

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA CENTRÍFUGA PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LAS PROTEÍNAS DEL SUERO
DE LECHE MEDIANTE LA PRODUCCIÓN DEL
REQUESÓN A UNA HUMEDAD RELATIVA
APROXIMADAMENTE DEL 60% CON UNA CAPACIDAD
DE 1kg/hora, PARA EL SECTOR RURAL.**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico,
que presenta el bachiller:**

ANGEL JHAN FRANCO HUAMANÍ TAPIA

ASESOR: Jorge Alencastre Miranda

Lima, Junio de 2015

RESUMEN

La presente tesis comprende el diseño de una máquina centrífuga, la cual posee como objetivo y función principal el aprovechamiento absoluto de las proteínas del suero de leche, mediante la producción del requesón a una humedad relativa cercana al 60%. La máquina ha sido proyectada exclusivamente para el sector rural por lo cual el motor seleccionado es monofásico con una potencia de 1.5 kW, esto se debe a que en muchas zonas rurales no se cuenta con un sistema trifásico, por ello se deja la opción directa para el motor monofásico; por otro lado, la máquina centrífuga es un prototipo, lo que condiciona que su capacidad de trabajo sea baja, esto es de 1kg/hora de requesón.

A su vez se ha diseñado lo más compacta posible, por lo cual ocupa un espacio de 1064mm de largo por 500mm de ancho y una altura de 1147mm. El encendido de la máquina será por medio de un tablero de control, en el cual se ha incorporado el cambio de velocidades. Se ha propuesto dos velocidades de trabajo: una baja de 1200 rpm y otra alta de 2600 rpm. La transmisión de potencia se realizará a través de un sistema de poleas y fajas trapezoidales.

La máquina cuenta con una canasta rotor en la cual se verterá el suero de leche precalentado y por medio de un filtro se realizará la separación de la precipitación de caseína (requesón), dicha separación se intensificará y se acelerará con la ayuda de la fuerza centrífuga debido a que el rotor estará girando a altas revoluciones (1200 rpm o 2600 rpm). El tiempo de centrifugado es aproximadamente de 20 minutos, tiempo en el cual la máquina estará trabajando sin interrupciones, cerrada en su totalidad. Luego se procederá a apagar la máquina para descargar el requesón obtenido en la canasta rotor, para finalmente vaciar el contenido de manera manual.

DEDICATORIA



Gracias a Dios,
A mis padres, por su amor, tiempo y apoyo incondicional
y a todos mis amigos que siempre me mostraron su afecto y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que han permitido el desarrollo y la culminación del presente trabajo. En especial quiero agradecer a dos personas que permanecieron conmigo todo el tiempo y quienes son el motivo por el cual me encuentro por concluir esta etapa de mi carrera. Estos seres son mis padres, los pilares de mi formación, a quienes les agradeceré eternamente.

También agradecer a mi casa de estudios, Pontificia Universidad Católica del Perú, la cual gracias a la exigencia y preparación que imparte en cada una de sus aulas, además de todo el conocimiento brindado a través de los profesores de la sección de Ingeniería Mecánica ahora puedo desenvolverme en el ámbito profesional exitosamente. En especial a mi asesor, el ingeniero Jorge Alencastre Miranda, por su tiempo, dedicación y conocimiento transmitido, para poder culminar la presente tesis.

Agradezco también a la sección de Química por el apoyo mostrado en la realización de las pruebas experimentales para obtener mis parámetros iniciales, al ingeniero químico Nino Castro y al coordinador de la sección Javier Nakamatsu.

Finalmente quiero agradecer a mis hermanos, familiares y amigos que durante los años de estudios universitarios compartieron conmigo experiencias, conocimientos y logros que me ayudaron a llegar hasta el final de mi etapa universitaria.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	3
1. ESTADO DEL ARTE	3
1.1. Suero de leche	3
1.1.1. Suero de leche dulce.....	3
1.1.2. Suero de leche ácido.....	3
1.2. Aprovechamiento del Suero de leche.....	4
1.2.1. Alimento animal.....	4
1.2.2. Consumo humano infantil	4
1.2.3. Uso en productos dietéticos	5
1.2.4. Las proteínas de suero: ingredientes esenciales	5
1.2.5. Producción de queso Ricota o requesón.....	6
1.3. Principales procesos de recuperación del suero de leche.....	8
1.4. Fuerza centrífuga:.....	12
1.4.1. Centrífuga de sedimentación	12
1.4.2. Filtración centrífuga.....	13
1.5. Máquinas centrífugas existentes en el mercado para la obtención del suero en polvo	14
1.5.1. Sistema de filtración de membranas de centrífugas	14
CAPÍTULO 2.....	18
2. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO.....	18
2.1. Obtención de los parámetros iniciales de diseño.....	18
2.1.1. Materiales y métodos.....	18
2.1.2. Primera fase: Obtención del requesón.....	19
2.1.3. Segunda fase: Filtrado del requesón.....	20
2.1.4. Tercera fase: Centrifugado.....	20
2.2. Resultados finales.....	21

2.3.	Lista de exigencias.....	22
2.4.	Abstracción de la máquina.....	25
2.5.	Estructura de funciones	25
2.5.1.	Secuencia de operaciones:.....	26
2.5.2.	Fijación de los procesos técnicos:	26
2.5.3.	Lista de funciones:	27
2.5.4.	Diagrama de funciones	27
2.5.4.1.	Alternativa 01	27
2.5.4.2.	Alternativa 02.....	27
2.5.4.3.	Alternativa 03.....	28
2.5.5.	Selección de la estructura de funciones óptima	28
2.6.	Matriz morfológica.....	29
2.7.	Concepto solución.....	30
2.7.1.	Concepto solución 1:.....	30
2.7.2.	Concepto solución 2:.....	31
2.7.3.	Concepto solución 3.....	32
2.8.	Evaluación preliminar de los conceptos de solución.....	33
2.9.	Proyecto preliminar	34
2.9.1.	Alternativa 01	34
2.9.2.	Alternativa 02.....	35
2.9.3.	Alternativa 03.....	36
2.10.	Evaluación Técnico–Económica	37
CAPÍTULO 3.....		40
3.	INGENIERÍA DE DETALLE	40
3.1.	Determinación del proyecto preliminar	40
3.2.	Cálculo de la potencia necesaria del motor.	40
3.3.	Dimensionamiento del eje.....	43

3.3.1.	Análisis de fatiga.	46
3.3.2.	Verificación dinámica del eje.....	48
3.4.	Cálculo de las transmisiones por chavetas.	51
3.5.	Verificación de la estructura	53
3.5.1.	Verificación por resistencia.	53
3.5.2.	Verificación dinámica.	55
3.6.	Selección de faja.....	61
3.7.	Selección de los rodamientos del árbol principal	62
3.7.1.	Verificación del rodamiento tipo rodillos esféricos:.....	64
3.8.	Sistema eléctrico.....	71
3.8.1.	Selección del variador	71
3.8.2.	Diagrama de conexión	73
3.8.3.	Funcionamiento del sistema de conexión.....	74
3.9.	Selección de filtro.....	75
CAPÍTULO 4	76
4.	COSTOS.....	76
4.1.	Costo de diseño:	76
4.2.	Costo de adquisición de materiales y elementos normalizados:	77
4.3.	Costo de fabricación y maquinado:	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 0.1: Producción de queso en el Perú (Fuente: INEI)</i>	1
<i>Tabla 1.1: Composición media del suero de leche</i>	4
<i>Tabla 1.2: Funcionalidades de la proteína de suero en los alimentos</i>	6
<i>Tabla 1.3: Usos del suero de leche</i>	7
<i>Tabla 1.4: Técnicas usadas para la purificación del suero de leche</i>	8
<i>Tabla 1.5: Procesos que atraviesa el suero de leche [4]</i>	11
<i>Tabla 2.1: Lista de exigencias</i>	22
<i>Tabla 2.2: Matriz morfológica</i>	29
<i>Tabla 2.3: Evaluación preliminar de los conceptos de solución</i>	33
<i>Tabla 2.4: Evaluación técnica</i>	37
<i>Tabla 2.5: Evaluación económica</i>	38
<i>Tabla 3.1: Parámetros obtenidos de la selección de faja trapezoidal</i>	61
<i>Tabla 3.2: Datos de las poleas</i>	62
<i>Tabla 3.3: Datos del rodamiento rodillos cilíndricos</i>	64
<i>Tabla 3.4: Valores del factor de ajuste de la vida útil a1</i>	66
<i>Tabla 3.5: Vidal nominal requerida. Guía de valores</i>	70
<i>Tabla 3.6: Características principales del variador de frecuencia</i>	72
<i>Tabla 4.1: Costo de diseño de la máquina</i>	77
<i>Tabla 4.2: Precios referencial de los materiales</i>	77
<i>Tabla 4.3: Costo parcial de la fabricación, maquinado y ensamble</i>	78

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Alternativas del Tratamiento del suero y sus respectivos productos</i>	10
<i>Figura 1.2: Centrífuga de sedimentación de platos cónicos</i>	13
<i>Figura 1.3: Centrífuga de canasta perforada</i>	13
<i>Figura 1.4: Equipo de filtración de membrana de centrífuga marca SpinkTek</i>	14
<i>Figura 1.5: Esquema de disco rotatorios</i>	15
<i>Figura 1.6: Modelo de centrífuga para suero marca Seital</i>	15
<i>Figura 1.7: Esquema de una centrífuga Seital</i>	16
<i>Figura 2.1: Precipitados de los sólidos y proteínas</i>	20
<i>Figura 2.2: Precipitado de los sólidos y proteínas</i>	20
<i>Figura 2.3: Filtrado básico</i>	20
<i>Figura 2.4: Requesón</i>	20
<i>Figura 2.5: Muestra para el centrifugado</i>	21
<i>Figura 2.6: Colocación de las muestras en la centrífuga</i>	21
<i>Figura 2.7: Caja negra</i>	25
<i>Figura 2.8: Estructura de funciones 01</i>	27
<i>Figura 2.9: Estructura de funciones 02</i>	28
<i>Figura 2.10: Estructura de funciones 03</i>	28
<i>Figura 2.11: Concepto solución 01</i>	30
<i>Figura 2.12: Concepto solución 02</i>	31
<i>Figura 2.13: Concepto solución 03</i>	32
<i>Figura 2.14: Proyecto preliminar - alternativa 01</i>	34
<i>Figura 2.15: Proyecto preliminar - alternativa 02</i>	35
<i>Figura 2.16: Proyecto preliminar - alternativa 03</i>	36
<i>Figura 2.17: Gráfica de toma de decisión</i>	38
<i>Figura 3.1: Esquema del rotor</i>	41
<i>Figura 3.2: Características eléctricas del motor monofásico</i>	42
<i>Figura 3.3: Diagrama de cuerpo libre (DCL) del eje</i>	43
<i>Figura 3.4: Diagrama de la fuerza cortante en el eje X</i>	44
<i>Figura 3.5: Diagrama del momento flector resultante</i>	45
<i>Figura 3.6: Esquema de la deformación transversal del eje</i>	48
<i>Figura 3.7: DCL de la masa y su equivalencia según la tercera ley de Newton</i>	49
<i>Figura 3.8: Gráfico de las zonas de trabajo para la velocidad crítica del eje</i>	51
<i>Figura 3.9: Unión mediante chaveta según DIN 6885</i>	52
<i>Figura 3.10: Estructura metálica</i>	53

<i>Figura 3.11: Esfuerzos normales en la estructura</i>	55
<i>Figura 3.12: Simplificación de la estructura</i>	56
<i>Figura 3.13: Simplificación de la estructura 2</i>	56
<i>Figura 3.14: Sistema equivalente simplificado</i>	57
<i>Figura 3.15: Constante de rigidez</i>	57
<i>Figura 3.16: Ángulo L40x40x4</i>	58
<i>Figura 3.17: Simulación modal de la estructura</i>	60
<i>Figura 3.18: Esquema de la polea seleccionada</i>	62
<i>Figura 3.19: Unidad de rodamiento con soporte tipo brida</i>	63
<i>Figura 3.20: Rodamiento del catálogo SKF</i>	64
<i>Figura 3.21: Valores de e y Y según catálogo SKF</i>	65
<i>Figura 3.22: Diagrama para la viscosidad nominal (v_1)</i>	67
<i>Figura 3.23: Diagrama de la viscosidad real (v)</i>	68
<i>Figura 3.24: Diagrama para rodamientos radiales de rodillos – a_{skf}</i>	69
<i>Figura 3.25: Variador de frecuencia marca ABB</i>	72
<i>Figura 3.26: Diagrama de conexión para velocidad baja</i>	73
<i>Figura 3.27: Diagrama de conexión para velocidad alta</i>	73
<i>Figura 3.28: Filtro de medio húmedo</i>	75

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción	Unidad
F_{cf}	Fuerza centrífuga	[N]
F_b	Fuerza de flexión de la polea	[N]
$R_{1,2}$	Reacción en los apoyos	[N]
b	Ancho de la chaveta	[mm]
h	Espesor de la chaveta	[mm]
t	Espesor efectivo de la chaveta	[mm]
F_a	Fuerza axial sobre el rodamiento	[N]
F_r	Fuerza radial sobre el rodamiento	[N]
I_{motor}	Inercia del motor	[mm ⁴]
I_{rotor}	Inercia de la canasta rotor	[mm ⁴]
$I_{requeson}$	Inercia del requesón dentro de la canasta rotor	[mm ⁴]
I_{ef}	Inercia efectiva reducido al eje del motor	[mm ⁴]
t_{arr}	Tiempo de aceleración del motor	[s]
T_{arr}	Torque de arranque	[Nm]
Mt_1	Momento torsor en el eje de la máquina	[Nm]
ω_1	Velocidad angular del motor	[rad/s]
ω_2	Velocidad angular del eje de la máquina	[rad/s]
α_1	Aceleración angular del motor	[rad/s ²]
α_2	Aceleración angular del eje de la máquina	[rad/s ²]
C_s	Coefficiente por acabado superficial	
σ_B	Esfuerzo máximo de tracción	[N/mm ²]
σ_{fAlt}	Esfuerzo de flexión alternante	[N/mm ²]
σ_F	Esfuerzo de fluencia	[N/mm ²]
τ_{tPul}	Esfuerzo de torsión pulsante	[N/mm ²]
τ_{tF}	Esfuerzo de fluencia por torsión	[N/mm ²]
P_0	Carga estática equivalente	[kN]
C_0	Capacidad de carga estática	[kN]
C_t	Coefficiente por tamaño	
C_{temp}	Coefficiente de temperatura	
C_{carga}	Coefficiente de carga	
FS_R	Factor de seguridad recomendada	

INTRODUCCIÓN

El procesar suero de leche constituye hoy en día una de las industrias más rentables para el rubro de las manufacturas alimenticias, pues le brinda un valor agregado que años atrás constituía desechos, con la consecuente contaminación que ello acarrea. Actualmente las máquinas procesadoras empleadas bordean los miles de dólares, lo que implica su complejidad, sofisticación y automatismo, pues se tratan de grandes industrias dedicadas al rubro.

No obstante al desechar el suero, proveniente de las empresas lácteas que producen el queso, se acarrea un serio problema para el medio ambiente. Esto sucede por su elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para descomponer el suero. Al verter el suero de leche en un cuerpo de agua, los microorganismos necesitarán de una gran cantidad de oxígeno para degradarlo, es así como disminuye la concentración de este, la misma que genera la funesta consecuencia de muerte para la fauna presente en dicho ecosistema.

En la Tabla 0.1 se puede observar la producción de queso desde el 2000 hasta el 2012, teniéndose en cuenta que solo el 20% de la leche cruda se convierte en queso y el 80% restante es desperdicio o suero de leche desechado. Se puede advertir que existe una cantidad considerable de este recurso que no es aprovechado.

Tabla 0.1: Producción de queso en el Perú (Fuente: INEI)

Año	Derivados lácteos	
	Queso(Toneladas métricas)	Aprox. De Suero de leche (Toneladas métricas)
	20% de leche que se convierte en queso	80% de leche que se convierte en desecho
2000	6,392.00	31,960.00
2001	6,474.00	32,370.00
2002	8,519.00	42,595.00
2003	6,656.00	33,280.00
2004	9,372.00	46,860.00
2005	9,421.00	47,105.00
2006	10,718.00	53,590.00
2007	13,847.00	69,235.00
2008	17,408.00	87,040.00
2009	14,377.00	71,883.00
2010	16,697.00	83,487.00
2011	17,178.00	85,890.00
2012	17,966.00	89,829.00

Actualmente las empresas dedicadas a procesar el suero de leche se encuentran en Europa y Estados Unidos, las cuales emplean una tecnología de filtración por membranas; sin embargo, para la utilización de dicha tecnología, la producción de suero de leche tiene que superar los trescientos mil litros diarios para así asegurar la viabilidad económica y la sostenibilidad de la misma.

Existe una amplia variedad de productos que se pueden producir a partir del suero de leche y todos ellos tienen un alto valor nutritivo en el mercado. En Perú no se ha logrado una producción de las proteínas basadas en el suero de leche, dado que son minimizadas a desechos en las productoras artesanales de queso; además, no existe una considerable producción de suero de leche que justifique la utilización de filtración por membranas. Es por ello la búsqueda de otros métodos en los cuales se aproveche el suero de leche y este deje de ser un desecho contaminante.

La presente tesis utilizará un método de procesamiento del suero de leche que consta en la centrifugación, por lo tanto, tiene como objetivo principal el diseñar una máquina centrífuga para aprovechar las proteínas provenientes del suero de leche, mediante la producción del requesón. Para lograr diseñar esta máquina se trazarán objetivos específicos los cuales son:

- Determinar los parámetros precisos para el buen funcionamiento de la máquina: revoluciones por minuto (r.p.m.), caudal de alimentación.
- Aplicar la metodología sistemática de diseño para la obtención de un proyecto óptimo en la máquina a diseñar.
- Realizar la memoria de cálculo.
- Realizar el diseño y la selección de componentes de la máquina diseñada en base a los cálculos de ingeniería.
- Elaborar los planos de ensamblaje y despiece.
- Realizar una lista de componentes con sus respectivos materiales para ejecutar el presupuesto total.

CAPITULO 1

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. Suero de leche

Es un subproducto que se obtiene durante el proceso de la elaboración de queso, específicamente durante la adición del cuajo, el cual ocasiona que la leche se divida en dos partes: una masa semisólida, compuesta de caseína y un líquido transparente y de color amarillo verdoso, el cual es el suero de leche o también conocido como «lactosuero». Este producto constituye el 90% de la leche y contiene los compuestos hidrosolubles.

Existen dos tipos de suero de leche, esto se debe a que la obtención de este producto depende de los métodos empleados para la coagulación de la leche, es así como da lugar a un suero dulce y un suero ácido, como se presenta en la tabla (1.1).

1.1.1. Suero de leche dulce

Este tipo de suero se genera por usar enzimas coagulantes para la coagulación de la leche. La precipitación de las proteínas se produce por hidrólisis específica de la caseína, la cual produce que no exista variación en la composición mineral, por lo tanto el pH es próximo al de la leche inicial. Este tipo de suero tiene una composición química más estable, lo que suscita que sea el más usado por la industria.

1.1.2. Suero de leche ácido

Proviene de una coagulación ácida o láctica de la caseína, esto ocasiona que la caseína alcance su punto isoeléctrico con anulación de las cargas eléctricas que las

mantienen separadas por las fuerzas de repulsión que generan, impidiendo la floculación. Este tipo de procesos conlleva a una total desmineralización de la micela y la destrucción de la estructura micelar el cual se vuelve un gel muy frágil. Su pH es próximo a los 4.5. [1]

Tabla 1.1: Composición media del suero de leche

Propiedad	Lactosuero dulce	Lactosuero ácido
PH	6.4-6.6	4.4-4.5
Materia seca	70	66
Lactosa	51	42
Proteínas	6 – 7	6 - 7
Material grasa	0.2	1
Materias minerales	4 - 5	7 - 8
Calcio	0.45	1.05
Fosforo	0.4	0.8
Ácido láctico	0	10

(Fuente: PARZANESE, 2014)

1.2. Aprovechamiento del Suero de leche

1.2.1. Alimento animal

Actualmente en muchos lugares de Perú, donde existe producción de queso, se genera suero de leche y el primer uso cotidiano es el de alimentación a los animales, en su mayoría porcinos. Esto produce que la masa muscular de los animales aumente lo que conlleva a un sobrepeso. Además es usado como reemplazo de agua para el ganado vacuno o porcino, ya que al aplicar este uso se reduce significativamente el consumo de agua u otros nutrientes tanto para el ganado vacuno o porcino, de esta forma se reducen los gastos de alimentación; sin embargo, se deben emplear con sumo cuidado las raciones que consumen.

1.2.2. Consumo humano infantil

Debido al alto contenido proteico y mineral que contiene el suero de leche, se están evaluando las posibilidades de formular fuentes nutritivas para recién nacidos. Al trazar una comparación entre la leche humana y la leche bovina, se concluye que la

leche bovina tiene una mayor cantidad de caseína y minerales que la leche humana. Fue por ello que uno de los primeros intentos fue suplementar la leche bovina con concentrado proteico de suero de leche, de esta manera la razón o proporción entre caseína y proteínas séricas es entonces reducida de 80 a 20 en la leche bovina lo cual produce un aumento del contenido de la lactosa de un 50% por sobre 75%, lo cual se aproxima al de la leche humana.

1.2.3. Uso en productos dietéticos

Las proteínas del suero de leche son las más utilizadas para este uso, entre ellas tenemos a las proteínas séricas, las cuales han demostrado tener propiedades beneficiosas para el organismo humano. Así algunas de estas abarcan desde el control de la presión arterial, propiedades insulínótropicas e inclusive en la regulación del consumo energético de las personas, mediante regulaciones hormonales en el tracto digestivo. Sin embargo, se deben tener algunas consideraciones para la elaboración de dichos productos, tales como controlar el contenido del sodio, ya que este promueve la retención de líquidos en el cuerpo, lo que genera un aumento de peso en la persona. También se recomienda que sean bajos en lactosa, debido a la cantidad de personas intolerantes a esta.

1.2.4. Las proteínas de suero: ingredientes esenciales

Las proteínas de suero poseen propiedades físico-químicas muy interesantes al momento de producir productos alimenticios texturizados. Aparte de poseer un valor nutritivo excepcional, una de las características más sobresalientes de estas proteínas es la capacidad emulsionante que poseen, es decir, la capacidad para incorporar glóbulos de grasa en una solución. En la Tabla (1.2) se pueden apreciar los distintos alimentos modelos en los cuales se utilizan proteínas de suero y las funcionalidades que esta cumple en los mismos.

Tabla 1.2: Funcionalidades de la proteína de suero en los alimentos

Alimento	Funcionalidades de la proteína de suero
Pan	Absorción de agua, adhesión-elasticidad
Queque	Unión de agua, cohesión, elasticidad, emulsificación, espumante.
Crema para café	Emulsionante, estabilizante.
Fórmula infantil	Emulsificación, estabilidad térmica.
Pasta	Cohesión, absorción, absorción de agua.
Budín	Emulsificación, unión a agua, gelatinización, elasticidad.
Aderezo de ensaladas	Emulsificación, elasticidad.
Salchichas	Unión de agua, cohesión-adhesión, emulsificación, adsorción de grasa.
Crema batida	Emulsificación, espumante, adsorción de agua.

(Fuente: FRANCHI, 2010)

1.2.5. Producción de queso Ricota o requesón.

Uno de los productos más conocidos que aprovecha las proteínas y otros componentes del suero de leche es el queso Ricota. Este queso se manufactura principalmente mediante la coagulación de las proteínas del suero, por acción del calor y de ácidos orgánicos. Dado que las proteínas del suero, al igual que la gran mayoría de las proteínas, se desnaturalizan en presencia de altas temperaturas, estas pierden su estructura, haciendo que la solución se divida en dos fases: una fase hidrofóbica y una fase líquida. La fase hidrofóbica, que representa la desnaturalización de las proteínas, se aglomera y precipita en la solución en forma de copos blancos. Estos copos blancos se filtran y se procesan para dar paso al queso Ricota.

