

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA, PARA LA  
EXTRACCIÓN DE MIEL DE ABEJA EN LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**ANDRES MONTENEGRO VILCHEZ**

**ASESOR**

**Mgr. LUCIO ANTONIO LLONTOPE MENDOZA**

**Chiclayo, 2019**

## **DEDICATORIA**

Está presente investigación lo dedico a mis padres porque siempre me han apoyado en todo momento, por sus consejos, la perseverancia y constancia que siempre me lo inculcan; característicos de ellos.

A mis hermanos que siempre han estado ahí con su apoyo incondicional, gracias a ellos también que me han motivado a salir siempre adelante y cumplir con unos de mis objetivos.

A Dios porque ha estado en todo momento apoyándome espiritual y anímicamente para poder culminar dicha investigación, y por haberme dado salud.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy las gracias a Dios por haberme dado la vida, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida y mi carrera profesional, por ser mi apoyo en los momentos difíciles.

Le agradezco a mis padres y hermanos por su apoyo en todo momento, por tener la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Por sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir.

También agradezco a todos los docentes que me han ayudado en el transcurso de mi investigación para poder terminarlo, a mis amigos que siempre me dieron su apoyo y de esa manera culminar la presente investigación.

# ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN .....	14
1. Objetivos.....	15
1.1. Objetivo general .....	15
1.2. Objetivos específicos.....	15
2. Justificación.....	16
II. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1. Estado del arte .....	17
2.1.1. Planteamiento del problema .....	18
2.2. Bases teórico-científicas .....	19
2.2.1. Diseño en ingeniería .....	19
2.2.2. Propiedades de los fluidos .....	19
2.2.2.1. Viscosidad.....	19
2.2.2.2. Densidad .....	19
2.2.3. Fuerza centrífuga .....	20
2.2.4. Resistencia eléctrica.....	20
2.2.5. Propiedades mecánicas de los metales .....	20
2.2.6. Factor de diseño y factor de seguridad .....	21
2.2.7. Confiabilidad .....	22
2.2.8. Criterios de falla por fatiga ante esfuerzos variables.....	22
2.2.9. Fundamentos de transferencia de calor.....	26
2.2.10. Miel.....	27
2.2.11. Métodos de extracción de la miel .....	28
2.2.12. Rodamientos .....	30
III. MARCO METODOLÓGICO .....	33
3.1. Tipo de investigación.....	33

3.2. Diseño de la investigación.....	33
3.3. Población y muestra.....	34
3.4. Operalización de variables.....	34
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	37
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	37
3.7. Resultados del diagnóstico .....	38
3.8. Análisis de precios de las principales marcas de miel de abeja en el mercado chiclayano. ....	41
3.9. Análisis general de resultados .....	45
3.10. Propuesta .....	45
3.11. Determinar los requerimientos de diseño .....	45
IV. DISEÑO .....	47
4.1. Metodología de diseño.....	47
4.2. Identificar los requisitos del cliente .....	47
4.3. Requisitos de diseño .....	48
4.4. Funciones del dispositivo .....	50
4.5. Criterios de evaluación .....	51
4.6. Matriz morfológica.....	52
4.8. Evaluación de los conceptos de solución.....	56
V. CÁLCULO .....	59
5.1. Dimensionamiento de los componentes de la máquina según los requerimientos de diseño.....	59
5.2. Cálculo del volumen de miel de abeja en la máquina extractora. ....	60
5.3. Criterios de selección de motor eléctrico .....	61
5.4. Cálculo de la potencia.....	62
5.5. Diseño del eje .....	65
5.6. Selección del acoplamiento .....	72
5.7. Cálculo y selección de rodamientos .....	74

5.8. Cálculo de resistencias para el sistema de calentamiento.....	79
VI. CONCLUSIONES .....	103
VII. ANEXOS .....	104
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ductilidad de un material.....	21
Figura 2 Diagrama de Goodman modificado .....	22
Figura 3 Gráfica de fallas de esfuerzos medios en ambas regiones de tensión y compresión. 23	
Figura 4 Diagrama de fatiga maestro creado para acero AISI 4340 .....	23
Figura 5 Diagrama de fatiga donde se proporcionan varios criterios de falla.....	24
Figura 6 Extracción de miel por gravedad .....	29
Figura 7 Extracción de miel por aplastamiento.....	29
Figura 8 Extracción de miel por fuerza centrífuga.....	30
Figura 9 Rodamiento de bolas.....	31
Figura 10 Rodamiento de rodillos cónicos.....	32
Figura 11 Procedimiento usual de análisis de los datos .....	37
Figura 12 Pasos en el proceso de diseño .....	47
Figura 13 Caja negra .....	48
Figura 14 Funciones del dispositivo.....	50
Figura 15 Matriz Morfológica.....	53
Figura 16 Diagrama de evaluación final del concepto de solución óptimo .....	58
Figura 17 Viscosidad vs Temperatura de la miel de abeja.....	59
Figura 18 marco langstroth .....	60
Figura 19 Vista 2D de la máquina.....	60
Figura 20 Esquema de la estructura en SolidWorks .....	63
Figura 21 Diagramas de cuerpo libre de fuerzas axiales y transversales .....	66
Figura 22 Factor Kts.....	71
Figura 23 sensibilidad a la muesca qcortante .....	71
Figura 24 Factor de servicio.....	72
Figura 25 Potencia de salida (kW) .....	73
Figura 26 Representación de las resistencias térmicas.....	80
Figura 27 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección .....	82
Figura 28 Números de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en tubos de diferente sección transversal .....	87
Figura 29 Tensión de von Mises .....	90
Figura 30 Desplazamientos .....	90
Figura 31 Factor de seguridad.....	91

Figura 32 D.C.L de las cargas que actúan sobre la base del recipiente.....	92
Figura 33 D.C.L de las reacciones debidas al peso total del recipiente .....	93
Figura 34 Reacciones resultantes .....	93
Figura 35 Tensión von Mises .....	94
Figura 36 Desplazamientos .....	95
Figura 37 Resultados de análisis térmico de temperatura .....	96
Figura 38 Modo frecuencial 1 .....	97
Figura 39 Modo frecuencial 2 .....	98
Figura 40 Modo frecuencial 3 .....	98
Figura 41 Modo frecuencial 4 .....	99
Figura 42 Modo frecuencial 5 .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características físicas de la miel .....	28
Tabla 2 Operalización de variables que se encuentran en el proceso de extracción de miel ...	36
Tabla 3 Resultados del Censo de productores Apícolas en la Región Lambayeque.....	38
Tabla 4 Número de productores, colmenas y producción de miel Total, según Distrito .....	39
Tabla 5 Colmenas en Producción por tipo, según Provincia.....	40
Tabla 6 Productores ligados a una Asociación, según Provincia .....	41
Tabla 7 Precios de la miel en el supermercado Metro en la ciudad de Chiclayo.....	42
Tabla 8 Precio de la miel de abeja en el supermercado Plaza Vea en la ciudad de Chiclayo..	43
Tabla 9 Precio de la miel en el supermercado Tottus en la ciudad de Chiclayo .....	44
Tabla 10 Evaluación técnica del concepto de solución .....	56
Tabla 11 Evaluación económica del concepto de solución.....	57
Tabla 12 Evaluación de conceptos de solución.....	57
Tabla 13 Viscosidad de la miel de abeja .....	59
Tabla 14 Cuadro de resultados del cilindro y del cono de la máquina.....	60
Tabla 15 Factor de superficie .....	69
Tabla 16 Acoplamiento SKF FRC .....	74
Tabla 17 Parámetros para la selección de rodamientos.....	74
Tabla 18 Lana de vidrio.....	83
Tabla 19 Armaflex.....	83
Tabla 20 Fibra cerámica.....	83
Tabla 21 Resultados obtenidos del análisis estático.....	89
Tabla 22 Resultados obtenidos del análisis estructural .....	94
Tabla 23 Lista de modos frecuenciales .....	97
Tabla 24 Participación de masa normalizada .....	100
Tabla 25 Evaluación económica de la máquina – lista de materiales .....	101
Tabla 26 Evaluación económica de la máquina – manufactura .....	102
Tabla 27 Costo total de la máquina.....	102
Tabla 28 Evaluación económica de la máquina .....	102

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Factor de seguridad .....	22
Ecuación 2: Ecuación de Marín.....	24
Ecuación 3: Criterio de la recta de Soderberg.....	24
Ecuación 4: Relación de Goodman modificada .....	25
Ecuación 5: Criterio de falla de Gerber.....	25
Ecuación 6: Criterio de ASME-elíptica.....	25
Ecuación 7: Criterio geométrico de fluencia de Langer.....	25
Ecuación 8: Soderberg.....	25
Ecuación 9: Goodman modificada .....	25
Ecuación 10: Gerber.....	25
Ecuación 11: ASME - elíptica.....	26
Ecuación 12: Fluencia estática de Langer .....	26
Ecuación 13: Potencia .....	63
Ecuación 14: Torque .....	63
Ecuación 15: Aceleración angular.....	64
Ecuación 16: Torque ejercido en el eje .....	66
Ecuación 17: Sumatoria de fuerzas en el eje y.....	67
Ecuación 18: Sumatoria de fuerzas en el eje x.....	67
Ecuación 19: Sumatoria de momentos en el punto A .....	67
Ecuación 20: Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico TECO/von Mises .....	68
Ecuación 21: Ecuación de Marín.....	68
Ecuación 22: Factor de superficie .....	69
Ecuación 23: Factor de tamaño .....	69
Ecuación 24: Factor de modificación de la carga.....	70
Ecuación 25: Potencia de diseño .....	73
Ecuación 26: Calor absorbido o cedido.....	79
Ecuación 27: Resistencia térmica por convección del aire .....	80
Ecuación 28: Resistencia térmica por conducción del material .....	82
Ecuación 29: Resistencia térmica en una fuente de calor .....	83
Ecuación 30: Conductividad térmica del material .....	84
Ecuación 31: Coeficiente global de transmisión de calor interno .....	84
Ecuación 32: Coeficiente global de transmisión de calor .....	85

Ecuación 33: Resistencia térmica por conducción en el tanque.....	86
Ecuación 34: Resistencia térmica por convección de la miel .....	86
Ecuación 35: Número de Nusselt .....	87
Ecuación 36: Coeficiente convectivo .....	87
Ecuación 37: Calor perdido.....	88

## RESUMEN

En la presente investigación se diseñó una máquina centrifugadora de miel de abeja, con la finalidad de mejorar e incrementar la producción de miel de abeja en la región Lambayeque. Se determinó la producción de miel de abeja mediante un análisis estadístico empleando el software SPSS, con datos relevantes de un censo del cual se obtuvo 341 516 kg/anual de miel de abeja en la región, bajo el aumento del 50% se obtuvo la capacidad de 296 kg/h.

A continuación, se elabora una lista de exigencias que plantea los objetivos para el diseño, luego, a través de una conceptualización se logra disgregar y ordenar la estructura de funciones que define el comportamiento de la máquina en cuestión; las mismas que deberán ser sustituidas por posibles soluciones que son presentados en una matriz morfológica de Zwicky, de representaciones gráficas, mostrando una idea aproximada de la disposición de las posibles soluciones. La solución que se obtuvo fue de disposición vertical y configuración tangencial.

Se determina las cargas para el proceso de centrifugado, con la finalidad de dimensionar apropiadamente los componentes, según los requerimientos de diseño. Para el diseño de los componentes se realizó los cálculos y la selección respectivos.

En esta investigación se hizo el análisis estático lineal y frecuencial de los componentes mediante el software Solidworks CAD – CAE.

Se realizó una evaluación económica con el método de payback con un periodo de retorno.

Palabras claves: Diseño, máquina centrifuga, extracción de miel, CAD, CAE

## ABSTRACT

In the present investigation was designed a centrifuge machine of bee honey, with the aim of improving and increasing the honey production in the region of Lambayeque. It was determined the production of bee honey through statistical analysis using the SPSS software, with relevant data in a census of which was obtained 341 516 kg/year of bee honey in the region under the increase of 50% was obtained the capacity of 296 kg/h.

Next, a list of requirements that the objectives for the design is proposed is elaborated, then, through a conceptualization, the structure of functions that defines the behavior of the machine in question is disintegrated and ordered; the same ones that must be replaced by possible solutions that are presented in a morphological matrix of Zwicky, of graphic representations, showing an approximate idea of the disposition of the possible solutions. The solution that was obtained was of vertical disposition and tangential configuration.

The loads for the centrifugation process are determined, with the purpose of appropriately dimensioning the components, according to the design requirements. For the design of the components, the respective calculations and selection were made.

In this research became the Analysis linear and nonlinear static analysis of the frequency components by using the Solidworks software CAD – CAE.

An economic evaluation was made with the payback method with a return period

Keywords: Design, machine centrifuge, extraction of honey, CAD, CAE

## I. INTRODUCCIÓN

La apicultura en el Perú es una de las actividades económicas agropecuarias más sostenibles (sobre todo por el gran impacto positivo que tiene sobre la polinización de los cultivos); dicha actividad es realizada mayormente por pequeños apicultores distribuidos en todas las regiones del país.

En la región de Lambayeque, para el proceso de la extracción se utilizan diferentes tipos de extracción como son por gravedad, aplastamiento y fuerza centrífuga. La más empleada en la región es por la fuerza centrífuga mediante una máquina centrifugadora manual, lo cual se tiene primero que limpiar las paredes de cera que cubre la miel almacenada en los marcos para luego poder colocarla en el recipiente, además es accionada por un operario y realizada de manera repetitiva para poder procesar toda la miel de abeja, este proceso demanda un tiempo de extracción de 10 minutos para poder hacer la separación de la miel de abeja de los marcos; lo cual conlleva un esfuerzo físico con una postura no ergonómica para el operario de hacer dicho proceso.

La capacidad de acaparamiento de miel de abeja en el departamento de Lambayeque es de 341 516 kg/añual; gracias al diseño de la máquina centrifugadora de miel de abeja se mejorara la producción añual, el cual se considera que en los últimos años el aumento es del 50% el cual es de 512 274 kg/añual, por lo cual la capacidad de la máquina es de 296 kg/h. Se diseñará la máquina centrifugadora de miel de abeja para ahorrar el tiempo en la extracción de la miel y lograr una mejora en la producción de este producto, por otro lado el diseño mejorara la posición ergonómica del operario en el proceso de extracción.

Para el desarrollo de la investigación se tiene en cuenta cinco objetivos específicos, descritos a continuación:

En el desarrollo del primer objetivo se determinó la producción actual de miel de abeja en la región Lambayeque con una producción de 512 274 kg/añual. En el segundo objetivo se elabora una lista de exigencias que serán las posibles soluciones las cuales serán representadas en una matriz morfológica de Zwicky. Para el desarrollo del tercer objetivo se determinó las cargas en el proceso de centrifugado, con la finalidad de dimensionar adecuadamente los componentes de la máquina. En el cuarto objetivo se realizó el análisis de los componentes mediante el software Solidworks CAD – CAE, el cual se hizo el análisis estático y frecuencial. Para el último y quinto objetivo se realizó una evaluación económica con el método de payback con un periodo de retorno.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

- Diseñar una máquina centrifugadora, para la extracción de miel de abeja en el departamento de Lambayeque.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la producción actual de miel de abeja en la región Lambayeque.
- Obtener el diseño a través de la matriz morfológica.
- Dimensionar los componentes de la máquina según los requerimientos de diseño.
- Analizar los componentes con software CAD – CAE.
- Elaborar una evaluación económica.

## **2. Justificación**

### **Social**

El ahorro de tiempo en la extracción de la miel permitirá con la máquina centrifugadora lograr una mejora en la producción de este producto elevando sus indicadores de calidad, volviendo esta actividad más atractiva para el negocio de pequeños empresarios del rubro.

### **Ambiental**

Debido a que la máquina extractora de miel está compuesta por un sistema de centrifugado y sistema de calor energizado por energía eléctrica es que se tiene cero emisiones de CO<sub>2</sub> asegurando la no contaminación al medio ambiente debido a estos gases.

### **Tecnológica**

La tecnología principal de la máquina a emplear se basa según el principio de centrifugado (para poder realizar la extracción de la miel reduciendo el daño a las panelas comparado con la extracción manual realizada actualmente por los diversos apicultores.

### **Económica**

Debido a la productividad de la extracción de miel desde las panelas con el proceso de centrifugado, se tendrá indicadores económicos positivos en beneficio del apicultor de la región Lambayeque.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

L. Condor y T. Yuccha en Ecuador 2 016, desarrollaron en su presente investigación que consistía en diseñar y construir una máquina centrífuga semiautomática para la extracción de la miel de abeja. La máquina está construida en su totalidad de acero inoxidable AISI 304 el mismo que es adecuado en el manejo de alimentos. Las pruebas realizadas indican un buen funcionamiento de todos los sistemas constitutivos, logrando una capacidad de producción de 40,89 Kg/h, a una velocidad óptima. La máquina centrífuga compite con otras fabricadas en nuestro país o importadas tanto en costos como en características técnicas.

