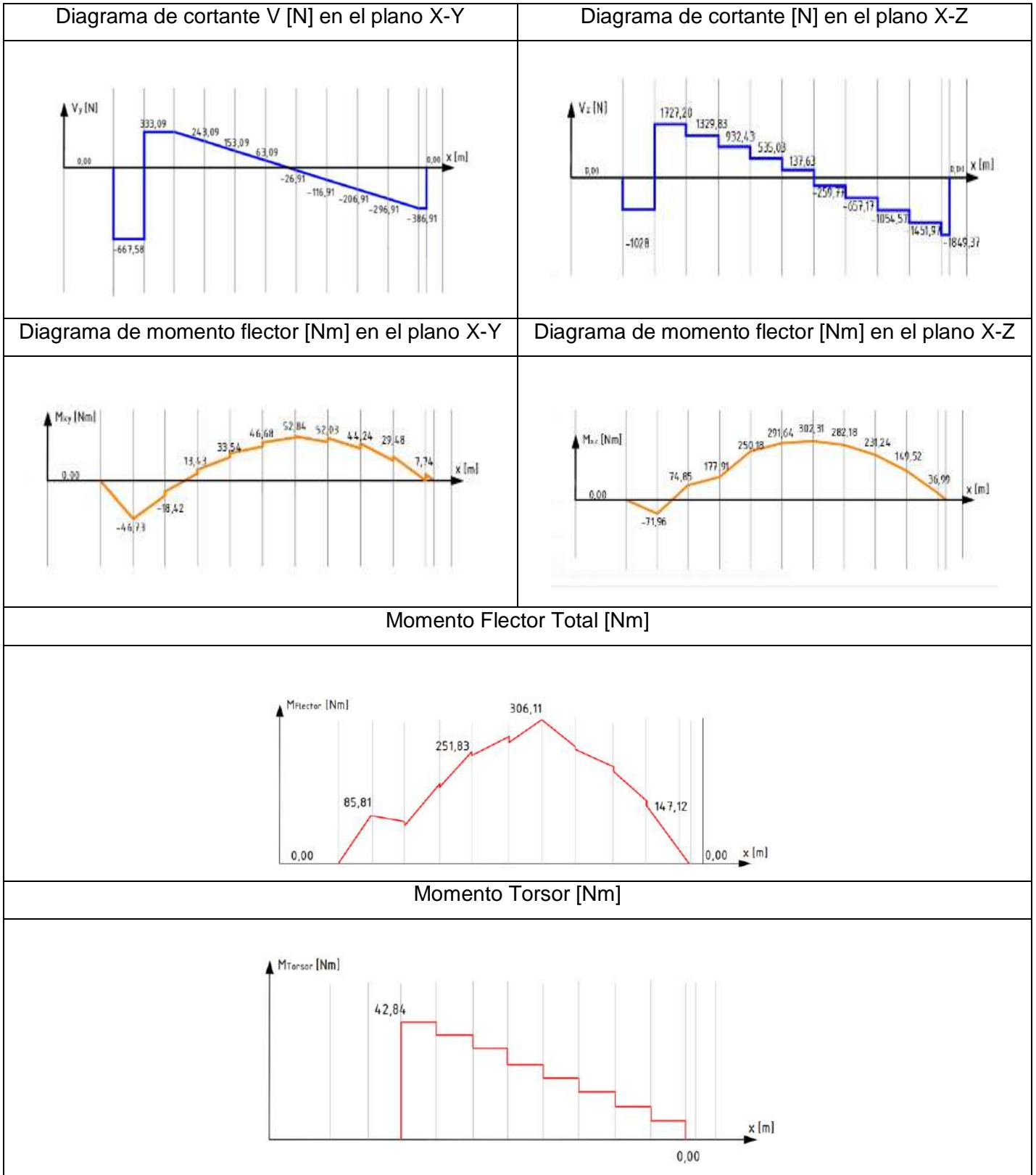
Tabla 2.27. Resultados del eje principal.

$R_{Ay}$	1000,67 [N]	$M_{xy}$	52,84 [Nm]	$M_{Flector}$	306,89 [Nm]
$R_{Cy}$	386,91 [N]				
$R_{Az}$	2755,21 [N]	$M_{xz}$	302,31 [Nm]	$M_{Torsor}$	42,84 [Nm]
$R_{Cz}$	1849,37 [N]				

Fuente: Propia.

Tabla 2.28. Resumen de diagramas del eje principal.





Fuente: Propia

Tomando como referencia el diagrama de momento flector se asume como punto crítico el eje soporte #5 con un momento resultante de 306,11 [Nm]. Al igual que en la sección 2.5.4,

se procede a determinar el diámetro para el eje principal, en la tabla 2.29 se resume los resultados más importantes.

Tabla 2.29. Tabla de valores para determinar el factor de seguridad en el eje principal.

Diámetro tentativo	$d$	2 [in]
Sensibilidad a la muesca por flexión	$q$	0,75
Sensibilidad a la muesca por torsión	$q_s$	0,9
Factor de concentración de esfuerzos normales	$K_t$	1,7
Factor de concentración de esfuerzos cortantes	$K_{ts}$	1,3
Factor de concentración de esfuerzos por fatiga	$K_f$	1,525
Factor de concentración de esfuerzos cortantes	$K_{fs}$	1,27
Resistencia a fatiga del eje motriz	$S_{ut}$	568 [MPa]
Resistencia a la fluencia del eje motriz	$S_y$	310 [MPa]
Esfuerzo máximo	$\sigma_{max}$	56,52 [MPa]
Inercia	$I$	$1,03 \times 10^{-7}$ [m <sup>4</sup> ]
Distancia al eje neutro	$c$	0,019 [m]
Esfuerzo alternante	$\sigma_a$	28,26 [MPa]
Esfuerzo medio	$\sigma_m$	28,26 [MPa]
Esfuerzo cortante medio	$\tau_m$	466,14 [Nm]
Resistencia a fatiga del eje motriz	$S_e'$	284 [MPa]
Resistencia a fatiga del eje motriz	$S_e$	200,38 [MPa]
Diámetro calculado	$d_{cal}$	36,7 [mm]
Diámetro seleccionado	$d_{sel}$	38,1 [mm] $\approx$ 1,5[in]
Factor de seguridad	$n$	1,68

Fuente: Propia.

Determinado el factor de seguridad se puede afirmar que el diseño del eje con un diámetro  $\emptyset = 1,5$  [in], resistirá las condiciones de operación establecidas.