En la tabla (1.3) se muestra un resumen de los diversos usos del suero de leche, según el proceso al que ha sido sometido previamente.

Tabla 1.3: Usos del suero de leche

Uso	Suero	Concentrado de suero o polvo.					Concentrado proteico de suero o en polvo			Lactosa	
		Líquido	Natural	Endulzado	Desmi-neralizado	Despro-teinizado	Delac-tosado	Desmi-neralizado	Delac-tosado	Desminerali-zado y delactosado	Cruda
Alimento animal	X	X		X	X	X					
Consumo humano: Alimento bebés				X			X	X	X		X
Alimento dietético				X			X	X	X	X	X
Salchichas				X			X				
Sopas		X	X	X							
Panadería	X	X		X			X				
Aderezo ensaladas		X		X			X				
Quesos		X		X							
Bebidas	X				X				X		
Productos farmacéuticos											X
Productos de levadura	X										
Productos Industriales										X	X

(Fuente: FRANCHI, 2010)

Sin embargo, en líneas generales los productos que se obtienen básicamente del suero de leche son:

- Suero en polvo, a base de concentrar los sólidos por evaporación y secado.
- Suero en polvo desmineralizado, donde se eliminan previamente las sales.
- Minerales por intercambio iónico o por electrodiálisis.
- Lactosa obtenida por concentración, cristalización y separación.
- Concentrados proteínicos obtenidos por ultrafiltración del suero.

Se puede visualizar que el suero tiene múltiples usos, tanto para la industria alimenticia como energética. Sin embargo, en Perú este recurso es desechado y vertido en grandes cantidades en las cuencas rurales debido a que las tecnologías para procesar y tratar el suero de leche no se encuentran disponible en este sector, ya que los costos son elevados y están diseñadas para cantidades ingentes de volumen de suero de leche. [2]

1.3. Principales procesos de recuperación del suero de leche

Como ha quedado expuesto anteriormente, existen diversos productos que pueden ser elaborados a partir del suero de leche; sin embargo, para elaborar muchos de estos productos se requieren de un tratamiento y proceso específicos por el cual debe pasar el suero de leche (purificación de biomoléculas) «*El desarrollo de una estrategia para la purificación de bio-moléculas se puede concebir con la metodología propuesta por Belter (1987) que considera que un proceso contiene cuatro pasos con varias operaciones unitarias en cada una de ellas: de clarificación (eliminación de compuestos insolubles), el aislamiento del producto (captura/concentración), purificación intermedia, y pulido (acabado)*» [3]

En la siguiente tabla se muestran las técnicas usadas para el desarrollo de estrategias de purificación del suero. Se observa la operación y la etapa hasta donde se puede llegar con dicha operación, por ejemplo en el caso del centrifugado se puede alcanzar hasta la etapa de concentración.

Tabla 1.4: Técnicas usadas para la purificación del suero de leche
Techniques Used for the Development of Purification Strategies

Operation	Stage			
	Clarification	Concentration	Purification	Polishing
Filtration	X			
Microfiltration	X			
Centrifugation	X	X		
Precipitation	X	X	X	
Extraction with aqueous biphasic systems	X	X	X	
Evaporation		X		
Ion exchange		X	X	X
Affinity chromatography				
Hydrophobic interaction chromatography		X	X	X
Molecular exclusion chromatography			X	X
Crystallization			X	X
Ultrafiltration		X		X
Diafiltration		X		X
Lyophilization				X

(Fuente: REIS & Texeira, 2009)

En la Tabla 1.4 se aprecian los diferentes tratamientos que se le pueden realizar al suero de leche, con sus respectivos productos obtenidos en cada uno de ellos.

Según lo mencionado anteriormente existen cuatro pasos básicos para la purificación del suero de leche, que luego pasará a considerarse como un conjunto de biomoléculas. En el presente trabajo, se realizará el paso de la clarificación o eliminación de compuestos insolubles. Según la Tabla 1.4, la clarificación puede ser realizada por:

- Filtración.
- Micro filtración.
- Centrifugación.
- Precipitación.
- Extracción por medio acuoso.

Para el propósito de este trabajo se utilizará la centrifugación como la operación fundamental para el aprovechamiento de las proteínas del suero de leche, debido a que es la tecnología más económica, precisa y fácil de representar con respecto a las otras, que en su mayoría requieren de uso de membranas y sistemas que encarecen y complican el funcionamiento de la máquina a diseñar.

Al realizar el centrifugado como operación para clarificar se obtendrán finos de caseína y nata de suero (ver figura 1.1), esta operación es la primera que se debe realizar, debido a que se consideran a los finos de caseína como un compuesto insoluble que perjudica el funcionamiento de los demás procesos, en caso que se desee seguir la línea de producción para obtener los diferentes productos que ofrece el suero de leche; sin embargo, los finos de caseína son el primer y el más sencillo producto de aprovechar.

A la masa formada por la precipitación de los finos de caseína se le conoce comercialmente como «requesón», el cual no es producido en grandes cantidades debido a que actualmente el proceso se realiza de forma manual y genera un gran esfuerzo humano. Por este motivo los productores rurales de queso, prefieren desechar el suero de leche o utilizarlo como alimento para animales en lugar de procesarlo.

En la figura 1.1 se pueden apreciar todas las alternativas viables para el procesamiento del suero de leche, con la obtención de sus respectivos resultados. Además se resaltan los productos que se obtendrán de la máquina centrífuga a diseñar.

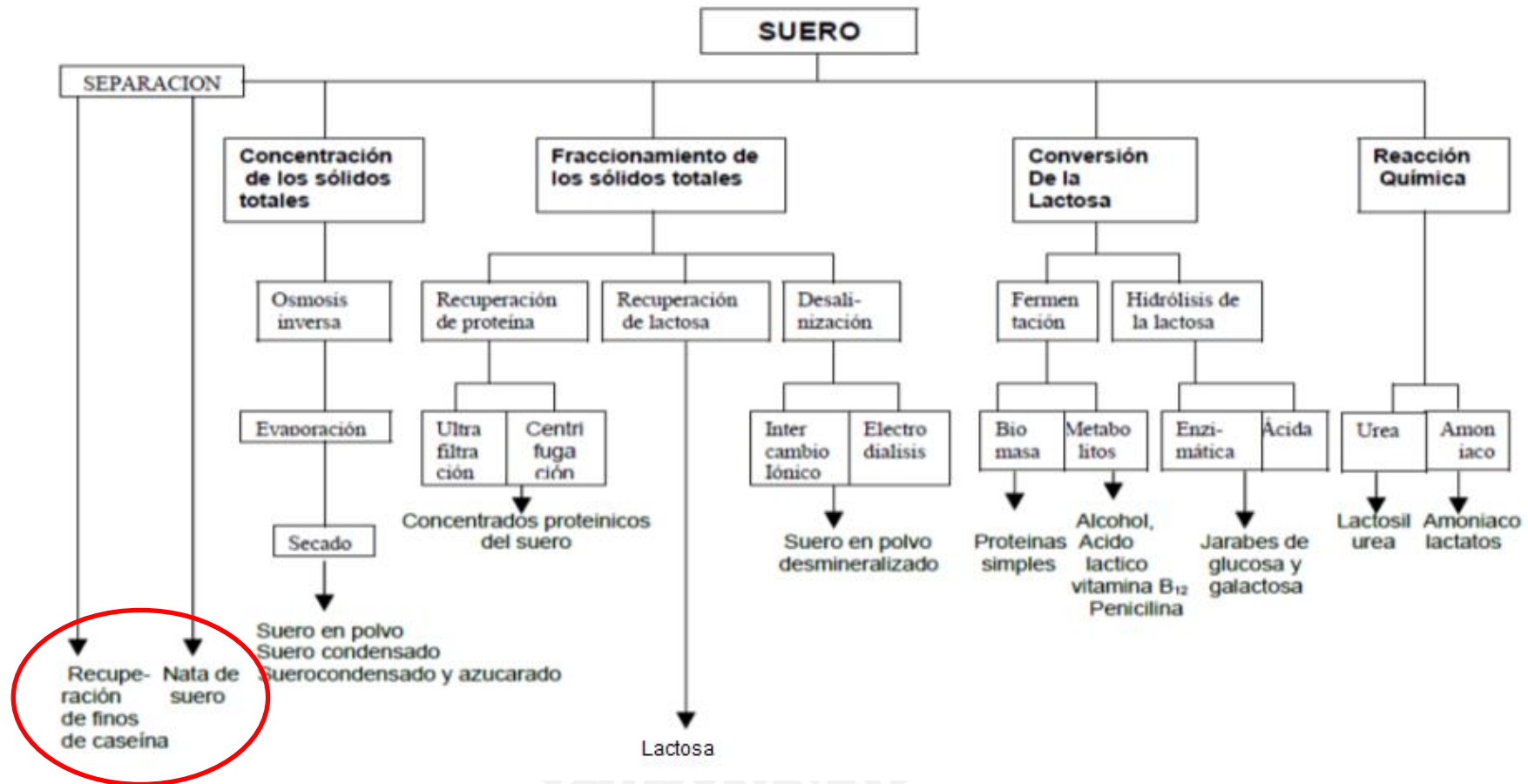


Figura 1.1: Alternativas del Tratamiento del suero y sus respectivos productos (FUENTE: GOSTA 1995)

La tabla 1.5 compara los diferentes procesos principales por los cuales atraviesa el suero de leche, para un aprovechamiento máximo del mismo.

Tabla 1.5: Procesos que atraviesa el suero de leche [4]

PROCESO	DESCRIPCIÓN	ETAPA
Centrifugación	Proceso en el cual se aprovecha la fuerza centrífuga para separar las fases de distintas densidades. Dependiendo de la posición de la máquina centrífuga (vertical u horizontal). Mediante un precalentamiento previo al suero de leche, se pueden separar los finos de caseína y reducir la humedad del suero. La separación de los finos de caseína se hace mediante una centrifugadora y es la primera etapa para el tratamiento del suero.	SEPARACIÓN
Ósmosis inversa	Se elimina prioritariamente el contenido de agua, permite posteriormente la reutilización de esta. Utiliza tecnología de membranas y logra un suero concentrado al 18%.	CONCENTRACIÓN DE LOS SÓLIDOS TOTALES
Evaporación	Proceso por el cual se logra evaporar el contenido de agua, dejando solamente los sólidos de la leche. Esta evaporación se puede hacer en varias etapas, aumentando la eficiencia y el porcentaje de sólidos concentrados desde un 18% hasta 60%.	
Secado	Este proceso se realiza pulverizando la materia prima (suero de leche), para que cuando entre en contacto con el aire caliente se logre con mayor facilidad vaporizar el solvente (agua). De esta manera se obtiene el producto seco y en polvo.	
Ultrafiltración	Se elimina el contenido de agua, sales y lactosa, quedando un concentrado de proteínas, grasas y bacterias. Junto con la ósmosis inversa representa una tecnología de membranas que necesitan de una inversión alta.	FRACCIONAMIENTO DE LOS SÓLIDOS TOTALES
Nano filtración Micro filtración	Usa el mismo principio que la nano-filtración, sin embargo mediante este proceso se logra eliminar las sales. Si se desean eliminar las grasas y las bacterias se usa micro filtración	

Según la Tabla 1.5, se pueden definir 4 procesos básicos para el tratamiento del suero de leche, los cuales son:

- Centrifugación: representa la tecnología más accesible, además es aplicable desde bajos hasta altos volúmenes de materia prima.

- Filtración: según el método que se use, ya sea ósmosis inversa, o ultra-filtración, ambas se basan en el uso de membranas para el filtrado, lo cual representa una tecnología más desarrollada y con una inversión mayor en comparación con la centrifugación. Además para justificar el uso de membranas se necesitan altos volúmenes de materia prima.
- Secado: es el último proceso para obtener un producto en polvo, es dependiente de los demás procesos debido a que la materia prima no puede ingresar directamente a un secado.
- Evaporación: Se logra reducir la cantidad de agua en las diferentes etapas que pasa por el evaporador. Este método es una opción si no se cuenta con tecnología de membranas y en caso se desee aumentar el porcentaje de sólidos en la leche, para un posterior secado.

1.4. Fuerza centrífuga:

La fuerza centrífuga es una fuerza inercial que se genera cuando un cuerpo entra en rotación y es proporcional a la velocidad de giro. Es la fuerza principal en los equipos giratorios, al rotar un cilindro a alta velocidad se induce un esfuerzo de tensión considerable en la pared del mismo, esto limita la fuerza centrífuga que puede generarse en una unidad de tamaño y material de construcción dados.

$$F_{cf} = m * a = m * \omega^2 * r$$

m: masa (kg)

ω : velocidad angular (rad/s)

r: radio (m)

1.4.1. Centrífuga de sedimentación

También llamada de tazón sólido o de canasta no perforada (ver figura 1.2). Se basa en el principio de Stokes y de la velocidad de sedimentación. La suspensión se alimenta a un tazón que se hace girar provocando que los sólidos se colecten sobre una pared.

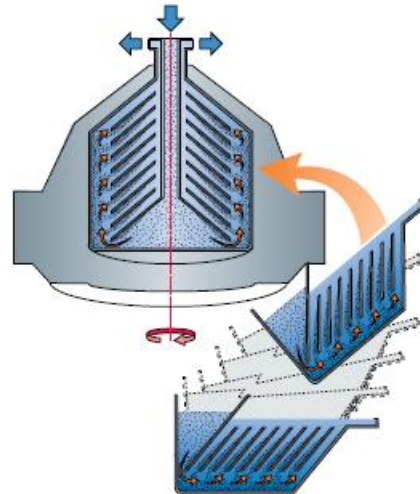


Figura 1.2: Centrífuga de sedimentación de platos cónicos
(Fuente: GOSTA, 1995)

1.4.2. Filtración centrífuga

Los equipos de filtración centrífuga constan de una tina o canasta perforada, la misma que se encuentra recubierta con un medio filtrante (una tela o membrana). Al girar a altas velocidades provoca el depósito de los sólidos sobre el medio filtrante y la salida del líquido. Estos equipos funcionan como un filtro, solo que la fuerza impulsora de filtrado es la centrífuga y no una diferencia de presión. Un esquema de este principio se puede apreciar en la figura 1.3

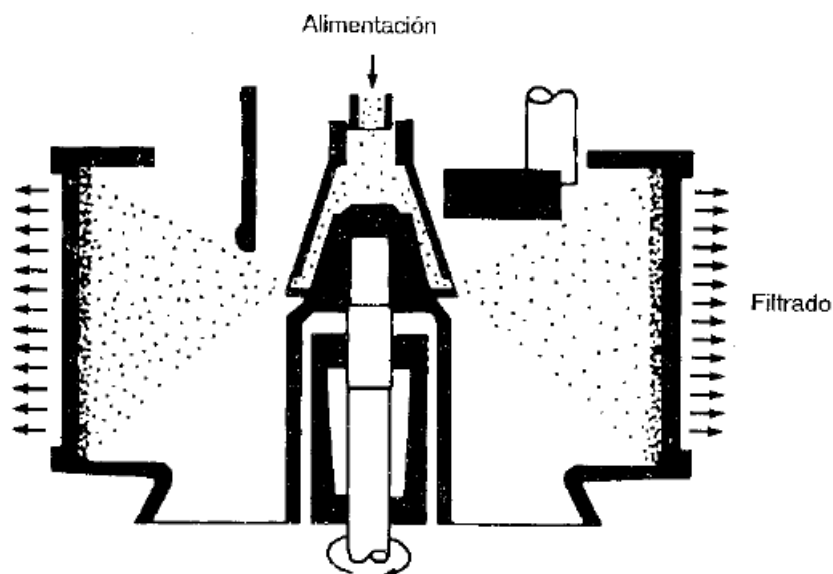


Figura 1.3: Centrífuga de canasta perforada
(Fuente: TEJEDA, 1995)

1.5. Máquinas centrífugas existentes en el mercado para la obtención del suero en polvo

1.5.1. Sistema de filtración de membranas de centrífugas

Este sistema utiliza discos de membrana que giran a velocidades variables de alrededor de 20m/s, ofrece una fuerza de corte alta. Para evitar que la membrana se ensucie, pueden usarse membranas poliméricas, membranas de cerámica y las membranas de cerámica metálica que existen en diferentes tamaños de poros. Los discos de membrana giran cerca de un elemento fijo, como se muestra en la figura 1.5, el efecto que causa la rotación de los discos es el alto cizallamiento que permite la concentración y la deshidratación de los sólidos, a su vez mantiene la superficie de la membrana limpia. La rotación de las membranas permite que la energía se aplique directamente a la superficie de las mismas. La marca SpinkTek tiene sistemas disponibles con tasas de flujo de 1/h de más de 50 GPM con presión de funcionamiento a 150 psi, como se muestra en la figura 1.4 [5]



Figura 1.4: Equipo de filtración de membrana de centrífuga marca SpinkTek
(Fuente: SpinkTek)



Figura 1.5: Esquema de disco rotatorios
(Fuente: SpinkTek)



Figura 1.6: Modelo de centrífuga para suero marca Seital
(Fuente: Seital)

La empresa italiana Seital ha desarrollado una centrífuga aplicable a la obtención de suero (ver figura 1.6) cuyo principio de funcionamiento se detalla en la página oficial en internet, el mismo que citamos a continuación: *«Para la separación líquido-líquido-sólido SEITAL empresa Italiana que propone un amplio rango de Separadores Auto limpiantes. El Separador permite, por medio de una muy alta velocidad centrífuga periférica (altos valores de G), la recuperación de partículas muy finas (en el rango desde los 0,5 hasta 500 micrones) y la eficiente separación de una mezcla en sus dos fases y la clarificación de ambas en forma contemporánea. El producto a ser tratado fluye hacia el interior del bowl a través de una tubería de alimentación (1) y va hacia el distribuidor (2) donde toma aceleración hasta alcanzar la velocidad de rotación del bowl. El distribuidor lleva el producto hasta la pila de discos (3) (platos de forma troncocónica), donde toma lugar la separación entre la fase pesada y la más liviana. El líquido clarificado fluye hacia el centro del bowl y la fase pesada fluye hacia la periferia de los discos. Ambas fases suben por la pila de discos y alcanzan las dos cámaras superiores.»*

Allí, dos bombas centrípetas fijas (4-5) convierten la energía producida por la rotación en energía cinética, lo que le da a la salida del producto» [6]

Se puede apreciar un esquema del funcionamiento de la máquina que comercializa la empresa Seital en la figura 1.7

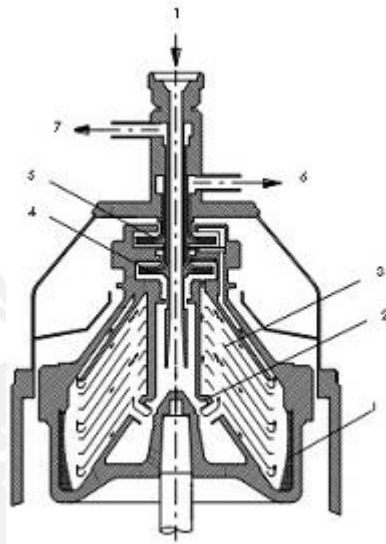


Figura 1.7: Esquema de una centrífuga Seital
(Fuente: Seital)

REFERENCIAS

- [1] PARZANESE, Magali: "Procesamiento del lactosuero". ALIMENTOS ARGENTINOS, 2009. Pág. 1-2.
- [2] FRANCHI, Oscar: "Suero de leche: Propiedades y usos." QUESO MAITENES, 2010. Pág. 3-22.
- [3] REIS, Jane Seila; Teixeira, José A: "Engineering aspects of milk and dairy products". 2009. Pág. 29
- [4] GOSTA, Bylund: "Dairy processing handbook". 1995 Pág. 333-350.
- [5] SPINK TEK: "ST-II Rotatory membrane system" 2014
<http://www.spintek.com/st-ii-rotary-membrane-system>
- [6] SEITAL: "Solid retaining separators" 2014
http://www.spx.com/en/seital/pd-030_Solids-retaining-separators

CAPÍTULO 2

2. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO

2.1. Obtención de los parámetros iniciales de diseño.

La obtención de los parámetros iniciales de diseño se determinó mediante los ensayos realizados en los laboratorios de química de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Para la realización de dichos ensayos se utilizó suero de leche proveniente de la elaboración de queso fresco en la planta piloto de leche de la Universidad Nacional Agraria de la Molina.

2.1.1. Materiales y métodos.

El experimento tuvo como finalidad evaluar la velocidad de rotación necesaria para producir una separación entre el líquido (suero) y la torta de suero de queso (requesón). Cabe recordar que el requesón es el concentrado proteico del suero de leche, al cual se le desea reducir la humedad para obtener mayor cantidad de proteínas en masa y de esta manera facilitar los siguientes procesos para la obtención del suero en polvo.

Para lograr el objetivo del experimento se utilizaron los siguientes materiales:

- Suero de leche con un pH cercano a 6.7

- Ácido acético comercial de 96% de concentración.
- Recipientes de vidrios de diferentes capacidades.
- Papel filtro.
- Balanza electrónica.
- Cocina con agitador.
- Termómetro.
- Concentrado centrífugo de laboratorio con una velocidad máxima de rotación de 3400 r.p.m.

El método para la realización de este ensayo consistió en 3 fases.

2.1.2. Primera fase: Obtención del requesón.

Esta primera fase consistió en someter al suero de leche a un calentamiento rápido hasta llegar a la temperatura de 40°C, una vez lograda dicha temperatura, empezó a bajarse la intensidad del calentamiento a razón de 2°C por minuto, con agitación lenta del suero de leche para lograr un calentamiento uniforme de toda la sustancia.

Al llegar a una temperatura de 70°C se notó una opalescencia del suero causada por el precipitado de pequeñas partículas del mismo, los cuales ascienden a la superficie del líquido. Para lograr un mejor rendimiento y un proceso más rápido se agregó el ácido acético en una proporción de 0.07% del suero a tratar (2 lt), removiendo la muestra para homogenizarla. Se observó que comenzó una precipitación rápida de los sólidos y proteínas (figura 2.1), los cuales ascienden en conjunto a la superficie formando una masa blanca (figura 2.2).



Figura 2.2: Precipitado de los sólidos y proteínas



Figura 2.1: Precipitados de los sólidos y proteínas

2.1.3. Segunda fase: Filtrado del requesón.

Luego de lograr la precipitación de los sólidos y proteínas, la mezcla quedó separada en dos fases: líquida y sólida. Para separar la fase sólida (figura 2.3) se somete a una filtración básica posterior al enfriamiento de la mezcla. La filtración se puede realizar con paños queseros o con algún filtro que proporcione la seguridad de que el sólido quedará atrapado sin riesgo a que este se rompa. (figura 2.4)



Figura 2.3: Filtrado básico



Figura 2.4: Requesón

2.1.4. Tercera fase: Centrifugado.

Una vez obtenido todo el sólido precipitado, se proceden a preparar las muestras (figura 2.5) para colocar en la máquina centrífuga. Es importante que cada muestra tenga una masa aproximadamente igual, para no producir vibraciones e inestabilidad en la máquina centrífuga. Para esto se utilizó una balanza electrónica donde se controlaba el peso de cada probeta, que marcaba alrededor de 20 gr.



Figura 2.5: Muestra para el centrifugado

Se prepararon seis probetas las cuales fueron colocadas en la máquina centrífuga de manera simétrica (figura 2.6), consecuentemente se realizó el centrifugado en un rango aproximado, debido a la forma de construcción de la máquina no se pudo medir la velocidad de rotación, por lo cual la velocidad de rotación está avalada por la experiencia del profesor encargado del laboratorio, asimismo la velocidad máxima del equipo es de 3400 r.p.m., pero debido a su tiempo de uso no llega a su máxima velocidad lo cual queda reducida en un rango de 2400 a 2800 r.p.m.