En kenyan R. Robert en 2 010, realizó una caracterización de miel de Kenia y un modelo de diseño para equipos de procesamiento. Se estima que el potencial de producción de miel en Kenia es de 100 000 toneladas métricas, lo que puede hacer que el país gane entre 15 y 20 000 millones de Ksh en divisas. Este potencial de producción no se cumple debido a las malas prácticas apícolas. La falta de un equipo apropiado de extracción y procesamiento de la miel, que es asequible y accesible, ha resultado en la producción de miel de bajo nivel y mala calidad. En el diseño del equipo de calentamiento extractor, se utilizó la media general de densidad y viscosidad para determinar las dimensiones y la transmisión de calor de los recipientes. El pH se utilizó para la selección del material para la construcción. Se encontró que el contenido de humedad de la miel de Kenia estaba por debajo del límite máximo permitido de (21%) y por lo tanto no hay riesgo de fermentación. La mayor parte de la miel keniana había madurado con niveles aceptables de prolina y diastasa. Los parámetros fisicoquímicos de la miel de Kenia se utilizaron con éxito para diseñar la extracción de miel y equipos de procesamiento que se pueden utilizar para procesar la miel en cualquier parte del país

En el New York Science Journal 2 015 B. O. Akinnuli1 O. O. Awopetu1 P. P. Ikubanni and O. O. Agboola, hicieron una investigación plasmada en un paper que se informa sobre un extractor de miel accionado por pedal. Se han explotado varios métodos para extraer esta miel tanto tradicionalmente como por diferentes diseños de extractores desde el primitivo hasta el moderno. Aunque el diseño anterior que fue producido localmente en Nigeria fue conducido manualmente que funciona con bastante eficiencia, sin embargo, hay necesidad de nueva innovación que implicó la introducción del mecanismo pedaleado. Un diseño de extractor de miel existente se mejoró con la introducción del mecanismo de pedal en comparación con el de mano con el fin de extraer la miel de la manera más higiénica con los materiales adecuados necesarios. La eficiencia de la máquina se estimó en un 85%, que se comparó con la anterior disponible diseñada con una eficiencia del 83%.

En el Science Journal 2 013 Akinnuli B.O. Abadariki S.O. and Fasan J.O, hicieron una investigación plasmada en un paper que se informa sobre un extractor de miel accionado por un sistema de transmisión flexible (cadena – piñón). Para la realización del diseño y fabricación del extractor se tomaron en cuenta las características físicas y las propiedades térmicas de la miel, que se puede instalar en el hogar o en la granja. El volumen de miel recolectada por el extractor fue de 9 litros, mientras que el recolectado de un extractor de miel importado fue de 11 litros, esto demostró que el extractor fabricado local tiene un 82% de eficiencia relativa. La única limitación es que no es de accionamiento eléctrico, tiene la ventaja de ser tanto utilizado tanto en áreas urbanas como rurales donde no hay electricidad, finalmente creará empleos y aumentará la economía de Nigeria.

### **2.1.1. Planteamiento del problema**

¿Cuál debe ser la configuración geométrica de la máquina centrifugadora, para la extracción de miel de abeja en Lambayeque?

## **2.2. Bases teórico-científicas**

### **2.2.1. Diseño en ingeniería**

Según Shigley, diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Este plan destaca la creación de un producto que debe cumplir con ciertas características específicas, dentro ellas, se destaca su funcionalidad, seguridad, confiabilidad, competitividad y utilidad del mismo; por lo tanto, el plan debe garantizar una asertiva toma de decisiones, dado que el acceso de información en algunas ocasiones es restringido, debido a ello es importante que el diseñador de ingeniería logre interactuar de manera adecuada con el plan, esto le facilitará la toma de decisiones y la solución de los problemas identificados. [3]

### **2.2.2. Propiedades de los fluidos**

#### **2.2.2.1. Viscosidad**

Según [4] se crea una fuerza de fricción opuesta al sentido de movimiento de dos cuerpos, donde uno se mueve en relación con el otro cuerpo; por ejemplo, el movimiento de una mesa sobre el piso, se le debe aplicar una fuerza en dirección horizontal, adecuadamente grande como para vencer la fricción, es importante considerar el coeficiente de fricción entre la mesa y el piso, para lograr cuantificar la fuerza necesaria para mover la mesa, esta misma relación es similar en los movimientos de los fluidos o sólidos, donde un cuerpo se mueve en relación con otro.

Respecto al movimiento en el aire éste se suele efectuar con cierta facilidad en relación con el movimiento dentro de los fluidos, por ejemplo, es más difícil y relativamente lento el movimiento de una bola de vidrio inmersa en un tubo que contiene aceite, donde se visualiza una resistencia interna dentro del fluido que controla la rapidez del movimiento, esta magnitud es denominada viscosidad; por ende la fuerza en la misma dirección del cuerpo se le conoce como fuerza de arrastre. [4]

#### **2.2.2.2. Densidad**

Según [4] la densidad se define como la masa por volumen unitario de un cuerpo o sustancia, y está expresado en  $\text{gr/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ , etc.

### **2.2.3. Fuerza centrífuga**

La fuerza centrífuga es una fuerza imaginaria, propia de un elemento o partícula que tiene un movimiento circular, que tiene similar magnitud y dimensiones que la fuerza que mantiene a la partícula o elemento en su trayectoria circular pero apunta en la orientación opuesta. [5]

### **2.2.4. Resistencia eléctrica**

La resistencia eléctrica se puntualiza como el mayor o menor impedimento que presentan los cuerpos frente a la corriente eléctrica. Es decir, un conductor limita el flujo de la corriente eléctrica. Se representa por “R” y su unidad es el Ohmio ( $\Omega$ ). [6]

### **2.2.5. Propiedades mecánicas de los metales**

#### **2.2.5.1. Torsión**

Según [7] la torsión es una alteración de la cizalladura pura, donde las fuerzas de torsión rotan alrededor del eje longitudinal, deformando de esta manera el extremo de un miembro estructural en relación a su otro extremo; claro ejemplo de ello son las brocas, los ejes impulsadores, los ejes que conforman las maquinarias, entre otros; asimismo cabe señalar que las pruebas de torsión son ejecutadas en tubos o cilindros sólidos. La tensión de cizalladura  $\tau$  es una función del par aplicado  $T$ , mientras que la deformación de cizalladura  $\gamma$  está relacionada con el ángulo de giro  $\phi$ .

#### **2.2.5.2. Ductilidad**

Según [7], se menciona lo siguiente: “la ductilidad es otra importante propiedad mecánica. Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. El diagrama tensión – deformación para materiales dúctiles y para materiales frágiles se ilustran esquemáticamente en la Figura 1”.

La ductilidad es el porcentual alargamiento relativo o también conceptualizado como la reducción porcentual de un área en específico.

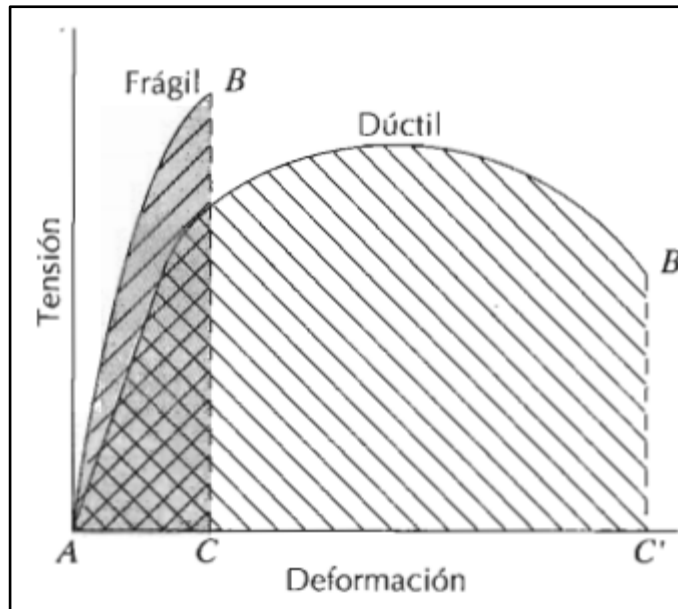


Figura 1 Ductilidad de un material

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

### 2.2.5.3. Dureza

Otra propiedad mecánica que puede ser fuertemente importante considerar es la dureza, la cual es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada (por ejemplo, una pequeña abolladura o ralladura). Las medidas de durezas no siempre tienen un relativo significado, por ello se debe tener cuidado al momento de realizar alguna comparación con las durezas que fueron producto de diversas técnicas. [7]

### 2.2.6. Factor de diseño y factor de seguridad

Desde un punto de vista general, el método del factor de diseño determinístico, que en algunas ocasiones también es denominado método clásico de diseño, donde la ecuación fundamental es (1), siendo  $n_d$  conocida como factor de diseño. Por ello, se debe analizar las maneras de pérdida de función, y la forma adecuada que permita al factor de diseño más pequeño; será el principal en el proceso realizado.

En seguida de terminar el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de cambios como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal, haciendo omisión de lo calculado por el factor de diseño sino por el contrario usando componentes que recién han sido lanzados y que albergan calificaciones altas. En este caso, el factor se denomina factor de seguridad,  $n$ , que

tiene el mismo concepto que el factor de diseño, pero por lo general difiere en su valor numérico. [3]

Ecuación 1: Factor de seguridad

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}}$$

### 2.2.7. Confiabilidad

El procedimiento de confiabilidad de diseño es en el cual se conoce o se establece la distribución de los esfuerzos y de las resistencias; después se relacionan las dos con objeto de lograr un índice de éxito aceptable.

La confiabilidad R puede expresarse mediante un número que tiene el intervalo  $0 \leq R \leq 1$ . Una confiabilidad de  $R = 0,95$  significa que hay una probabilidad de 95 por ciento que la parte efectúe una función adecuada sin falla. [3]

### 2.2.8. Criterios de falla por fatiga ante esfuerzos variables

En la actualidad, con fines de aprender respecto a la resistencia o fatiga de algunas partes están son inmersas a los esfuerzos, donde para alterar el esfuerzo medio y la amplitud del mismo o un variante componente del esfuerzo este se asocia con la parte inmersa al esfuerzo fluctuante.

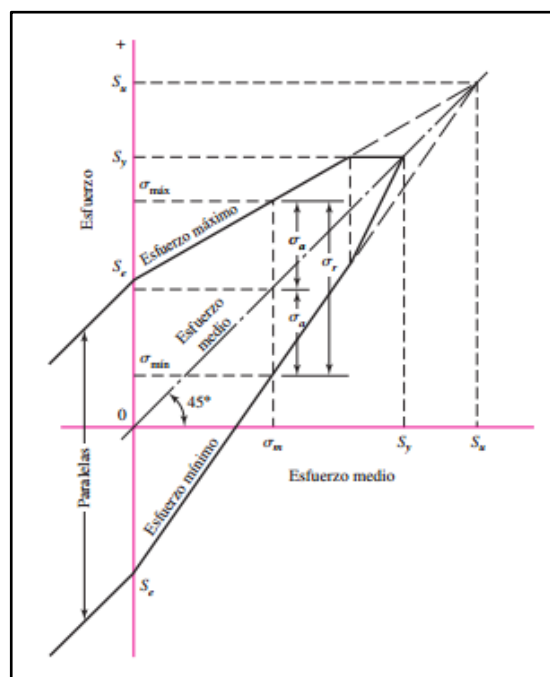


Figura 2 Diagrama de Goodman modificado  
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

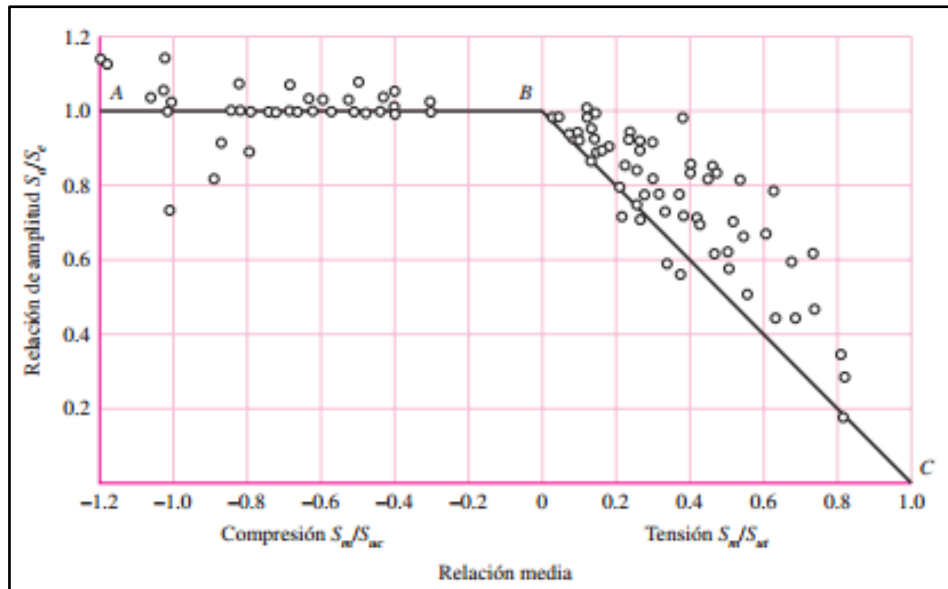


Figura 3 Gráfica de fallas de esfuerzos medios en ambas regiones de tensión y compresión.  
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

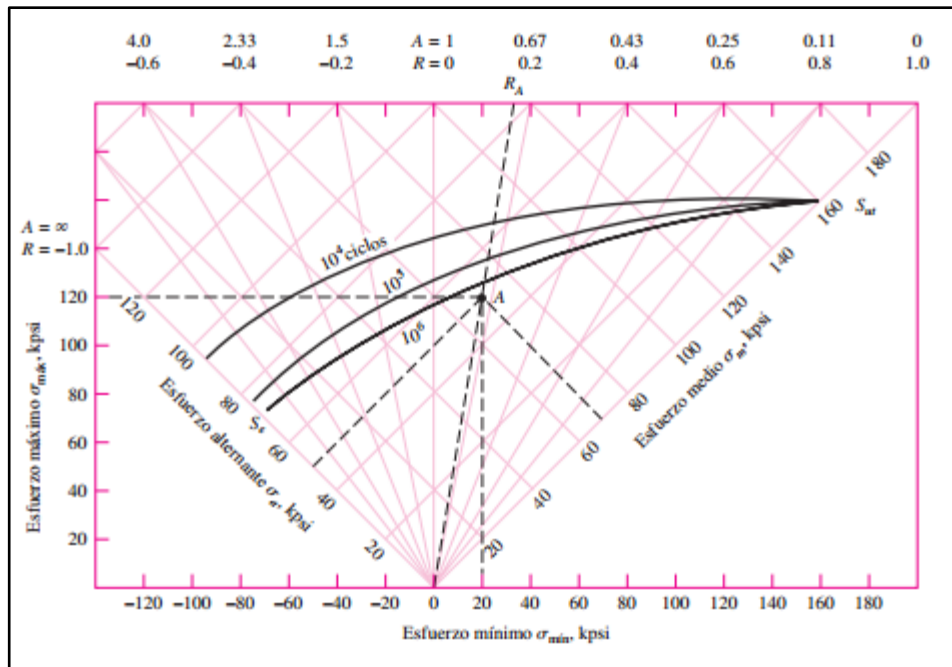


Figura 4 Diagrama de fatiga maestro creado para acero AISI 4340  
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

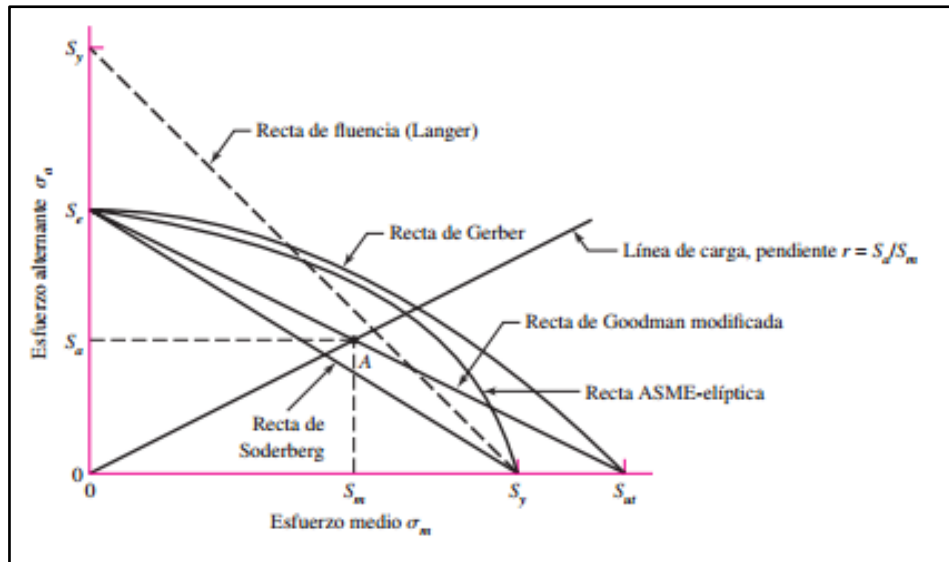


Figura 5 Diagrama de fatiga donde se proporcionan varios criterios de falla.