### 2.5.6. Selección de chavetas

La transmisión de movimiento entre el motorreductor y el eje agitador se lo realiza mediante una chaveta. La chaveta más común es la de forma A, ver figura 2.28. Se la emplea para transmitir movimiento rotacional en ejes rotativos de hasta 6 pulgadas de diámetro.



Figura 2.28. Tipos de chavetas  
Fuente: (EIS, 2011).

El material para la chaveta es de acero inoxidable AISI 304, dado que  $S_y = 600 [MPa]$  y que  $T_m = 296,7 [Nm]$ , se estima un factor de seguridad de  $n = 3$ , mediante la ecuación 2.22 se estima una longitud de la chaveta mínima.

$$L_{min} = \frac{4 * T_m * n}{d * w * S_y} \quad (Ec. 2.22)$$

$$L_{min} = \frac{4 * 296,7 * 3}{0,0381 * 0,01 * 600 \times 10^6}$$

$$L_{min} = 1,56 \times 10^{-2} [m] = 15,6 [mm]$$

Con la longitud mínima establecida. Por disponibilidad comercial se selecciona una chaveta DIN 6865 A de 10x8 con una longitud  $L = 50 [mm]$ , ver ANEXO P

### 2.5.7. Selección de pasador de sujeción

La conexión del eje motriz con el eje agitador se da a través de un pasador, ver Figura 2.29.

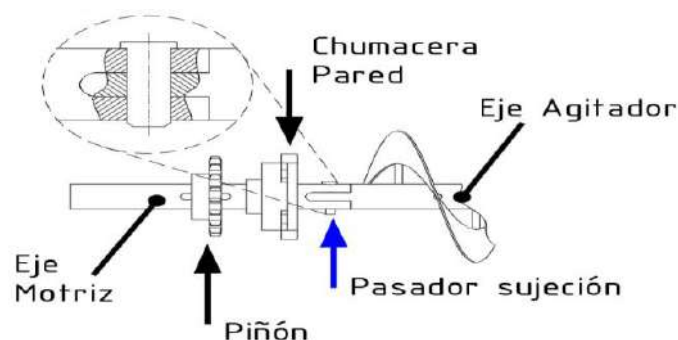


Figura 2.29. Esquema de conexión del eje motriz con el eje agitador.  
Fuente: Propia.

Para el cálculo del pasador de sujeción con cargas dinámicas se establece un factor de seguridad de 2, empleando la ecuación 2.23 se determina la fuerza tangencial  $F_{tang}$ , comparando la fuerza de sujeción  $F_{suj}$  que depende del pasador que se asumirá. De acuerdo al ANEXO Q se preselecciona un pasador de sujeción modelo “23341,0510”, con un par torsor  $T_{max} = 6 [Nm]$ . Para trabajar con la ecuación se asume un factor de seguridad de  $n = 2$  y un diámetro del pasador estimado de  $d_{pasador} = 10 [mm] \approx \frac{3}{8} [in]$

$$T = F_{tang} * \frac{d_{pasador}}{2} \quad (Ec. 2.23)$$

$$T_{pasador} = 55,28 * 0,005 = 0,27 [Nm]$$

$$n = \frac{T_{suj}}{T_{pasador}} \rightarrow T_{suj} = 0,27 * 2 = 0,54 [Nm]$$

$$T_{max} > T_{suj}$$

Al comparar estos dos valores se determina que el pasador seleccionado no fallará y cumplirá con su funcionamiento correctamente.

## 2.5.8. Selección de chumaceras

La selección de chumaceras se lo realiza en base al catálogo de la marca SKF, ver ANEXO R. De acuerdo a los parámetros establecidos para los ejes de la máquina. Se preselecciona chumaceras de piso y pared.

### 2.5.8.1. Selección de rodamientos

Se tiene como datos iniciales del eje principal  $d_{prin} = 38.1 [mm]$ ;  $\omega = 36 [RPM]$ ,  $R_{Ay} = 482,13 [N]$ ;  $R_{Az} = 2000 [N]$ , encontradas en la figura 2.28. Mediante las ecuaciones 1.14, 1.15 y 1.16 descritas en la sección 1.7 se seleccionan los rodamientos.

$$Pr = XFr + YFa$$

$$Fr = R_{Ay} = 2000 [N]$$

$$Fa = R_{Az} = 482,13 [N]$$

Previo al cálculo de la carga dinámica equivalente se encuentran los factores de carga axial y radial a través de la función  $\frac{f_o F_a}{C_{cor}}$ . Considerando los siguientes valores  $X = 0,56; Y = 1,31; f_o = 15; e = 0,24; C_{cor} = 3,75 [KN]; C_r = 4 [KN]$ .

$$Pr = XFr + YFa$$

$$Pr = 0,56 * 2000 + 1,31 * 482,13$$

$$Pr = 1,72 [KN]$$

Se comprueba que  $P_o < C_r$  por lo que el rodamiento seleccionado ubicado en la chumacera de pared de marca KFD modelo UCF 208-24 es la apropiada. La vida nominal del rodamiento se determina a través de la ecuación 2.24.

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r}\right)^k \quad (\text{Ec. 2.24})$$

$$L_{10} = \left(\frac{4}{1,72}\right)^3 = 12,57 \text{ millones de revoluciones}$$

La vida nominal del rodamiento en horas de funcionamiento se muestra a continuación en la ecuación 2.25.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * w} * L_{10} \quad (\text{Ec. 2.25})$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 36} * 12,57 = 5820 \text{ horas}$$

## 2.6. Protocolo de pruebas propuesto

En esta sección se describe el desarrollo de un posible protocolo de uso para la máquina, de tal manera que se garantice un buen funcionamiento durante su operación.

### 2.6.1. Protocolo de uso

Objetivo: Realizar un adecuado procedimiento para el uso de la maquina hiladora-dosificadora mediante un listado de actividades para garantizar el correcto funcionamiento del equipo.

Responsable: Operario 1, operario 2

Actividades:

- Comprobar que los elementos de sujeción se encuentren correctamente ajustados.

- Inspeccionar visualmente el estado de los elementos mecánicos previo al arranque de la máquina.
- Encender la máquina hiladora a través del panel de control.
- Ajustar manualmente la frecuencia a la cual se requiere procesar la pasta hilada.
- Abrir la válvula de ingreso de vapor para el calentado de la cuajada.
- Abrir manualmente la compuerta de salida una vez finalizado el proceso de malaxado. Esto es necesario para direccionar el transporte de la pasta hilada hacia la tolva de almacenamiento de la dosificadora.
- Encender la máquina dosificadora a través del panel de control.
- Apagar la máquina en general una vez acabado el proceso completo.