Figura 2.6: Colocación de las muestras en la centrífuga

2.2. Resultados finales

- Temperatura final de calentamiento: 85-90°C.
- Acidificación a los 70°C.
- Tiempo de calentamiento hasta la temperatura final: 40 minutos.
- Tiempo de centrifugado: 20 minutos.

- Se comprobó que de 2000 ml de suero de leche, se obtiene 150 g de requesón; por lo cual la eficiencia es de 7.5%
- La humedad inicial luego del filtrado básico fue de 75%
- Se obtuvo una velocidad de rotación referencial para un parámetro inicial de la máquina, que es de 2600 r.p.m., en el cual se apreció una delgada capa de líquido sobre la masa del requesón en el tubo de ensayo.

2.3. Lista de exigencias

La siguiente lista de exigencias fue desarrollada siguiendo las nociones del estado de la tecnología y además las necesidades planteadas como objetivos de la presente tesis. Se presentarán una serie de exigencias y características que deberá cumplir la máquina para su correcto funcionamiento y diseño.

Tabla 2.1: Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		Página 1 de 2
		Edición 1
Proyecto:	MÁQUINA CENTRÍFUGA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS PROTEÍNAS DEL SUERO DE LECHE MEDIANTE LA PRODUCCION DEL REQUESÓN A UNA HUMEDAD RELATIVA APROXIMADAMENTE A 60% CON UNA CAPACIDAD DE 1 kg/hora, PARA EL SECTOR RURAL	Fecha: 14/05/2014 Revisado por: J.A.M
Cliente:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	Elaborado por: A.H.T
E	DENOMINACIÓN	RESPONSA BLE
D		
E	FUNCIÓN PRINCIPAL: Separar los componentes sólidos de los líquidos del suero de leche previamente precalentado.	A.H.T
E	MATERIA PRIMA: Suero de leche proveniente de la elaboración del queso, el mismo que será pre-calentado para su posterior centrifugado	A.H.T

D	<p>GEOMETRIA: La máquina estará destinada para pequeñas cantidades, por lo cual las medidas serán:</p> <p>Largo: 1000 mm Ancho: 1000 mm Altura: 1000 mm</p>	A.H.T
E	<p>CAPACIDAD: Considerando 50 litros por día de suero precalentado:</p> <p>Capacidad máxima del rotor de centrifugado: 6 Litros. Capacidad promedio del producto final: 1 kg/hora.</p>	A.H.T
E	<p>MONTAJE: La máquina será diseñada con componentes de fácil montaje. Los componentes de filtración tendrán un acceso sencillo para facilitar su posterior mantenimiento y/o su cambio.</p>	A.H.T
E	<p>MANTENIMIENTO: Los componentes de filtración requerirán de monitoreo continuo, además de las zonas que requieran una constante lubricación serán de fácil reconocimiento y fácil acceso.</p>	A.H.T
E	<p>SEÑALES: Las señales serán audiovisuales de simple percepción que permitan reconocer el buen funcionamiento de la máquina.</p>	A.H.T
D	<p>COSTO: Se estima un costo de S/. 3000.00 (tres mil con 00/100 nuevos soles). Es un presupuesto referencial.</p>	A.H.T
E	<p>FUERZA: La fuerza será la requerida por el cálculo, la misma que garantice el correcto centrifugado del suero de leche precalentado.</p>	A.H.T

E	ENERGÍA: La energía será suministrada por un motor eléctrico, cuya potencia y número de polos serán calculados en función de la fuerza y r.p.m. requeridas.	A.H.T
E	MATERIALES: Los materiales a emplear para los elementos que estén en contacto con el suero de leche serán planchas de acero inoxidable AISI-SAE 316, y para la estructura (perfiles y planchas) será de acero ASTM-A36.	A.H.T
E	VELOCIDADES: Las r.p.m. en el rotor centrífugo serán calculadas según el requerimiento del proceso físico químico del suero. Estas velocidades estarán controladas por un variador de frecuencia.	A.H.T
E	FABRICACIÓN: La máquina podrá ser fabricada en talleres locales y se usarán materiales bajo normas de salubridad.	A.H.T
D	USO: La operación de la máquina será sencilla de tal forma que no requerirá capacitación especial de los operarios.	A.H.T
E	ERGONOMIA: La altura de los dispositivos de operación (botoneras, mirillas, tapas, etc.) y la máquina en general estarán a la altura de una fácil maniobrabilidad de acorde a las exigencias ergonómicas.	A.H.T
E	SEGURIDAD: La máquina será diseñada de tal modo que no se ponga en peligro el medio ambiente y la integridad física del operario.	A.H.T

2.4. Abstracción de la máquina

Se realizará la abstracción de la máquina, más conocida como caja negra o «black-box», la cual define lo que entra a la máquina y mediante procesos aún desconocidos, las salidas esperadas. (Ver figura 2.7)

ENTRADA:

MATERIA: Suero de leche precalentado aproximadamente a 90°C

ENERGÍA: Energía eléctrica de 220 V

SEÑAL: Temperatura del suero de leche.

SALIDA:

MATERIA: Requesón con una humedad de 60%, además sale suero de requesón.

ENERGIA: Calor.

SEÑAL: Temperatura, humedad.

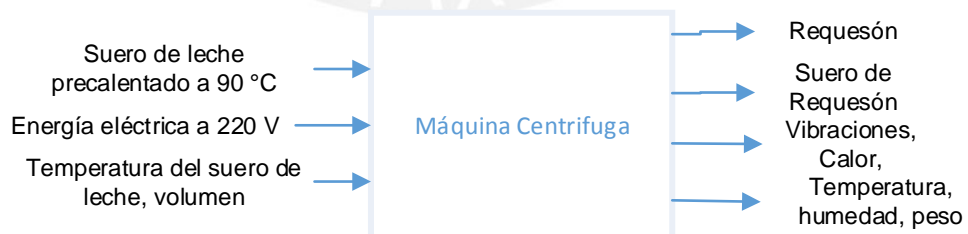


Figura 2.7: Caja negra

2.5. Estructura de funciones

Definidas las entradas y salidas de la máquina, ahora se procederán a definir las operaciones que se deben realizar para el correcto funcionamiento de la máquina.

2.5.1. Secuencia de operaciones:

Primero se debe verificar que la máquina esté operando correctamente. Luego se introduce el suero precalentado inmediatamente a la canasta rotor, se espera unos minutos para que la mayor cantidad de líquido se cuele por medio del filtro y la malla metálica por acción de la gravedad. A continuación se procede a verificar que la masa se halle simétricamente distribuida en toda el área de la canasta rotor, esto para evitar que la fuerza centrífuga resultante sea excesiva.

Una vez realizadas las verificaciones correspondientes, se procede a proporcionar de energía al motor, para que luego mediante el mecanismo correspondiente la potencia se transmita a la canasta rotor y comience la centrifugación. Una vez terminado el tiempo de centrifugación, se deberá apagar el suministro de energía del motor, para luego retirar de la canasta rotor los sólidos (requesón) atrapados en él.

2.5.2. Fijación de los procesos técnicos:

a. Preparación:

- Verter el suero de leche precalentado directamente a la canasta rotor y distribuirlo en toda el área de la misma.

b. Ejecución:

- Arrancar el motor.
- Transmitir potencia.
- Separar o filtrar.
- Drenar el suero de la leche sobrante.

c. Control:

- Verificar que la masa del suero de leche esté distribuida de manera simétrica en toda el área de la canasta rotor.
- Verificar que el sistema se encuentre asegurado correctamente.
- Controlar el tiempo de centrifugado
- Controlar la velocidad de rotación del rotor.

d. Fase final:

- Almacenar el suero de leche sobrante.
- Retirar los sólidos retenidos.

2.5.3. Lista de funciones:

- | | | |
|------------------------|---|--|
| a. Alimentar | : | Ingreso del suero de leche precalentado. |
| b. Asegurar el sistema | : | Evitar el derrame de la materia prima. |
| c. Arrancar | : | Ingreso de la energía al sistema. |
| d. Transmitir | : | Transmisión de la potencia. |
| e. Separar | : | Separación de los líquidos y sólidos. |
| f. Parada | : | Corte de ingreso de energía. |
| g. Drenar | : | Evacuar el líquido separado. |
| h. Evacuar los sólidos | : | Extracción de la materia sólida. |

2.5.4. Diagrama de funciones

2.5.4.1. Alternativa 01

Se tiene como primera alternativa en la que cada función es independiente y secuencial. (Ver figura 2.8)

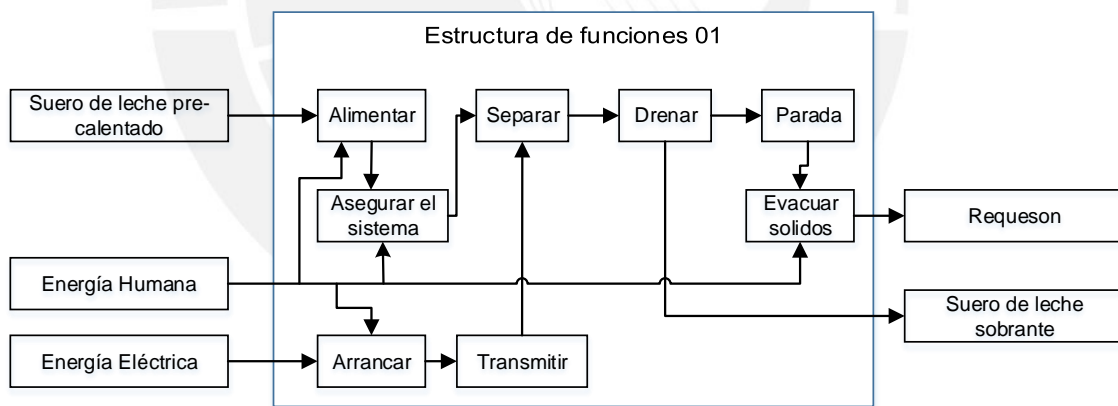


Figura 2.8: Estructura de funciones 01

2.5.4.2. Alternativa 02

En esta alternativa se antepone la función parada, para luego proceder a drenar y evacuar los sólidos paralelamente. (Ver figura 2.9)

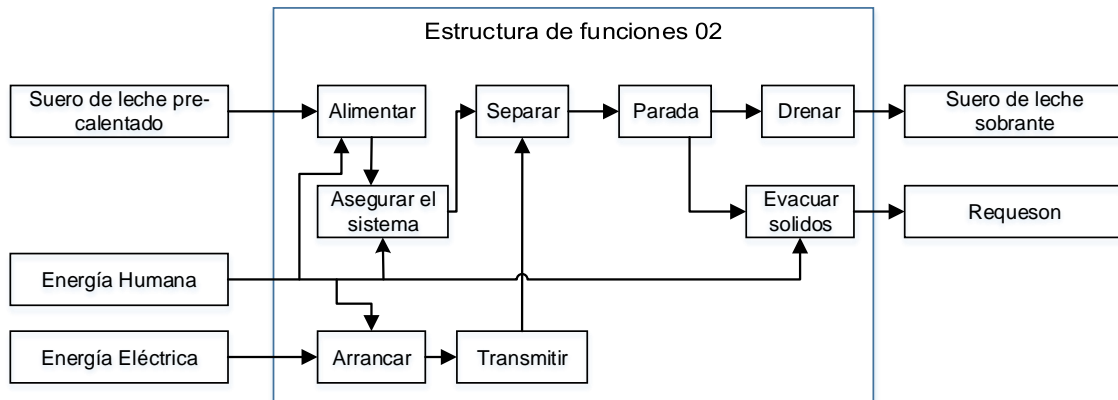


Figura 2.9: Estructura de funciones 02

2.5.4.3. Alternativa 03

En esta alternativa se excluye la función de parada, para que la máquina trabaje continuamente, y además realice la función de drenar y evacuar los sólidos de manera automática, sin la intervención de energía humana. (Ver figura 2.10)

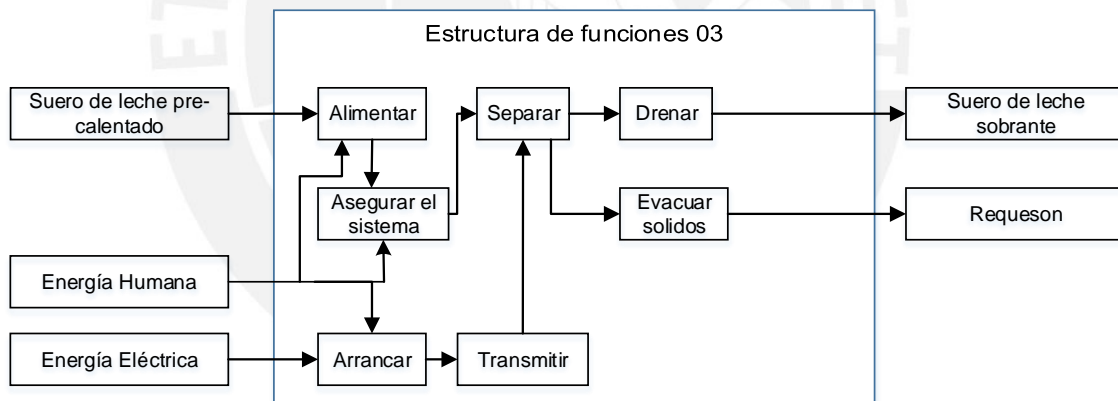


Figura 2.10: Estructura de funciones 03

2.5.5. Selección de la estructura de funciones óptima

Se considera la alternativa 1 como la estructura de funciones óptima, debido a que las funciones están correctamente posicionadas, y no posee ningún factor que afecte a la máquina. El proceso demandaría mucho tiempo si se necesitara detener la máquina para realizar la función de drenado de líquidos, lo cual sugiere la alternativa 2. En la alternativa 3, aunque es muy atractiva la característica de automatizar las funciones de drenar y evacuar sólidos, estas funciones generarán en un futuro corto que la máquina pierda la practicidad y la fácil fabricación que requiere.

2.6. Matriz morfológica

Tabla 2.2: Matriz morfológica

Matriz morfológica					
Proyecto	DISEÑO DE UNA MAQUINA CENTRIFUGA PARA LA OBTENCION DEL CONCENTRADO PROTEICO DEL SUERO DE LECHE	Edición	1		
		Fecha	03/06/2014		
		Rev.			
		Elaboración	A.H.T		
Funcion	Soluciones Posibles				
	1	2	3	4	
ALIMENTAR	 Manual	 Tanque elevado	 Bomba centrifuga		
ASEGURAR EL SISTEMA	Peso propio de la tapa	 Tapa roscada	 Ganchos de sujecion	 Pernos	
ARRANCAR	 Manivela	 Motor electrico con variador de frecuencia	 Motor de combustion	 Motor hidraulico	
TRANSMITIR	 Directo	 Fajas	 Ejeñahjes	 Corona sin fin	
SEPARAR	 Osmosis inversa	 Centrifuga y filtracion	 Centrifuga de platos conicos		
PARAR	 Manual	 Switch	 Pulsador	 Pedal	
DRENAR (LIQUIDOS)	 Manual	 Gravedad	 Succion		
EVACUAR SOLIDOS	 Manual	 Eyección por ciclón			

- Solución 01
- Solución 02
- Solución 03

2.7. Concepto solución

2.7.1. Concepto solución 1:

El primer concepto solución consiste en el accionamiento de un motor hidráulico, que transmite la potencia mediante un mecanismo de corona sinfín con una relación de transmisión que permita alcanzar las revoluciones exigidas para el proceso de centrifugado. El ingreso del suero tratado se produce mediante la succión de una bomba centrífuga que alimenta la canasta rotor, ubicada dentro de la máquina. El rotor de centrifugado estará conformado por una canastilla y un sistema de ósmosis inversa, que debido a la presión generada por la fuerza centrífuga se realizará la separación de las partículas de requesón y de los líquidos. El estator contará con una tapa roscada para brindar seguridad y hermetismo dentro de la cámara de centrifugado, la misma que contará con un ducto de descarga de líquidos, que por gravedad se drenarán. El retiro del producto se realizará de manera manual mediante espátulas apropiadas.

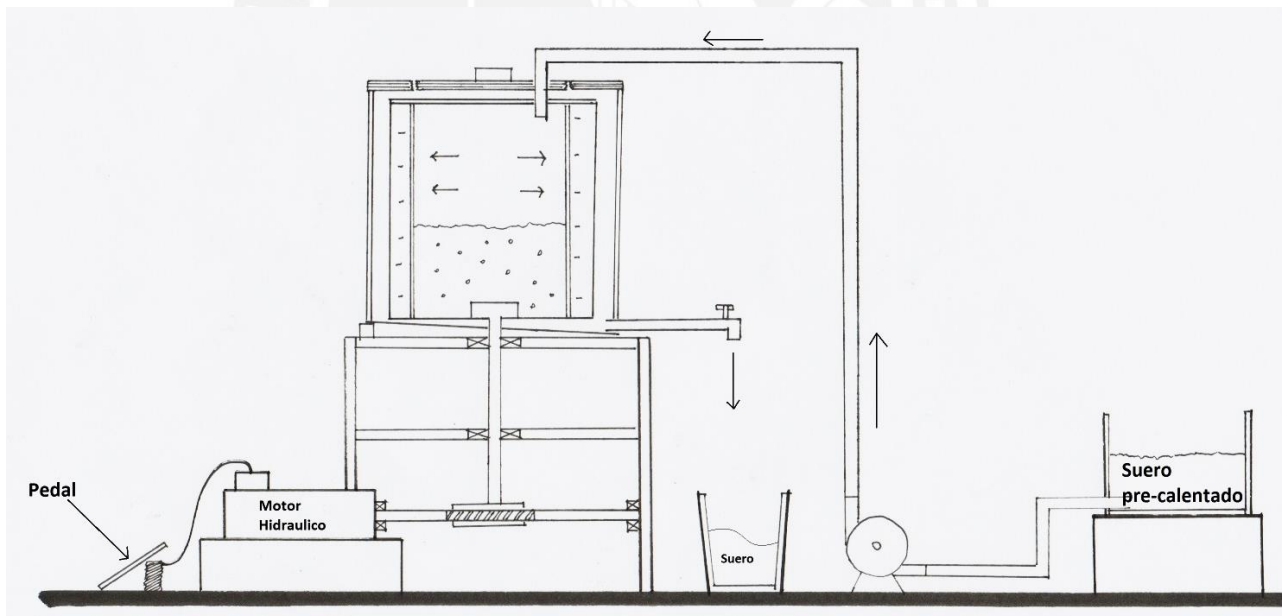


Figura 2.11: Concepto solución 01

2.7.2. Concepto solución 2:

Se tiene un motor eléctrico con variador de frecuencia para el accionamiento de la máquina centrifugadora, la transmisión se realizará mediante un sistema de polea-faja con relación de diámetros que permitan las revoluciones necesarias para el proceso de centrifugado. La alimentación de la materia prima se llevará a cabo manual y directamente en el rotor del centrifugado. La separación se realizará por medio de una tela filtrante ubicada en el rotor, el cual retendrá los sólidos y permitirá que se filtre el líquido concentrado. La descarga de los líquidos se realizará por la acción de la gravedad con la ayuda de un conducto hacia el exterior y la descarga de los sólidos retenidos en el rotor, se realizará de forma manual por medio de espátulas adecuadas.

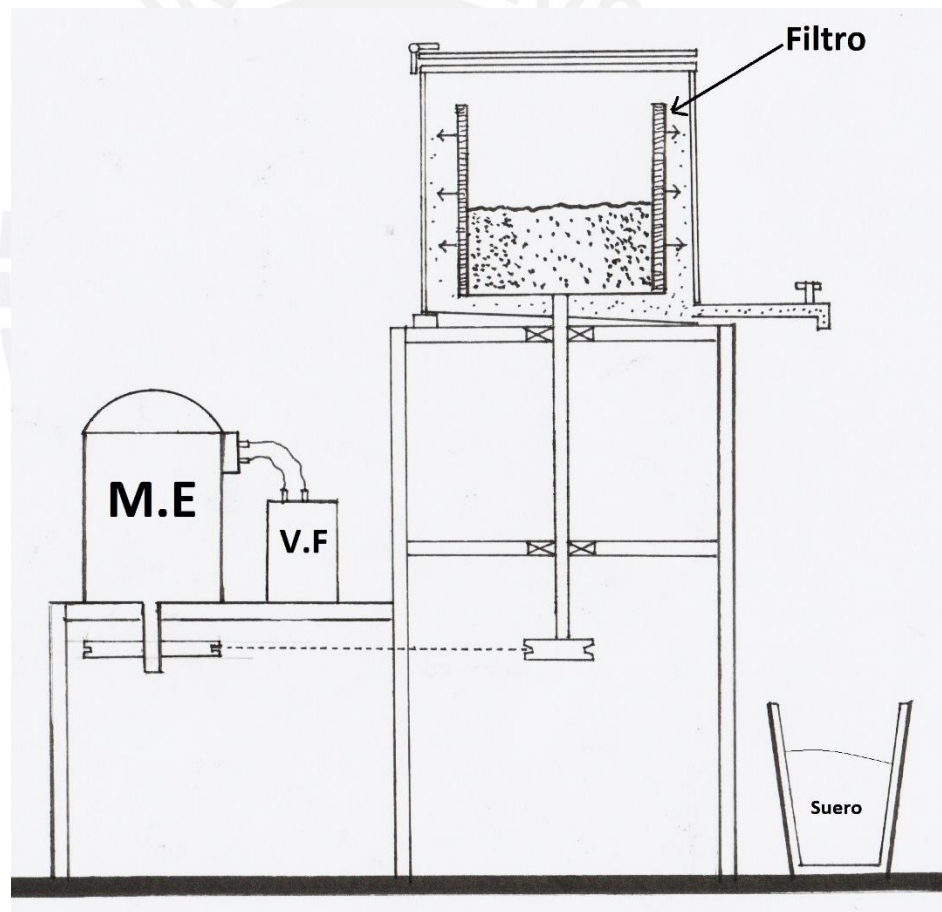


Figura 2.12: Concepto solución 02

2.7.3. Concepto solución 3

El accionamiento de la máquina se realizará por medio de un motor de combustión interna, el cual generará altas velocidades para el centrifugado. La transmisión de la potencia se realizará por medio de un sistema de engranajes. La alimentación se hará mediante un tanque elevado que alimentará el rotor de la máquina centrífuga. La separación se realizará por medio de platos cónicos, que por el principio de sedimentación retendrán las partículas de sólido en la periferia de la canasta rotor. Los sólidos serán eyectados por medio de un ciclón y con la fuerza centrífuga que se generará los líquidos serán drenados automáticamente por medio de un disco centrífugo que succionará los líquidos en la parte superior. La tapa del estator se encontrará asegurada con pernos.