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

En la Figura 5, el lado en tensión de la figura 3 se ha trazado nuevamente por medio de resistencias, donde se consideró el criterio de Goodman con la modificación de cuatro adicionales criterios de falla, asimismo se diseña y analiza diagramas con fines de facilitar el uso y los resultados en forma directa.

En la Figura 5 se grafica el límite de fatiga  $S_e$  o la resistencia de vida finita  $S_f$ . Estos valores deberán corregirse mediante los factores de Marín de la ecuación (2). Observe que la resistencia a la fluencia  $S_y$  graficada en la ordenada, logrando hacer recordar que la fluencia al primer ciclo en vez de la fatiga podría ser el criterio de falla.

Ecuación 2: Ecuación de Marín

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

En la Figura 5 se representan cinco criterios de falla: de Soderberg, de Goodman modificado, de Gerber, de ASME-elíptica y de fluencia.

Ecuación 3: Criterio de la recta de Soderberg

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

Ecuación 4: Relación de Goodman modificada

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$$

Ecuación 5: Criterio de falla de Gerber

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

Ecuación 6: Criterio de ASME-elíptica

$$\left(\frac{S_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_y}\right)^2 = 1$$

El criterio geométrico de fluencia al primer ciclo Langer se utiliza en la conexión con el lugar geométrico de fatiga:

Ecuación 7: Criterio geométrico de fluencia de Langer

$$S_a + S_m = S_y$$

Los esfuerzos  $n\sigma_a$  y  $n\sigma_m$  pueden reemplazar a  $S_a$  y  $S_m$ , donde  $n$  es el factor de diseño o de seguridad. Entonces, la ecuación (3), la recta de Soderberg se transforma en:

Ecuación 8: Soderberg

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

La ecuación (4), la recta de Goodman modificada se transforma en:

Ecuación 9: Goodman modificada

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

La ecuación (5), la recta de Gerber se convierte en:

Ecuación 10: Gerber

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

La ecuación (6), la recta ASME-elíptica, se transforma en:

Ecuación 11: ASME - elíptica

$$\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1$$

Se ejecutará Gerber y ASME-elíptica para criterios de falla y Langer para fluencia al primer ciclo. Por otro lado, de manera conservada los diseñadores siguen haciendo uso del criterio de Goodman que fue modificado, por lo cual se ha considerado en la presente investigación. La ecuación de diseño de la fluencia de primer ciclo de Langer es [3]

Ecuación 12: Fluencia estática de Langer

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n}$$

## 2.2.9. Fundamentos de transferencia de calor

La transferencia de calor (Q) hacia un sistema (ganancia de calor) incrementa la energía del sistema y también de las moléculas, asimismo, la transferencia de calor desde un sistema (pérdida de calor) disminuye la energía de las moléculas, así como también la energía del sistema. [8]

### 2.2.9.1. Conducción

La conducción es un proceso mediante el cual se transfiere calor o energía de un cuerpo, ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso a través de la directa comunicación molecular existente por un gradiente de temperatura; asimismo, debido a la presencia de éste gradiente de temperatura surge la segunda ley de termodinámica, donde se especifica que la transferencia de calor tiene una dirección de mayor a menor temperatura sobre el cuerpo en estudio. [8]

Ley de Fourier

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial X}$$
$$q'' = kA \frac{(T1 - T2)}{L}$$

Donde:

- $q''$  = Calor en función de área ( $J/m^2$ )
- $k$  = Conductividad térmica del material
- $\partial T$  = gradiente de temperatura
- $\partial X$  = espesor

### 2.2.9.2. Convección

Según [8], se señala lo siguiente: “la transferencia de calor por convección es un proceso de transmisión de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas) en la proximidad de una superficie, y está íntimamente relacionado con su movimiento.”

Ley de enfriamiento de Newton

$$q'' = h(T_S - T_\infty)$$

Donde:

- $q''$  = Calor en función de área ( $J/m^2$ )
- $h$  = Conductividad térmica del material
- $T_S$  = Temperatura de la superficie del sistema
- $T_\infty$  = Temperatura del fluido

## 2.2.10. Miel

### 2.2.10.1. Definición

La miel es una sustancia natural dulce, producto de las abejas obreras a partir del: néctar de las flores, secreciones de partes vivas de las plantas o de excreciones de insectos succionadores; que permiten que las abejas recojan, transformen y combinen con sustancias específicas propias, recolectando y dejando en el panal para que madure y añeje.

La miel se compone básicamente de diferentes azúcares, predominantemente glucosa y fructuosa. El color de la miel es variado, desde pardo oscuro hasta incoloro, la consistencia a veces es fluida, viscosa o cristalizada de manera parcial o total, su sabor y aroma es variante, pero en su mayoría adopta el de la planta que la procede. [9]

### 2.2.10.2. Según el método de elaboración

- a) Miel centrifugada: Es la obtenida mediante la centrifugación de los paneles desoperculados, sin larvas.
- b) Miel prensada: Es la obtenida mediante el aplastamiento de los paneles, sin larvas, con o sin aplicación de calor moderado.
- c) Miel escurrida: Es la obtenida mediante el vaciado de los paneles desoperculados, sin larvas. [9]

### 2.2.10.3. Características físicas de la miel

Según [2] la composición de la miel de abeja depende o varía de acuerdo con la procedencia floral y de las sustancias propias que liberan las abejas. El cambio de estado de la miel depende exclusivamente de la variación de temperatura y de su origen o materia prima de la cual está conformada.

Tabla 1 Características físicas de la miel

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
Conductividad térmica	0,04 W/m°C	La miel es 14 veces peor conductor que el agua.

Fuente: Pierre Jean Prost. Apicultura. Conocimiento de la abeja. Manejo de la colmena. 7<sup>ma</sup> Ed. España. 2007

### 2.2.11. Métodos de extracción de la miel

#### 2.2.11.1 Método de extracción por gravedad.

Este procedimiento se lo ejecuta quitando la pared de cera que cubre la miel almacenada en los marcos, los mismos que se colocan sobre una malla de acero inoxidable o tela que es utilizado como filtro por el cual baja la miel hacia un recipiente por efecto de la gravedad. [2]

Este método cumple adecuadamente con el objetivo sin embargo la única desventaja es que cada extracción tarda alrededor de tres horas, aunque los daños causados a los marcos son mínimos. [2]

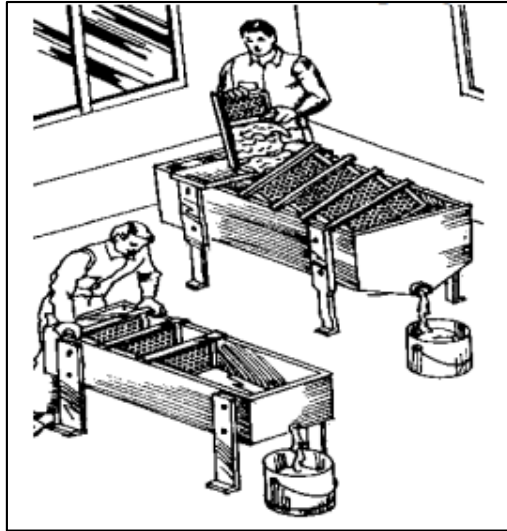


Figura 6 Extracción de miel por gravedad

Fuente: Manual Básico de Apícola.

### 2.2.11.2 Método de extracción por aplastamiento.

Este proceso de extracción se lo realiza de una forma más rápida que el anterior ya que consiste en prensar los panales que contiene la miel. [2]

La desventaja principal en este proceso es la destrucción total de la cera del marco lo cual conlleva un mayor tiempo en cuanto a la generación de miel y el producto final contiene restos de cera. [2]



Figura 7 Extracción de miel por aplastamiento

Fuente: <http://www.sabor-artesano.com/elaboracion-miel-antigua.htm>

### 2.2.11.3. Método de extracción por fuerza centrífuga.

Esta técnica consiste en emplear máquinas extractoras las cuales facilitan la reutilización de los marcos y su extracción se lo hace en un tiempo que va de 5 a 20 minutos dependiendo del tipo de máquina que se use, habiendo esta la manera más eficaz con relación a los dos métodos anteriores. [2]



Figura 8 Extracción de miel por fuerza centrífuga

Fuente: <http://www.mieldealiste.es/produccion.html>

### 2.2.12. Rodamientos

Según [10], el propósito de un cojinete es soportar una carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de máquinas. El termino cojinetes se refiere a una gran variedad de cojinetes llamados rodamientos, los cuales usan bolas esféricas o algún otro tipo de rodillos entre los elementos estacionario y móvil. El tipo más común de cojinete soporta un eje rotatorio, y resiste cargas puramente radiales, o una combinación de cargas radiales y axiales (de empuje). Algunos cojinetes están diseñados para soportar solamente cargas de empuje. La mayoría de los cojinetes se usan en aplicaciones que involucran rotación, pero hay algunos que se usan en aplicaciones de movimiento lineal.

Por otra parte [10], nos dice que los componentes de un cojinete con contacto de rodadura típico son el anillo interior, el anillo exterior y los elementos rodantes. La Figura 9 muestra el rodamiento con una sola hilera de bolas y ranura profunda, que es el tipo común. En general, el anillo exterior es estacionaria, y esta sujeta a la caja de la máquina. El anillo interior se introduce a presión en el eje giratorio y, en consecuencia, gira con él. Entonces, las bolas ruedan entre los anillos exterior e

interior. La trayectoria de la carga es: del eje, el anillo interior, a las bolas, el anillo exterior y, por último, a la caja. La presencia de las bolas permite una rotación muy uniforme, con poca fricción por parte del eje.

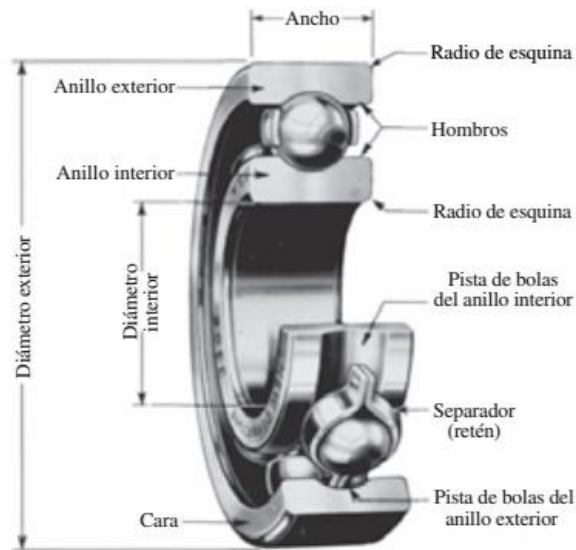


Figura 9 Rodamiento de bolas

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

### 2.2.12.1 Tipos de rodamientos

#### 2.2.12.1.1. Rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda

Según [10], a veces se le llama rodamiento Conrad a este tipo de rodamiento, y tiene las características que imagina la mayoría de personas al escuchar el término rodamientos de bolas (La Figura 9). El anillo interior entra en el eje casi siempre con presión en el asiento del rodamiento, con un ajuste de interferencia pequeña, para asegurar que gire el eje. Los elementos rodantes esféricos, o bolas, ruedan en una ranura profunda, tanto en el anillo interior como en el exterior.

Se mantienen las distancias entre las bolas con los retenes o separadores. Si bien están diseñadas principalmente para tener capacidad de carga radial, la ranura profunda permite soportar una carga de empuje bastante apreciable. La carga de empuje se aplicaría a un lado de la pista de bolas del anillo interior, mediante un hombro de eje. Para incrementar la capacidad de un rodamiento de una sola hilera, debería usarse un rodamiento con mayor número de bolas, o bolas que trabajen en pistas de mayor diámetro. [10]

### 2.2.12.1.2. Rodamientos de rodillos cónicos

Los rodamientos de este tipo usan rodillos cónicos guiados por una guía en el cono. Estos rodamientos pueden soportar cargas radiales elevadas y también cargas axiales en una dirección. Los rodillos se aumentan tanto en tamaño como en número consiguiendo una capacidad de carga incluso mayor. En general se montan por pares de forma similar a los rodamientos de bolas de contacto angular de hilera única. En este caso, la holgura interna correcta puede obtenerse ajustando la distancia axial entre los conos o copas de los dos rodamientos opuestos. Puesto que son separables, los grupos de conos y copas se pueden montar por separado. [10]

Dependiendo del ángulo de contacto, los rodamientos de rodillos cónicos se pueden dividir en tres tipos denominados de ángulo normal, medio y pronunciado. También se fabrican rodamientos de rodillos cónicos de dos o cuatro hileras. En general suelen utilizar jaulas de acero estampado. [10]



Figura 10 Rodamiento de rodillos cónicos

Fuente: <http://www.ropesa.com/catalogo/producto/25/rodamientos-de-rodillos-conicos>

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo de investigación.**

Según [11] cuando se va a solucionar un inconveniente en forma científica, es muy ventajoso tener un conocimiento minucioso de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir, debido a ello existe la posibilidad de reducir errores en la selección del método oportuno para el desarrollo de la investigación.

Conviene registrar que los tipos de investigación difícilmente se presentan puros: generalmente se combinan entre si y cumplen sistemáticamente a la aplicación de la investigación. Abouhamad anota que de estos son originados en su totalidad de las investigaciones previamente realizadas por otros investigadores.

#### **Investigación cuasiexperimental**

En la referencia [12] se explica como: “el diseño es "casi" un experimento, excepto por la falta de control en la conformación inicial de los grupos, ya que al no ser asignados al azar los sujetos, se carece de seguridad en cuanto a la uniformidad o equivalencia de los grupos, lo que afecta la posibilidad de afirmar que los resultados son producto de la variable independiente o tratamiento.”

Un modelo típico cuasiexperimental es el diseño pretest-postest con dos grupos intactos, que han sido conformados de manera previa, debido a ello no existe garantía de la similitud entre ambos grupos.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

Según [13], señala: “el diseño se puede explicar de una de las dos maneras: en un sentido extenso, y en un sentido específico. En el sentido extenso, diseño equivale a la idea de un procedimiento que cubra todo el proceso de investigación, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se concreta el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis.”

En [13], se menciona lo siguiente: “su sentido específico, el diseño cubre una franja básica del plan general, que se orienta a detallar de manera concreta, según cada investigación, las estrategias y procedimientos para abordar el estudio del objeto, a luz de las teorías del marco correspondiente. En otras palabras, se trata de una “serie de actividades continuas y establecidas, que deben adaptarse a las particularidades de cada

investigación, y que nos indican las pruebas a efectuar y las técnicas a utilizar para recolectar y analizar los datos” (Sabino, 2000).”

“Por esto varios escritores, al referirse al sentido específico, usan el término “diseño metodológico”, en cambio de diseño de la investigación (en su sentido específico), lo que parece igualmente acertado; pues las estrategias, procedimientos y pasos que se dan para recolectar los datos y abordar su análisis, constituyen en verdad su metodología. En fin, cualquiera sea el sentido que se adopte, lo importante es recordar que el diseño de la investigación o diseño metodológico de una investigación, implica la aplicación del método científico pues, como se ya explicó, encierra el conjunto de procedimientos racionales y sistemáticos, encaminados a encontrar la solución de una dificultad y, finalmente, comprobar o demostrar la verdad de un conocimiento.”, como se manifiesta en [13].

### **3.3. Población y muestra**

**Población:** La población, también denominada población objetivo, es la agrupación finita o infinita de varios elementos que previamente han sido catalogados por características específicas y comunes entre ellos, que facilitarán las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de la investigación. [12]

**Población:** Región Lambayeque

**Muestra:** La muestra es un subconjunto característico y finito que se extrae de la población accesible. En este sentido, una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer deducciones o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido. [12]

Para seleccionar la muestra se utiliza una técnica o procedimiento denominado muestreo. Existen dos tipos básicos de muestreo: probabilístico o aleatorio y no probabilístico.