Entradas. - Cuajada, vapor de agua, cronómetro, energía eléctrica.

Salidas. - Verificación de calidad de pasta hilada dosificada procesada.

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

En esta sección se procede a detallar los resultados hallados durante las diferentes etapas del diseño tomando en cuenta todas las consideraciones que se realizó en todo el trabajo.

#### 3.1. Resultados

El análisis funcional permitió escoger la alternativa más factible para cada módulo siendo estos la tina de base redonda que proporciona una mejor distribución del producto en todo su volumen de trabajo, el movimiento rotacional de las hélices de lazo del eje principal ayuda a mover el queso en sus diferentes fases sin obstrucciones y adherencias al eje principal.

El sistema del tren de potencia se ha adaptado a las dimensiones de trabajo dictaminado por la geometría de la tina. Esto facilita su posterior montaje en la etapa de construcción.

Se realizó un diseño de trabajo a fatiga de los diferentes ejes que conforman la máquina como son: el eje principal y el eje soporte. Para el eje principal se determinó la sección crítica en el punto A (ver figura 2.28) al tener esta sección un diámetro mínimo. Para el eje soporte mediante el análisis realizado se encontró que la sección crítica (se encuentra en el punto A, ver figura 2.26) debido a que las fuerzas internas combinadas son máximas.

La potencia de trabajo calculada en la hiladora es de 1,04 [HP], por lo que se justifica la selección de un motorreductor de 1,5 [HP]. Una de las características de este motorreductor es que posee el variador de frecuencia para que la máquina trabaje en un rango de 20 RPM y 36 RPM.

#### 3.2. Discusión

La máquina diseñada permite tecnificar el proceso de obtención de queso de pasta hilada tipo mozzarella a través de un sistema de agitación doble de tornillo sinfín tipo listón con un movimiento sincronizado y controlado que puede variar su frecuencia (velocidad) dependiendo de la necesidad de modificar esta velocidad.

El diseño muestra que las dimensiones generales de la máquina cumplen con los requerimientos técnicos para que los operarios puedan desarrollar su trabajo de forma segura y cómoda satisfaciendo las especificaciones técnicas establecidas por el cliente.



Se estima que el tiempo de hilado es de 25 minutos para un proceso completo de (70kg de cuajada) porque gracias a la cantidad de velocidades y a la dirección del movimiento que se puede invertir permite estirar mucho más rápido la cuajada que en un proceso artesanal.

Los tiempos de producción disminuyen manteniendo e incluso mejorando la calidad de la pasta hilada. De esta manera se aumenta el volumen de trabajo de las empresas incrementando los ingresos económicos de las mismas.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se realizó el diseño de la maquina hiladora para queso de pasta hilada tipo mozzarella, partiendo de las especificaciones técnicas obtenidas por el cliente.
- Se ha realizado un estudio bibliográfico de las propiedades y condiciones de producción de queso de pasta hilada por medio de las normas INEN. Esto es necesario para seleccionar el material AISI 304 que cumple con los estándares de calidad para la industria alimenticia dentro del país.
- Se obtuvo un diseño conceptual funcional después de un análisis de alternativas para cada módulo presentado. En el primer módulo se optó por seleccionar la tina de base redonda para almacenar la cuajada ocupando un menor espacio. El segundo módulo del sistema de control se decantó por el uso de un tablero de control. Para el tercer módulo se seleccionó un sistema de doble eje con aspas tipo hélice de laso y soporte, que a su vez empuja la pasta hilada procesada hacia la compuerta de descarga. La chaqueta de vapor se usa para el calentamiento del recipiente
- Se analizó las fuerzas y reacciones que implican el proceso de hilar el queso mediante experimentos caseros preliminares.
- El motorreductor seleccionado para activar la máquina hiladora permite modificar la velocidad de trabajo así como el sentido de giro a través del accionamiento del variador de frecuencia.
- La máquina diseñada es un aporte para el crecimiento de la industria láctea en el Ecuador.

#### 4.2. Recomendaciones

- Para futuros trabajos se recomienda analizar el sistema de agitación con la hélice ubicada a diferentes ángulos ya que al considerar otra geometría y fuerzas resultantes se podría disminuir el tiempo de procesado del queso.
- Para posteriores trabajos relacionados con la ampliación del beneficio hacia el usuario de esta máquina es necesario emplear un sistema dosificador que permita racionar la pasta hilada procesada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Academia Portalechero. (2018). *Elaboración de Quesos de Pasta Hilada*. Obtenido de <https://academia.portalechero.com/cursos/quesos/elaboracion-de-quesos-de-pasta-hilada-tipo-mozzarella-pizza-cheese/>

Comat. (2019). *MF10AV - Hiladora*. Obtenido de <http://www.comatonline.com/es/macchina/hiladora-queso-10av/>

DELANI. 2016. *Malaxadoras DWDH-200/300. Catalogo Malaxadora DWDH*. Soluciones Generales en Alimentos

Espacio Mex. (23 de 7 de 2018). *Elaboran Queso*. Obtenido de <https://espaciomex.com/historias-mextraordinarias/elaboran-queso-oaxaca-y-panelaen-espana/>

Gaitan M. (Junio de 2013). *Elaboración de Queso Mozzarella*. Universidad Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.

Gutiérrez R. (2019). *Estudio de una línea de elaboración de queso mozzarella ecológico a partir de leche de búfala y de vaca*. Madrid, España

Histórico, (2016). *Hiladora de queso*. Disponible en <http://historico.agenciadenoticias.unal.edu.co/matices/ediciones/2/14.html>

HMT. (2020). *Catalogo de Productos. HMT, Fichas Técnicas, Modelos Disponibles, Productos, Cotizaciones*.

HMT. (2021). *Malaxadora Hiladora de Quesos*. Obtenido de <https://grupohmt.com/producto/malaxadora-hiladora-de-quesos/>

Intermec. (2020). *Transmisión de Potencia. Manual Piñones y Cadenas*.