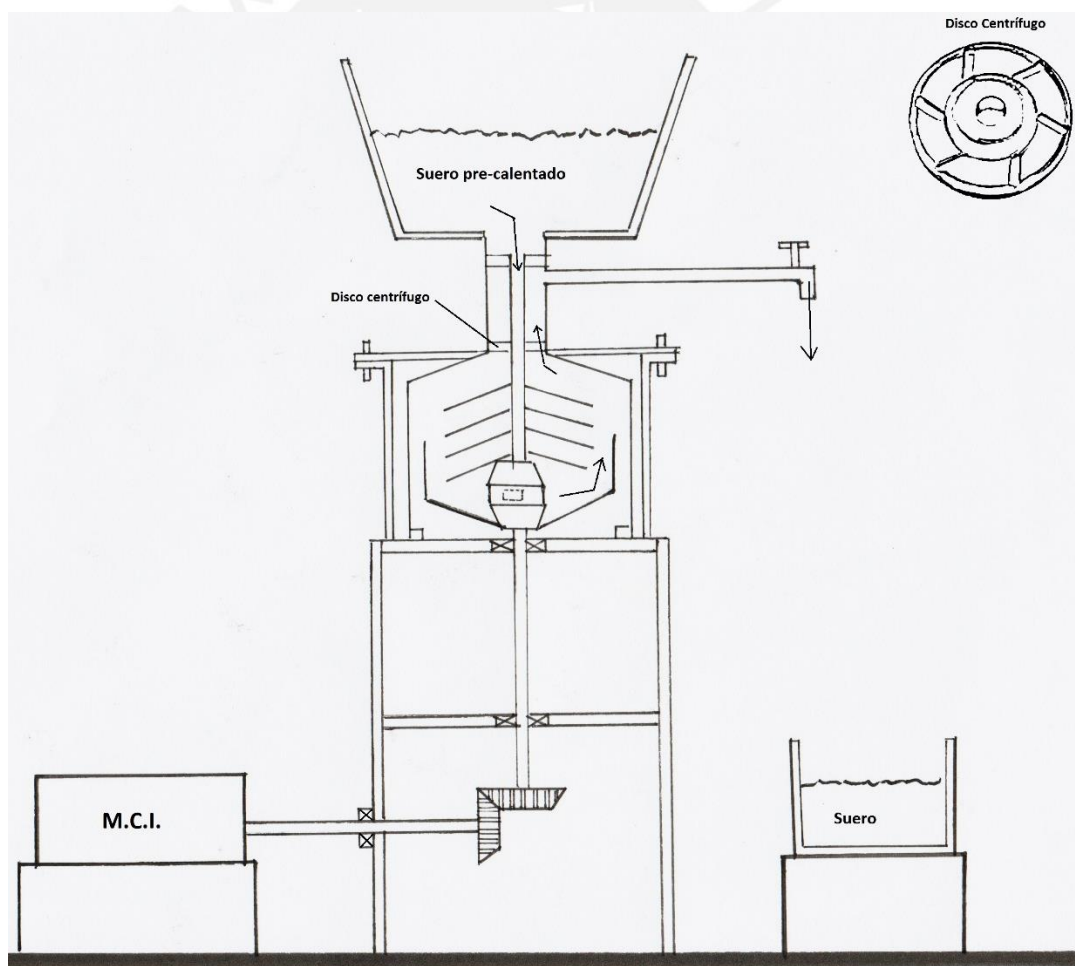


Figura 2.13: Concepto solución 03

2.8. Evaluación preliminar de los conceptos de solución.

Para realizar la evaluación previa de los conceptos de solución se seguirán los siguientes criterios:

Factibilidad: Contempla la probabilidad de que el concepto solución sea desarrollado en el contexto geográfico y social en el que se desea implementar. Para ello mientras más sencillos sean los componentes, serán mejor puntuados.

Comodidad: Este criterio va relacionado con el concepto de ergonomía e interacción con el usuario. Mientras el diseño evite la fatiga y el excesivo movimiento del consumidor, estará mejor valorado.

Facilidad de fabricación: este criterio tiene mayor puntuación cuando los elementos que componen la máquina son de fácil adquisición o fabricación.

Sencillez: es un factor que mide el impacto visual de la presentación final de la máquina del sector objetivo. Está relacionado con la comodidad y la facilidad de fabricación.

Facilidad de mantenimiento: El mantenimiento del equipo deberá ser lo más sencillo posible. A mayor puntaje obtenido, el mantenimiento es más fácil.

Eficiencia de diseño: Se refiere a la capacidad del sistema de utilizar la energía entregada con las menores pérdidas posibles. A mayor puntaje la eficiencia será mejor.

Costo estimado: A mayor puntaje, la máquina resultará más económica.

Tabla 2.3: Evaluación preliminar de los conceptos de solución

Diseño Mecánico - Evaluación de Conceptos			
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)			
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)			
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos			
Criterio	C-Solución 1	C-Solución 2	C-Solución 3
Factibilidad	1	3	2
Comodidad	2	3	1
Facilidad de fabricación	2	3	2
Sencillez	2	3	1
Facilidad Mantenimiento	1	2	2
Eficiencia de diseño	3	2	2
Costo estimado	2	2	2
Total	13	18	12

El concepto solución ganador es el número 2, en base a este concepto solución se procederá a definir el proyecto preliminar óptimo.

2.9. Proyecto preliminar

En esta sección se definirá el proyecto preliminar, basado en el concepto solución óptima.

2.9.1. Alternativa 01

En esta alternativa se colocó el motor eléctrico en forma horizontal para aprovechar una transmisión por engranajes cónicos. Este tipo de transmisión ofrece grandes ventajas, tales como la gran velocidad que emite y una transmisión compacta. Sin embargo, presenta una desventaja por la complejidad y costo de la transmisión.

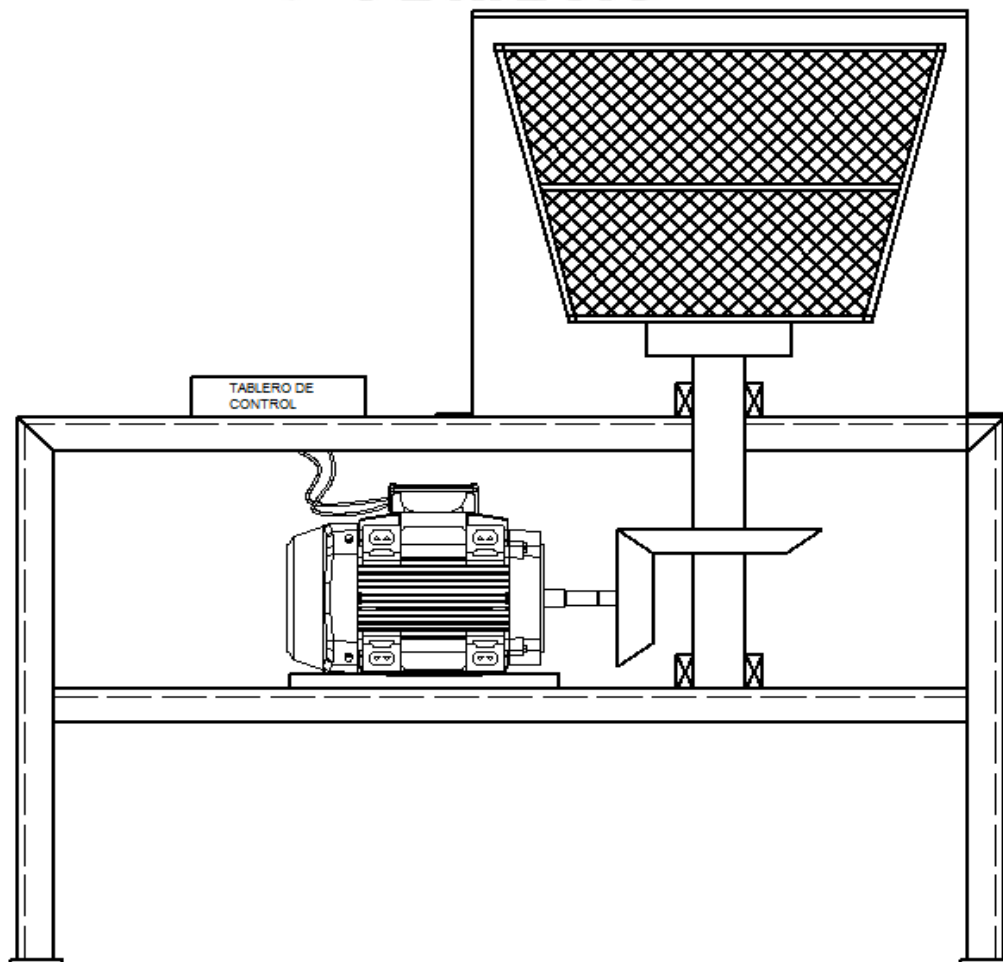


Figura 2.14: Proyecto preliminar - alternativa 01

2.9.2. Alternativa 02

En la segunda alternativa que se procedió a analizar, el motor se encuentra en posición vertical y la transmisión se hace directamente a través de un acople flexible. La ventaja resaltante de esta alternativa es que la potencia es transferida directamente hacia el rotor, de esta manera se aprovecha al máximo la energía y el espacio requerido de la máquina se reduce; sin embargo, para aplicar este tipo de transmisión se necesita de tolerancias y ajustes mínimos, debido a que una mala linealidad entre los dos ejes, daría como resultado una falla sustancial.

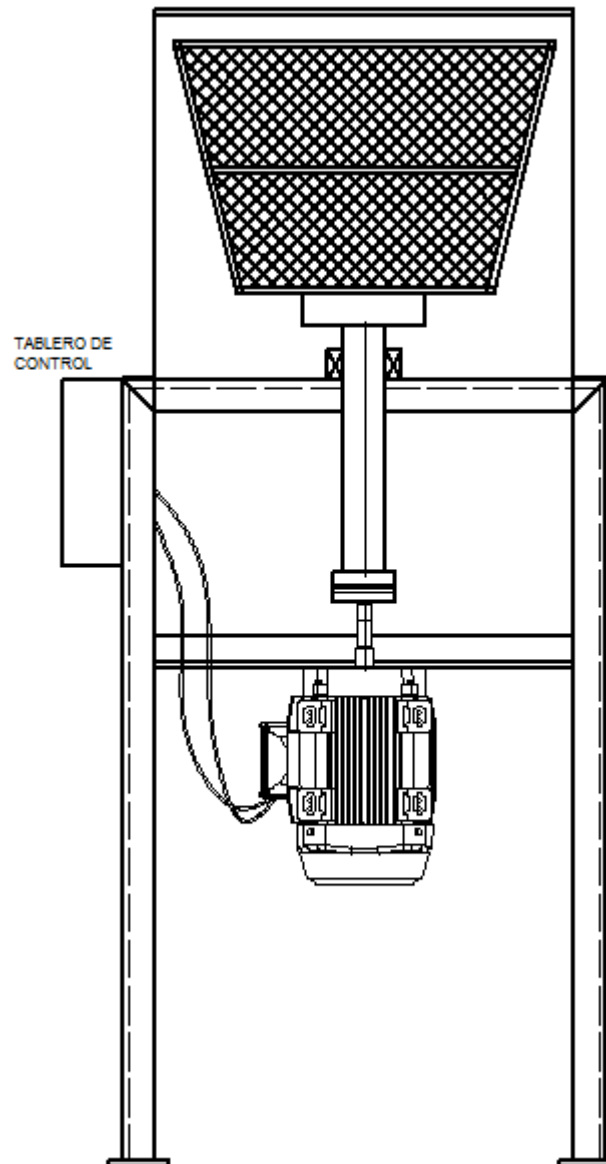


Figura 2.15: Proyecto preliminar - alternativa 02

2.9.3. Alternativa 03.

En esta alternativa se propone el uso de una faja trapezoidal para poder transmitir la potencia. Las ventajas de este tipo de transmisión son muchas, algunas de ellas se mencionan a continuación: permite giros a alta velocidad, posibilita una mayor tolerancia en el desalineamiento de ejes, es de bajo costo y fácil de sustituir debido a su comercialidad.

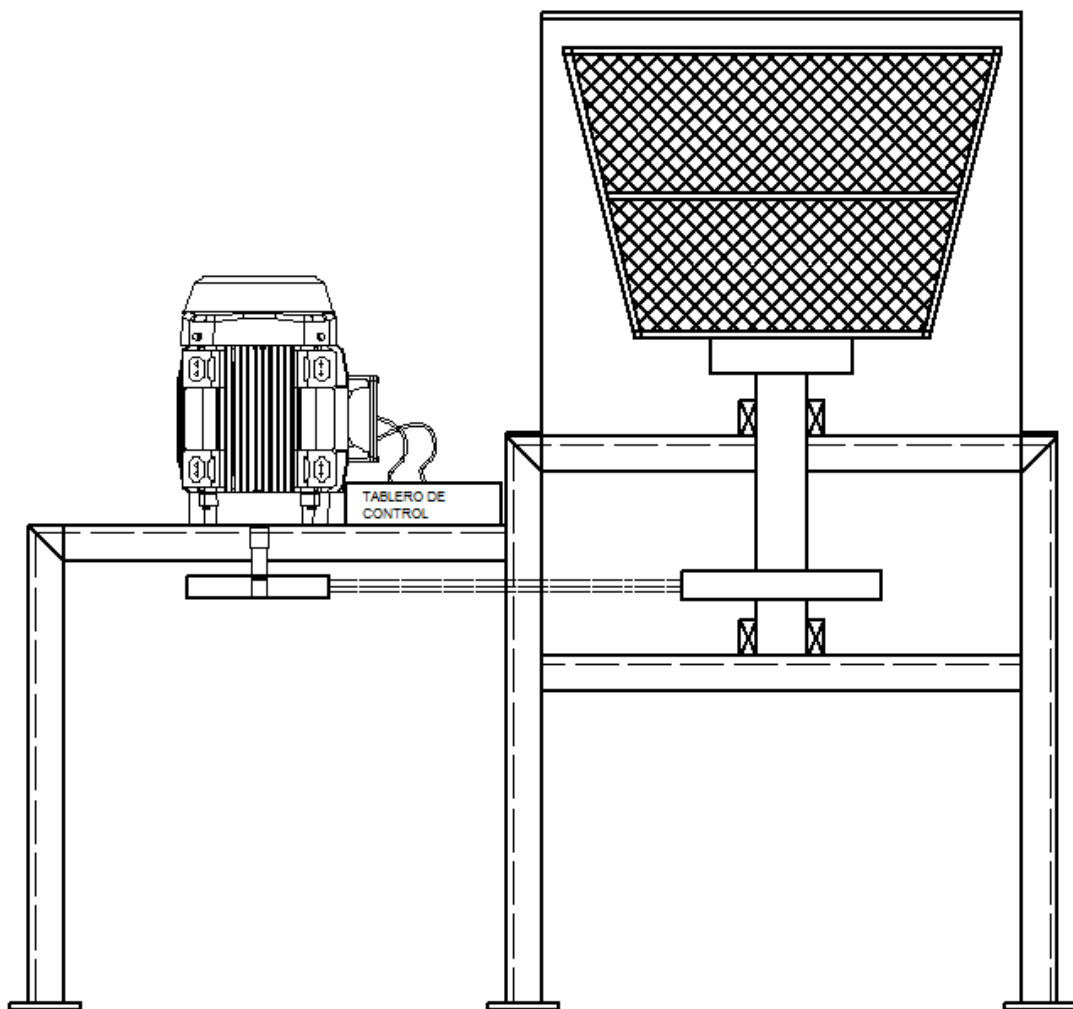


Figura 2.16: Proyecto preliminar - alternativa 03

2.10. Evaluación Técnico–Económica

Para determinar el proyecto preliminar óptimo, se elaborará una evaluación cualitativa de las diferentes alternativas, esta se realizará con la ayuda de una matriz de decisión.

Valor Técnico: Se tendrán en cuenta diferentes criterios de aceptación en una escala del 1 al 4; donde 4 significa que cumple muy bien con el criterio a evaluar y el 1 que es escasamente aceptable. Los valores que se obtendrán de esta matriz de decisión representarán la coordenada X en una gráfica de toma de decisión. (Ver tabla 2.4)

Tabla 2.4: Evaluación técnica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Técnico													
Proyecto: Diseñar una máquina centrífuga para la obtención del concentrado proteico del suero de leche													
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)													
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)													
g: peso ponderado, esta en función de los criterios de evaluación (1:4)													
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos													
Variante de concepto/Proyecto			Solucion 1 (S1)			Solucion 2 (S2)			Solucion 3 (S3)			Solucion ideal	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Cumplimiento de la funcion	2	3	6	3	6	3	6	4	8			
2	Simplicidad del diseño	3	2	6	3	9	3	9	4	12			
3	Menor espacio	3	2	6	3	9	2	6	4	12			
4	Simetría	1	2	2	3	3	2	2	4	4			
5	Simplicidad de la transmision	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
6	Seguridad de la transmision	3	3	9	1	3	3	9	4	12			
7	Rendimiento de Centrifugado	4	3	12	3	12	3	12	4	16			
8	Mejor filtrado	4	2	8	2	8	2	8	4	16			
9	Control de las RPM	3	3	9	3	9	3	9	4	12			
10	Menor Precision de Montaje	2	1	2	2	4	3	6	4	8			
11	Seguridad de operación	3	3	9	3	9	3	9	4	12			
12	Facilidad de operación	2	3	6	3	6	3	6	4	8			
13	Facil fabricacion	4	1	4	3	12	3	12	4	16			
14	Facil montaje	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
15	Facil mantenimiento	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
	Suma de puntaje ($\sum p$ y $\sum gp$)			31	88	41	117	42	121	60	172		
	Xi			0.52	0.5	0.68	0.7	0.7	0.7	1	1		

Valor Económico: De la misma manera se evaluará el valor económico en función de diversos criterios. El rango de escala es la antes mencionada. De esta matriz de decisión se obtendrá la coordenada Y en una gráfica de toma de decisión. (Ver tabla 2.5)

Tabla 2.5: Evaluación económica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Económico													
Proyecto: Diseñar una máquina centrífuga para la obtención del concentrado proteico del suero de leche													
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)													
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)													
g: peso ponderado, esta en función de los criterios de evaluación (1:4)													
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos													
Variante de concepto/Proyecto			Alternativa 01			Alternativa 02			Alternativa 03			Solucion ideal	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Simplicidad del diseño	4	1	4	3	12	3	12	4	16	4	16	
2	Costo del material	3	2	6	3	9	3	9	4	12	4	12	
3	Menor peso	2	1	2	3	6	2	4	4	8	4	8	
5	Menor tamaño	3	2	6	3	9	2	6	4	12	4	12	
6	Facil proceso de manufactura	4	1	4	3	12	3	12	4	16	4	16	
7	Facil compra de componentes	3	1	3	2	6	3	9	4	12	4	12	
8	Facil montaje	3	1	3	2	6	3	9	4	12	4	12	
10	Menor tiempo de fabricacion	3	1	3	3	9	3	9	4	12	4	12	
12	Facil mantenimiento	4	2	8	2	8	3	12	4	16	4	16	
13	Facil adquisicion de repuestos	3	1	3	2	6	3	9	4	12	4	12	
Suma de puntaje ($\sum p$ y $\sum gp$)				13	42	26	83	28	91	40	128		
Yi				0.33	0.3	0.65	0.6	0.70	0.7	1	1		

Luego de obtener ambas coordenadas representadas por el valor técnico (X) y económico (Y), se procede a dibujar una gráfica de toma de decisión donde se representará la solución ideal como una línea de pendiente 1. La solución que se halle más próxima a esta línea será la ganadora. (Ver tabla 2.17)

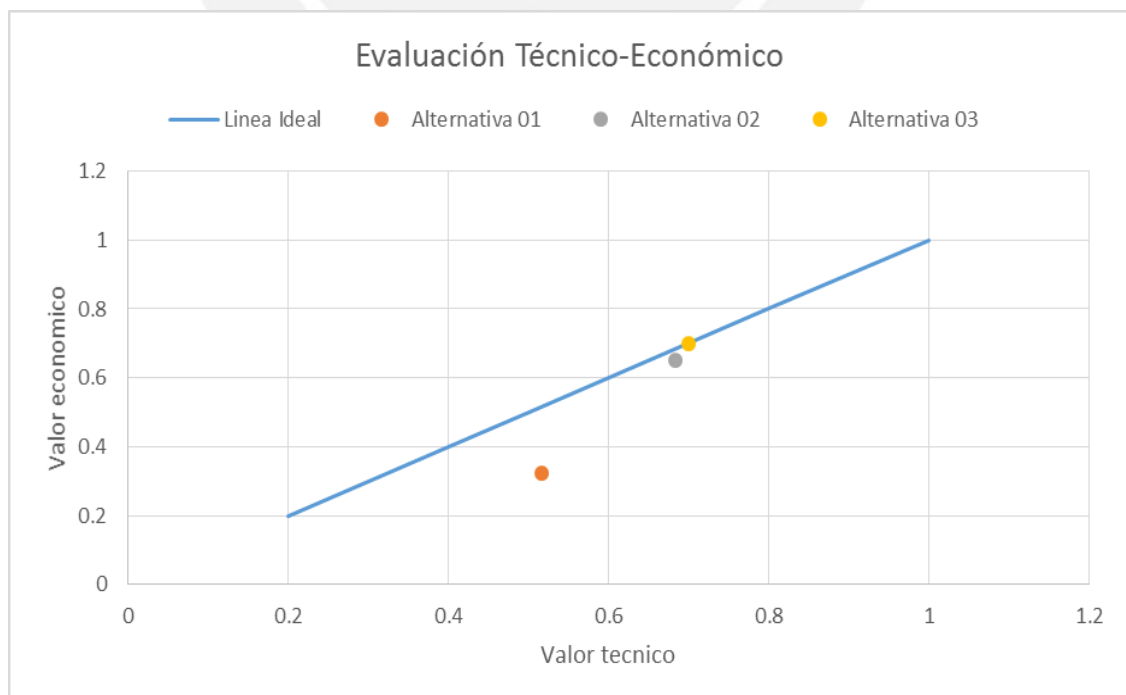


Figura 2.17: Gráfica de toma de decisión

A partir del análisis técnico-económico, con la ayuda de la gráfica de toma de decisión, podemos concluir que el proyecto preliminar óptimo es la alternativa 03. Dicha alternativa comprende un motor eléctrico monofásico, una transmisión por fajas trapezoidales, un eje, transmisión del eje al rotor mediante una chaveta, un rotor, un filtro, una malla metálica, un tablero de control con un variador de frecuencia, un estator y una estructura base. Una vez definido el proyecto preliminar óptimo se procederá a realizar los cálculos de ingeniería de todos los componentes para dimensionar la máquina.



CAPÍTULO 3

3. INGENIERÍA DE DETALLE

3.1. Determinación del proyecto preliminar

La diferencia entre los conceptos solución, señalados en el capítulo previo, es el tipo de transmisión a emplear; por ello, según lo expuesto, el concepto solución óptimo es la alternativa 03. En este caso la transmisión de la potencia se realizará mediante una polea y una faja, asimismo este concepto solución abarca un eje, un rotor y una variación de frecuencia.

En esta sección se detallarán los cálculos de cada uno de los componentes, así como también las potencias necesarias para poner en funcionamiento la máquina.

3.2. Cálculo de la potencia necesaria del motor.

El criterio para el cálculo de la potencia necesaria del motor será el de inercias en el arranque. Como es sabido, los motores siempre emplean mayor potencia al momento del arranque, ya que tienen que vencer una inercia en estado de reposo.

Para un cálculo aproximado de la inercia, se considerará al rotor como un cilindro con una pared delgada de 3mm de espesor, que estará conformada por una base similar a un disco de 10mm de espesor; el requesón que se encontrará al interior de la máquina, se asemejará a otro disco plano con un espesor de 10mm (ver figura 3.1). Además se definirá como n_1 (3400 r.p.m.) la velocidad de rotación máxima en el eje del motor y n_2 (2600 r.p.m.) como la velocidad de rotación en el eje de la máquina centrífuga.