**Muestra:** Distrito de Illimo

### **3.4. Operalización de variables**

#### **3.4.1. Variable independiente**

Son las causas que generan y revelan los cambios en la variable dependiente. En los diseños experimentales la variable independiente es el tratamiento que se aplica y manipula en el grupo experimental. [12]

### **3.4.2. Variable dependiente.**

Son aquellas que se modifican por acción de la variable independiente. Constituyen los efectos o consecuencias que se miden y que dan origen a los resultados de la investigación. [12]

Tabla 2 Operalización de variables que se encuentran en el proceso de extracción de miel

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidades
<b>Independiente</b> Diseño de una máquina centrifugadora de miel de abeja	Densidad	Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.	Kilogramos por metros cúbicos	kg/m <sup>3</sup>
	Velocidad	Acción óptima de la máquina centrifugadora.	Revoluciones por minuto	rpm
	Factor de diseño	Es una medida de seguridad relativa de un elemento bajo el efecto de una fuerza o carga	Nd	-
	Factor de seguridad	La capacidad máxima de un sistema	N	-
	Confiabilidad	Consiste en hacer una selección sensata de materiales, procesos y dimensiones (tamaño).	%	-
	Conducción	Es un proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso.	Calor	J/m <sup>2</sup>
	Convección	Es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas).	Calor	J/m <sup>2</sup>
	Propiedades mecánicas	Comportamiento de los materiales cuando están expuestos a esfuerzos mecánicos.	Aceros, otros	Mpa
	Resistencia eléctrica	Oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.	ohmios	Ω
	Tipos de máquinas centrifugadoras	Modelo de una máquina centrifugadora, de acuerdo al diseño.	Criterios de selección	-
	Potencia	Potencia necesaria para mover los elementos de la máquina.	Watt	W
<b>Dependiente</b> Producción de miel de abeja	Masa	Cantidad de materia contenido en los marcos.	Kilogramo	kg
	Tiempo	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento	Segundos	s
	Flujo másico	Variación de la masa con respecto al tiempo.	Kilogramo por hora	kg/h
	Valor actual neto	Indica el beneficio neto de los flujos obtenidos en el futuro.	VAN	S/.
	Tasa interna de retorno	Indica la tasa interna de retorno de los flujos generados menos la inversión inicial.	TIR	%

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según [12] las técnicas son particulares y específicas de una disciplina, por lo que sirven de mejoramiento al método científico, el cual posee una aplicabilidad general.

La aplicación de una respectiva técnica se basa en la adecuada elaboración de la información, que deberá ser almacenada en un medio adecuado, donde los datos puedan ser recuperados, procesados, desarrollados e interpretados posteriormente; esta información es obtenida a través del instrumento correspondiente a la técnica utilizada.

El instrumento de recolección de datos es cualquier formato, recurso o dispositivo ya sea de manera física o virtual que será utilizado para poder recopilar la información de manera oportuna.

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Según [14] una vez que los datos han sido recopilados y transferidos a una matriz, así como almacenados en un archivo, el investigador puede proceder a analizarlos.

En la actualidad el análisis de los datos se lleva a cabo por un ordenador, debido al volumen considerable de información que se debe recopilar, es importante apoyarse en un sistema de cómputo donde se registrará la información para su posterior análisis; esta modalidad es aplicada en instituciones educativas de nivel superior, entidades de investigación, los sindicatos u otros organismos que manejen una amplia data. [14]

Asimismo, el análisis de los datos recopilados es procesado mediante un software de computadora, debido a la misma complejidad de la información y el volumen que representa. El procedimiento de análisis se esquematiza en la Figura 11.

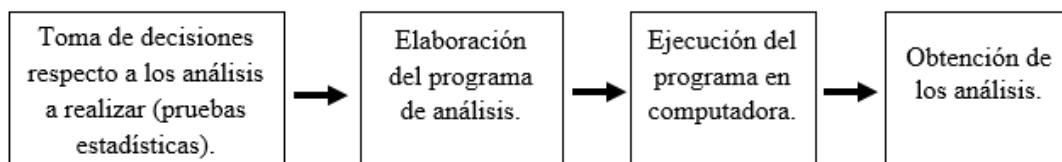


Figura 11 Procedimiento usual de análisis de los datos

Fuente: Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la investigación. 1<sup>er</sup> Ed. México 1991.

### 3.7. Resultados del diagnóstico

Resultados Obtenidos en el Censo de productores Apícolas en el Departamento de Lambayeque

Los resultados del trabajo de campo para el empadronamiento en los sectores seleccionados en la Región Agraria Lambayeque se presentan en los listados adjuntos.

En la Tabla 3, se muestra un extracto de la información obtenida por número de productores y número de colmenas, así como la respectiva producción de miel para el año 2007 respectivamente en cada provincia de la Región Lambayeque: [15]

Tabla 3 Resultados del Censo de productores Apícolas en la Región Lambayeque

Provincia	Número de Productores	%	Número de Colmenas	%	Producción de miel	%
Lambayeque	1 128	83	16 980	83	279 589	82
Chiclayo	97	7	1 439	7	23 680	7
Ferreñafe	131	10	2 072	10	38 247	11
Total	1 356	100	20 491	100	341 516	100

Fuente: Censo Apícola 2008

Edición: Elaboración propia

Según la tabulación de la información recogida en la operación del Censo Apícola, se ha determinado que existen 1 356 productores apícolas, distribuidos en las tres provincias de Lambayeque: correspondiendo un 83% de productores dentro de la provincia de Lambayeque, un 10% a la provincia de Ferreñafe y en un 7% a la provincia de Chiclayo.

Así mismo se halló que los productores apícolas cuentan con 20 491 colmenas, distribuidos en similar proporción que para el número de productores.

En cuanto a la producción mielífera para el año 2 007, se ha apreciado en 341 516 kilos de cuya producción el 82% corresponde a la provincia de Lambayeque, 11% a la provincia de Ferreñafe y un 7% a la provincia de Chiclayo. [15]

Tabla 4 Número de productores, colmenas y producción de miel Total, según Distrito

Región		Número de Productores	Número de Colmenas	Producción de miel 2007	%
Lambayeque					
Total		1 356	20 491	341 516	100
Lambayeque	Illimo	116	3 896	60 926	17,84
	Jayanca	84	1 288	20 480	6,00
	Lambayeque	2	22	439	0,13
	Pacora	85	1 097	33 741	9,88
	Salas	78	842	14 990	4,39
	Morrope	62	1 286	45 680	13,38
	Tucume	43	426	3 961	1,16
	Mochumi	19	426	6 386	1,87
	Motupe	187	2 355	33 840	9,91
	Chochope	9	92	614	0,18
	Olmos	443	5 250	58 532	17,14
Chiclayo	Tumán	13	261	4 303	1,26
	Patapo	1	30	170	0,05
	Pucala	3	35	597	0,17
	Monsefu	4	57	1 880	0,55
	Reque	5	42	1 810	0,53
	La Victoria	1	25	384	0,11
	Zaña	21	302	3 141	0,92
	Lagunas	33	309	5 548	1,62
	Cayalti	12	323	4 712	1,38
	Nueva Arica	1	20	160	0,05
	Chongoyape	3	35	975	0,29
Ferreñafe	Pitipo	125	1 991	37 157	10,88
	Mesones Muro	6	81	1 090	0,32

Fuente: Censo Apícola 2008

Edición: Elaboración propia

En la Tabla 4, se presentan los resultados del censo Apícola por número de productores, número de colmenas y su producción de miel correspondiente al año 2 007, según distritos; la mayor producción de miel se da en el distrito de Illimo con 60 926 kilos correspondiéndole el 17,84% de aporte a la producción de miel de la región, siguiéndole en importancia los distritos de Olmos y

Mórrope con producciones de 58 532 kilos y 45 680 kilos respectivamente con 17,14% y 13,38% de aporte a la producción Regional de miel.

Cabe indicar que el distrito de Olmos cuenta con 443 apicultores que corresponde al 32,67% de los productores apícolas de la Región y el distrito de Illimo tiene 116 productores que representa el 8,55% de productores, que por el buen manejo de la actividad apícola es que tienen el primer lugar en producción para el año 2 007, esto para la provincia de Lambayeque. [15]

### Resultados del Censo de Colmenas en Producción

Tabla 5 Colmenas en Producción por tipo, según Provincia

Agencia	Número de Productores	Número de Colmenas	Colmenas en producción	
			Rústicas	Estándar
Lambayeque	1 128	16 980	717	15 942
Chiclayo	97	1 439	205	847
Ferreñafe	131	2 072	56	2 016
Total	1 356	20 491	978	18 805

Fuente: Censo Apícola 2008

Edición: Elaboración propia

En la Tabla 5 se observa los resultados obtenidos en el trabajo de campo del Censo Apícola, de la cual se muestra que en la distribución a nivel de provincias de colmenas en producción se tienen 19 783 colmenas entre rústicas 5% y estándar 95% que representan el 97% de las colmenas existentes en la Región Lambayeque que son 20 491 colmenas. [15]

## Resultados del Censo de Asociados

Tabla 6 Productores ligados a una Asociación, según Provincia

Agencia	Número de Productores	Asociados			
		No	%	Si	%
Lambayeque	1 128	609	54%	519	46%
Chiclayo	97	78	80%	19	20%
Ferreñafe	131	39	30%	92	70%
Total	1 356	726	54%	630	46%

Fuente: Censo Apícola 2008

Edición: Elaboración propia

De la Tabla 6 podemos observar que a nivel de provincias, Ferreñafe cuenta con un 70% de productores asociados, mientras que Lambayeque tiene un 46% y Chiclayo tiene un 20% de productores que pertenecen a alguna asociación y es a través de ella que comercializan su producción.

En cuanto a nivel regional de los 1 356 apicultores censados se tiene que un 46% de ellos pertenecen a una asociación para comercializar su producción, y los 726 productores 54% no pertenecen a ninguna asociación. [15]

### **3.8. Análisis de precios de las principales marcas de miel de abeja en el mercado chiclayano.**

Según [16], señala: “la información de los precios de la miel de abeja en los principales Supermercados y tiendas naturistas en la Ciudad de Chiclayo se muestra en las siguientes tablas:”

“De acuerdo a la Tabla 7 en el Local “Metro” las marcas presentes son: Toyva, Dulce natura, Reyna de Oxapampa, Bree honey miel, Panalza y Miel de abeja Metro, quienes ofrecen el producto Miel de abeja natural, miel de abeja con polen y miel con maca. Las de mayor peso que prevalecen son de 500 gr. 300 gr. 600 gr. 750 gr. 157 gr y 1100 gr, el envase que mayor rotación tiene es el de frasco de vidrio en las diversas presentaciones en relación al envase de plástico el cual tiene menor presencia en dicho establecimiento. El precio promedio de 1100 grs de miel es de 35,99 Nuevos soles”, se muestra en [16].

Tabla 7 Precios de la miel en el supermercado Metro en la ciudad de Chiclayo

	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>	<b>Presentación</b>	<b>Volumen (gr)</b>	<b>Precio de venta</b>
<b>Metro</b>	Miel	Toyva	Bolsa c/ etiqueta	500	17,90
	Miel	Dulce natura	Frasco de vidrio	1100	35,99
	Miel	Dulce natura	Frasco de vidrio	300	11,40
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	750	25,99
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	600	21,70
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	500	20,70
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	300	13,10
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	175	8,90
	Miel	Toyva	Frasco de vidrio	500	16,40
	Miel	Toyva	Frasco de vidrio	250	9,40
	Miel	Miel de abeja Metro	Frasco de vidrio	600	19,60
	Miel	Miel de abeja Metro	Frasco de vidrio	300	12,20
	Miel	Bree Honey Miel	Frasco de vidrio	500	15,50
	Miel + Polen	Toyva	Bolsa c/ etiqueta	500	20,80
	Miel + Polen	Toyva	Bolsa c/ etiqueta	250	10,20
	Miel + Polen	Panalza	Frasco de vidrio	500	18,90
	Miel + Maca	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	500	19,80
	Miel + Maca	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	175	8,90

Fuente: Liliana Montenegro Gonzales. Estudio de viabilidad comercial para una marca de miel de abeja para la asociación de productores apícolas cruz verde del distrito de íllimo. Chiclayo 2015.

“Conforme a la Tabla 8 en el Supermercado “Plaza Vea” las marcas presentes son: Vita miel, Reyna de Oxapampa, Queen Bees, Bells, Santa María, Cosecha del paraíso, Granja San Francisco, La cabaña, Kata Gourmet, Toyva, quienes brindan el producto Miel de abeja natural, miel de abeja con polen y miel con maca. Las presentaciones que predominan son de 500 gr. 600 gr. 300 gr. 250 gr. 150 gr. 157 gr y 1100 gr, el envase que mayor rotación tiene es el de frasco de vidrio en las diversas presentaciones en relación al envase de plástico el cual tiene pequeña presencia en dicho establecimiento. El precio de kilo de la miel de abeja oscila entre 35,99 a 36,99 Nuevos soles”, como se demuestra en [16].

Tabla 8 Precio de la miel de abeja en el supermercado Plaza Vea en la ciudad de Chiclayo

Plaza Vea	Descripción	Marca	Presentación	Volumen (gr)	Precio de venta
	Miel	Vitamiel	Frasco de vidrio	500	20,80
	Miel	Vitamiel	Frasco de vidrio	600	18,99
	Miel	Vitamiel	Envase de plástico	500	14,30
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	1100	34,99
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	600	20,99
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	300	12,49
	Miel	Queen Bees	Frasco de vidrio	1000	35,99
	Miel	Queen Bees	Frasco de vidrio	600	21,99
	Miel	Queen Bees	Frasco de vidrio	500	21,90
	Miel	Bell's	Frasco de vidrio	600	18,99
	Miel	Bell's	Frasco de vidrio	300	11,99
	Miel	Bell's	Frasco de vidrio	175	8,20
	Miel	Santa María	Frasco de vidrio	1000	36,99
	Miel	Santa María	Frasco de vidrio	500	22,50
	Miel	Santa María	Frasco de vidrio	150	8,29
	Miel	Cosecha del paraíso	Frasco de vidrio	600	22,60
	Miel	Cosecha del paraíso	Frasco de vidrio	500	21,99
	Miel	Cosecha del paraíso	Frasco de vidrio	300	16,99
	Miel	Granja San Francisco	Frasco de vidrio	500	23,00
Miel	La Cabaña	Frasco de vidrio	500	19,40	
Miel	Kata Gourmet	Frasco de vidrio	1000	36,99	
Miel + Polen	Toyva	Bolsa c/ etiqueta	250	10,90	
Miel + Polen	Toyva	Frasco de vidrio	250	11,50	
Miel + Polen	Santa María	Frasco de vidrio	300	14,60	
Miel + Maca	Santa María	Frasco de vidrio	300	15,99	

Fuente: Liliana Montenegro Gonzales. Estudio de viabilidad comercial para una marca de miel de abeja para la asociación de productores apícolas cruz verde del distrito de íllimo. Chiclayo 2015.

“Acorde a la Tabla 9 en el Supermercado “Tottus” las marcas presentes son: Vitamiel, Reyna de Oxapampa, Queen Bees, Bells, Santa María, La abeja real, Abedulce, Olivos del sur, Miel Tottus, Dulcaña, Valle del Chira, Panalza, quienes dan el producto Miel de abeja natural, miel cremosa, miel de abeja con polen y miel con maca. Las promociones que influyen son de 500 gr. 600 gr. 400 gr. 450 gr. 960 gr. 1000 gr. 1100 gr. 1500 gr, el envase que mayor rotación tiene es el de recipiente de vidrio en las diversas presentaciones en relación al envase de plástico el cual tiene menor presencia en dicho establecimiento.

El precio de la presentación de 1000 gr varía entre 28,99 a 43,99 Nuevos soles”, como se demuestra en [16].

Tabla 9 Precio de la miel en el supermercado Tottus en la ciudad de Chiclayo

	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>	<b>Presentación</b>	<b>Volumen (gr)</b>	<b>Precio de venta</b>
<b>Tottus</b>	Miel	Vitamiel	Frasco de vidrio	1000	28,99
	Miel	Vitamiel	Frasco de vidrio	600	18,99
	Miel	Vitamiel	Envase de plástico	450	14,29
	Miel	Vitamiel	Frasco de vidrio	400	10,69
	Miel	Vitamiel	Envase de plástico	350	11,99
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	1100	37,80
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	750	26,60
	Miel	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	600	22,60
	Miel	Queen Bees	Frasco de vidrio	1000	31,50
	Miel	Queen Bees	Frasco de vidrio	600	19,00
	Miel	Queen Bees	Frasco de vidrio	450	16,00
	Miel	Santa María	Envase de plástico	1500	54,90
	Miel	Santa María	Frasco de vidrio	1000	38,49
	Miel	La Abeja Real	Frasco de vidrio	500	14,90
	Miel	La Abeja Real	Frasco de vidrio	300	8,50
	Miel	Abedulce	Frasco de vidrio	1100	34,99
	Miel	Abedulce	Frasco de vidrio	600	19,99
	Miel	Olivos del sur	Frasco de vidrio	600	18,85
	Miel	Olivos del sur	Frasco de vidrio	500	13,99
	Miel	Olivos del sur	Frasco de vidrio	280	10,50
	Miel	Tottus	Frasco de vidrio	960	29,90
	Miel	Dulcaña	Frasco de vidrio	500	20,20
	Miel	Valle del Chira	Envase de plástico	1000	43,99
	Miel	Panalza	Envase de plástico	500	13,20
	Miel Cremosa	Panalza	Envase de plástico	500	14,55
	Miel + Polen	Panalza	Envase de plástico	500	15,99
	Miel + Polen	La Abeja Real	Frasco de vidrio	500	12,99
	Miel + Maca	Panalza	Envase de plástico	500	15,99
Miel + Maca	Reyna de oxapampa	Frasco de vidrio	500	17,99	

Fuente: Liliana Montenegro Gonzales. Estudio de viabilidad comercial para una marca de miel de abeja para la asociación de productores apícolas cruz verde del distrito de íllimo. Chiclayo 2015.