Intertec. (2021). *Dosificadores Semiautomáticos*. Obtenido de <https://intertec.com.co/producto/dosificadores-semiautomaticos-euro-1b-past-5000/>

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). (2012). *Norma general para quesos frescos no madurados. Requisitos*. Norma NTE INEN 1528:2012. Quito, Ecuador. Disponible en <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1528.2012.pdf>

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2829 2013-11*. Norma general para el queso (CODEX STAN 283-1978, MOD). Quito, Ecuador

- iStock. (2022). *Elaboración de Queso*. Obtenido de <https://www.istockphoto.com/es/fotos/elaboraci%C3%B3n-de-queso>
- Lideres. (2016). *Quesos frescos - Producción de Queso*. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/inversion-produccion-quesos.html>
- López M. (2018). *Queso mozzarella*. Alimentos. Información general acerca del queso mozzarella. Disponible en <http://alimentos.org.es/queso-mozzarella>
- Ortega S. (2023). Construcción de un prototipo de máquina hiladora para queso de pasta hilada tipo mozzarella. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Pencue O. (2008). *Elaboración de queso. Quesos hilados*. Popayán, Colombia. Disponible en <http://oscarpencue.blogspot.com/2008/01/queso-hilados-la1874-caracteristica.html>.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: UPC.
- Sémper B. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo de 14 amasadora e hiladora semiautomática para queso mozzarella en la empresa Riolac*. Riobamba, Ecuador.
- Sogen - Alimentos. (2018). Malaxadora MLE - SG. *Catalogo Malaxadora MLE - SG* . Soluciones Generales en Alimentos.
- Soto J. (2016). *Máquinas malaxadoras, para quesos de pasta hilada o cocida. Patente N° 234929* Grupo Lactis. Aguascalientes, México. Disponible en <http://grupolactis.jimdo.com/maquinaria/malaxadoras/>
- Vera F. (2016). *Evaluación de las fases de pasteurización, retención de caseína-grasa y penetración de la cuajada para la estandarización del proceso de queso pasta hilada tipo hoja*. Quevedo, Ecuador
- Warren C., Young Richard G., Budynas. (2002). *Roark's Formulas for Stress and Strain*. Chicago, USA: McGraw-Hill.

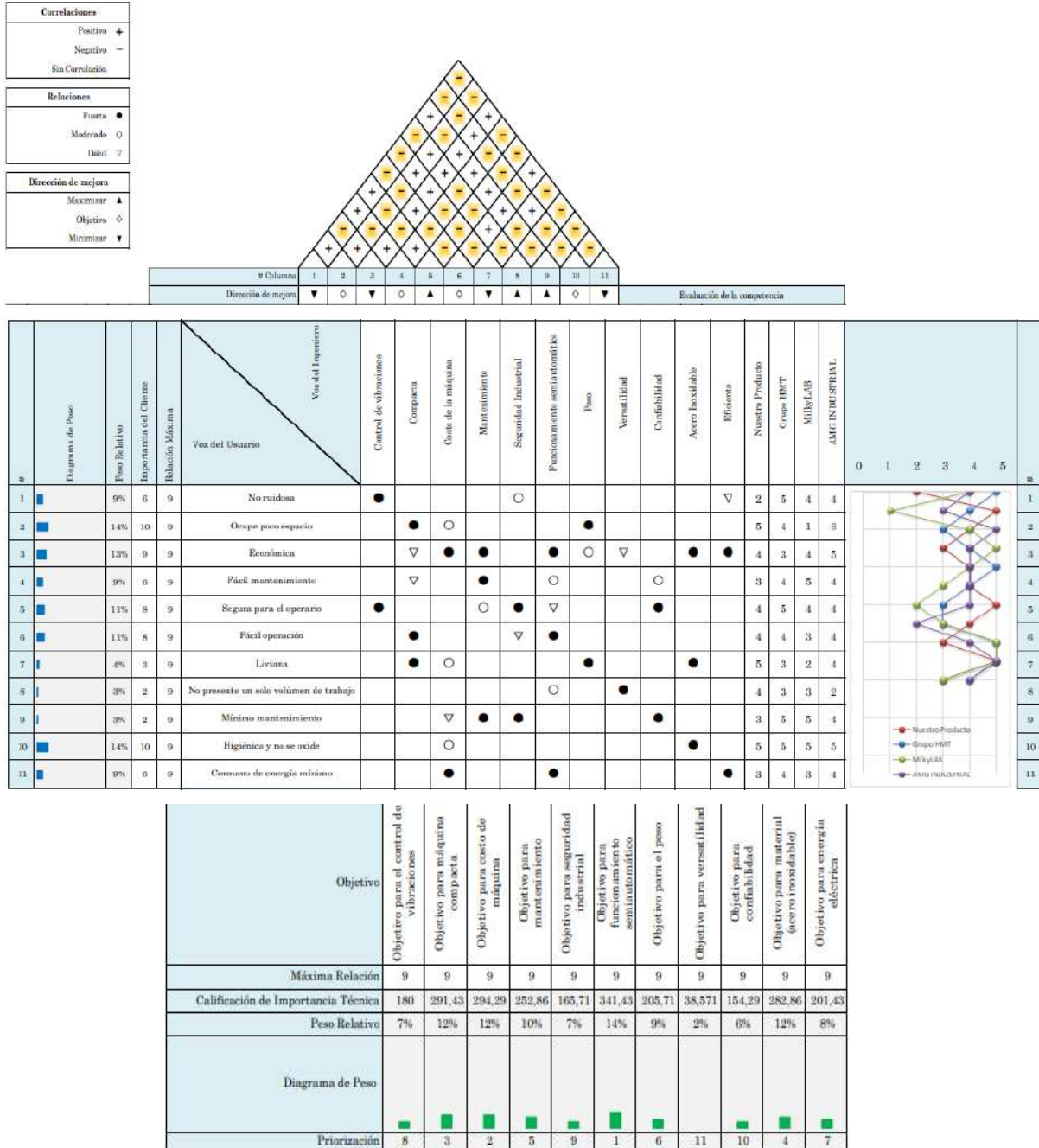
# ANEXOS

## ANEXO A

Figura A-1. Casa de la calidad.

QFD: Casa de la Calidad

Proyecto: Diseño de una máquina hiladora para queso de pasta hilada tipo mozzarella



## ANEXO B

### Factor de Servicio

**Tabla 1 Factor de Servicio**

Clasificación de Carga	Tiempo de operación por día hrs.	Fuente de Potencia		
		Motor eléctrico o Turbina	Motor combustión interna de 4 o mas cilindros	Motor comb. Interna con menos de 4 cilindros
Uniforme, impacto suave, bajo par de arranque, sin reversa	8 o menos	1.0	1.5	2.0
	8 a 16	1.5	2.0	2.5
	Mas de 16	2.0	2.5	3.0
Fluctuación moderada, impacto moderado, sin reversa	8 o menos	1.5	2.0	2.5
	8 a 16	2.0	2.5	3.0
	Mas de 16	2.5	3.0	3.5
Grandes fluct., Fuerte impacto, carga total de arranque, con reversa	8 o menos	2.0	2.5	3.0
	8 a 16	2.5	3.0	3.5
	Mas de 16	3.0	3.5	4.0

El factor de servicio de 8 hrs. o menos se aplicará cuando las r.p.m. sean menores a 50.