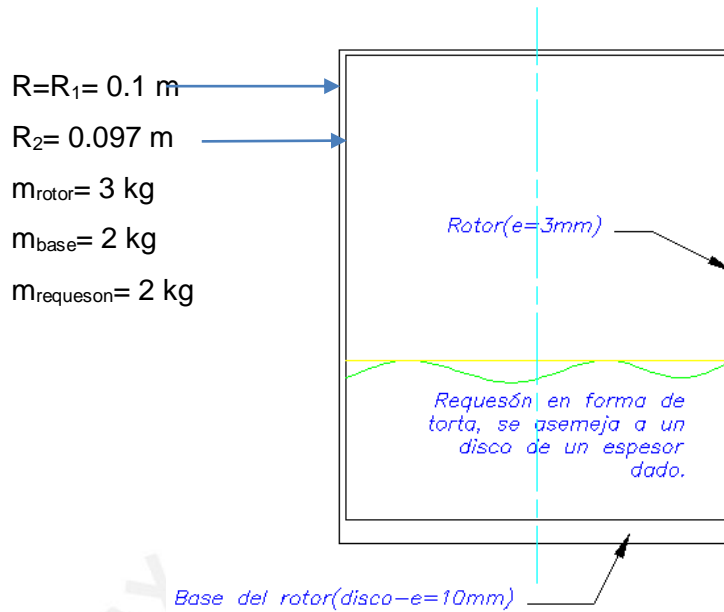


Figura 3.1: Esquema del rotor

$$I_{\text{rotor}} = \frac{1}{2} * m_{\text{rotor}} * (R_1^2 + R_2^2) = 0.029 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (3.1)$$

$$I_{\text{base}} = \frac{1}{2} * m_{\text{base}} * R^2 = 0.01 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (3.2)$$

$$I_{\text{requeson}} = \frac{1}{2} * m_{\text{requeson}} * R^2 = 0.01 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (3.3)$$

Una vez obtenidas las tres inercias estas serán sumadas y dicha suma representará de forma aproximada la inercia que tiene que vencer el motor; sin embargo, al ser la transmisión por fajas, esta inercia total debe reflejarse en el eje del motor para así obtener una inercia efectiva (I_{ef}).

$$I_{\text{trotor}} = I_{\text{rotor}} + I_{\text{base}} + I_{\text{requeson}} = 0.049 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (3.4)$$

$$I_{ef} = I_{\text{trotor}} * \left(\frac{n_2}{n_1}\right) = 0.038 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (3.5)$$

Por lo tanto la inercia total será:

$$I_{\text{total}} = I_{ef} + I_{\text{motor}} = 0.041 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (3.6)$$

El torque de arranque viene dado por la ecuación:

$$T_{arr} = I_{\text{total}} * \alpha \quad (3.7)$$

Donde la aceleración angular (α) depende del tiempo de arranque y de la velocidad angular. Para este caso se considerará el tiempo de arranque normal para máquinas eléctricas de 4 segundos.

$$\alpha = \frac{n_1}{t_{arr}} = 89 \text{ rad/s}^2 \tag{3.8}$$

Reemplazando en la ecuación (3.7) resulta que el $T_{arr}=3.614 \text{ N.m}$

La potencia necesaria para generar este torque de arranque viene dado por la expresión:

$$P_{motor} = T_{arr} * \omega_1 = 1287 \text{ W} \tag{3.9}$$

Por lo cual para mover una masa estimada de 8 kg, donde esté incluido el rotor y la torta del suero de leche, a unas 2600 r.p.m., se necesita un motor monofásico que cumpla con las características específicas. Para la selección de dicho motor se deberá tener en cuenta la potencia de arranque, el torque de arranque y que la alimentación sea monofásica. Para tal caso se tienen los catálogos de WEG, donde se encuentra el motor que cumple con todo lo solicitado. (Ver figura 3.2)

HOJA DE DATOS						
Motor monofásico de inducción - Rotor de jaula						
Cliente	: ASD					
Línea del producto	: Uso General - NEMA 48/56 Abierto - monofásico					
Carcasa	: F56H					
Potencia	: 1,5 kW					
Frecuencia	: 60 Hz					
Polos	: 2					
Rotación nominal	: 3525					
Deslizamiento	: 2,08 %					
Voltaje nominal	: 220/440 V					
Corriente nominal	: 11,4/5,72 A					
Corriente de arranque	: 91,4/45,7 A					
Ip/In	: 8,0					
Corriente en vacío	: 7,30/3,65 A					
Par nominal	: 4,07 Nm					
Par de arranque	: 250 %					
Par máxima	: 280 %					
Categoría	: ---					
Clase de aislación	: B					
Elevación de temperatura	: 80 K					
Tiempo de rotor bloqueado	: 6 s (caliente)					
Factor de servicio	: 1,15					
Régimen de servicio	: S1					
Temperatura ambiente	: -20°C - +40°C					
Altitud	: 1000					
Protección	: IP21					
Masa aproximada	: 20 kg					
Momento de inercia	: 0,00280 kgm ²					
Nivel de ruido	: ---					
	Delantero	Trasero	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)	
Rodamiento	6204 ZZ	6203 ZZ	100%	0,75	77,9	
Intervalo de lubricación	---	---	75%	0,67	78,2	
Cantidad de grasa	---	---	50%	0,59	71,1	

Figura 3.2: Características eléctricas del motor monofásico

3.3. Dimensionamiento del eje.

Las cargas a las que se encuentra sometido el eje se muestran en la figura 3.3:

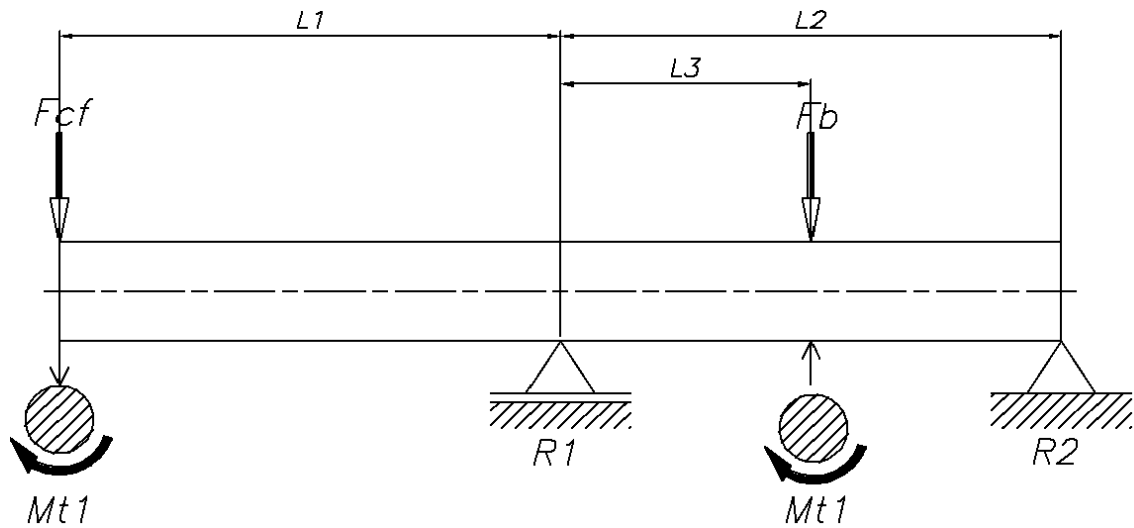


Figura 3.3: Diagrama de cuerpo libre (DCL) del eje

Datos:

Longitudes de los apoyos (rodamientos)

$$L1=0.075 \text{ m}$$

$$L2=0.180 \text{ m}$$

$$L3=0.138 \text{ m}$$

Fuerza centrífuga generada por el movimiento circular del requesón. Se considera una masa de 0.5 kg de desbalance que producirá la fuerza centrífuga resultante.

$$F_{cf} = m * r * \omega^2 \quad (3.10)$$

Donde:

$$m = 0.5 \text{ kg} ; r = 0.1 \text{ m} ; \omega = 272 \text{ rad/s}$$

$$F_{cf} = 3706.58 \text{ N}$$

Fuerza de flexión generada por la polea y transmisión de fajas (Ver anexo 1):

$$F_b = 125.21 \text{ N}$$

Torque generado por la polea del eje conducido:

$$P_{motor} = 1500 \text{ W}$$

$$n_2 = 2600 \text{ rpm}$$

$$Mt1 = \frac{60 \cdot Pm}{2 \cdot \pi \cdot n_2} = 5.509 \text{ Nm} \quad (3.11)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje Y:

Recordar que R1 y R2 representan fuerzas en los apoyos

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{cf} + F_b = R1 + R2 \quad (3.12)$$

Sumatorias de momento respecto a R1:

$$\sum M_{R1} = 0$$

$$F_{CF} \cdot L1 + R2 \cdot L2 - F_b \cdot L3 = 0 \quad (3.13)$$

$$R2 = \frac{F_b \cdot L3 - F_{cf} \cdot L1}{L2}$$

$$R2 = -1,394.18 \text{ N}$$

$$R1 = F_{cf} + F_b - R2 \quad (3.14)$$

$$R1 = 5,356.35 \text{ N}$$

Luego de calcular y hallar todas las fuerzas que actúan sobre el eje, se proceden a realizar los diagramas de fuerza cortante, momento flector y momento torsor.

Diagrama de la fuerza cortante en el eje X:

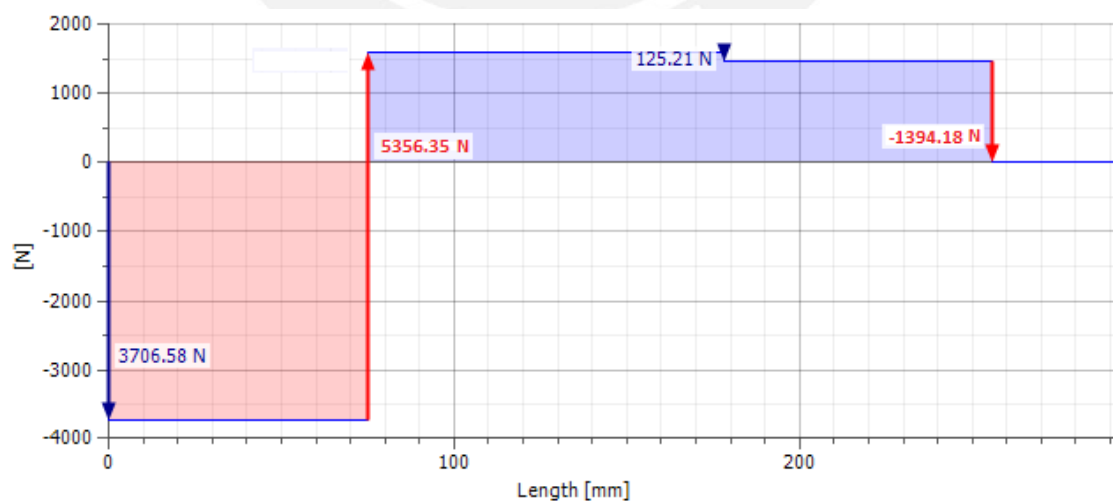


Figura 3.4: Diagrama de la fuerza cortante en el eje X

Diagrama del momento flector resultante del eje conducido:

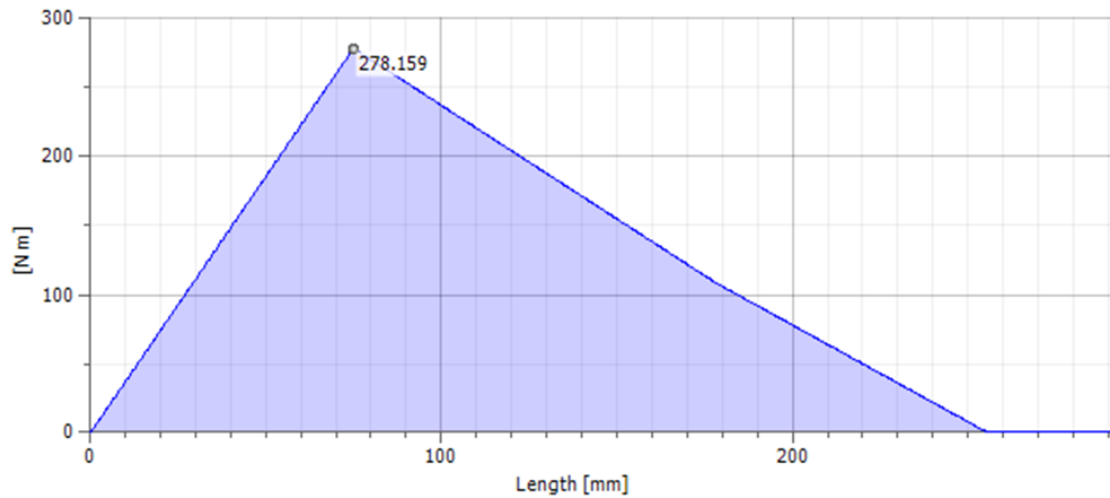


Figura 3.5: Diagrama del momento flector resultante

Momento generado sobre el eje en la sección crítica:

$$M_2 = 278.16 \text{ Nm}$$

El material de los ejes es Ck45 o el equivalente AISI 1045, se elige este material por ser el más utilizado en la fabricación de árboles y ejes. Los valores de resistencia del material son:

$$\begin{aligned} \sigma_B &= 650 \text{ MPa} & \sigma_F &= 390 \text{ MPa} & \sigma_{fF} &= 530 \text{ MPa} & \tau_{fF} &= 210 \text{ MPa} \\ \sigma_{fALT} &= 350 \text{ MPa} & \tau_{fPUL} &= 210 \text{ MPa} & & & & \end{aligned}$$

Se realizará un cálculo tentativo para determinar el diámetro del eje en la sección crítica que tiene lugar en R1, donde se colocará el rodamiento; por lo tanto, se debe tener en cuenta que el diámetro interior de los rodamientos son múltiplos de 5.

Para determinar el diámetro mínimo se utilizará la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo, el cual indica que el diámetro mínimo en la sección crítica del eje está dada por:

$$d_{min} = \left(\frac{32 \cdot FS_R}{\pi \cdot \sigma_F} * \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right)^{1/3} \tag{3.15}$$

Donde:

(FS_R): Factor de seguridad recomendado.

(M_f) : Momento flector máximo.

(M_t) : Momento torsor máximo.

(σ_F) : Resistencia a la fluencia.

Para los datos: $FS_R=2.5$; $M_f=278.15$ Nm; $M_t=5.59$ Nm; $\sigma_F=390*10^6$ Pa

Se obtiene un valor del diámetro mínimo de:

$$d_{min} = 26.9 \text{ mm}$$

Para los efectos del cálculo se tomará un valor redondeado a 35 mm. Con este diámetro se calcula el esfuerzo producido debido a la flexión y torsión.

$$\sigma_1 = \frac{32 * M_2 * 1000}{\pi * d^3} = 66.08 \text{ MPa} \quad (3.16)$$

$$\tau_1 = \frac{16 * M_t * 1 * 1000}{\pi * d^3} = 0.61 \text{ MPa} \quad (3.17)$$

3.3.1. Análisis de fatiga.

Se analiza si el eje sufre una falla por fatiga, para dicho estudio se encontrará sometido a esfuerzos alternantes y pulsantes. Para este análisis se utilizará la expresión de C. Bach, la cual es una alternativa que no requiere descomponer los esfuerzos en sus componentes alternantes y medios.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma'_f{}^2 + 3 * (\alpha_0 * \tau'_t)^2} \quad (3.18)$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fALT}}{1.73 * \tau_{tPUL}} \quad (3.19)$$

Sin embargo, los esfuerzos de flexión y torsión están influenciados por los coeficientes de fatiga, los cuales son β_k , C_S , C_t , C_{temp} . Por lo cual el esfuerzo de flexión (σ'_f) y torsión (τ'_t) se determinan con la siguiente ecuación.

$$\sigma'_f = \frac{\beta_f}{C_S C_t C_{temp}} * \sigma_f \quad (3.20)$$

$$\tau'_t = \frac{\beta_t}{C_S C_t C_{temp}} * \tau_t \quad (3.21)$$

Donde el factor de concentración de esfuerzo efectivo (β_k) se determina según el tipo de carga, ya sea de flexión (β_f) o de torsión (β_t), y viene dado por la siguiente fórmula:

$$\beta_k = 1 + \eta * (\alpha_k - 1) \quad (3.22)$$

Donde η es el factor de sensibilidad a la entalla y viene dado por:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{8}{r} * \left(1 - \frac{\sigma_F}{\sigma_B}\right)^3} \quad (3.23)$$

Para $r=1$ mm se obtiene $\eta = 0.61$

El factor geométrico de concentración de esfuerzos α_k , se determina mediante gráficos según el tipo de carga (Anexo 5). Para el caso de la carga a flexión es $\alpha_k = 2.1$ y para la carga a torsión el $\alpha_k = 1.62$. También se deben determinar los demás coeficientes de fatiga, los cuales son:

- Coeficiente por acabado superficial (C_s) : 0.9
- Coeficiente por tamaño (C_t) : 0.78
- Coeficiente por temperatura (C_{temp}) : 1

Se determina el factor de concentración de esfuerzos efectivo a la flexión (β_f) y a la torsión (β_t), siguiendo la ecuación (3.22):

$$\beta_f = 1 + 0.61 * (2.1 - 1) = 1.67$$

$$\beta_t = 1 + 0.61 * (1.62 - 1) = 1.38$$

Se obtienen los valores de σ'_f y τ'_t con la ecuación (3.20) y (3.21):

$$\sigma'_f = 157.8 \text{ MPa}$$

$$\tau'_t = 1.3 \text{ MPa}$$

Al reemplazar en la ecuación (3.18):

$$\sigma_{eq} = \sqrt{125.8^2 + 3 * \left(\frac{350}{1.73 * 210} * 2.6\right)^2} = 157.3 \text{ MPa}$$

Para verificar que el elemento no falle por fatiga se tiene que cumplir:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{\sigma_{fALT}}{FS_R} \quad (3.24)$$

$$\frac{\sigma_{fALT}}{FS_R} = 175 \text{ MPa}$$

Se cumple la inecuación (3.24). por lo cual el diámetro de 35 mm no falla por fatiga.

3.3.2. Verificación dinámica del eje

Una vez obtenidas las dimensiones del eje, se procede a calcular la velocidad crítica del mismo y a verificar si este falla por efecto de la resonancia. La velocidad crítica de rotación de un eje se da cuando las oscilaciones de rotación entran en resonancia con las oscilaciones naturales del mismo, lo cual causan su colapso. Para evitar este peligroso efecto se realiza esta comprobación.

La velocidad crítica depende de la constante de rigidez (c_i) y de la masa (m). La constante de rigidez del eje está dada por la fuerza aplicada (F) en la sección a analizar y la del desplazamiento transversal (δ) en el punto de aplicación de la fuerza, con lo cual indirectamente relaciona las propiedades mecánicas y geométricas del eje. Este cálculo comenzará hallando el desplazamiento transversal (δ) por el método de Castigliano, para tal propósito despreciaremos la fuerza flectora de la polea. Se debe recordar que el desplazamiento transversal se encuentra al derivar la energía de deformación respecto a la fuerza actuante en el punto que se quiere hallar el desplazamiento.

$$\delta = \frac{dw}{dF} = \int \frac{M}{E \cdot I} * \left(\frac{dM}{dF} \right) * dx \quad (3.25)$$

Para este caso, según la figura 3.6, la deformación transversal (δ) está representada por x y x' representa el eje longitudinal.

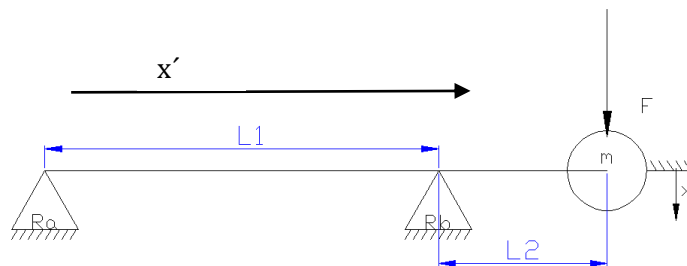


Figura 3.6: Esquema de la deformación transversal del eje

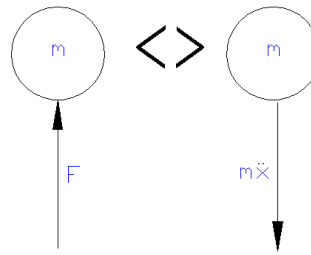


Figura 3.7: DCL de la masa y su equivalencia según la tercera ley de Newton

Se procederá a hallar las reacciones en los apoyos de manera algebraica. Aplicando sumatoria de momentos respecto a Ra y luego sumatoria de fuerzas en el eje y se obtiene.

$$Ra = \frac{-F * L2}{L1} \quad (3.26)$$

$$Rb = \frac{F(L1+L2)}{L1} \quad (3.27)$$

Para aplicar el teorema de Castigliano (ecuación 3.25), el cual nos permitirá hallar la deflexión transversal de eje, dividiremos la integral en dos partes y procederemos a calcular el momento flector (M) de cada una, con sus respectivas derivadas.

$$\delta_1 = \int_0^{L1} \frac{M}{E * I} * \left(\frac{dM}{dF} \right) * dx' = \int_0^{L1} \frac{F * L2}{L1} * \left(\frac{L2}{L1} * x' \right) * dx' = \frac{F * L2^2 * L1}{3 * E * I}$$

$$\delta_2 = \int_0^{L2} \frac{M}{E * I} * \left(\frac{dM}{dF} \right) * dx' = \int_0^{L1} F * x * (x) * dx' = \frac{F * L2^3}{3 * E * I}$$

Al sumar ambas partes obtendremos la deflexión transversal en el punto donde se aplica la fuerza F, lo cual resulta:

$$\delta = x = \frac{1}{3 * E * I} * F * L2^2 * (L1 + L2) \quad (3.28)$$

Se continuará con el cálculo para hallar la frecuencia natural de la masa en movimiento. El DCL mostrado anteriormente (figura 3.7), representa las fuerzas aplicadas en el eje, donde F es la fuerza centrífuga generada por la masa (m) en movimiento rotatorio.

Al realizar un DCL a la masa (m) en movimiento (figura 3.7) se tiene por la tercera ley de Newton una fuerza de igual magnitud (F) en sentido contrario.

Por la segunda ley de Newton se obtiene que:

$$-F = m * \ddot{x} \quad (3.29)$$

Al despejar la variable F de la ecuación (3.28) de la deformación transversal se obtiene:

$$F = \frac{3*E*I}{L^2*(L1+L2)} * x \quad (3.30)$$

Se reemplaza F en la ecuación (3.29) y se divide la expresión entre la masa (m) para obtener la ecuación diferencial de movimiento:

$$\ddot{x} + \frac{3*E*I}{m*L^2*(L1+L2)} * x = 0 \quad (3.31)$$

Recordando la ecuación del movimiento armónico simple:

$$\ddot{x} + \omega_n^2 * x = 0 \quad (3.32)$$

Al igualar las ecuaciones (3.32) y (3.31) se obtiene que la frecuencia natural del sistema (ω_n) es:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{3*E*I}{m*L^2*(L1+L2)}} \quad (3.33)$$

$$f_n = \frac{\omega_n}{2*\pi} [Hertz] \quad (3.34)$$

Al reemplazar los valores en la ecuación (3.33) se obtiene:

$$\omega_n = 2309 \frac{rad}{s}$$

$$f_n = 367.5 \text{ Hertz}$$

Esta velocidad crítica determina la zona de trabajo del eje, ya sea subcrítica o supercrítica, para lo cual se define λ como la relación de la velocidad del sistema y la velocidad crítica.

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_n} = 0.095 \quad (3.35)$$

$$\frac{y}{e} = \frac{\lambda^2}{1-\lambda^2} = 0.009 \quad (3.36)$$

Una vez obtenida la relación entre la deformación transversal (y) y la excentricidad de la masa (e) -además del λ -, que es la relación entre la frecuencia del sistema y la frecuencia natural- se puede determinar la zona de trabajo según la figura 3.8:

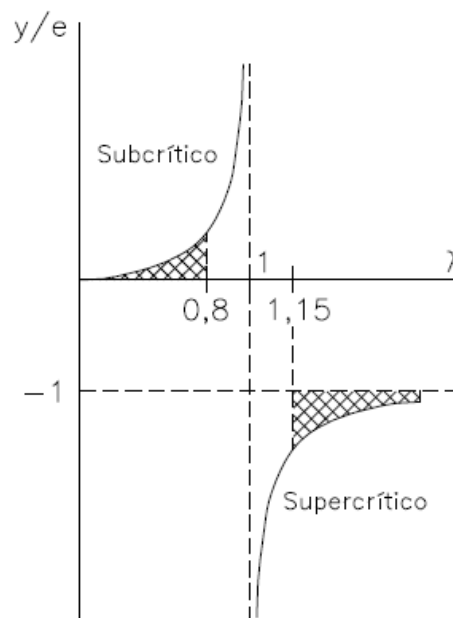


Figura 3.8: Gráfico de las zonas de trabajo para la velocidad crítica del eje

La zona de trabajo que define los dos puntos calculados es la zona subcrítica, la misma que se ubica en el rango admisible de trabajo en dicha área. Por lo cual se concluye que el eje no fallará por resonancia.