### **3.9. Análisis general de resultados**

Se examinaron todos los datos obtenidos mediante la herramienta usada en este trabajo de investigación, donde se puede observar que la provincia que tiene mayor cantidad de colmenas es Lambayeque con un porcentaje de 69,5%, la cual está conformado con 678 productores agropecuarios. A nivel de distrito, Illimo cuenta con 17,84%, seguido del distrito de Olmos con un 17,14% y por último está el distrito de Morrope con un 13,38% de producción de miel de abeja, cabe aclarar que se ha tomado en cuenta los distritos con mayores porcentajes.

### **3.10. Propuesta**

La presente investigación propone el aumento de producción, por ello, la capacidad de acaparamiento de miel de abeja en el departamento de Lambayeque es de 341 516 kg/anual [17]; el cual se considera que en los últimos años el aumento es del 50% el cual es de 512 274 kg/anual, por lo cual se considera la capacidad de la máquina de 296 kg/h, con un funcionamiento de 6 hrs al día, 24 días al mes, durante todo el año para suplir la producción total.

Por lo tanto, dicha propuesta queda titulada como, diseño de una máquina centrifugadora, para la extracción de miel de abeja en Lambayeque con capacidad de 296 kg/h, para aumentar la producción del proceso de extracción. Asimismo, se debe tener en cuenta en un diseño eficiente.

### **3.11. Determinar los requerimientos de diseño**

#### **✓ Lugar**

El lugar o sitio donde va a operar la máquina tiene que ser lo más cercano al acopio de la extracción de miel de abeja, para que de este modo se agilice el proceso de extraer la miel de abeja de los marcos, ya que de lo contrario se malgastaría mucho tiempo.

✓ **Forma**

La forma tiene que ser la más adecuada, con esto se tiene un mejor funcionamiento de la máquina para la extracción de miel de abeja.

✓ **Capacidad**

La capacidad se determinó con la producción total que se obtuvo mediante la recolección de datos estadísticos, por lo cual la máquina debe ser de 296 kg/h.

✓ **RPM de la máquina**

Los rpms del motor se determinarán mediante cálculos para tener el principal funcionamiento de la máquina y así realizar un mejor proceso de extracción de la miel de abeja.

✓ **Material**

El tipo de acero a emplear será un acero inoxidable AISI 304, ya que está presente en la industria de los alimentos, las ventajas que este brinda durante el procedimiento son muy preponderantes para la elaboración de las comidas.

Por las consiguientes características se emplea este material en la industria alimentaria:

- Tiene una alta resistencia al deterioro, por efecto del ambiente.
- Fácil limpieza de la superficie.
- Gran variación de temperaturas.
- Máxima limpieza y elevado valor de eliminación de bacterias.

## IV. DISEÑO

### 4.1. Metodología de diseño

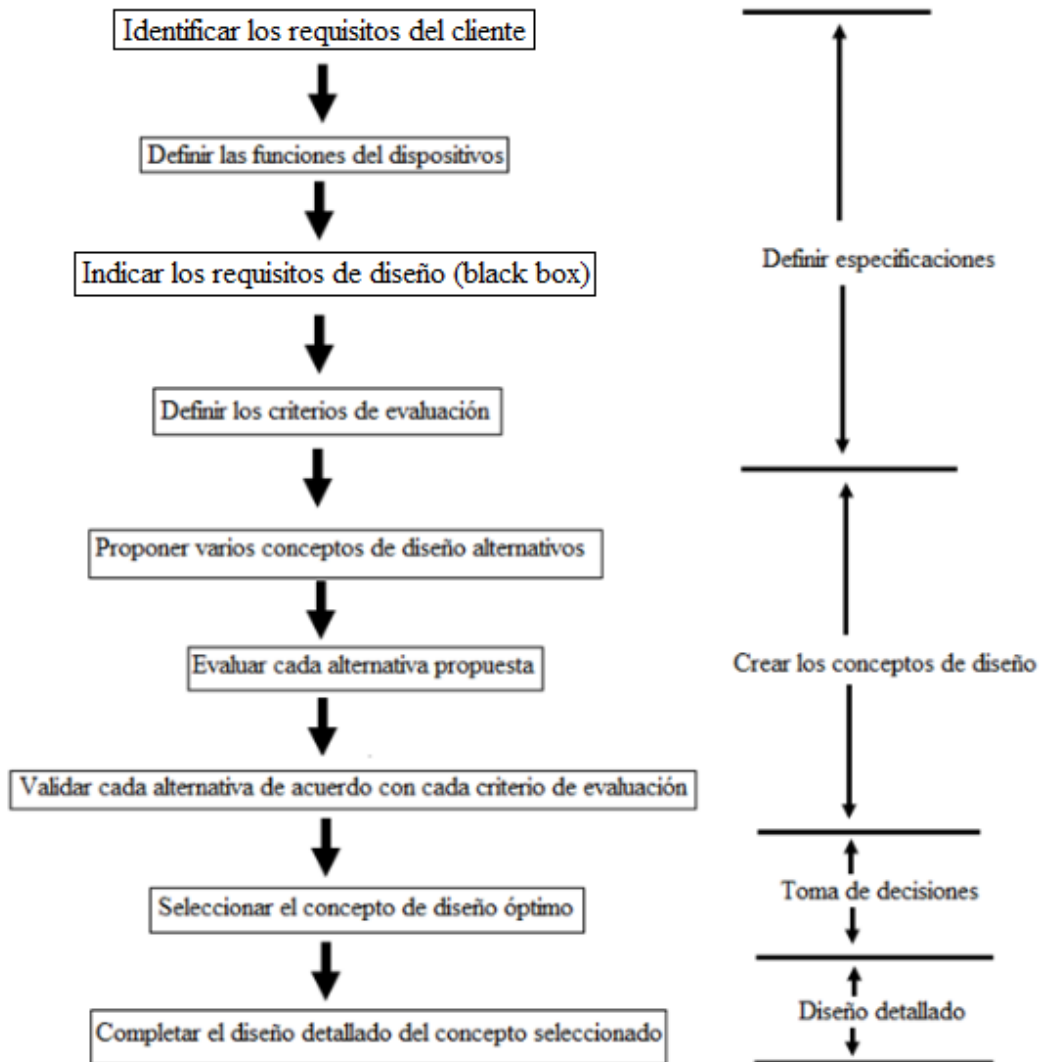


Figura 12 Pasos en el proceso de diseño

Fuente: Robert L. Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. 4<sup>ta</sup> Ed. México 2006.

### 4.2. Identificar los requisitos del cliente

La máquina extractora de miel de abeja debe contar con los siguientes requerimientos.

- ✓ Suministro de marcos sea manual, ya que debe facilitar la alimentación para la máquina extractora.
- ✓ Extracción rápida, ya que debe contar con una velocidad apropiada.
- ✓ Evacuación rápida de la miel, que tenga una resistencia eléctrica en la máquina extractora.
- ✓ Que la máquina no sea ruidosa.
- ✓ Capacidad para ocho marcos.
- ✓ Debe ser de un material saludable.
- ✓ La máquina no debe ser muy costosa.
- ✓ La máquina extractora tiene que estar ubicada en un lugar con suministro de energía eléctrica.

### 4.3. Requisitos de diseño

#### 4.3.1. Caja negra

Para representar la función de la máquina se realizará mediante una caja negra, en el cual se tienen que considerar tres medidas de entrada y de salida.



Figura 13 Caja negra

Fuente: Elaboración Propia.

Se define las entradas y salidas de: materia, energía y señales.

Entradas:

- Material: Marcos desoperculados (limpios)
- Energía: - Energía humana para suministrar a la máquina con materia prima.  
- Energía eléctrica para accionar el motor.
- Señal: Inicio de la máquina.

Salidas:

- Material: Miel limpia.
- Energía: - Energía humana para retirar la materia prima.

- Calor y vibraciones.

➤ Señal: Indicador de correcto funcionamiento de la máquina.

### **4.3.2. Funciones del dispositivo**

En esta etapa se buscan todas las funciones que la máquina a diseñar debe cumplir para llevar a cabo su función principal.

#### **4.3.2.1. Características de funcionalidad**

La máquina debe cumplir las siguientes funciones para una correcta operación.

##### **a. Alimentación**

Suministro de la materia prima (Marcos de miel de abeja desoperculados).

##### **b. Transmitir**

Medio por el cual se genera un torque para el movimiento del sistema.

##### **c. Extracción de miel**

Proceso en el cual se logra separar la miel de los marcos.

##### **d. Resistencia**

Es un componente que calienta las paredes de la máquina centrifugadora.

##### **e. Calentar miel**

Proceso en el cual se calienta la miel de abeja que se encuentra en las paredes de la máquina centrifugadora, la cual acelera la caída de la miel.

##### **f. Almacenar miel**

Recipiente de la miel de abeja.

#### 4.4. Funciones del dispositivo

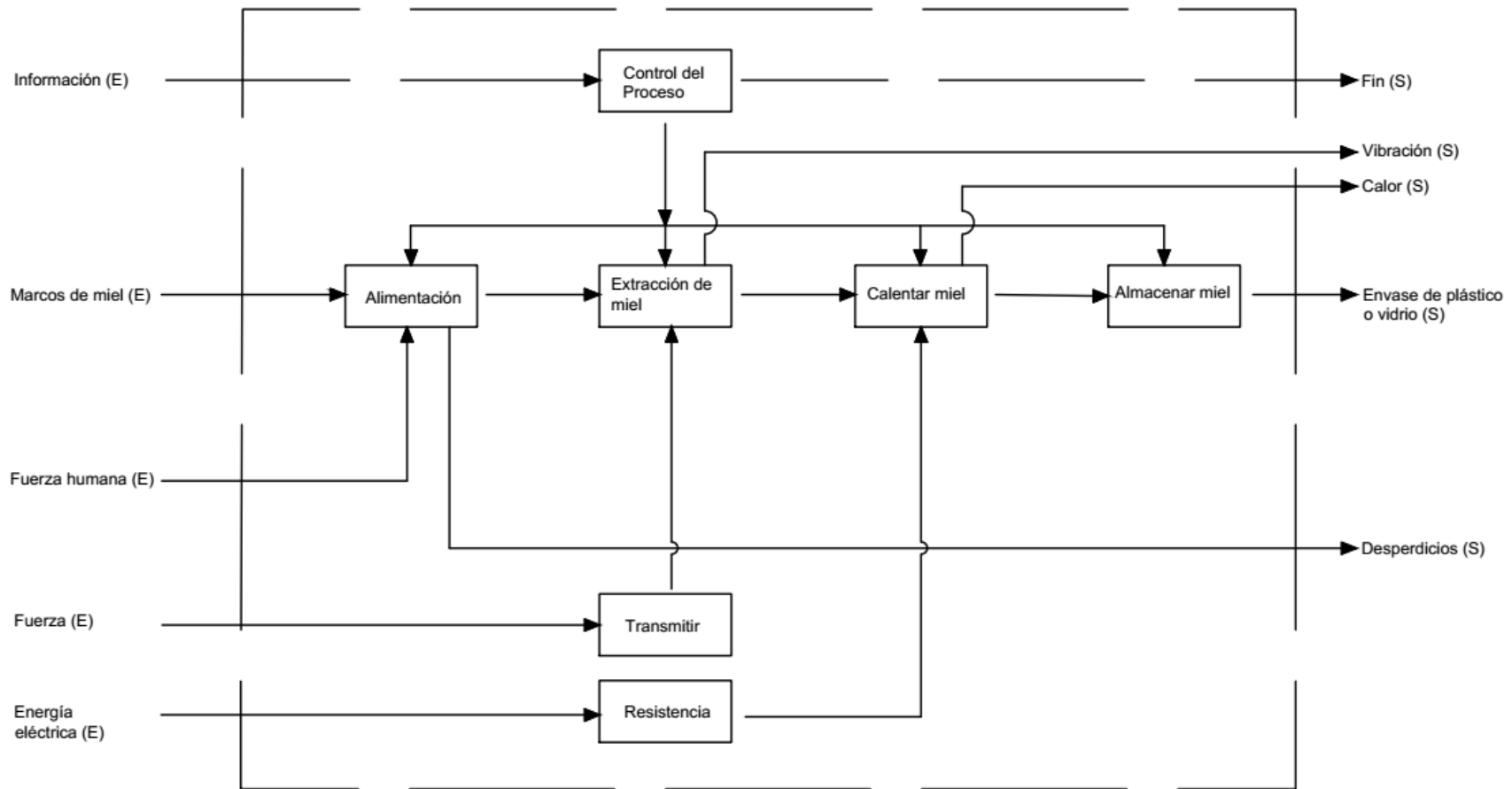


Figura 14 Funciones del dispositivo

Fuente: Elaboración Propia

## **4.5. Criterios de evaluación**

Para la selección de una de las cinco alternativas se consideran diez criterios de selección que más influencia representan en el diseño. Como se muestra a continuación:

### **4.5.1. Función**

Extracción de miel de abeja a una velocidad adecuada para que no dañe los marcos.

### **4.5.2. Diseño**

Para el diseño de la máquina centrifugadora tiene que tomarse en cuenta en cada solución la cantidad de partes que conforman dicha máquina.

### **4.5.3. Fabricación**

Que su fabricación se pueda manufacturar en talleres locales en donde se va a realizar el proceso de extracción, sin necesidad de técnicos calificados ni de equipos de gran precisión, empleando materiales de mercado nacional.

### **4.5.4. Materiales**

Los materiales a emplearse en la fabricación deben ser accesibles en el mercado nacional, sin contar con piezas importadas.

### **4.5.5. Temperatura**

La temperatura debe ser adecuada para disminuir la viscosidad de la miel de abeja.

### **4.5.6. Seguridad**

El diseño de la máquina debe contar con todas las medidas de seguridad para una mayor facilidad de operación con respecto al operario, cuidando de su integridad física.

#### **4.5.7. Confiabilidad**

Tiene que ver con la máquina o equipo desempeñe adecuadamente su funcionamiento durante un período bajo condiciones establecidas de operación.

#### **4.5.8. Tamaño**

Hace referencia al espacio que ocupará la máquina en el lugar de extracción de la miel de abeja, el cual no tiene que ser mayor que 1 m de longitud de altura.