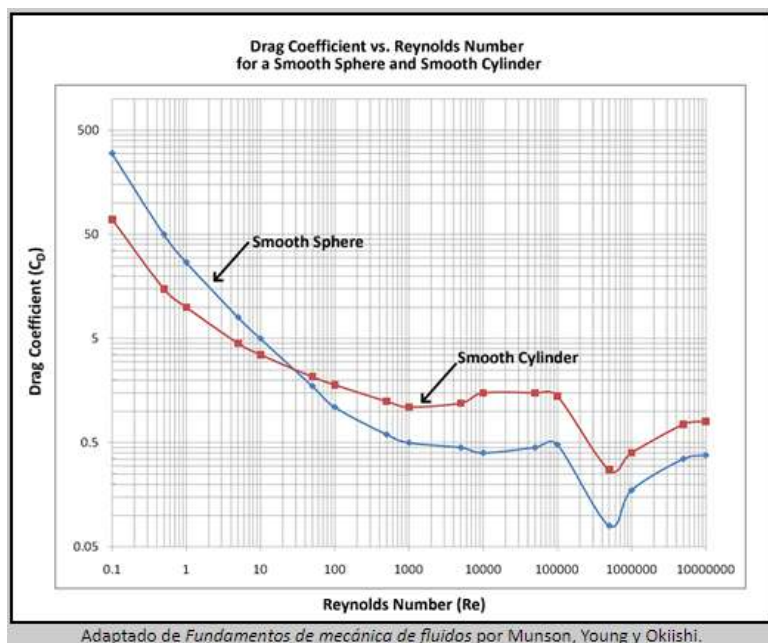
Fuente: Guía de selección PICSA

## ANEXO C

### Coeficiente de arrastre experimental

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

$$Re = \frac{1046 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 0,482 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0,23[m]}{2,15 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]} = 53,6$$



Fuente: <https://s2.smu.edu/propulsion/Pages/dragmain.htm>

## ANEXO D

Tabla D.1. Evaluación del peso específico del Módulo 1

Costo Moderado > Capacidad de Almacenamiento > Estabilidad > Fácil ingreso del material						
Criterio	Costo Moderado	Capacidad de Almacenamiento	Estabilidad	Fácil ingreso del Material	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo Moderado		1	1	1	4	0,4
Capacidad de Almacenamiento	0		1	1	3	0,3
Estabilidad	0	0		1	2	0,2
Fácil Ingreso del Material	0	0	0		1	0,1
SUMA					10	1

Fuente: Propia

Tabla D.2. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al costo moderado.

Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2					
Costo moderado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	0	1		2	0,333
SUMA				6	1

Fuente: Propia.

Tabla D.3. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la capacidad de almacenamiento.

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					
Capacidad de almacenamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,168
Alternativa 2	1		0	2	0,333
Alternativa 3	1	1		3	0,5
SUMA				6	1

Fuente: Propia.

Tabla D.4. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la estabilidad.

Alternativa 2 = Alternativa 3 > Alternativa 1					
Estabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,168
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,416
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,416
SUMA				6	1

Fuente: Propia.

Tabla D.5. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al fácil ingreso de material.

Alternativa 2 = Alternativa 3 > Alternativa 1					
Fácil ingreso de material	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,168
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,416
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,416
SUMA				6	1

Fuente: Propia.

## ANEXO E

Tabla E.1. Evaluación del peso específico de cada criterio del Módulo 2

Fácil Manejo > Costo > Mantenimiento > Ahorro de Energía						
Criterio	Fácil Manejo	Costo	Mantenimiento	Ahorro de Energía	$\Sigma+1$	Ponderación
Fácil Manejo		1	1	1	4	0,4
Costo	0		1	1	3	0,3
Mantenimiento	0	0		1	2	0,2
Ahorro de Energía	0	0	0		1	0,1
SUMA					10	1

Fuente: Propia

Tabla E.2 Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al fácil manejo.

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Fácil manejo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación



Alternativa 1		1	2	0,667
Alternativa 2	0		1	0,333
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla E.3. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al costo.

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,667
Alternativa 2	0		1	0,333
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla E.4. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al mantenimiento.

Alternativa 2 > Alternativa 1				
Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla E.5. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al ahorro de energía.

Alternativa 2 > Alternativa 1				
Ahorro de energía	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

## ANEXO F

Tabla F.1. Evaluación del peso específico de cada criterio del Módulo 3

Confiabilidad > Versatilidad > Fácil Mantenimiento > Energía Eléctrica > Complejidad							
Criterio	Confiabilidad	Versatilidad	Fácil Mantenimiento	Energía Eléctrica	Complejidad	$\Sigma+1$	Ponderación

Confiabilidad		1	1	1	1	5	0,333
Versatilidad	0		1	1	1	4	0,266
Fácil Mantenimiento	0	0		1	1	3	0,2
Energía Eléctrica	0	0	0		1	2	0,133
Complejidad	0	0	0	0		1	0,068
SUMA						15	1

Fuente: Propia.

Tabla F.2. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la confiabilidad.

Alternativa 2 > Alternativa 4 > Alternativa 1 > Alternativa 3						
Confiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0	2	0,2
Alternativa 2	1		1	1	4	0,4
Alternativa 3	0	0		0	1	0,1
Alternativa 4	1	0	1		3	0,3
SUMA					10	1

Fuente: Propia.

Tabla F.3. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la versatilidad.

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 4						
Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1	3,5	0,350
Alternativa 2	0,5		1	1	3,5	0,350
Alternativa 3	0	0		0,5	1,5	0,150
Alternativa 4	0	0	0,5		1,5	0,150
SUMA					10	1

Fuente: Propia.

Tabla F.4. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al fácil mantenimiento.

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 4 > Alternativa 1						
Fácil mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0	1	0,1
Alternativa 2	1		0	1	3	0,3

Alternativa 3	1	1		1	4	0,4
Alternativa 4	1	0	0		2	0,2
SUMA					10	1

Fuente: Propia.

Tabla F.5. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la energía eléctrica.