3.4. Cálculo de las transmisiones por chavetas.

Las chavetas son las encargadas de transmitir la potencia entre elementos que estén dispuestos en sentido axial. Para el diseño, se emplearán chavetas según la norma DIN 6885 A. (Ver figura 3.9)

Para el diseño de esta máquina se utilizarán dos chavetas; no obstante, debido a que en ambas chavetas de caras paralelas se mantiene el mismo torque y revoluciones, se realizará un único cálculo para ambas. Otro aspecto resaltante es el

material del cubo, ya que se está tomando un cubo de acero, por lo cual su presión de aplastamiento admisible varía de 90 a 100 MPa. Para realizar este cálculo se tomará un valor intermedio.

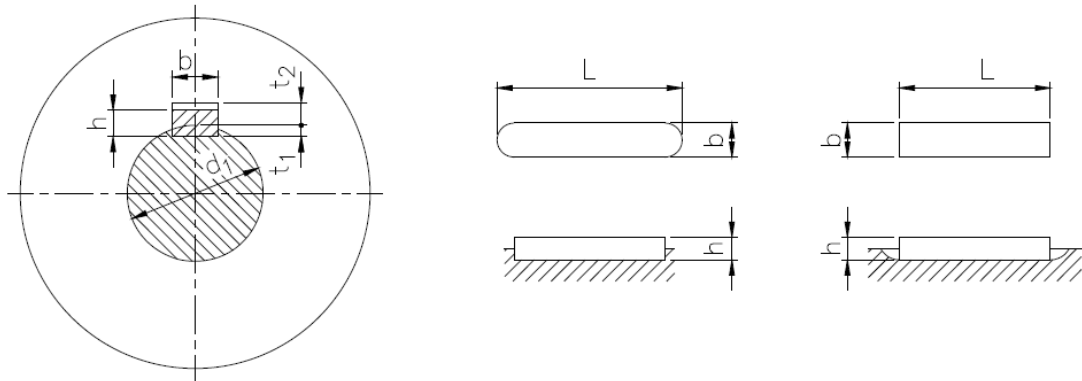


Figura 3.9: Unión mediante chaveta según DIN 6885

Los parámetros iniciales son los siguientes:

Presión admisible del cubo :	$p_{adm}=95 \text{ N/mm}^2$
Momento torsor a transmitir :	$Mt=5 \text{ Nm}$
Diámetro de la sección :	$d=35 \text{ mm}$

En este cálculo no se hallarán todas las dimensiones de la chaveta, debido a que estas ya se encuentran normalizadas, empero se tiene que seleccionar una longitud que cumpla con los requerimientos de resistencia. Expuesto lo anterior, este cálculo se basa en hallar la longitud mínima efectiva que debe poseer dicha chaveta para asegurar una buena transmisión de potencia y evitar una falla por exceso de la presión de aplastamiento. La longitud mínima efectiva se determina mediante la siguiente fórmula:

$$L_{ef} = \frac{2 * M_t}{d * p_{adm} * t} \quad (3.37)$$

Donde «t» es la profundidad que penetra la chaveta en el cubo. Con el diámetro de la sección ($d=35 \text{ mm}$) ya se tienen valores normalizados que se encuentran en cualquier catálogo de DIN 6885, los cuales son:

Ancho de la chaveta (b)	$b=10 \text{ mm}$
Espesor de la chaveta (h)	$h=8 \text{ mm}$
Espesor efectivo de la chaveta ($t=h-t_1$)	$t=3 \text{ mm}$

Con estos datos queda definida la longitud mínima efectiva de la chaveta según la ecuación (3.37):

$$L_{ef} = \frac{2 * 5}{0.035 * 95 * 10^6 * 0.005} = 0.001 \text{ m}$$

$$L_{chaveta} = L_{ef} + b = 1 + 10 = 11 \text{ mm}$$

Se selecciona la longitud de chaveta de caras planas que se encuentre normalizada y se halle más cerca al valor calculado. En este caso se selecciona una chaveta con una longitud de 16 mm.

La chaveta selección tiene una designación de DIN6885 10x8x16

3.5. Verificación de la estructura

3.5.1. Verificación a resistencia.

La estructura metálica que soporta a los elementos de la máquina, está conformada por ángulos de lados iguales (L40x40x4) en calidad A36. Se verificará que la estructura no falle por pandeo con la ayuda del método omega. Se considera esta condición, debido a que es la más crítica.

La longitud de los perfiles que se utilizará es de 800 mm, en la figura 3.10 se puede apreciar la estructura metálica que se analizará.

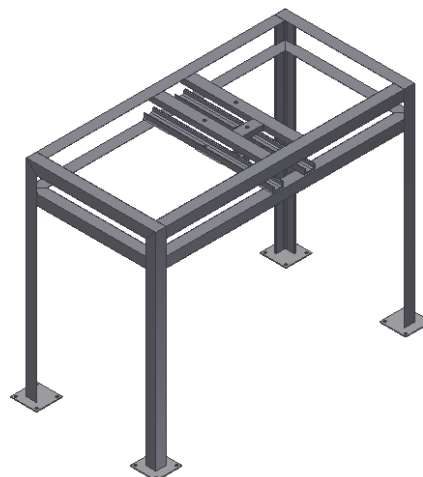


Figura 3.10: Estructura metálica

Debido a que la estructura es simétrica se considerará que las fuerzas se distribuirán de igual manera para cada una de las columnas de la estructura. Por lo cual se hará el cálculo para una sola columna. La fuerza a considerar en cada una de las columnas es de 300 N.

Se debe cumplir que:

$$\omega * \sigma \leq 1400 \frac{kgf}{cm^2} \quad (3.38)$$

Calculando σ

$$\sigma = \frac{30.6 \text{ kgf}}{3.04 \text{ cm}^2} = 10.1 \frac{kgf}{cm^2}$$

Hallando ω

$$i = \sqrt{\frac{4.71}{3.04}} = 1.24 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{80.0}{1.24} = 64.51$$

$$\lambda = 65 (\omega = 1.35)$$

Reemplazando en la ecuación (3.38)

$$13.6 \leq 1400 \frac{kgf}{cm^2}$$

Según la relación anterior se verifica que la estructura no fallará por estabilidad (pandeo) debido a que las fuerzas de trabajo son muy bajas. En la figura 3.11 y 3.12, se observa los resultados gráficos obtenidos en una simulación realizada en el software Autodesk Inventor. Para realizar dicha simulación se consideró que las patas de la estructura estarán empotradas al suelo, las fuerzas puntuales F_z representa al peso de los componentes y el suero de leche que es aproximadamente unos 40 kg, al cual se le multiplico por un factor de 3 para que el diseño pueda soportar cargas inesperadas en la estructura. La fuerza centrífuga F_{cf} , que se obtuvo de la ecuación (3.10), tiene un valor de 3706 N. Ambas fuerzas han sido ubicadas en la posición del rodamiento, la cual transmite estas fuerzas a la estructura.

En la figura 3.11 se puede concluir que los esfuerzos normales equivalentes (Von Mises Stress) presentados en toda la estructura no superan el valor máximo de fluencia del material (A36) el cual es 250 MPa. El ratio máximo es de 0.03, el cual se obtiene dividiendo el esfuerzo normal máximo en la estructura (8.873 MPa) entre el esfuerzo de fluencia del material (250 MPa)

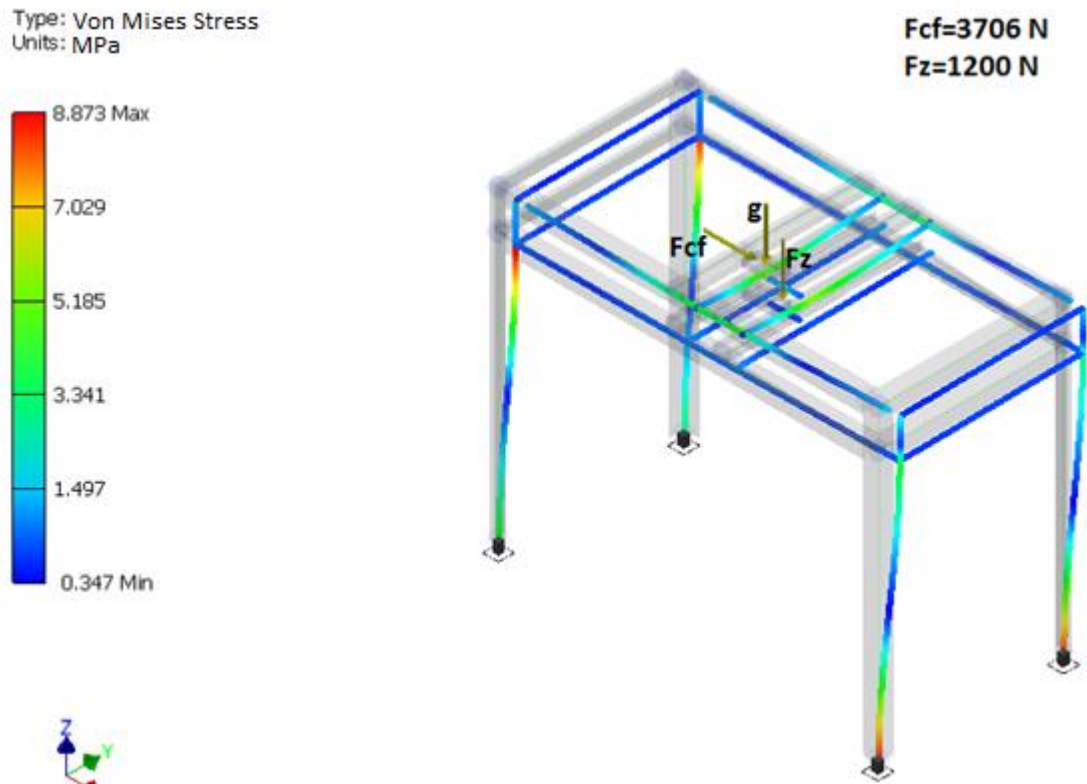


Figura 3.11: Esfuerzos normales en la estructura

El ratio es la inversa del factor de seguridad, con lo cual podemos obtener que el factor de seguridad de la estructura es 33.

3.5.2. Verificación dinámica.

En este acápite se verificará que la frecuencia de funcionamiento del motor no coincida con la frecuencia natural de la estructura, para evitar que esta entre en resonancia. Debido a que esta condición (resonancia) puede generar vibraciones considerables en la estructura. Para realizar esta verificación se simplificará la estructura a un sistema simple de 1 grado de libertad. (Ver figura 3.12)

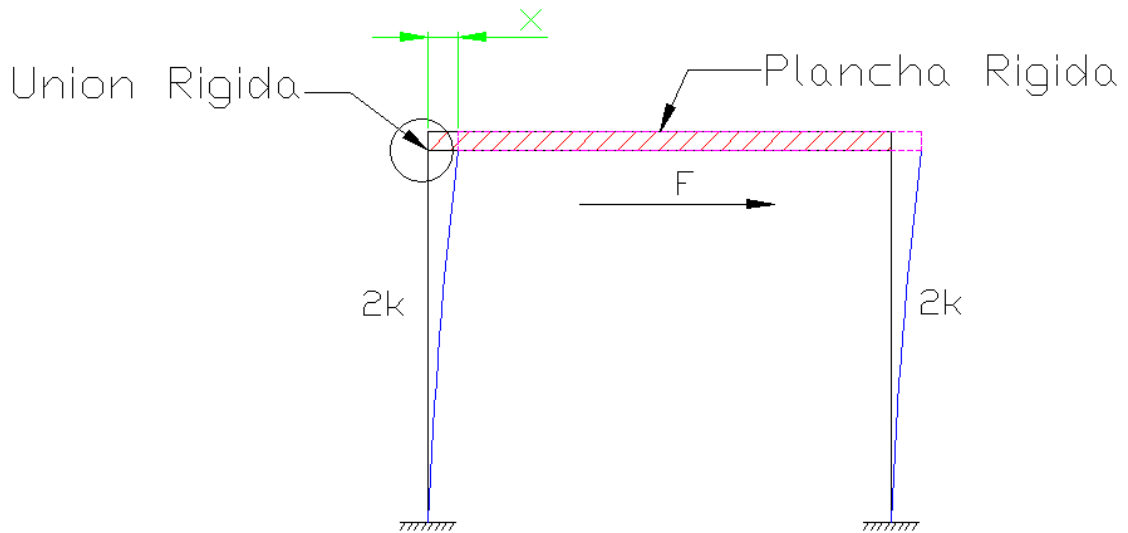


Figura 3.12: Simplificación de la estructura

Se observa inicialmente que la estructura se simplifica a un marco con uniones rígidas, esto es debido a que la unión en ese punto es por soldadura, por ello se comporta como una unión rígida. Además, la fuerza excitatriz se da lateralmente. La constante de rigidez está representada por la letra «k», se advierte que las columnas tienen una constante de rigidez de $2k$, esto se debe a la simplificación donde inicialmente la estructura consta de 4 columnas, la influencia de las otras dos columnas se representa con el $2k$. No obstante, debido a que solo interesan las vibraciones laterales, se puede simplificar aún más el sistema. (Ver figura 3.13)

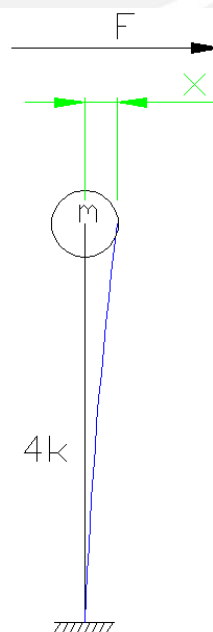


Figura 3.13: Simplificación de la estructura 2

El sistema equivalente de la simplificación hecha sería como en la figura 3.14:

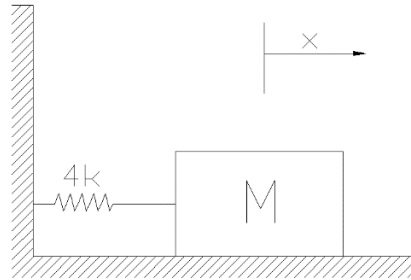


Figura 3.14: Sistema equivalente simplificado

La influencia de las 4 columnas ahora está representada por una constante de rigidez multiplicada por 4. Con este sistema los cálculos que se realizarán serán de manera aproximada, pero suficiente para verificar el valor de las frecuencias. Para determinar la constante de rigidez, se hará uso de tablas en las que se muestra la misma configuración del sistema simplificado.

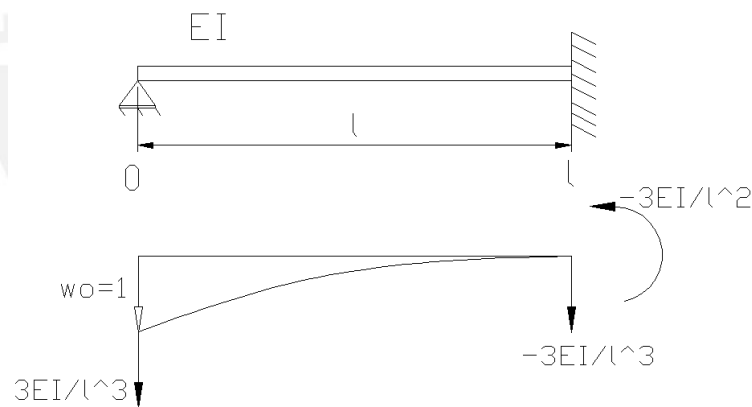
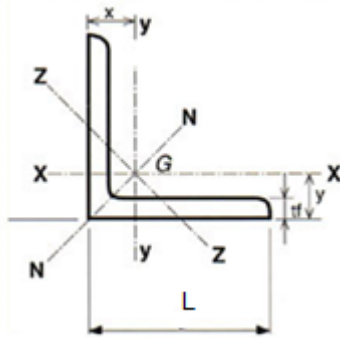


Figura 3.15: Constante de rigidez

De la figura 3.15 se observa que la constante de rigidez es:

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3} \tag{3.39}$$

Se sabe que el perfil a evaluar es un ángulo de lados iguales, sus valores de inercia y longitud se muestran en la figura 3.16:



L	40 mm
$I_y = I_x$	4,7129 mm ⁴
E	2.1x10 ⁵ MPa
l(longitud)	800 mm

Figura 3.16: Ángulo L40x40x4

Al reemplazar los valores en la ecuación (3.39) se obtiene:

$$k'_{eq} = \frac{3 * 2.1 \times 10^5 * 47129}{(800)^3} = 57.99 \frac{N}{mm}$$

Debido a que el sistema se simplificó en una sola columna, esta deberá reflejar el efecto de las 4 columnas que realmente tiene la mesa, por tal propósito se multiplica por 4 al K_{eq} hallado:

$$k_{eq} = 4 * k'_{eq} = 231.96 \frac{N}{mm}$$

La masa (m) representa el peso de toda la máquina, que equivale a 60 kg. Entonces, reemplazando los valores en la siguiente fórmula se obtiene la frecuencia natural:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{231.96}{60}} = 62.178 \frac{rad}{s} \quad (3.40)$$

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 9.89 \text{ Hz}$$

Para determinar la amplitud del sistema, que ocurre debido al desbalance rotatorio que podría generar la fuerza centrífuga, se usará la siguiente expresión:

$$\frac{M * X}{m * e} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{2\zeta\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad (3.41)$$

Siendo M la masa total del sistema, X la amplitud de vibración, m la masa excéntrica que genera el desbalance, e la excentricidad, ω la velocidad angular de trabajo, ω_n la velocidad angular natural y ζ el coeficiente de amortiguamiento.

Debido a que la rigidez del sistema se considera elevada por las uniones soldadas, el coeficiente de amortiguamiento tiene un valor mínimo, por lo cual se podría omitir para simplificar el cálculo:

$$X = \frac{m * e}{M} * \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2}} = 1.05 * \left(\frac{F_{cf}}{\omega^2 * M}\right) \quad (3.42)$$

$$m * e = \frac{F_{cf}}{\omega^2} ; \omega = 272.3 \frac{rad}{s} ; \omega_n = 62.178 \frac{rad}{s}$$

$$F_{cf} = 3706.58 N ; M = 60 kg$$

Al reemplazar los valores en la ecuación (3.42) se obtiene:

$$X = 1.05 * \left(\frac{3706.58}{272.3^2 * 60}\right) = 0.000875 m$$

$$X = 0.875 mm$$

Se obtiene un valor de 0.875 mm de amplitud de vibración.

La frecuencia natural de la estructura es de 9.89 Hz, sin embargo la frecuencia de operación de la máquina es de 20 Hz (1200 r.p.m.) y 43 Hz (2600 r.p.m.) Al no coincidir estas frecuencias se concluye que la máquina no trabaja cerca de la zona de resonancia por lo cual puede ser operada sin riesgo a que entre en resonancia.

Adicionalmente se realizó una simulación modal de la estructura en el software Autodesk Inventor. Las condiciones de borde para esta simulación fueron que las patas de la estructura estarían empotradas y que cada unión de perfiles se consideraba como unión rígida. En la figura 3.17 se puede apreciar los valores de frecuencia que resultaron de la simulación las cuales no se alejan del resultado obtenido. También se muestra los otros modos de la estructura, verificando una vez más que la estructura no entrará en resonancia debido a que ningún modo coincide con 20 Hz y 43 Hz.

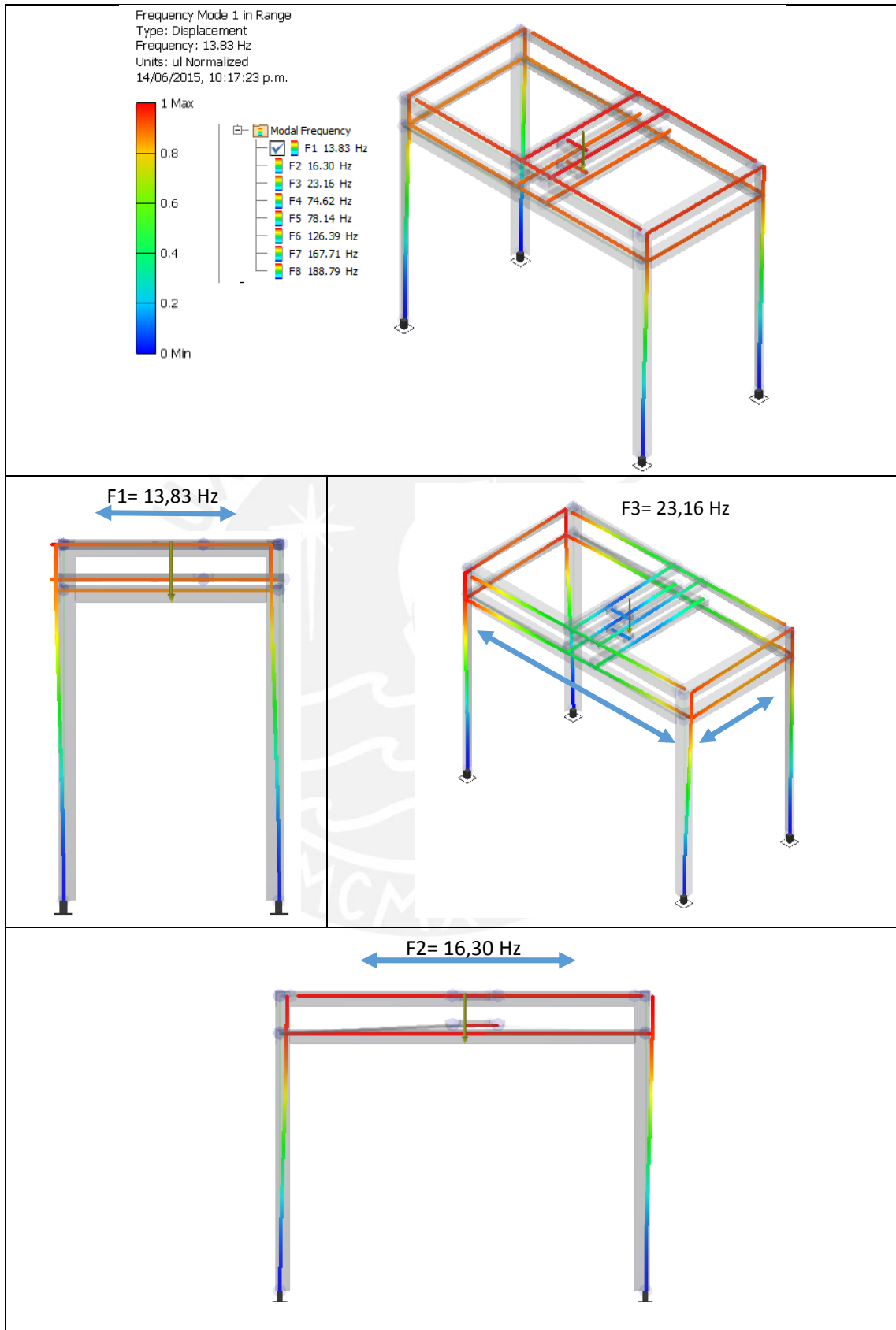


Figura 3.17: Simulación modal de la estructura

3.6. Selección de faja

Para la transmisión de potencia se utilizarán las fajas trapeciales estrechas de alto rendimiento de la marca Optibelt. Para seleccionar la faja, se necesitan realizar unos cálculos previos, los cuales están descritos en el manual de Optibelt. A continuación se presenta la tabla 3.1 donde se encuentran las características de la faja seleccionada.