#### **4.5.9. Transporte**

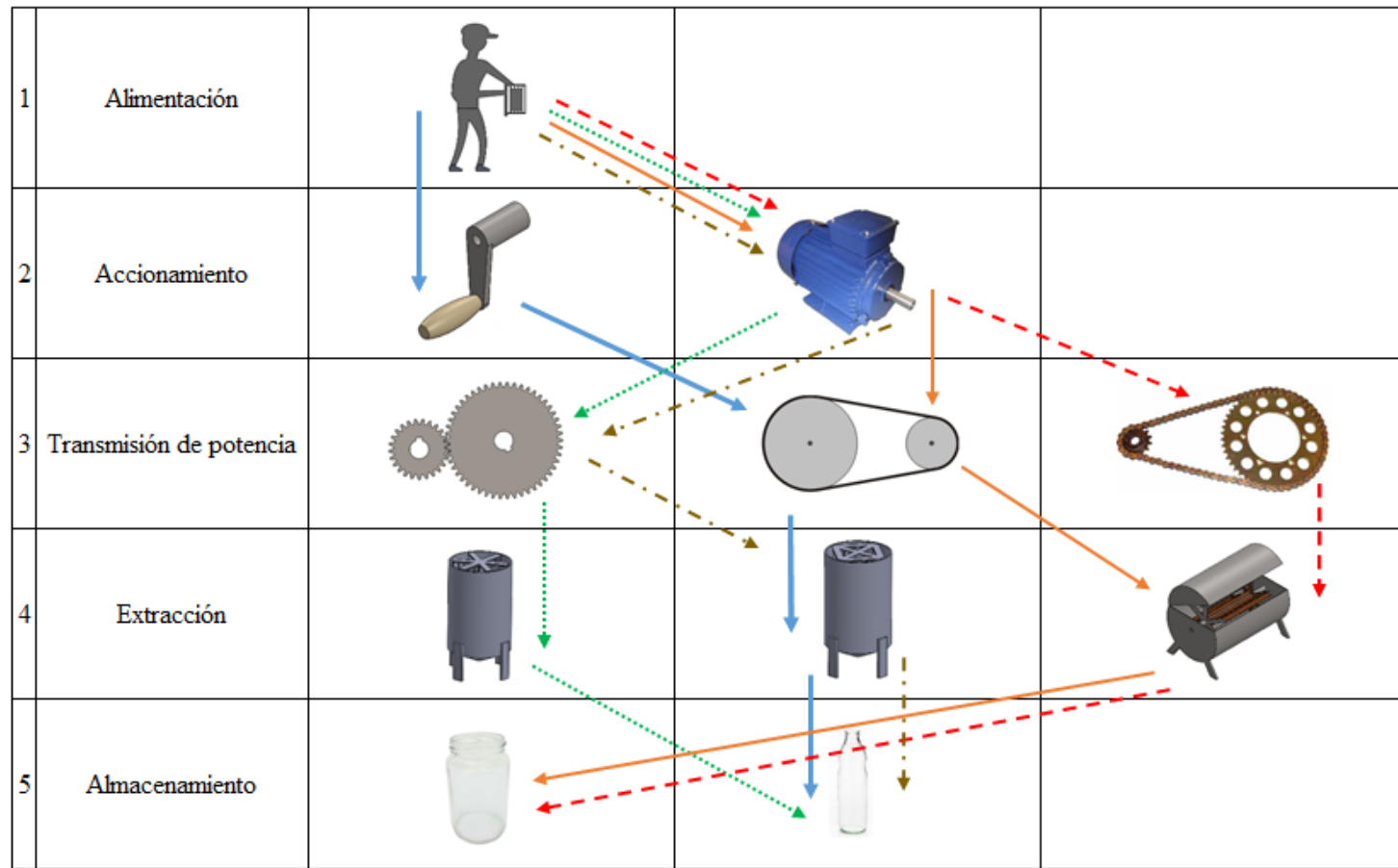
Debe ser transportable por dos o tres personas a través de un vehículo motorizado.

#### **4.5.10. Mantenimiento**

Para que la máquina dure el tiempo estimado con el cual fue diseñado, se tiene que realizar un mantenimiento adecuado con el equipo básico, para garantizar su correcto funcionamiento y poder realizarlo en cualquier taller, además de contar con repuestos del mercado nacional.

### **4.6. Matriz morfológica**

Para obtener la solución óptima del diseño hay diferentes procedimientos que se realizan como son los más convencionales, intuitivos y los complejos. En la presente investigación se mostrará una de las formas discursivas para poder obtener las soluciones con el apoyo de una representación ordenada designada matriz morfológica de Zwicky. A través de este procedimiento se va a desarrollar un sistema de soluciones para el problema dado, que se podrá visualizar por medio de flechas del mismo tipo. [18]



Tipo de línea	Concepto de solución
	1
	2
	3
	4
	5

Figura 15 Matriz Morfológica

Fuente: Elaboración Propia

## **4.7. Disposición básica**

Se demostrará a modo de representación de diferentes diseños la solución óptima elaborada a través de la matriz morfológica, para cada una de las cinco soluciones obtenidas. Para cada medida de solución son conocidas como concepto de solución, es una primera aproximación para conseguir el diseño final de acuerdo con los requerimientos. [18]

### **4.7.1. Concepto de solución 1 (C.S.1)**

La alimentación de los marcos de miel de abeja es de manera manual, el accionamiento será mediante un motor eléctrico, el cual accionará a un sistema de transmisión flexible (faja - polea). El proceso de extracción de miel de abeja se realiza mediante el giro de un eje circular que se encuentra ubicado en el centro del depósito de la máquina, que a su vez esta acoplado a un porta marcos, la cual tiene una configuración radial, que mediante la fuerza centrífuga se realiza la separación de la miel de abeja de los marcos, su posición de la máquina es horizontal y finalmente su almacenamiento es en un depósito de plástico.

### **4.7.2. Concepto de solución 2 (C.S.2)**

La alimentación de los marcos de miel de abeja es de manera manual, el accionamiento será mediante un motor eléctrico, el cual accionará a un sistema de transmisión flexible (cadena - piñón). El proceso de extracción de miel de abeja se realiza mediante el giro de un eje circular que se encuentra ubicado en el centro del depósito de la máquina, que a su vez esta acoplado a un porta marcos, la cual tiene una configuración radial, que mediante la fuerza centrífuga se realiza la separación de la miel de abeja de los marcos, su posición de la máquina es horizontal y finalmente su almacenamiento es en un depósito de plástico.

### **4.7.3. Concepto de solución 3 (C.S.3)**

La alimentación de los marcos de miel de abeja es de manera manual, el accionamiento será mediante un motor eléctrico, el cual accionará a un sistema de transmisión de potencia mediante engranes. El proceso de extracción de miel

de abeja se realiza mediante el giro de un eje circular que se encuentra ubicado en el centro del depósito de la máquina, que a su vez esta acoplado a un porta marcos, la cual tiene una configuración radial, que mediante la fuerza centrífuga se realiza la separación de la miel de abeja de los marcos, su posición de la máquina es vertical y se le adicionará una resistencia eléctrica para disminuir la viscosidad de la miel de abeja, finalmente su almacenamiento es en un depósito de vidrio.

#### **4.7.4. Concepto de solución 4 (C.S.4)**

La alimentación de los marcos de miel de abeja es de manera manual, el accionamiento será mediante un operario que accionara una manivela, el cual accionará a un sistema de transmisión flexible (faja – polea). El proceso de extracción de miel de abeja se realiza mediante el giro de un eje circular que se encuentra ubicado en el centro del depósito de la máquina, que a su vez esta acoplado a un porta marcos, la cual tiene una configuración tangencial, que mediante la fuerza centrífuga se realiza la separación de la miel de abeja de los marcos, su posición de la máquina es vertical y se le adicionará una resistencia eléctrica para disminuir la viscosidad de la miel de abeja, finalmente su almacenamiento es en un depósito de vidrio.

#### **4.7.5. Concepto de solución 5 (C.S.5)**

La alimentación de los marcos de miel de abeja es de manera manual, el accionamiento será mediante un motor eléctrico, el cual accionará a un sistema de transmisión de potencia mediante engranes. El proceso de extracción de miel de abeja se realiza mediante el giro de un eje circular que se encuentra ubicado en el centro del depósito de la máquina, que a su vez esta acoplado a un porta marcos, la cual tiene una configuración tangencial, que mediante la fuerza centrífuga se realiza la separación de la miel de abeja de los marcos, su posición de la máquina es vertical y se le adicionará una resistencia eléctrica para disminuir la viscosidad de la miel de abeja, finalmente su almacenamiento es en un depósito de vidrio.

#### 4.8. Evaluación de los conceptos de solución

Se presenta la evaluación de los conceptos de solución en dos tablas, Tabla 10 y Tabla 11, una evaluando únicamente la parte técnica y la otra la parte económica.

Tabla 10 Evaluación técnica del concepto de solución

DISEÑO MECÁNICO-EVALUACIÓN DE PROYECTOS													Área de Diseño	
Valor Técnico (xi)														
Proyecto: DISEÑO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA, PARA LA EXTRACCIÓN DE MIEL DE ABEJA EN LAMBAYEQUE														
<p><b>p:</b> Puntaje de 0 a 4                      0 = No satisface, 1= Casi Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)  <b>gp:</b> El peso ponderado está función de los criterios de evaluación</p>														
Criterios de evaluación para diseño en fase de conceptos ó proyectos														
Variantes de Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución 5		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	3	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Diseño	4	3	12	2	8	3	12	3	12	3	12	4	16
3	Fabricación	3	4	12	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
4	Materiales	4	3	12	3	12	4	16	3	12	4	16	4	16
5	Temperatura	3	4	12	2	6	4	12	2	6	4	12	4	12
6	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
7	Confiabilidad	4	4	16	4	16	3	12	3	12	4	16	4	16
8	Tamaño	3	4	12	3	9	4	12	3	9	3	9	4	12
9	Transporte	4	3	12	3	12	4	16	2	8	4	16	4	16
10	Mantenimiento	4	2	8	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16
Puntaje máximo $\Sigma p$ ó $\Sigma g.p$		35	33	114	29	102	34	119	28	98	34	120	40	140
Valor Técnico xi		-	0,81		0,73		0,85		0,70		0,86		-	
Orden de selección		-	3		4		2		5		1		-	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11 Evaluación económica del concepto de solución

DISEÑO MECÁNICO-EVALUACIÓN DE PROYECTOS													Área de Diseño	
Valor Económico (yi)														
Proyecto: DISEÑO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA, PARA LA EXTRACCIÓN DE MIEL DE ABEJA EN LAMBAYEQUE														
<p><b>p:</b> Puntaje de 0 a 4                      0 = No satisface, 1= Casi Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)</p> <p><b>gp:</b> El peso ponderado está función de los criterios de evaluación</p>														
Criterios de evaluación para diseño en fase de conceptos ó proyectos														
Variantes de Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución 5		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	3	3	9	3	9	4	12	4	12	3	9	4	12
2	Diseño	4	4	16	2	8	3	12	2	8	3	12	4	16
3	Fabricación	3	3	9	2	6	3	9	2	6	3	9	4	12
4	Materiales	3	2	6	3	9	2	6	3	9	2	6	4	12
5	Temperatura	2	3	6	2	4	3	6	2	4	3	6	4	8
6	Seguridad	3	3	9	2	6	2	6	3	9	3	9	4	12
7	Confiabilidad	4	1	4	3	12	3	12	2	8	2	8	4	16
8	Tamaño	3	3	9	3	9	2	6	3	9	3	9	4	12
9	Transporte	4	2	8	2	8	2	8	1	4	3	12	4	16
10	Mantenimiento	3	1	3	2	6	2	6	2	6	2	6	4	12
Puntaje máximo $\Sigma p$ ó $\Sigma g.p$		32	25	79	24	77	26	83	24	75	27	86	40	128
Valor Económico yi		-	0,62		0,60		0,65		0,59		0,67		-	
Orden de selección		-	3		4		2		5		1		-	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de esta evaluación se muestran gráficamente en la Tabla 12, en el cual se da a conocer la alternativa que tenga el mayor valor técnico o económico y el mayor balance técnico-económico. La alternativa que se acerca más al valor ideal es la solución 5.

Tabla 12 Evaluación de conceptos de solución

	C.S.1	C.S.2	C.S.3	C.S.4	C.S.5	Solución ideal
Valor Técnico xi	0,81	0,73	0,85	0,70	0,86	1,00
Valor Económico yi	0,62	0,60	0,65	0,59	0,67	1,00

Fuente: Elaboración Propia

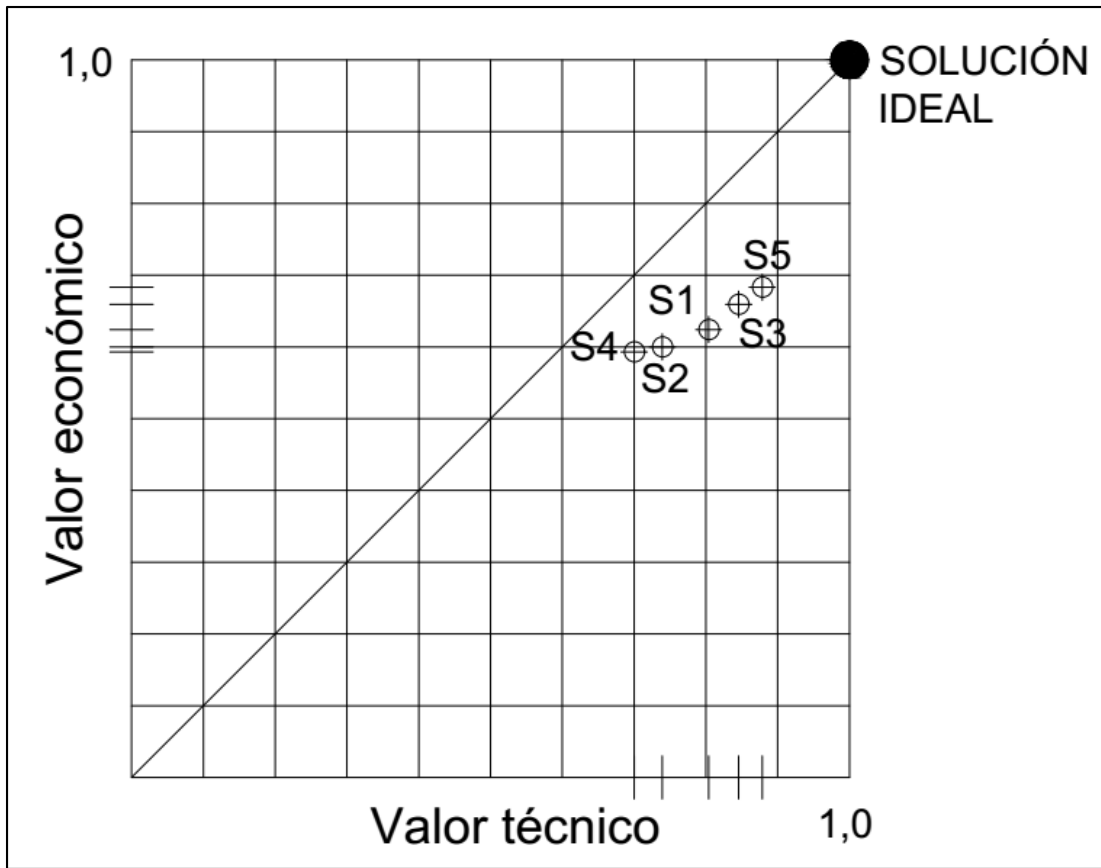


Figura 16 Diagrama de evaluación final del concepto de solución óptimo

Fuente: Elaboración Propia

## V. CÁLCULO

5.1. Dimensionamiento de los componentes de la máquina según los requerimientos de diseño

Para calcular la viscosidad de la miel de abeja se utilizó el protocolo de ensayo (Anexo\_A 1), de lo cual se obtuvo la Tabla 13:

Tabla 13 Viscosidad de la miel de abeja

Item	Temperatura	Tiempo de caída de la esfera (s)			Viscosidad (kg/m.s)			Viscosidad promedio $\mu$
		t1	t2	t3	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	
1	18 °C	28,51	17,83	19,62	1,86E+04	1,16E+04	1,28E+04	1,43E+04
2	27 °C	19,45	13,62	14,15	1,27E+04	8,87E+03	9,21E+03	1,02E+04
3	39 °C	2,54	3,71	3,61	1,65E+03	2,42E+03	2,35E+03	2,14E+03
4	55 °C	0,85	0,91	0,95	5,53E+02	5,92E+02	6,19E+02	5,88E+02

Fuente: Elaboración Propia

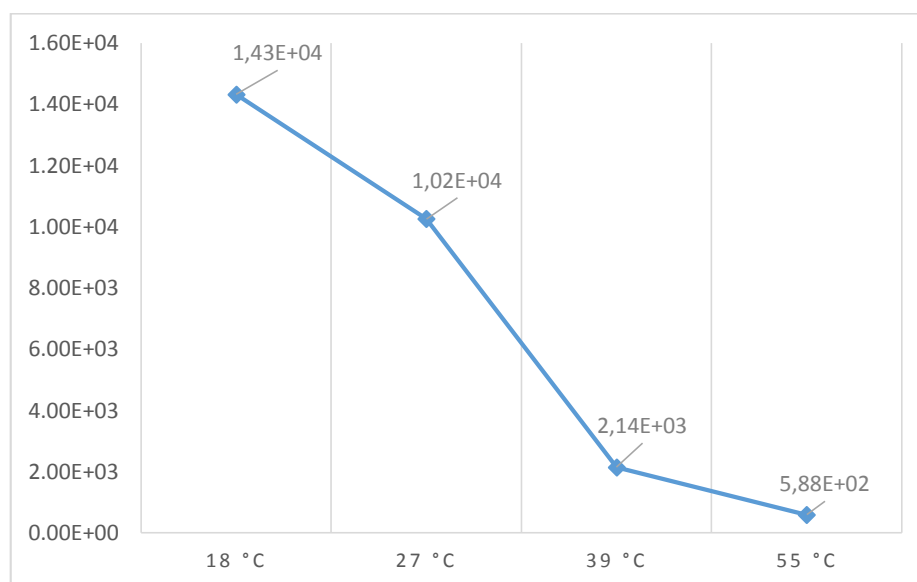


Figura 17 Viscosidad vs Temperatura de la miel de abeja

Fuente: Elaboración Propia

Según el Ministerio de Agricultura [17] en el departamento de Lambayeque los marcos más usados son la estándar o americana y tiene las siguientes dimensiones: 50 cm x 44 cm x 23 cm.