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 4 > Alternativa 1						
Energía eléctrica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0	1	0,1
Alternativa 2	1		0	1	3	0,3
Alternativa 3	1	1		1	4	0,4
Alternativa 4	1	0	0		2	0,2
SUMA					10	1

Fuente: Propia.

Tabla F.6. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al costo.

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 4 > Alternativa 1						
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0	1	0,1
Alternativa 2	1		0	1	3	0,3
Alternativa 3	1	1		1	4	0,4
Alternativa 4	1	0	0		2	0,2
SUMA					10	1

Fuente: Propia.

## ANEXO G

Tabla G.1. Evaluación del peso específico de cada criterio del Módulo 4

Confiabilidad > Seguridad Industrial > Costo					
Criterio	Confiabilidad	Seguridad Industrial	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Confiabilidad		1	1	3	0,5
Seguridad Industrial	0		1	2	0,333
Costo	0	0		1	0,167
SUMA				6	1

Fuente: Propia.

Tabla G.2. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la confiabilidad.

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Confiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,667
Alternativa 2	0		1	0,333
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla G.3. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la seguridad industrial.

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Seguridad industrial	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,667
Alternativa 2	0		1	0,333
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla G.4. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al costo.

Alternativa 2 > Alternativa 1				
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

## ANEXO H

Tabla H.1 Evaluación del peso específico de cada criterio del Módulo 5.

Traslado de pasta hilada > Ergonomía > Costo					
Criterio	Traslado de pasta hilada	Ergonomía	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Traslado de pasta hilada		1	1	3	0,5
Ergonomía	0		1	2	0,333

Costo	0	0		1	0,167
SUMA				6	1

Fuente: Propia.

Tabla H.2. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al traslado de pasta hilada.

Alternativa 2 > Alternativa 1				
Traslado de pasta hilada	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla H.3. Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto a la ergonomía.

Alternativa 2 > Alternativa 1				
Ergonomía	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

Tabla H.4 Evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas respecto al costo.

Alternativa 1 = Alternativa 2				
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1,5	0,5
SUMA			3	1

Fuente: Propia.

# ANEXO L

## Rendimiento Motorreductor



Rossi e-Catalogue REV.04-07/1

Motorreductor de sinfin STANDARDFIT catálogo AS07 - Motor catálogo TX06 (motor a 60 Hz)

**Designación :** MR V 535 UO4E - 90S 4 277,480 - 60 B5/36,1 V5 i=47

Forma constructiva V5 , n1 = 1698 min-1

Accesorios y ejecuciones especiales :

### Características reductor/motorreductor

Relación de transmisión i	47
Velocidad entrada n1 [min-1]	1698
velocidad salida n2 [min-1]	36,1
Potencia entrada P1 [kW]	1,32
Par de salida M2 [Nm]	264
Factor de servicio fs	1,18
Rendimiento	0,774
Cantidad indicativa de lubricante [l]	1,1
Viscosidad ISO VG (Tamb 0...40°C)	320
Pintura	RAL 5010
Masa total del grupo [kg]	31,5
Características nominales	
Potencia nominal entrada PN1 [kW]	1,64
Potencia nominal salida PN2 [kW]	1,2
Par de salida MN2 [Nm]	320
Verificación térmica	
Temperatura máxima ambiente	OK
Relación de intermitencia	40
Potencia térmica Pt [kW]	Continuo (S1)
Resultado de la verificación térmica :	1,49
	satisfecha

### Características del motor

Tipo motor	HF- trifásico
Tamaño	90S 4
Accoppiamento DxE-P	B5 24x50-200
Alimentación [V - Hz]	277,480 - 60
Grado de protección	IP 55
Aislamiento clase	F
Refrigeración	IC 411
Potencia nominal motor PN [kW]	1,32
Velocidad angular nominal n [min-1]	1698
Corriente nominal (400V) IN [A]	2,95
Corriente nominal (400V) IN [A]	14,8
Par nominal MN [Nm]	7,4
Par de arranque MS [Nm]	22,2
Par max Mmax [Nm]	22,2
Rendimiento [%]	77,9
cos (phi)	0,7
Momento de inercia Jo [kgm <sup>2</sup> ]	0,0024
Arranque en vacío interm. 50% Zo [sth]	5000
Masa del motor [kg]	11,5

# ANEXO M

Tabla de piñones de potencia ANSI 60, con paso 3/4"

**PIÑONES Y DISCOS NORMA EUROPEA (ISO)**  
**PIGNONS ET DISQUES NORME EUROPÉENNE (ISO)**  
**EUROPEAN NORM (ISO) SPROCKETS AND PLATE WHEELS**

**3/4" x 7/16" / 12B-1-2-3**  
 Para cadenas de rodillos conformes a la norma DIN 8187 ISO/R 606 / Pour chaînes à rouleaux conformément à la norme DIN 8187 ISO/R 606 / For roller chains in compliance with DIN 8187 ISO/R 606

**Piñón / Pignon / Sprocket** mm  
 Radio de los dientes  $r_2$  / Rayon des dents  $r_2$  / Tooth radius  $r_2$  12  
 Ancho del radio C / Largeur du rayon C / Radius width C 2  
 Ancho de los dientes B1 / Largeur des dents B1 / Sprocket tooth width B1 11.1  
 Ancho de los dientes B2 / Largeur des dents B2 / Sprocket tooth width B2 30.3  
 Ancho de los dientes B3 / Largeur des dents B3 / Sprocket tooth width B3 49.5

**Cadena / Chaîne / Chain** mm  
 Paso de cadena / Pasage de chaîne / Pitch 19.05  
 Ancho interior / Largeur intérieure / Internal width 11.68  
 Diam. rodillo / Rouleaux - Ø / Roller - Ø 12.07