Tabla 3.1: Parámetros obtenidos de la selección de faja trapezoidal

RESUMEN DEL CÁLCULO DE TRANSMISION POR FAJAS TRAPEZOIDALES			
La transmisión se debe proyectar con:			
1 unidad de correas trapeciales estrechas Optibelt SK SPZ 1162			
1 Polea de acanaladura trapecial Optibelt KS para casquillo Cónico TB SPZ 100-1			
1 Casquillo cónico 1210 Optibelt TB (diámetro min./máx. 11-32 mm)			
1 Polea de acanaladura trapecial Optibelt KS para casquillo Cónico TB SPZ 140-1			
1 Casquillo cónico 1610 Optibelt TB (diámetro min./máx. 14-42mm)			
Máquina motriz	:	Motor monofásico	
Máquina de trabajo	:	Centrífuga	
Potencia de cálculo	PB:	1.65	kW
Potencia de la máquina motriz	P:	1.5	kW
Par de la polea conductora	M:	11	Nm
Velocidad de entrada	n1:	3455	rpm
Velocidad de salida efectiva	n2:	2600	rpm
Diámetro básico polea 1	Dd1:	100	mm
Diámetro básico polea 2	Dd2:	132	mm
Desarrollo básico	Ld:	1100	mm
Distancia entre ejes efectiva	a:	393	mm
Relación de transmisión	i:	1.32	
Recorrido de ajuste para colocación	y:	20	mm
Recorrido de ajuste para tensar	x:	25	mm
Factor de carga efectivo	c2:	1.1	
Número de poleas	z:	1	
Ancho de la polea	b2:	16-25	mm

Cabe mencionar que en el mismo manual se seleccionan las poleas, lo que implica que se encuentren dimensionadas. Dichas poleas serán instaladas mediante un casquillo cónico al eje respectivo. (Ver figura 3.18)

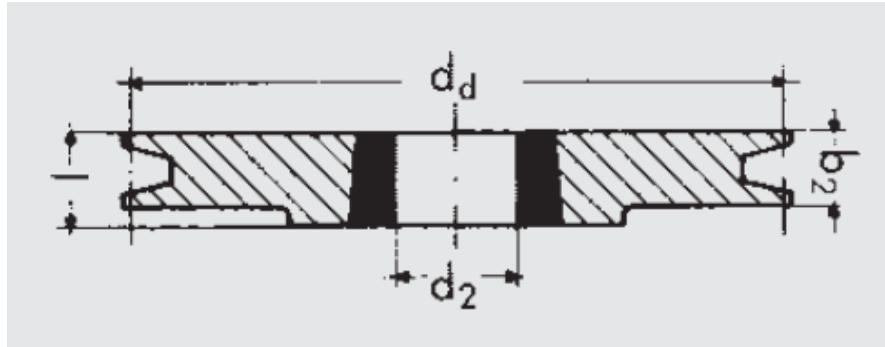


Figura 3.18: Esquema de la polea seleccionada

Donde el d_d es el diámetro de referencia y el d_2 es el diámetro donde va acoplado el eje.

Tabla 3.2: Datos de las poleas

SELECCIÓN DE POLEA		
	Motriz	Conducida
Diámetro de referencia (d_d)	100 mm	132 mm
Casquillo cónico	1210	1610
d_2	11-32 mm	14-42 mm
Ancho de corona (b_2)	16 mm	16 m

3.7. Selección de los rodamientos del árbol principal

En esta sección se verificarán los dos rodamientos que van montados en el árbol principal, los mismos que le servirán de apoyo. En este proyecto se utilizarán dos unidades de rodamiento o chumaceras de tipo brida, para facilitar el montaje y no complicar la fabricación, debido a que es un elemento estándar que se encuentra en el mercado peruano, dichas chumaceras cuentan con un rodamiento incluido (ver figura 3.19). También se procederá a verificar que el rodamiento cumpla satisfactoriamente los requerimientos de la máquina, tanto en la velocidad como en el tiempo de vida.

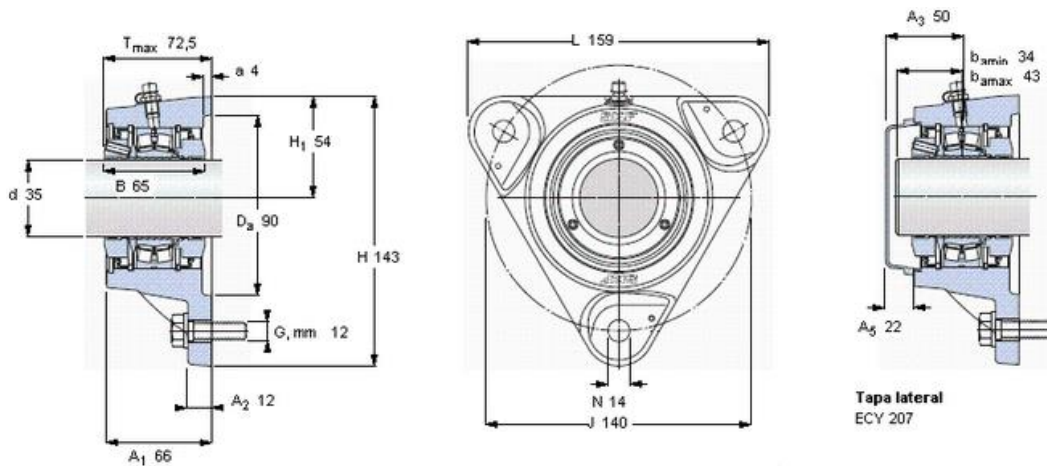


Figura 3.19: Unidad de rodamiento con soporte tipo brida

El tipo de rodamiento que incluyen las chumaceras es rodamiento de rodillos esféricos, que son diseñados para soportar cargas elevadas, desalineaciones considerables, entornos contaminados, golpes y vibraciones.

Los datos iniciales del árbol principal son:

- Velocidad de giro del árbol principal:

$$n_1 = 2600 \text{ rpm}$$

- El apoyo R1 está sometido a mayores cargas.
- Fuerzas actuantes sobre el apoyo R:

$$R1 = 5,356.35 \text{ N}$$

- Fuerza resultante radial sobre el apoyo R:

$$Fr = R1 = 5,356.35 \text{ N}$$

- Fuerza axial sobre el apoyo R, representa el peso aproximado de la canasta rotor:

$$Fa = 100 \text{ N}$$

- El aceite a emplear será SAE 40, el cual es equivalente a un ISO 150.
- La contaminación en el eje se considerará ligera.
- La temperatura de trabajo será de 55°C
- Se considerará una fiabilidad del 90%

3.7.1. Verificación del rodamiento tipo rodillos esféricos:

Se procederá a verificar por tiempo de vida del rodamiento según el catálogo de SKF. A priori se selecciona el rodamiento 22207 E del catálogo SKF, cuyas características se aprecian en la figura 3.20:

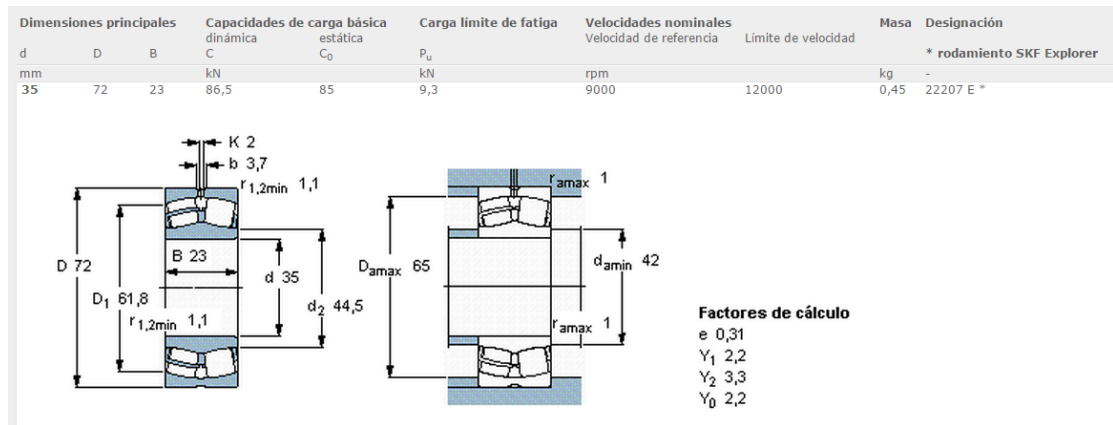


Figura 3.20: Rodamiento del catálogo SKF

Tabla 3.3: Datos del rodamiento rodillos cilíndricos

Datos de entrada del rodamiento 22207 E			
Diámetro interior	d	35	mm
Diámetro exterior	D	72	mm
Diámetro medio	D _m	53.5	mm
Capacidad de carga dinámica	C _d	86.5	kN
Capacidad de carga estática	C ₀	85	kN
Carga límite de fatiga	P _u	9.3	kN
Factor de cálculo	f ₀	0.31	-

Se procederá a realizar el cálculo de la carga dinámica equivalente según el catálogo de SKF.

$$P = F_r; \quad \text{Si } \frac{F_a}{F_r} \leq e \quad (3.43)$$

$$P = 0.92F_r + YF_a \quad \text{Si } \frac{F_a}{F_r} > e \quad (3.44)$$

Según el catálogo SKF; se tiene (ver figura 3.21)

e	=	valor límite = 0,2 para rodamientos de las series 18, 19, 10, 2, 3 y 4 = 0,3 para rodamientos de otras series
Y	=	factor de carga axial = 0,6 para rodamientos de las series 18, 19, 10, 2, 3 y 4 = 0,4 para rodamientos de otras series

Figura 3.21: Valores de e y Y según catálogo SKF

Debido a que el rodamiento a verificar es de la serie 2, se tienen como valores:

$$e = 0.2$$

$$Y = 0.6$$

Según los resultados obtenidos del dimensionamiento de eje:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{100}{5,356} = 0.018$$

$$0.018 \leq e = 0.2 \quad OK$$

Por lo tanto la carga dinámica equivalente es de:

$$P = F_r = 5,356.35 \text{ N}$$

Para la carga estática equivalente se toma el mismo valor de F_r .

$$P_o = F_r = 5,356.35 \text{ N}$$

Debido a que la carga dinámica equivalente es igual a la carga estática equivalente, el cálculo para la vida del rodamiento será el mismo. Se toma como valor de referencia la carga equivalente $P=F_r$.

Se halla la vida nominal del rodamiento (L_{10}) para una confiabilidad del 90%

$$L_{10} = \left(\frac{C_d}{P}\right)^\rho \text{ [Millones de revoluciones]} \quad (3.45)$$

Donde:

$\rho=10/3$ (para rodamientos de rodillo).

$C_d= 86.5 \text{ kN}$ (Capacidad de carga dinámica del rodamiento).

$P= 5.35 \text{ kN}$ (Carga equivalente sobre el rodamiento).

$$L_{10} = 7.207 \times 10^3 \text{ millones de revolucion}$$

En la actualidad los rodamientos modernos de alta calidad, tienen una vida útil real que se desvía significativamente de la vida nominal. Esto se debe a que en cada aplicación tienen diversos factores que modifican su tiempo de vida, tales como la lubricación, el grado de contaminación, temperatura de trabajo, entre otros.

Por este motivo, según el catalogo SKF, el cual se rige por la normativa ISO 281:1990/Amd 2:2000, recomienda multiplicar el cálculo de la vida nominal por un factor de ajuste (a_1 , a_{SKF}) que refleja las condiciones de lubricación y contaminación del rodamiento.

La ecuación para la vida con el factor de corrección SKF es:

$$L_{nm} = a_1 * a_{SKF} * L_{10} \tag{3.46}$$

Donde:

- a_1 : Factor de ajuste de la vida para una mayor fiabilidad.
- a_{SKF} : Factor de ajuste de la vida SKF.
- L_{10} : Vida nominal básica con un 90% de fiabilidad en millones de revoluciones.

Para el factor de ajuste de la vida para una mayor fiabilidad (a_1) se usará la tabla 3.4

Tabla 3.4: Valores del factor de ajuste de la vida útil a_1

Fiabilidad %	Probabilidad de fallo η %	SKF vida nominal L_{nm}	Factor a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21

^{*)} El factor η representa la probabilidad de fallo, es decir, la diferencia entre la fiabilidad requerida y 100%.

Siguiendo con la misma fiabilidad del 90% tenemos un factor a_1 igual a 1:

$$a_1 = 1$$

Para hallar el factor de ajuste de la vida SKF -el cual relaciona la temperatura de trabajo, lubricación y grado de contaminación (n_c)- se necesita considerar una contaminación ligera, y es un valor de n_c igual a 0.4:

$$n_c = 0.4$$

Por lo cual se obtiene $n_c * \frac{P_u}{P} = 0.4 * \frac{9.3}{2} = 0.618$ con este valor se ingresa al diagrama del factor de ajuste de la vida SKF (figura 3.22); sin embargo, antes de utilizar los diagramas se necesita hallar el factor k, el cual relaciona la lubricación en el rodamiento. Para esto se necesitan el diámetro medio (d_m) y las revoluciones de operación (n).

$$d_m = 53.5 \text{ mm}$$

$$n = 2600 \text{ rpm}$$

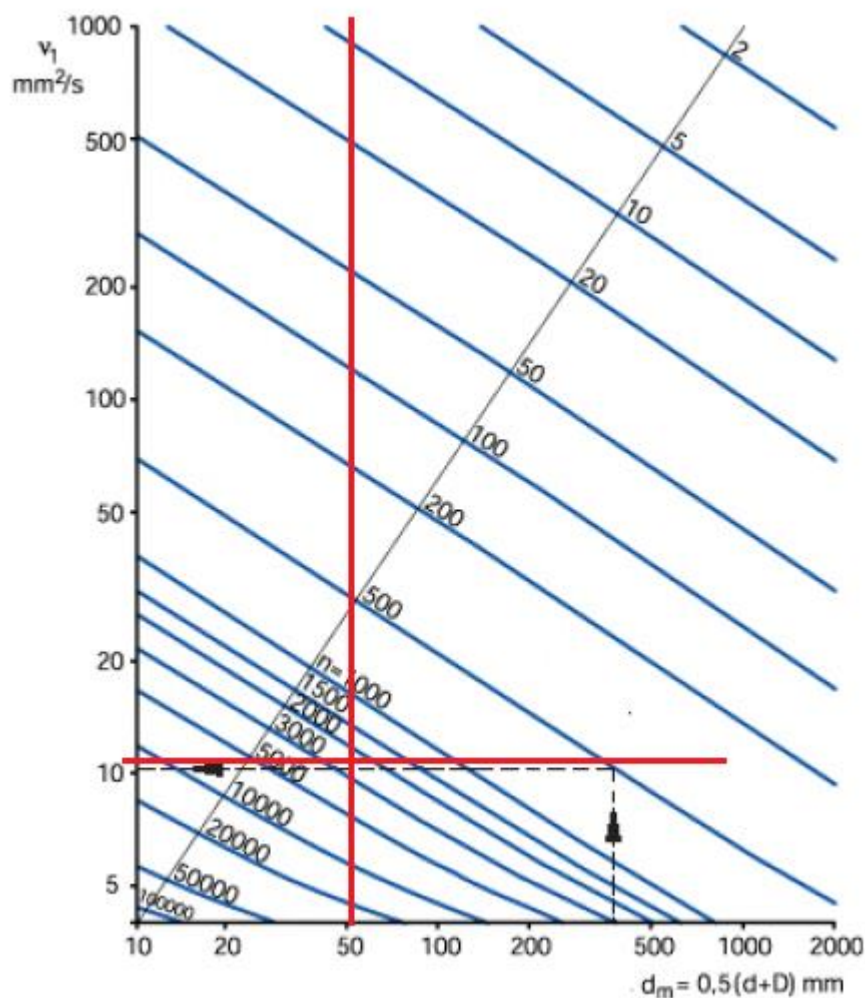


Figura 3.22: Diagrama para la viscosidad nominal (v_1)

Al intersectar el diámetro medio (d_m) y la recta de las revoluciones ($n=2600$ r.p.m.) en el diagrama anterior (Figura 3.22), se obtiene el valor de la viscosidad nominal requerida para una lubricación adecuada (v_1). Sin embargo, la viscosidad real, según la temperatura de trabajo, se halla tal cual el diagrama de viscosidad siguiente (Figura

3.23), donde se toman como valores de entrada la temperatura de trabajo y la viscosidad nominal, para intersecarlo y hallar la viscosidad real.

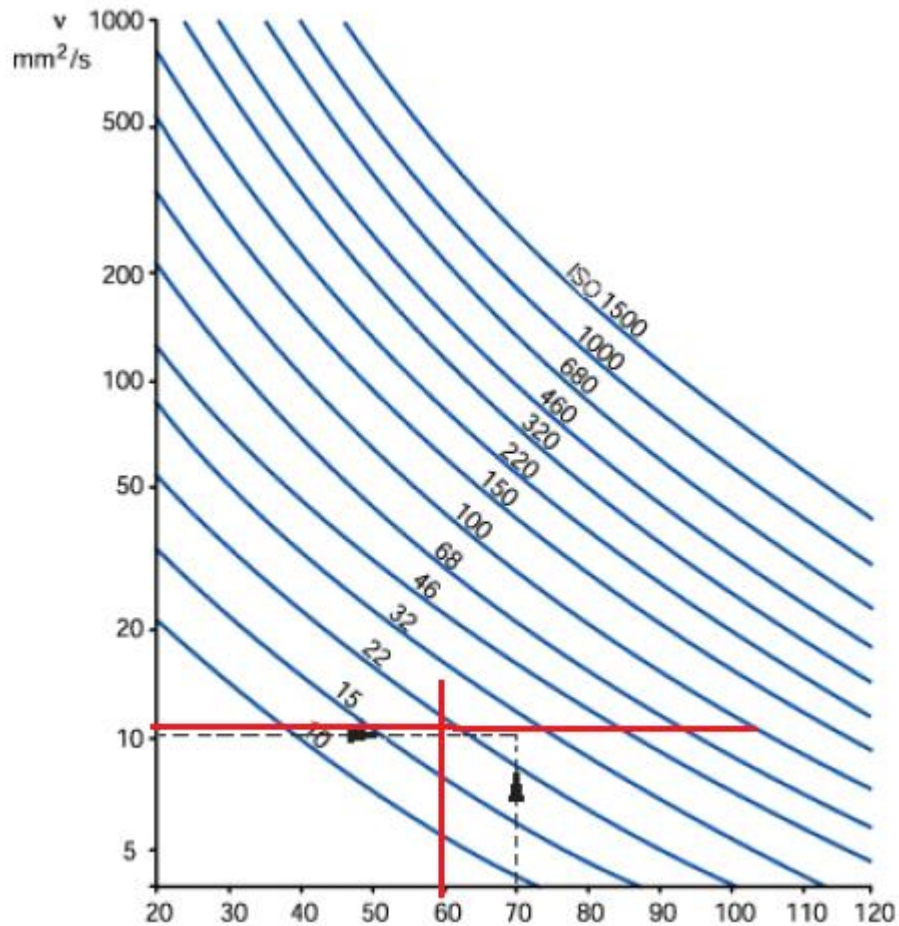


Figura 3.23: Diagrama de la viscosidad real (v)

En la intersección se observa que se requerirá de un lubricante, según la clase de viscosidad ISO VG 22; lo que significa que tiene una viscosidad de 22 mm^2/s a la temperatura de referencia de 40 $^{\circ}\text{C}$ y que cuando llegue a una temperatura de 60 $^{\circ}\text{C}$ su viscosidad disminuirá hasta un valor aproximado a la nominal para que exista una buena lubricación.

Por lo cual el valor del factor k está dado por:

$$k = \frac{v}{v_1} = \frac{22}{11} = 2 \tag{3.47}$$

Una vez hallado el factor k , es posible determinar el factor a_{SKF} , debido a que los datos de entrada son el $n_c * \frac{P_u}{P} = 0.618$ y el factor $k=2$. (Ver figura 3.24)

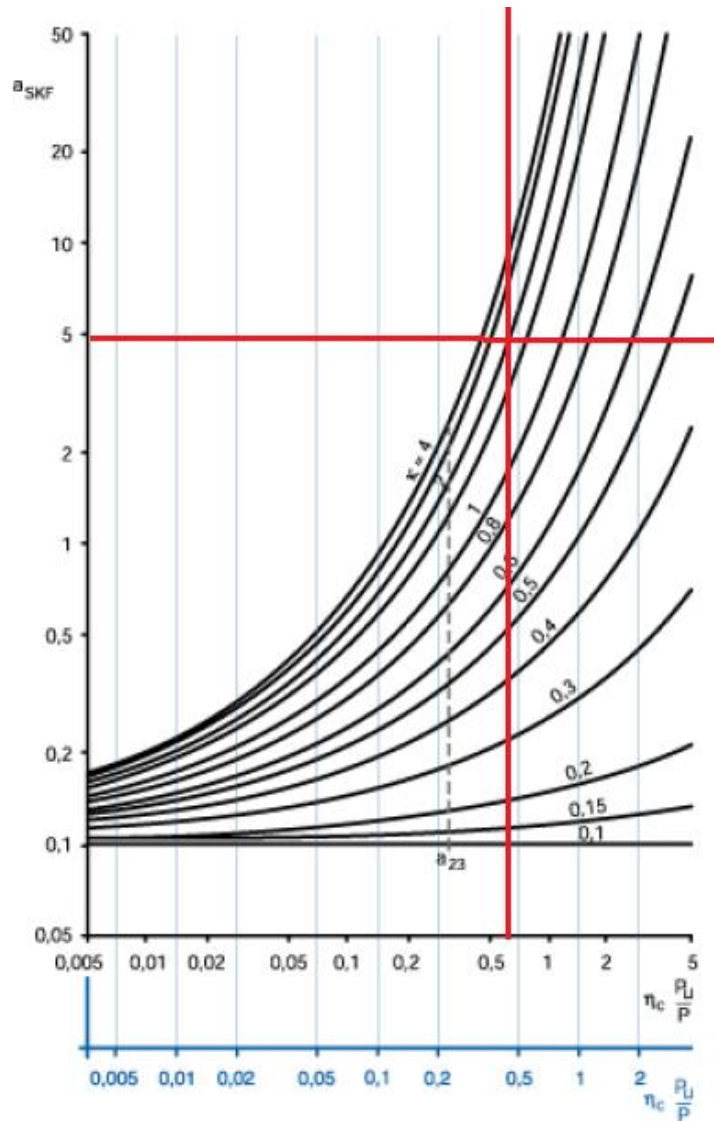


Figura 3.24: Diagrama para rodamientos radiales de rodillos – a_{skf}

El valor del factor de corrección para la vida del rodamiento (a_{SKF}) es aproximadamente igual a 5:

$$a_{SKF} = 5$$

Con los valores encontrados se halla la duración corregida SKF en millones de revoluciones según la ecuación (3.46):

$$L_{nm} = a_1 * a_{SKF} * L_{10} = 1 * 5 * 1.692 * 10^3 = 3.603 * 10^4 \text{ millones de revoluciones}$$

Al cambiar de unidades a L_{nm} a tiempo, es decir en horas se obtiene:

$$L_{nmh} = L_{nm} * \frac{10^6}{60*n} = 3552 * \frac{10^6}{60*2600} = 2.31 * 10^5 \text{ horas} \quad (3.48)$$

$$L_{10h} = L_{10} * \frac{10^6}{60 * n} = 1692 * \frac{10^6}{60 * 2600} = 4.62 * 10^4 \text{ horas nominales}$$

Para determinar que el rodamiento ha sido seleccionado correctamente se debe cumplir que la vida nominal en horas (L_{10h}) esté en los rangos mínimos recomendados según la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Vida nominal requerida. Guía de valores.

Clase de máquinas	Vida nominal Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico	300 ... 3.000
Máquinas usadas intermitentemente o durante cortos periodos de tiempo: máquinas-herramientas eléctricas portátiles, equipos elevadores para talleres, maquinaria para la construcción	3.000 ... 8.000
Máquinas usadas intermitentemente o durante cortos periodos de tiempo cuando es necesaria una gran fiabilidad: ascensores, grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8.000 ... 12.000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, pero no siempre utilizadas: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradores giratorios	10.000 ... 25.000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizadas en todo momento: máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de imprenta, separadores y centrifugas	20.000 ... 30.000
Máquinas para trabajo continuo 24 horas al día: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tomos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40.000 ... 50.000
Maquinaria para la energía eólica, incluyendo los rodamientos del eje principal, de guiñada, de la caja de engranajes en ángulo, rodamientos del generador	30.000 ... 100.000
Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos	60.000 ... 100.000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de Trasatlánticos	> 100.000

Según la Tabla 3.5 la vida mínima para que las condiciones de la máquina rindan 8 horas de trabajo, el rodamiento deberá oscilar entre 20 mil y 30 mil horas, es así como

el rodamiento seleccionado cumple con este requerimiento. Además, su vida en horas con el factor corregido supera ampliamente este rango, por ello se puede afirmar que el rodamiento trabaja con una buena fiabilidad. Con este resultado SE VERIFICA QUE EL RODAMIENTO DE RODILLOS ESFERICOS 22207E TRABAJARÁ DE MANERA CONFIABLE.