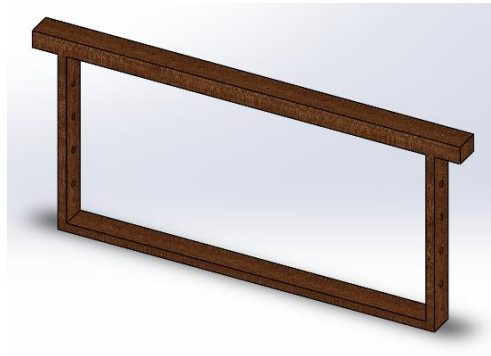


Figura 18 marco langstroth

Fuente: Elaboración Propia

Sánchez (2017) nos indica que por cada marco se extrae entre 2,5 - 4 kg de miel de abeja, por lo tanto, se determinará un promedio de 3,25 kg.

### 5.2. Cálculo del volumen de miel de abeja en la máquina extractora.

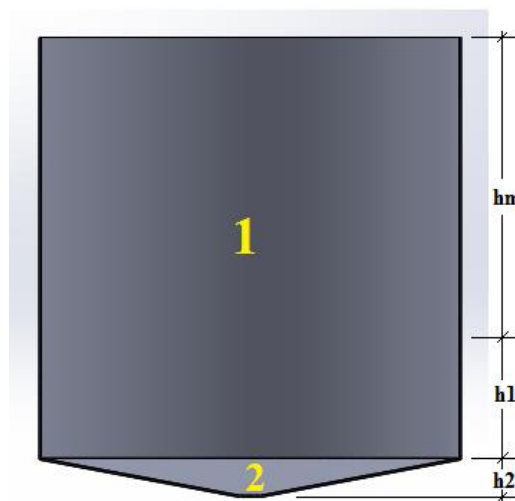


Figura 19 Vista 2D de la máquina

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14 Cuadro de resultados del cilindro y del cono de la máquina

Parte	Radio (m)	Altura (m)	Volumen (l)
1	0,37	0,03	12,9
2	0,37	0,05	7,2

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 14 se puede observar que  $h_2$  es la altura del cono, el cual tiene una capacidad de 7,2 litros;  $h_1$  es la altura del cilindro con una capacidad de 12,9 litros;  $h_m$  es la altura del marco que contiene la miel de abeja.

### 5.3. Criterios de selección de motor eléctrico

#### - Lugar de instalación

Según la norma IEC 60034-1 [19], las condiciones habituales de servicio son:

- Altitud no superior a 1 000m sobre el nivel del mar.
- Medio refrigerante (en la mayoría de los casos aire del ambiente) con temperatura no exceda los 40 °C, y libre de elementos perjudiciales.

#### - Condiciones de instalación (grado de protección)

De acuerdo con la norma IEC 60034-5 [20], el grado de protección de una máquina eléctrica girante es compuesto por las letras IP; son las siglas en inglés de “Protección internacional” ('International Protection') y establece el grado de protección (mecánico) o de encerramiento del motor. Viene seguido de dos cifras características, la primera de ellas indica la protección contra el ingreso de cuerpos sólidos y la segunda, la protección contra el ingreso de líquidos.

Los siguientes son los más comunes:

- ❖ IP 21: protegido frente a contacto con los dedos, contra ingreso de cuerpos sólidos mayores que 12 mm y contra gotas verticales de agua.
- ❖ IP 22: protegido contra contacto con los dedos, contra ingreso de cuerpos sólidos mayores que 12 mm y contra gotas de agua hasta una inclinación de 15° la vertical.
- ❖ IP 55: protegido completamente contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorros de agua en todas las direcciones.

#### - La carga

Según [21], la carga se define mediante la potencia y velocidad del motor. En la gran mayoría de aplicaciones, el motor puede atender cualquier carga en su eje. Estos puntos nos ayudan a definir cómo será el comportamiento dinámico del motor con su máquina de trabajo. Es ideal conocer las condiciones de la carga durante la especificación del motor, pues el comportamiento varía, dependiendo de esta.

#### - La red

Las características de la red de suministro son la tensión de servicio, la frecuencia, la corriente y el número de fases disponibles, lo cual depende de la forma de suministro de la energía eléctrica: muchas veces proviene de un concesionario, otras, del propio

usuario pudiendo ser éste una fábrica o una casa. En América, la tensión normalizada es 60 Hz. [22]

- El arranque

Uno de los momentos más críticos para el motor, la red y la carga es el arranque. Por sus características propias, el motor consume durante el arranque una corriente que puede oscilar entre cinco y ocho veces la corriente nominal. El arranque es el periodo en el que el motor hace la transición desde su estado de reposo hasta su velocidad de régimen. [21]

Existen los siguientes tipos de arranque:

Directo: el motor tendrá una corriente de arranque normal (hasta ocho veces la corriente nominal) y un par de arranque normal.

- Potencia y eficiencia del motor

Un motor eléctrico es una máquina que transforma la potencia eléctrica suministrada de la red en energía mecánica en el eje. [21]

La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación, donde “P” es la potencia en kilowatts; “V”, el voltaje o tensión en volts; “I”, la corriente en amperes, y “Cos  $\phi$ ”, el factor de potencia.

Según [23], la eficiencia es la medida (porcentaje) para convertir la potencia eléctrica que toma de la red en potencia mecánica útil.

#### 5.4. Cálculo de la potencia

El principal parámetro que se debe de tener en cuenta dentro del proceso de la elaboración de la centrifugación es la velocidad de giro del porta marcos. Debido a que, en el estado de arte, los antecedentes presentados asumen una velocidad estándar no justificada. Por lo tanto, en esta investigación se procedió mediante un método de investigación de campo, el cual se realizó con la ayuda de un instrumento (Anexo\_A 2).

En dicho anexo se puede visualizar mediante el uso de un tacómetro digital la velocidad de giro del eje, el cual es de 87 rpm.

Antes de empezar con el dimensionamiento de los componentes de la máquina, se tendrá que llevar a cabo la selección del motor que suministrará la potencia, lo cual se necesita saber la potencia que el sistema necesita, esto se logra con la siguiente ecuación:

Ecuación 13: Potencia

$$P = T\omega$$

Donde:

$P = potencia [W]$

$T = torque [N.m]$

$\omega = velocidad angular [rad/s]$

El torque viene dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 14: Torque

$$T = I * \alpha$$

Donde:

$I = momento de inercia [kg.m^2]$

$\alpha = aceleración angular [rad/s^2]$

Para obtener el momento de inercia se puede llevar a cabo con la ayuda del software Solidworks 2016, cuyo valor es el siguiente: 5,168 kg.m<sup>2</sup>

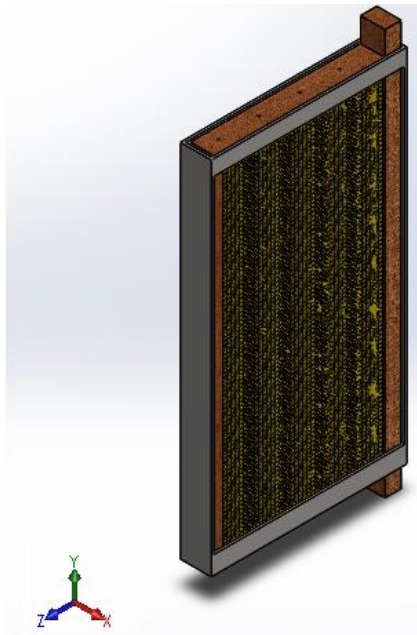


Figura 20 Esquema de la estructura en SolidWorks

Fuente: Elaboración Propia

Se consideró el tiempo óptimo para el proceso de extracción de 300 segundos.

La aceleración angular está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 15: Aceleración angular

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = \frac{87 \text{ rev/min}}{300 \text{ seg}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} = 0,030 \text{ rad/seg}^2$$

Ahora que se tiene los valores del momento de inercia y de la aceleración angular, se pueden sustituir en la Ecuación 14:

$$T = I * \alpha$$

$$T = 5,168 \text{ kg.m}^2 * 8 * 0,030 \text{ rad/seg}^2$$

$$T = 1,24 \text{ N.m}$$

Teniendo el valor del torque y de la velocidad angular, se puede calcular la potencia que necesita el sistema, reemplazando dichos valores en la Ecuación 13:

$$P = T\omega$$

$$P = 1,24 \text{ N.m} * 87 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}}$$

$$P = 11,29 \text{ watts}$$

$$P = 11,29 \text{ watts} * \frac{1 \text{ hp}}{745,7 \text{ watts}}$$

$$P = 0,015 \text{ hp}$$

Las potencias en este tipo de máquinas suelen ser bajas ya que no se requiere de mucha fuerza para dicho proceso, por tal caso se procederá a seleccionar el motor de potencia inmediato superior al calculado.

Se seleccionó un motorreductor de la marca SEW – EURODRIVE (Anexo\_B 3), con las siguientes características:

Velocidad de entrada = 1400 RPM

Velocidad de salida = 88 RPM

Par nominal de salida = 85 N.m

Potencia nominal = 0,372 kW

Masa = 5 kg

De igual forma, ya viene diseñado el motor eléctrico capaz de responder a la carga del reductor, lo que importa es conocer su voltaje, amperaje, frecuencia y las fases necesarias para su operación; las cuales son:

Voltaje = 380 V

Amperaje = 0,82 A

Fases = 3Ø

Frecuencia = 60 Hz

Factor de potencia = 0,81

De las características anteriores, se seleccionó el sistema de fuerza y control eléctrico del motor, utilizando el Anexo\_B 3, el cual está conformado por,

- ✓ 01 Guardamotor magneto térmico 3φ de 220/440 V 0,5 Hp con Regulación de 0,63 - 1 A Corriente de corte >100 kA.
- ✓ 01 Contactor 3φ de 440 V 0,5 Hp 1NA+1NC Alimentación de bobina 220 Vac.
- ✓ 01 Pulsador de paro, pulsador rojo 1NA + 1NC.
- ✓ 01 Pulsador de marcha, pulsador verde 1NA + 1NC.
- ✓ 01 Lámpara de señalización verde, alimentación 220 Vac.
- ✓ 01 Lámpara de señalización roja, alimentación 220 Vac.

### 5.5. Diseño del eje

Datos de la potencia y velocidad óptima:

Potencia total de la máquina:  $0,5 \text{ hp} \cong 372,5 \text{ W}$

Velocidad optima de rotación:  $88 \text{ rpm} \approx 9,215 \text{ rad/s}$

Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304, se puede visualizar en (Anexo\_C 1), sus principales propiedades son:

Resistencia al punto de fluencia (Sy):  $40\,000 \text{ psi} \approx 276 \text{ MPa}$

Resistencia a la tensión (Sut): 82 400 psi  $\approx$  568 MPa

Factor de diseño (N): 2

5.5.1. Torque ejercido en el eje:

Ecuación 16: Torque ejercido en el eje

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

$$T = \frac{372,5 \text{ W}}{9,215 \text{ rad/s}} = 40,42 \text{ N.m}$$

5.5.2. Cálculo de las cargas que se tienen sobre el eje

Diagrama de cuerpo libre: Al analizar el eje, es conveniente hacer diagramas de cuerpo libre para hallar las fuerzas que actúan sobre el eje.

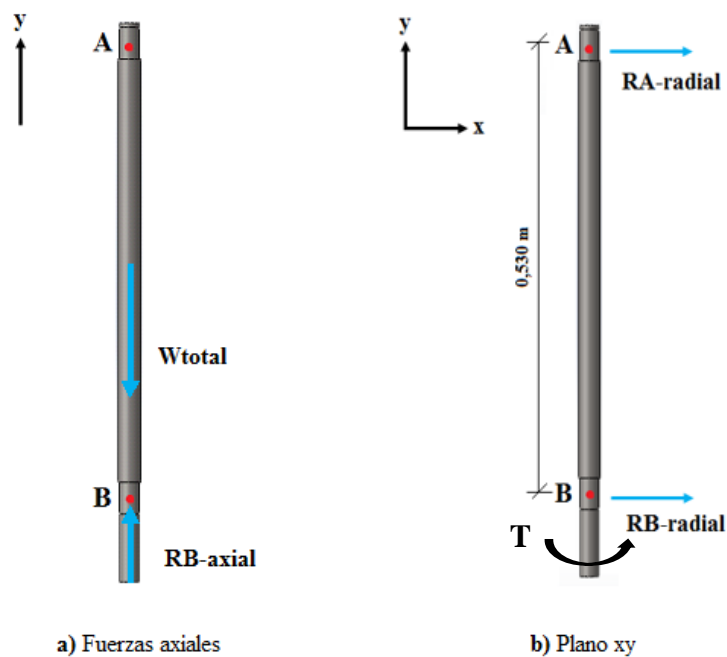


Figura 21 Diagramas de cuerpo libre de fuerzas axiales y transversales

Fuente: Elaboración Propia

De la se Figura 21, observa el diagrama de cuerpo libre del eje, siendo RA-radial y RB-radial, las cargas radiales de los rodamientos A y B, respectivamente, y RB-axial, la carga axial del rodamiento B. Wtotal el peso total considerado, finalmente el torque ejercido en un extremo.

El peso total, Wtotal, es equivalente a:

$$W_{total} = W_m$$

Donde:

$W_{total}$  = Peso total

$W_m$  = Peso de los 8 cuadros

$$W_{total} = 9,81 \frac{m}{s^2} (8 * 4,841 kg)$$

$$W_{total} = 379,92 N$$

Observando el diagrama de cuerpo libre de la Figura 21, se cumple que:

Ecuación 17: Sumatoria de fuerzas en el eje y

$$\sum F_y = 0$$

$$RB_{axial} - W_{total} = 0$$

$$RB_{axial} = W_{total} = 379,92 N$$

Ecuación 18: Sumatoria de fuerzas en el eje x

$$\sum F_x = 0$$

$$RA_{radial} + RB_{radial} = 0$$

$$RA_{radial} = -RB_{radial}$$

$$RA_{radial} = -76,26 N$$

Ecuación 19: Sumatoria de momentos en el punto A

$$\sum M_A = 0$$

$$RB_{radial}(0,530 m) + 40,42 N \cdot m = 0$$

$$RB_{radial} = 76,26 N$$

### 5.5.3. Análisis estático

Vanegas, dice que el análisis estático de un eje consiste en verificar que éste no fallará inmediatamente después de aplicar ciertas cargas. Además, se efectúa para comprobar su resistencia estática a las cargas nominales.

Para un eje dúctil y uniforme de sección transversal circular sólida, se calcula el diámetro, por medio de la Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico TECO/von Mises:

Ecuación 20: Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico TECO/von Mises

$$d_e = \left[ \frac{16N}{\pi S_y} (3T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d_e = \left[ \frac{16 * 2}{\pi * 276 \text{ MPa}} (3(40,42)^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d_e = 0,01372 \text{ m} \approx 13,72 \text{ mm}$$

Con esta ecuación de diseño, se obtuvo un diámetro de = 13,72 mm, el cual debe ser el mínimo que debe tener el eje. Se comprueba que el árbol soportará las cargas nominales a las cuales estará sometido.

#### 5.5.4. Análisis de fatiga

Los árboles deben tener la capacidad de soportar las cargas normales de trabajo y las cargas eventuales máximas, durante la vida esperada. Soportan cargas variables y, por lo tanto, se debe verificar la resistencia del árbol a la fatiga y a las cargas dinámicas, estas últimas producidas durante el arranque del equipo.

Para este análisis se utilizará el procedimiento propuesto por el libro de Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley.

Según Shigley los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga es:

Ecuación 21: Ecuación de Marin

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

Donde:

$k_a$  = Factor de superficie

$k_b$  = Factor de tamaño

$k_c$  = Factor de carga

$k_d$  = Factor de temperatura

$k_e$  = Factor de confiabilidad

$k_f$  = Factor de modificación de efectos varios

$S'_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Ahora se procederá a calcular cada uno de los factores que intervienen en la ecuación de Marín.

Ecuación 22: Factor de superficie

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Los valores de a y b se encuentran en la Tabla 15:

Tabla 15 Factor de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	Sut (kpsi)	Sut (MPa)	b
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272	-0,995

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley

$$k_a = aS_{ut}^b$$

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

Factor de tamaño  $k_b$

Para poder determinar el factor de tamaño  $k_b$  se debe tener en cuenta primero el diámetro teórico.