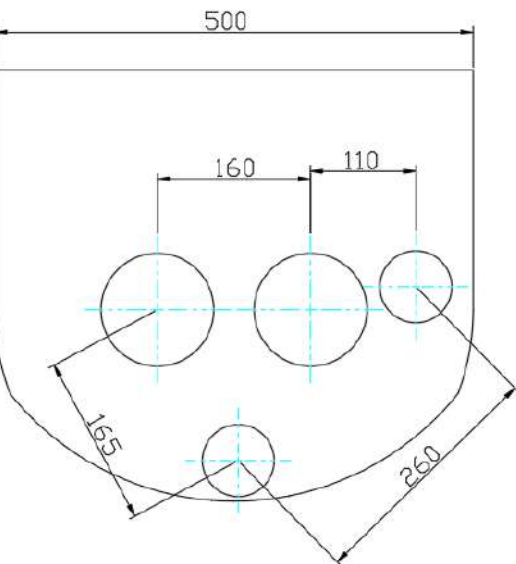
Z	de	dp	Simple / Simple / Single			Doble / Double / Double			Triple / Triple / Triple		
Z	de	dp	dm	D1	A	dm	D1	A	dm	D1	A
8	57.6	49.78	31	12	30	31	12	45	31	16	65
9	62.0	55.70	37	12	30	37	12	45	37	16	65
10	69.0	61.64	42	12	30	42	12	45	42	16	65
11	75.0	67.61	46	14	35	47	16	50	47	20	70
12	81.5	73.61	52	14	35	53	16	50	53	20	70
13	87.5	79.59	58	14	35	59	16	50	59	20	70
14	93.6	85.61	64	14	35	65	16	50	65	20	70
15	99.8	91.63	70	14	35	71	16	50	71	20	70
16	105.5	97.65	75	16	35	77	20	50	77	20	70
17	111.5	103.67	80	16	35	83	20	50	83	20	70
18	118.0	109.71	80	16	35	89	20	50	89	20	70
19	124.2	115.75	80	16	35	95	20	50	95	20	70
20	129.7	121.78	80	16	35	100	20	50	100	20	70
21	136.0	127.82	90	20	40	100	20	50	100	20	70
22	141.8	133.86	90	20	40	100	20	50	100	20	70
23	149.0	139.9	90	20	40	110	20	50	110	20	70
24	153.9	145.94	90	20	40	110	20	50	110	20	70
25	160.0	152.00	90	20	40	120	20	50	120	20	70
26	165.9	158.04	95	20	40	120	20	50	120	20	70
27	172.3	164.09	95	20	40	120	20	50	120	20	70
28	178.0	170.13	95	20	40	120	20	50	120	20	70
29	184.1	176.19	95	20	40	120	20	50	120	20	70
30	190.5	182.25	95	20	40	120	20	50	120	20	70
31	196.3	188.31	100	20	40	130	20	50	130	25	70
32	203.3	194.35	100	20	40	130	20	50	130	25	70
33	209.3	200.40	100	20	40	130	20	50	130	25	70
34	214.6	206.46	100	20	40	130	20	50	130	25	70
35	221.0	212.52	100	20	40	130	20	50	130	25	70
36	226.8	218.58	100	20	40	130	25	50	130	25	70
37	232.9	224.64	100	20	40	130	25	50	130	25	70
38	239.0	230.69	100	20	40	130	25	50	130	25	70
39	245.1	236.75	100	20	40	130	25	50	130	25	70
40	251.3	242.81	100	20	40	130	25	50	130	25	70

Z	de	dp	Simple / Simple / Single			Doble / Double / Double			Triple / Triple / Triple		
			dm	D1	A	dm	D1	A	dm	D1	A
8	57.6	49.78	31	12	30	31	12	45	31	16	65
9	62.0	55.70	37	12	30	37	12	45	37	16	65
10	69.0	61.64	42	12	30	42	12	45	42	16	65
11	75.0	67.61	46	14	35	47	16	50	47	20	70
12	81.5	73.61	52	14	35	53	16	50	53	20	70
13	87.5	79.59	58	14	35	59	16	50	59	20	70
14	93.6	85.61	64	14	35	65	16	50	65	20	70
15	99.8	91.63	70	14	35	71	16	50	71	20	70
16	105.5	97.65	75	16	35	77	20	50	77	20	70
17	111.5	103.67	80	16	35	83	20	50	83	20	70
18	118.0	109.71	80	16	35	89	20	50	89	20	70
19	124.2	115.75	80	16	35	95	20	50	95	20	70
20	129.7	121.78	80	16	35	100	20	50	100	20	70
21	136.0	127.82	90	20	40	100	20	50	100	20	70
22	141.8	133.86	90	20	40	100	20	50	100	20	70
23	149.0	139.9	90	20	40	110	20	50	110	20	70
24	153.9	145.94	90	20	40	110	20	50	110	20	70
25	160.0	152.00	90	20	40	120	20	50	120	20	70
26	165.9	158.04	95	20	40	120	20	50	120	20	70
27	172.3	164.09	95	20	40	120	20	50	120	20	70
28	178.0	170.13	95	20	40	120	20	50	120	20	70
29	184.1	176.19	95	20	40	120	20	50	120	20	70
30	190.5	182.25	95	20	40	120	20	50	120	20	70
31	196.3	188.31	100	20	40	130	20	50	130	25	70
32	203.3	194.35	100	20	40	130	20	50	130	25	70
33	209.3	200.40	100	20	40	130	20	50	130	25	70
34	214.6	206.46	100	20	40	130	20	50	130	25	70
35	221.0	212.52	100	20	40	130	20	50	130	25	70
36	226.8	218.58	100	20	40	130	25	50	130	25	70
37	232.9	224.64	100	20	40	130	25	50	130	25	70
38	239.0	230.69	100	20	40	130	25	50	130	25	70
39	245.1	236.75	100	20	40	130	25	50	130	25	70
40	251.3	242.81	100	20	40	130	25	50	130	25	70

Fuente: [https://www.translinkpt.com/wp-content/uploads/2018/02/catalogo\\_pinones.pdf](https://www.translinkpt.com/wp-content/uploads/2018/02/catalogo_pinones.pdf)

# ANEXO N

Geometría de la tina





# ANEXO O


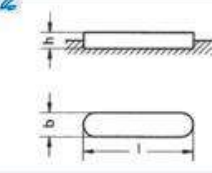
Relación de a/b

a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	∞
$\beta$	0.4182	0.5208	0.5988	0.6540	0.6912	0.7146	0.750
$\alpha$	0.0210	0.0349	0.0502	0.0658	0.0800	0.0922	

# ANEXO P

Selección de la chaveta

**DIN 6885 A**

**Medidas fuera de norma DIN.**  
Dimensioni outside DIN standard  
Dimensions hors norme DIN  
Medidas fora de norma DIN

**ejemplo**  
example  
exemple  
a/b/c/d  
Ref. = 51A-001-001-001  
b h l  
DIN 6885 A 5x7x29  
Ref. = 51A-0-7-50

**INOX** También disponible en stock en acero inoxidable.  
Également disponible sur stock en inox.  
Também disponível em estoque em aço inoxidável.