En el árbol principal se montan dos rodamientos o apoyos, el cálculo anterior fue para el rodamiento que resiste mayor carga radial; ahora se usará el mismo rodamiento y chumacera para el segundo apoyo, que requiere una carga radial menor, por lo tanto se puede concluir que también trabajará de manera confiable.

3.8. Sistema eléctrico

En esta sección se verá la implementación de la parte control y potencia en la máquina centrífuga. En este proyecto se hará uso de un variador de frecuencia, que estará encargado del control de arranque y de la velocidad del motor. El uso del variador de frecuencia ayuda a prolongar la vida del motor, a su vez evita encendidos bruscos. Además, el tiempo para llegar a los 2600 r.p.m. se puede dividir en dos pasos: el primer paso hasta una velocidad intermedia (1200 r.p.m.) y el segundo paso hasta la velocidad máxima (2600 r.p.m.).

3.8.1. Selección del variador

Para poder controlar la velocidad del motor que se va a usar en este proyecto, se optó por el variador **ABB ACS 150-01X-09A8-2** (ver figura 3.22), cuyas características más importantes serán mencionadas en la tabla 3.6:

Tabla 3.6: Características principales del variador de frecuencia

Potencia nominal	2,2kw
Corriente nominal	9,8 A
Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Conexión al motor	
Frecuencia	0-500 Hz
Capacidad de carga continua (par constante a una temperatura ambiente máx. de 40 °C)	Intensidad de salida nominal.
Tiempo de aceleración	0,1 a 1800 s
Tiempo de desaceleración.	0,1 a 1800 s
Frenado	Chopper de frenado integrado estándar
Método del control del motor	Control escalar U/f

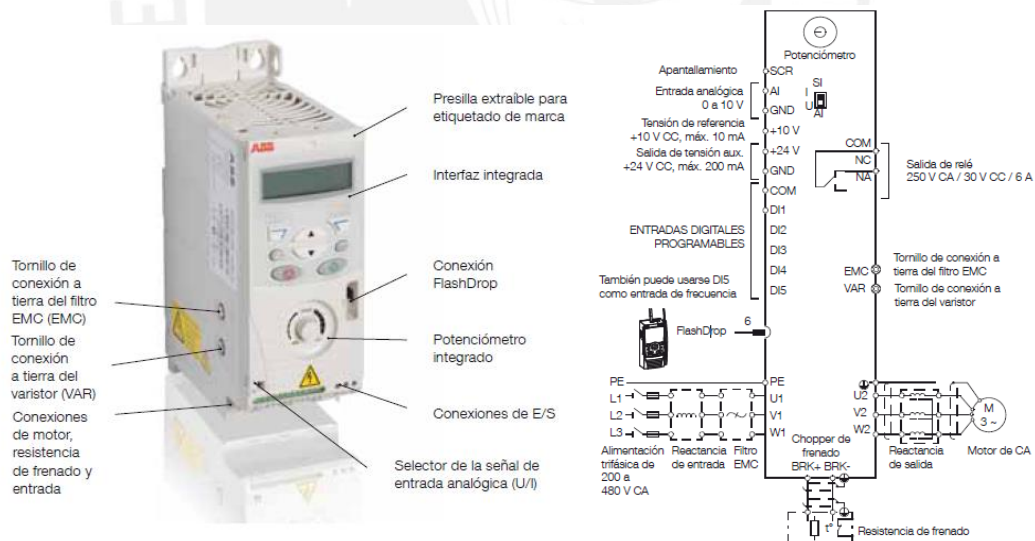


Figura 3.25: Variador de frecuencia marca ABB

3.8.2. Diagrama de conexión

Velocidad baja.

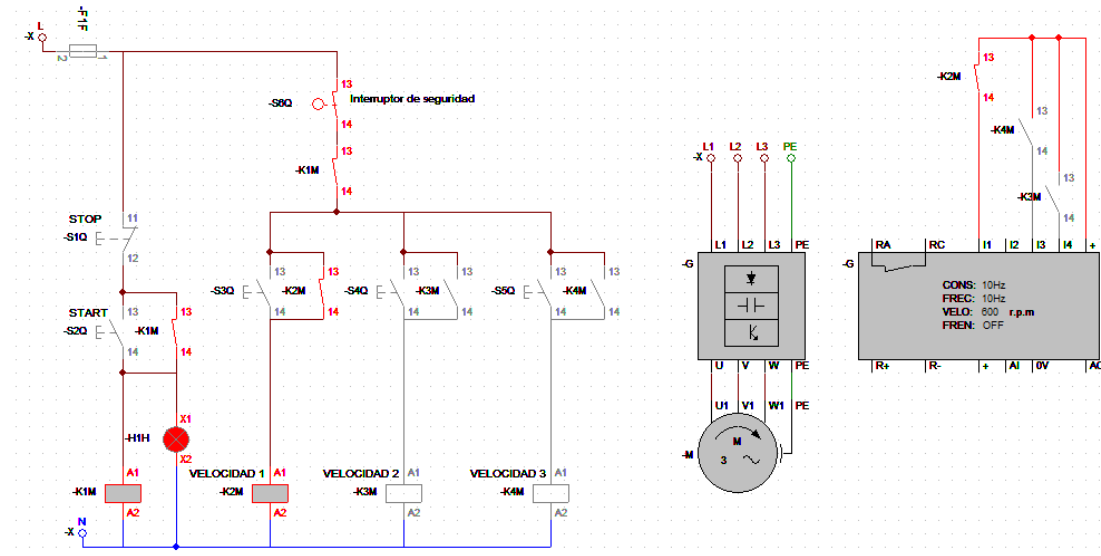


Figura 3.26: Diagrama de conexión para velocidad baja

Velocidad alta.

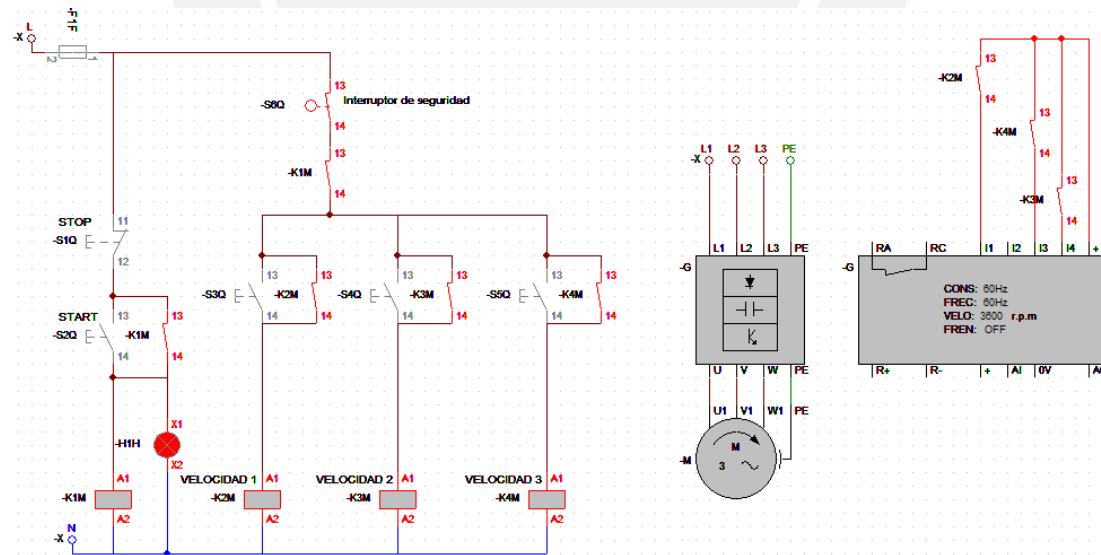


Figura 3.27: Diagrama de conexión para velocidad alta

3.8.3. Funcionamiento del sistema de conexión

1. El Sistema mostrado consta de 5 pulsadores cuyas nomenclaturas son S1Q, S2Q, S3Q, S4Q y S5F; los que responderán a las funciones de parada, puesta en marcha del sistema, velocidad 1, velocidad 2 e interruptor de seguridad respectivamente y de un variador de velocidad (G1) que tendrá por función cambiar la velocidad del motor, sin afectar su torque, en un momento dado, el cual más adelante se pasará a explicar.
2. Cuando se presione el pulsador de puesta en marcha (START) con designación S2Q, el sistema quedará activo y esperará a que se presione el pulsador de velocidad
3. Si y solo si el interruptor de seguridad (S5F) esté accionado e indique que la máquina está cerrada, entonces se podrá proseguir con los siguientes pasos, de lo contrario se aguardará hasta que la máquina se encuentre cerrada en su totalidad.
4. Cuando el pulsador de velocidad 1 (S3Q) sea presionado, entonces se accionará el contactor de función auxiliar (K2A) que es el encargado, mediante sus contactos, de asignar la primera frecuencia programada en el variador, que dará la primera velocidad al motor.
5. Una vez accionado el pulsador de velocidad 1 (S3Q), recién se podrá accionar el pulsador de velocidad 2 (S4Q), ya que si se presiona primero este no tendrá ningún efecto en el sistema.
6. Cuando el pulsador de velocidad 2 (S4Q) sea presionado, teniendo en cuenta el paso 4, se accionará el contactor de función auxiliar (K3A) encargado, mediante sus contactos, hacer la combinación necesaria para asignar la segunda frecuencia, programada en el variador y con ello dar la segunda velocidad al variador.

3.9. Selección de filtro

Los medios filtrantes utilizados para la filtración de líquidos con alto contenido de sólidos, son fabricados de acuerdo al tamaño de partícula, permeabilidad, velocidad de flujo; con tratamientos especiales en las caras para un mejor deslizamiento de la torta, para así facilitar su limpieza y una mayor vida útil.

Debido a que el suero de leche precalentado entra a la canasta rotor con los grumos de caseína ya formados -estos en general tienen diámetros variados en un rango desde 0.5mm hasta 3mm en promedio- se deberá verificar que el tamaño de partícula sea mayor al tamaño permisible por el filtro, además, de que el filtro sea adecuado para alimentos y permita un fácil deslizamiento de la torta.

Se seleccionó un filtro del proveedor GyG industrial el cual tiene en sus productos:

- Filtro Renner PE 26506/80 – es de 100% poliéster de 1.2mm de espesor. Con un diámetro de filtración de 1 a 200 micras. La temperatura de trabajo es de 150°C

Con unas medidas de 700mm x 200mm, se ubicará enrollado dentro del rotor. (Ver figura 3.28)



Figura 3.28: Filtro de medio húmedo

CAPÍTULO 4

4. COSTOS

En el presente capítulo se presentará un aproximado del costo de fabricación de la máquina centrifugadora. Para calcular el costo total que implica fabricar dicha máquina, se tendrán en cuenta los siguientes sub-costos:

- Costo de diseño
- Costo de adquisición de materiales
- Costo de fabricación y maquinado
- Costo de ensamble

4.1. Costo de diseño:

En este tipo de costo se tienen en cuenta las horas-hombre invertidas en el desarrollo del proyecto, lo que implica la realización de la memoria de cálculo, elaboración de planos de ensamble, despiece y fabricación. También se incluyen las horas-hombre invertidas en la programación del tablero de control y del variador de frecuencia. Se considerará el trabajo de un asesor principal y el de un tesista encargado de la elaboración de la memoria de cálculo y planos.

Tabla 4.1: Costo de diseño de la máquina

	Costo	Tiempo	Total
Asesor	S/. 200.00 / hora	50 horas	S/. 3500.00
Tesista	S/. 850.00 / mes	6 meses	S/. 5100.00
		TOTAL	S/. 8600.00

4.2. Costo de adquisición de materiales y elementos normalizados:

Se considera el costo de la materia que va a ser transformada, por medio de un proceso de fabricación, en partes elementales para la máquina. Por ejemplo: la mesa, que es una estructura metálica, el estator que está conformado por planchas roladas, etc.

Los elementos normalizados se consideran a aquellos productos que son fácilmente adquiribles en el mercado local y que generalmente no necesitan una transformación posterior a su compra. Son directamente ensamblados a la máquina, por ejemplo: tornillos, tuercas, arandelas, fajas trapezoidales, chumaceras, motor eléctrico, etc. En la tabla (4.2) se presentan los precios de todos los materiales y elementos normalizados que componen la máquina centrifugadora.

Tabla 4.2: Precios referencial de los materiales

ID	Descripcion	Material/ Norma	Cant.	Dimensiones generales	P. Unit (S/.)	P. Total (S/.)
1	Perfil L	ASTM A36	2	40x40x4x6000	15	30
2	Perfil U	ASTM A36	1	40x20x4x6000	15	15
3	Plancha laminada en caliente	ASTM A1011	1	4x1200x2400	150	150
4	Plancha de acero inoxidable	AISI 316	2	3x1220x2440	600	1200
5	Barra redonda	AISI 1045	1	40x1200	20	20
6	Platina	ASTM A36	1	25X4X1200	6	6
7	Motor electrico	-	1	P=1.5 Kw	300	300
8	Unidad de rodamiento		2		100	200
9	Faja trapezoidal		1		30	30
10	Polea 1		1	100	60	60
11	Polea 2		1	140	100	100
12	Tornillo de cabeza hexagonal	ST / ISO 4017	8	M8x20	0.3	2.4
13			6	M10x40	0.4	2.4
14			2	M10x45	0.5	1
15			4	M12x40	0.6	2.4
16	Arandela plana	ST / ISO 7091	32	10	0.3	9.6
17			8	12	0.3	2.4
18	Tuerca hexagonal	ISO 4032	8	M10	0.3	2.4
19			8	M8	0.3	2.4
20	Anillo de retencion		1	35x1.8	1	1
21	Tornillo de ajuste	DIN 916	6	M10x25	3	18
22	Filtro		1		100	100
				COSTO TOTAL		2255

4.3. Costo de fabricación y maquinado:

Se consideran las horas-hombre que se invierten en la transformación de la materia prima (planchas de acero y perfiles estructurales) hasta obtener el elemento deseado. En el costo de hora-hombre se incluyen los consumibles utilizados (electrodos, disco de corte, disco de desbaste, etc.), además se incluye en esta sección, el costo de hora-hombre del técnico encargado en maquinar los elementos de máquina, tal como el árbol de transmisión de potencia. El cálculo de este costo se obtiene de forma aproximada, debido a que se considerarán dos operarios encargados de la fabricación de los elementos, el cual incluye el habilitado del material y el procesamiento de este, ya sea mediante soldadura, plegado o rolado. Luego se considerará un técnico para el maquinado de los elementos de máquina. Los tres operarios trabajaran 8 horas efectivas, considerando S/. 15.00 Nuevos soles por hora como el costo de mano de obra del operario y alquiler de maquinaria y S/. 20.00 Nuevos soles por hora como el costo de mano de obra del técnico encargado del maquinado.

Tabla 4.3: Costo parcial de la fabricación, maquinado y ensamble

ID	Descripción	Precio (S/.)
1	Maquinado de los componentes	360.00
2	Fabricación y ensamble	160.00
Total		S/. 520.00

Al realizar la suma de los costos de adquisición de materiales y de fabricación, maquinado y ensamble se obtendrá el precio total referencial de costo de la máquina.

$$Costo_{total} = Costo_{material} + Costo_{fabricacion}$$

$$Costo_{total} = S/. _2255.00 + S/. _520.00 = S/. _2775.00$$

El costo total de la máquina es de **S/. 2775.00 (Dos mil setecientos setenta y cinco con 00/100 Nuevos soles)**

CONCLUSIONES

1. El presente diseño cumple con el objetivo principal el cual es aprovechar las proteínas contenidas en el suero de leche, al elaborar un requesón de alta calidad con una disminución de su humedad al 60%. No obstante, luego de este proceso, el suero de requesón sobrante, seguirá conteniendo proteínas que podrán ser aprovechadas mediante tecnologías más sofisticadas tales como la ultrafiltración.
2. Con el diseño de esta máquina, se logra disminuir el impacto ambiental que antes causaba el suero de leche. Además de generar un ingreso económico adicional para el productor rural de queso, puesto que el requesón tiene un alto valor económico en el mercado local. Con una producción de 60 litros de leche cruda, se obtienen 54 litros de suero de leche. Luego al realizar el proceso de centrifugado en la máquina diseñada se puede obtener hasta 4.5 kg de requesón, los cuales pueden ser vendidos al mercado local a un precio de 6 soles por cada 100 gramos, generando una ganancia adicional de 270 soles
3. La máquina centrífuga diseñada funciona con un operario. El cual se encargará de llenar el rotor con el suero de leche precalentado, asegurar la máquina, encender la máquina y finalmente darle la velocidad adecuada por medio del tablero de control.
4. El tablero de control de la máquina centrífuga ha sido diseñado para un fácil manejo de la máquina, lo que permite a cualquier usuario hacer uso de ella sin la necesidad de una preparación especializada. Las funciones del tablero de control es de energizar y definir la velocidad de rotación de la máquina que viene establecida por botoneras. Solo se permite dos velocidades de rotación.

5. Para el mantenimiento es necesario lubricar rodamientos, realizar la limpieza del rotor, cambio del filtro cuando sea necesario y verificar el ajuste necesario de la faja. Esto puede ser realizado por cualquier operario sin una capacitación especial.
6. Según la verificación de la estructura se concluye que esta no fallara por pandeo ni resistencia debido a que su factor de seguridad es de 33. De la verificación dinámica se concluye que no entrará en resonancia debido a que su frecuencia de operación es hasta 3 veces más que su frecuencia natural.
7. El diseño de eje fue determinado mediante cálculos de resistencia, fatiga y verificación dinámica, lo que arroja como resultado un diseño confiable con un factor de seguridad de 2.5. Además este elemento no presentará problemas de resonancia debido a que su frecuencia natural es ocho veces más que la frecuencia de operación de la máquina centrífuga.
8. Los procesos de centrifugado y separación se realizan por medio de una canasta-rotor que gira a una velocidad máxima de 2600 r.p.m., esta velocidad de referencia se determinó mediante ensayos realizados en una centrífuga del laboratorio de química de la PUCP. Dicha canasta-rotor tiene 200 mm de diámetro y 200 mm de altura, los cuales permiten un volumen de 6 litros de suero de leche. La separación se realiza a través de un filtro de poliéster con un espesor de 1.2 mm. Esta canasta-rotor será accionada por medio de un sistema de transmisión de fajas trapezoidales. La potencia necesaria para realizar el centrifugado es de 1.2 kW, la cual es suministrada por un motor eléctrico monofásico. La máquina centrífuga tiene un peso total aproximado de 80 kg y sus dimensiones generales son de 1.20 m de altura, 1 m de ancho y 0.5 m de profundidad.
9. Para el cálculo de la fuerza centrífuga se consideró un desbalance de 0.5 kg a una velocidad máxima de 2600 r.p.m., para evitar sobrepasar este valor es necesario distribuir la masa inicial de requesón simétricamente en toda el área.

10. Debido a que no se requiere de ningún proceso sofisticado para la fabricación de la máquina centrífuga, es posible realizar la fabricación en cualquier taller metal-mecánico, con los materiales indicados. Además, la máquina es de fácil transporte debido a que no presenta grandes dimensiones.
11. El costo de fabricación del primer prototipo de la máquina centrífuga para el aprovechamiento del suero de leche, es un estimado de S/. 2775.00, monto que incluyen los costos de materiales y la mano de obra. Cabe resaltar que para una producción en serie los costos podrían reducirse considerablemente hasta obtener un precio más accesible al mercado local.
12. Considerando que un productor de queso rural produce 420 litros de leche cruda por semana, de los cuales se genera 31.5 kg de requesón, el cual es vendido posteriormente a un valor de 6 soles por 100 gramos, se obtiene una ganancia de 1890 nuevos soles. De lo cual se puede concluir que en 2 semanas aproximadamente el costo de fabricación es cubierto debido a las ventas.

RECOMENDACIONES

1. El cálculo y la selección de fajas se realizaron con la ayuda del manual de Optibelt que sirvió de referencia. Cabe resaltar que Optibelt no cuenta con mercado en Perú; empero, la polea y faja seleccionadas están estandarizadas y pueden conseguirse en cualquier otro proveedor de transmisión de fajas.
2. La máquina centrífuga ha sido diseñada para realizar el proceso de centrifugado en dos pasos. El primero de ellos es a una velocidad de 1200 r.p.m. con una duración de 20 minutos, el objetivo de este paso es ir reduciendo la cantidad de líquido presente en la canasta rotor. Luego a una velocidad máxima de 2600 r.p.m., se incrementará la fuerza centrífuga para obtener un mejor filtrado y se logrará así reducir la humedad a un aproximado de 60%. En cada proceso de centrifugado se logran obtener 500 gr de requesón a partir de 6 litros de suero de leche. Por lo tanto se cumplirá la razón solicitada de 1kg/hora de requesón.
3. Se recomienda que al realizar el llenado de la canasta rotor con suero de leche, se realice de forma manual y se procure que la masa quede distribuida simétricamente del eje. Esto con el fin de evitar que la fuerza centrífuga resultante crezca en gran medida.
4. El diseño de la máquina considera una fabricación de los componentes con un proceso de fácil acceso, como es el rolado, soldadura, plegado y corte. En caso se esté en la capacidad de realizar el componente de la misma manera con un proceso diferente tal como el embutido, se podrá realizar sin ninguna dificultad respetando los espesores de plancha.

5. Se recomienda fabricar una caja que cubra el sistema de transmisión por faja, para brindar seguridad al momento de operar la máquina.
6. Con el funcionamiento de esta máquina centrífuga se logran aprovechar las proteínas del suero de leche y además de reducir la contaminación procedente de desecharlo. El suero de quesón, procedente de la máquina centrífuga podrá ser refrigerado y comercializado para generar en lo posterior suero de leche en polvo.



BIBLIOGRAFÍA

TEIXEIRA, José A.

2010 “Engineering aspect of milk and dairy products” CONTEMPORARY FOOD ENGINEERING.

ONWULATA, Charles

2008 “Whey Processing, Functionality and Health Benefits”. INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGIST.

GOSTA, Bylund

1995 “Dairy processing Handbook”. TETRA PAK

WALSTRA, P., WOUTERS, J. & GEURTS, T

2005 “Dairy Science and Technology” CRC PRESS, Reino Unido.

CROSS, Nigel

2002 “Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos”. LIMUSA WILEY. México

PAHL, Gerhard

2007 “Diseño de Ingeniería: Principios de los métodos de desarrollo de productos exitosos y aplicación” SPRINGER. Berlín, 7ma Edición.

FIERRO TRADISA S.A

2014 Catálogos de productos. 8va Edición. Lima.
< <http://website2.qnet.com.pe/tradisa/productos.htm> >

BARRIGA GAMARRA, Benjamín

2004 "Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica". PUCP, Lima, Perú:

RODRIGUEZ H, Jorge

2010 "Resistencia de materiales 2". PUCP, Lima, Perú.

SHIGLEY, Joseph Edward

1990 Diseño en ingeniería mecánica. Quinta edición. México:
McGraw-Hill.

THOMSON, William

1983 "Theory of vibration with applications". PRENTICE HALL. California.
2da Edición

HIBBELER, R.C

2006 "Mecánica de materiales". PEARSON EDUCATION. México D.F.
6ta Edición.

NIEMANN, Gustav

1973 "Tratado practico de elementos de máquina: calculo. Diseño y
construcción. LABOR. Barcelona. 2da Edición.