**Otras medidas bajo consulta y en stock.**  
Other dimensions sur demande et en stock.  
Outras medidas disponíveis sob consulta e em estoque.

**Las longitudes en negrita son las más utilizadas.**  
Bold numbers represent the most commonly used lengths.  
En noir les dimensions les plus utilisées.  
Os comprimentos em negrito são os mais utilizados.

**Chaveta paralela de ajuste**  
Parallel key  
Clavette parallèle d'ajustage  
Chaveta paralela de ajuste

**Acero C45+C (F-114)**  
Steel C45+C (F-114)  
Acier C45+C (F-114)  
Aço C45+C (F-114)

**Tolerancia b: h9**  
b Tolerance: h9  
Tolérance b: h9  
Tolerância b: h9

**Tolerancia h: h9 o h11 según DIN 6880**  
h Tolerance: h9 or h11 according DIN 6880  
Tolérance h: h9 ou h11 suivant DIN 6880  
Tolerância h: h9 ou h11 conforme a norma DIN 6880

**Resistencia mínima a la tracción: 600 N/mm²**  
Minimum tensile strength: 600 N/mm²  
Résistance minimum à la rupture: 600 N/mm²  
Resistência mínima à tração: 600 N/mm²

b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250		
06	06	08	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250						
08	08	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250							
10	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250								
12	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250									
14	14	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250										
15	15	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250										
16	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250											
18	18	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250												
20	20	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250													
22	22	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250														
25	25	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250															
28	28	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																
30	30	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																	
32	32	35	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																		
35	35	36	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																		
36	36	40	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																			
45	45	50	55	60	63	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																					
60	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																								
55	55	60	63	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																						
60	60	63	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																							
63	63	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																								
65	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																									
70	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																										
75	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																											
80	80	85	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																											
85	85	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250																												

Fuente: <https://www.opac.net/pdf/DIN%206885%20A.pdf>

84



# ANEXO Q

## Seleccionamiento del pasador sujetador

### Ejes de Sujeción 23341.0510



#### Descripción del producto

Los ejes de sujeción se utilizan para sujetar piezas a mecanizar redondas, como ejes, tubos, o varillas, tanto axial como radialmente.

#### Material

**Cuerpo**  
• Acero inoxidable 1.4305

**Muelle**  
• acero inoxidable

**Tornillo de fijación**  
• Acero, cincado  
• Acero inoxidable

#### Montaje

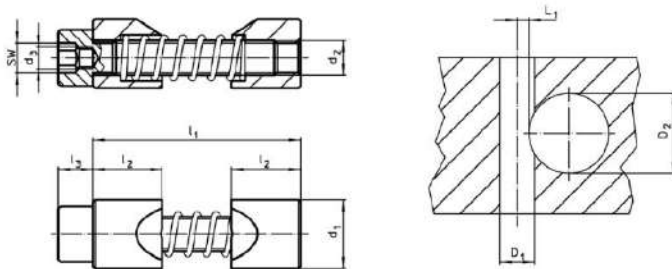
1. Expanda la mordaza de sujeción al diámetro del eje a sujetar.
2. Inserte el eje de sujeción en el agujero mediante la herramienta de montaje.
3. Inserte y posicione el eje.
4. Fije mediante un tornillo roscado SW (tenga en cuenta el par de apriete).

#### Más información

#### Notas

La rosca  $d_2$  sirve para sujetar la herramienta de montaje (opcional).

#### Dibujo



#### Información para el pedido

d, h11	d <sub>2</sub>	Dimensiones			SW	Par de apriete máx.	Taladro del núcleo D <sub>1</sub> H7	Alojamiento Diámetro del eje D <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> +0,2	[g]	Referencia	
		d <sub>1</sub>	l <sub>1</sub> máx.	l <sub>2</sub>								l <sub>3</sub>
acero inoxidable												
10	M5	M3	33	10	5	4	6	10	10-15	3,3	13	23341.0510

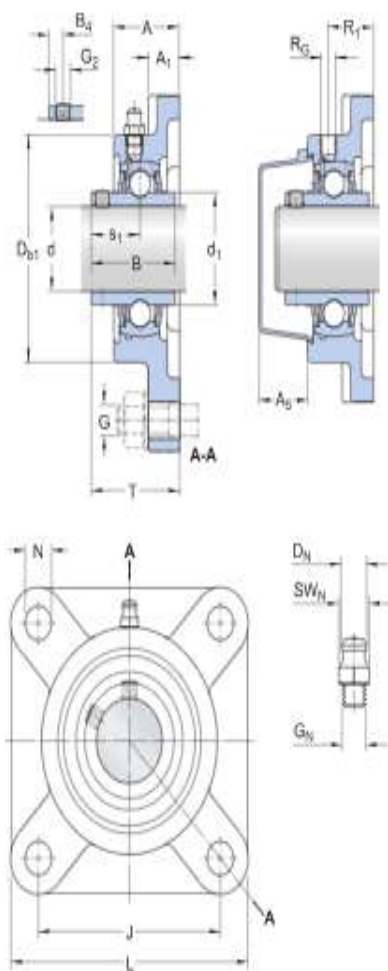
#### Accesorios

	SW	d	[g]	Referencia
llave hexagonal especial				
	4	M 3	9	23341.1010

Fuente: <https://www.halder.com/es/PM/Elementos-Normalizados/Elementos-de-sujecion/Ejes-de-Sujecion/Ejes-de-Sujecion/23341.0510>

## ANEXO R

### Seleccionamiento chumacera



#### Dimensiones

d	40 mm	Diámetro del agujero
d <sub>1</sub>	> 52,5 mm	Diámetro exterior del aro interior
A	35,5 mm	Ancho total
A <sub>1</sub>	15 mm	Ancho de la pestaña
A <sub>0</sub>	26 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
B	49,2 mm	Ancho del aro interior
B <sub>1</sub>	8 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
D <sub>ext</sub>	100 mm	Diámetro superior externo
J	102 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	130 mm	Longitud total
N	16 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
s <sub>1</sub>	30,2 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro del camino de rodadura
T	51,1 mm	Ancho total de la unidad

#### BOQUILLA ENGRASADORA

D <sub>0</sub>	6,6 mm	Diámetro de la cabeza esférica de la boquilla engrasadora
SW <sub>0</sub>	7,94 mm	Tamaño de la llave hexagonal para la boquilla engrasadora
G <sub>0</sub>	1/4-28 UNF	Rosca de la boquilla engrasadora

Fuente: <https://www.skf.com/pe/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF%20208>