Ecuación 23: Factor de tamaño

$$k_b = \begin{cases} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91d^{-0,157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7,62)^{-0,107} = 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley

$$k_b = \left(\frac{13,72}{7,62}\right)^{-0,107} = 0,939$$

Factor de carga  $k_c$

Este factor depende del funcionamiento de la máquina va a realizar, ya sea, por flexión rotatoria, axial y de torsión. Dichos valores se pueden observar en la Ecuación 24:

Ecuación 24: Factor de modificación de la carga

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley

El eje de la máquina va a estar sometido a torsión, por lo tanto, el factor de modificación de la carga es de 0,59.

$$k_c = 0,59$$

Factor de temperatura  $k_d$

Como la máquina va a operar a temperatura ambiente.

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad  $k_e$

El diseño de la máquina tendrá un factor de confiabilidad del 90%.

$$k_e = 0,90$$

Factor de modificación de efectos varios  $k_f$

Como no hay condiciones, el factor de modificación de efectos varios será de:

$$k_f = 1$$

Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria  $S'_e$

$$S'_e = 0,5 * S_u = 0,5 * 568 \text{ MPa} = 284 \text{ MPa}$$

Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso  $S_e$

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

$$S_e = (0,839)(0,939)(0,59)(1)(0,90)(1)(284) = 118,81 \text{ MPa}$$

$$T_{max} = 40,42 \text{ N.m}$$

$$T_{min} = 0 \text{ N.m}$$

$$T_a = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = \frac{40,42 + 0}{2} = 20,21 \text{ N.m}$$

$$T_m = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} = \frac{40,42 - 0}{2} = 20,21 \text{ N.m}$$

Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la torsión: para este factor se toma como diámetro de 25,4 mm y 20 mm por el cambio de geometría. El radio de muesca se considera como 1 mm para los cálculos.

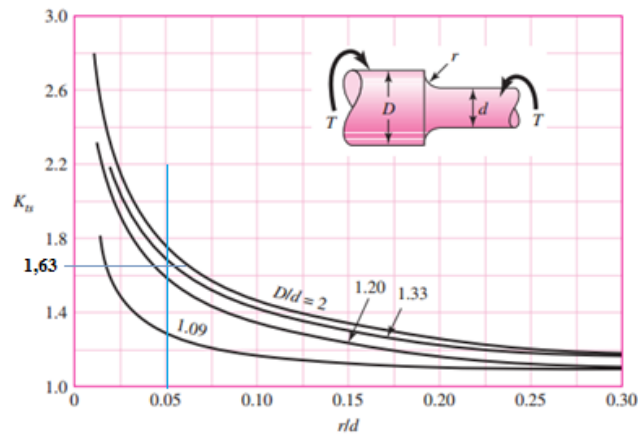


Figura 22 Factor Kts

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley

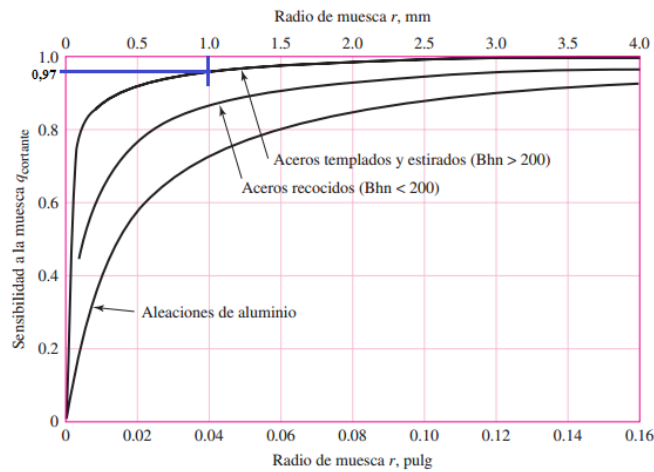


Figura 23 sensibilidad a la muesca q\_cortante

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0,97(1,63 - 1)$$

$$K_{fs} = 1,61$$

Aplicando el criterio de ED-Goodman se puede calcular el diámetro:

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 3(K_{fs}T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 3(K_{fs}T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = \left( \frac{16 * 2}{\pi} \left\{ \frac{1}{118,81 * 10^6 Pa} \left[ 3(1,61 * 20,21 N.m)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{568 * 10^6 Pa} \left[ 3(1,61 * 20,21 N.m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = 0,01801 m \cong 18,01 mm$$

Una vez realizado el cálculo del diámetro del eje aplicando el criterio de diseño ED-Goodman, el diámetro para la máquina es de 18,01 mm, el diámetro comercial que se seleccionó es de 25,4 mm (Ver Anexo\_B 2), este diámetro que se seleccionó en cuanto al calculado se debe a que el eje va a estar acoplado con otros componentes y por motivos también de maquinado se hizo la respectiva selección.

## 5.6. Selección del acoplamiento

### 5.6.1. Factor de servicio

Para realizar una adecuada selección del acoplamiento, se determina el factor de servicio requerido; la cual se observa en la Figura 24.

De acuerdo a lo anteriormente descrito el factor de servicio es de 1,3.

		Tipo de unidad de motriz					
		Motores eléctricos y turbinas de vapor			Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas		
		Horas de servicio por día			Horas de servicio por día		
		<10	10-16	>16	<10	10-16	>16
Liviano	Agitadores/Mezcladores (líquidos), cintas transportadoras (carga uniforme), ventiladores y aspiradores, bombas centrífugas y compresores, ventiladores (menos de 7,5 kW)	0.8	0.9	1.0	1.3	1.4	1.5
Medio	Agitadores/Mezcladores (exc. líquidos), correas transportadoras (carga variable), ventiladores (más de 7,5 kW), generadores, ejes de transmisión, máquinas herramienta, bombas rotativas y compresores (excepto centrífugas). Maquinaria para las industrias de la alimentación, lavanderías e imprentas.	1.3	1.4	1.5	1.8	1.9	2.0
Pesado	Transportadores para servicio pesado (elevador, draga/pala, transportador a tornillo), triturador de martillos, prensas, purzonadoras, cizallas, bombas a pistón y compresores. Maquinaria para la industria textil, del papel, de ladrillos y aserraderos.	1.8	1.9	2.0	2.3	2.4	2.5
Muy pesado	Trituradoras (giratorias, de mandíbulas, por rodillos), Molinos para serv. pesado (molinos de bolas, de barras), equipos de izaje.	2.3	2.4	2.5	2.8	2.9	3.0

Figura 24 Factor de servicio

Fuente: <http://www.rodacenter.cl/pdf/acoplamiento%20.pdf>

### 5.6.2. Potencia de diseño

Se calcula la potencia de diseño, que viene dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 25: Potencia de diseño

$$\text{Potencia de diseño} = P_{motor} * Fs$$

Donde:

$P_{motor}$  = Potencia del motor

$Fs$  = Factor de servicio

$$\text{Potencia de diseño} = 0,372 \text{ kW} * 1,3 = 0,48 \text{ kW}$$

### 5.6.3. Tamaño del Acoplamiento

Tomando como referencia la Figura 25, buscando a partir de la velocidad de 100 RPM la primera cifra representativa de potencia que exceda los 0,48 kW requeridos en el paso (5.6.2), es decir 0,84 kW. El tamaño del acoplamiento es 90 FRC

Velocidad	Tamaño del acoplam.							
RPM	70	90	110	130	150	180	230	280
50	0,16	0,42	0,84	1,65	3,14	4,97	10,47	16,49
100	0,33	0,84	1,68	3,30	6,28	9,95	20,94	32,98
200	0,66	1,68	3,35	6,60	12,57	19,90	41,88	65,97
300	0,99	2,51	5,03	9,90	18,85	29,84	62,83	98,95
400	1,32	3,35	6,70	13,19	25,13	39,79	83,77	131,94
500	1,65	4,19	8,38	16,49	31,41	49,74	104,71	164,92
600	1,98	5,03	10,05	19,79	37,70	59,69	125,65	197,91
700	2,31	5,86	11,73	23,09	43,98	69,63	146,60	230,89
720	2,37	6,03	12,06	23,75	45,24	71,62	150,79	237,49
800	2,64	6,70	13,40	26,39	50,26	79,58	167,54	263,87
900	2,97	7,54	15,08	29,69	56,54	89,53	188,48	296,86
960	3,17	8,04	16,08	31,66	60,31	95,50	201,05	316,65
1000	3,30	8,38	16,75	32,98	62,83	99,48	209,42	329,84
1200	3,96	10,05	20,10	39,58	75,39	119,37	251,31	395,81
1400	4,62	11,73	23,46	46,18	87,96	139,27	293,19	461,78
1440	4,75	12,06	24,13	47,50	90,47	143,25	301,57	474,97
1600	5,28	13,40	26,81	52,77	100,52	159,16	335,08	527,75
1800	5,94	15,08	30,16	59,37	113,09	179,06	376,96	593,72
2000	6,60	16,75	33,51	65,97	125,65	198,95	418,85	659,69
2200	7,26	18,43	36,86	72,57	138,22	218,85	460,73	725,65
2400	7,92	20,10	40,21	79,16	150,79	238,74	502,62	-
2600	8,58	21,78	43,56	85,76	163,35	258,64	544,50	-
2800	9,24	23,46	46,91	92,36	175,92	278,53	-	-
2880	9,50	24,13	48,25	94,99	180,94	286,49	-	-
3000	9,90	25,13	50,26	98,95	188,48	298,43	-	-
3600	11,87	30,16	60,31	118,74	226,18	-	-	-
Torque nominal Nm	31,5	80	160	315	600	950	2000	3150
Torque máximo Nm	72	180	360	720	1500	2350	5000	7200

Figura 25 Potencia de salida (kW)

Fuente: <http://www.rodacenter.cl/pdf/acoplamientos%20.pdf>

El acoplamiento seleccionado tiene las siguientes características:

Tabla 16 Acoplamiento SKF FRC

	SKF FRC
Elemento flex	PHE-FRC90NR
Maza	PHE-FRC90RSB
Torque [Nm]	80
Dimensión [cm]	8,5

Fuente: <http://www.rodacenter.cl/pdf/acoplamientos%20.pdf>

### 5.7. Cálculo y selección de rodamientos

Para la selección de los rodamientos se deben tener en cuenta los siguientes aspectos como: el tipo de cargas que deben soportar y su respectiva magnitud y dirección.

En la Tabla 17 se muestran los parámetros que se tienen en cuenta para la selección de los rodamientos.

Tabla 17 Parámetros para la selección de rodamientos

Rodamiento	Tipo de carga	Carga axial [N]	Carga radial [N]
A	Radial	-	76,26
B	Radial y axial	379,92	76,26

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.7.1. Cálculo y selección del rodamiento A

Donde:

$F_r$  = Carga radial del rodamiento [N]

$F_a$  = Carga axial del rodamiento [N]

$X$  = Factor de carga radial del rodamiento

$Y$  = Factor de carga axial del rodamiento

$P$  = Carga dinámica equivalente del rodamiento [N]

$$F_r = RA_x = 76,26 \text{ N}$$

$$F_a = RA_y = 0 \text{ N}$$

### 5.7.1.1. Análisis dinámico

Carga dinámica equivalente del rodamiento

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = XF_r + YF_a$$

Entonces:  $\frac{0}{76,26} \leq 0$

$$P = F_r$$

$$P = 76,26 \text{ N}$$

Vida nominal en horas de funcionamiento

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

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

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

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$C_{req} = P * \sqrt[p]{\frac{60 * n * L_{10h}}{1000000}}$$

Donde:

$L_{10}$  = Vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [Millones de revoluciones]

$L_{10h}$  = Vida nominal SKF (con una confiabilidad del 90%) [Horas de funcionamiento]

$C$  = Capacidad de carga dinámica básica [kN]

$P$  = Carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

$n$  = Velocidad de giro [r. p. m.]

$p$  = Exponente de la ecuación de la vida útil

- para los rodamientos de bolas,  $p = 3$

- para los rodamientos de rodillos,  $p = 10/3$

Se toma un valor de  $L_{10h}$  en base a las recomendaciones del catálogo (Anexo\_B 4) para el caso de máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos.

$$L_{10h} = 8000$$

Capacidad de carga dinámica requerida.

$$C_{req} = P * \sqrt[p]{\frac{60 * n * L_{10h}}{1000000}}$$
$$C_{req} = 76,26 * \sqrt[3]{\frac{60 * 88 \text{ rpm} * 8000}{1000000}}$$

$$C_{req} = 495,63 \text{ N} = 0,495 \text{ kN}$$

#### 5.7.1.2. Análisis estático

Carga estática equivalente del rodamiento

$$P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a$$

$$P_0 = 0,6 * 76,26 + 0,5 * 0$$

$$P_0 = 45,756 \text{ N}$$

Cuando  $P_0 < F_r$ , se toma  $P_0 = F_r$ . Entonces  $\rightarrow P_0 = 76,26 \text{ N}$

Capacidad de carga estática requerida

$$C_0 = s_0 P_0$$

Donde:

$C_0$  = Capacidad de carga estática básica [kN]

$P_0$  = Carga estática equivalente del rodamiento [kN]

$s_0$  = Factor de seguridad estática

Del catálogo (Anexo\_B 5), el factor de seguridad estática  $s_0$

$$s_0 = 1$$

Reemplazando se obtiene:

$$C_0 = 1 * 76,26 N \approx 0,076 kN$$

Del catálogo SKF web (Anexo\_B 6)

- ❖ Denominación: FYTB 20 TDW
- ❖ Soporte: FYTB 504
- ❖ Rodamiento: YARAG 204 M/VZ033
- ❖  $d = 20$  mm
- ❖ Capacidad de carga dinámica básica “C”: 12,7 kN
- ❖ Capacidad de carga estática básica “C0”: 6,55 kN

#### 5.7.2. Cálculo y selección del rodamiento B

$$F_r = RB_x = 76,26 N$$

$$F_a = RB_y = 379,92 N$$

##### 5.7.2.1. Análisis dinámico

Carga dinámica equivalente del rodamiento

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = XF_r + YF_a$$

Entonces:  $\frac{379,92}{76,26} > 4,98$

Según la tabla (Anexo\_B 7), se muestra que dicho valor 4,98 es mayor que “e”, entonces la condición:  $P = XF_r + YF_a$

$$P = 0,46 * 76,26 + 1 * 379,92$$

$$P = 414,99 N$$

Vida nominal en horas de funcionamiento

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

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$
$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} L_{10}$$
$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$
$$C_{req} = P * \sqrt[p]{\frac{60 * n * L_{10h}}{1000000}}$$

Donde:

$p$  = Exponente de la ecuación de la vida útil

- para los rodamientos de rodillos,  $p = 10/3$

Se toma un valor de  $L_{10h}$  en base a las recomendaciones del catálogo (Anexo\_B 4) para el caso de máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos.

$$L_{10h} = 8000$$

Capacidad de carga dinámica requerida.

$$C_{req} = P * \sqrt[p]{\frac{60 * n * L_{10h}}{1000000}}$$
$$C_{req} = 414,99 * \sqrt[10/3]{\frac{60 * 88 \text{ rpm} * 8\ 000}{1\ 000\ 000}}$$
$$C_{req} = 1\ 275,72 \text{ N} = 1,275 \text{ kN}$$

### 5.7.2.2. Análisis estático

Carga estática equivalente del rodamiento

$$P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a$$

$$P_0 = 0,6 * 76,26 + 0,5 * 379,92$$

$$P_0 = 235,72 \text{ N}$$

Cuando  $P_0 < F_r$ , se toma  $P_0 = F_r$ . Entonces  $\rightarrow P_0 = 235,72 \text{ N}$

Capacidad de carga estática requerida

$$C_0 = s_0 P_0$$

Donde:

$C_0$  = Capacidad de carga estática básica [kN]

$P_0$  = Carga estática equivalente del rodamiento [kN]

$s_0$  = Factor de seguridad estática

Del catálogo (Anexo\_B 8), el factor de seguridad estática  $s_0$

$$s_0 = 1,5$$

Reemplazando se obtiene:

$$C_0 = 1,5 * 235,72 \text{ N} \approx 0,353 \text{ kN}$$

Del catálogo SKF web (Anexo\_B 9)

- ❖ Designación: 30204
- ❖  $d = 20 \text{ mm}$
- ❖ Capacidad de carga dinámica básica “C”: 34,1 kN
- ❖ Capacidad de carga estática básica “C0”: 28 kN

#### 5.8. Cálculo de resistencias para el sistema de calentamiento

El calor necesario para calentar la masa de miel de abeja se determinará utilizando la siguiente ecuación que es la del calor absorbido o cedido para la miel de abeja:

Ecuación 26: Calor absorbido o cedido

$$Q_{miel} = m_{miel} * C_p * \Delta T$$

Donde:

$Q_{miel}$  = Calor entregado a la miel de abeja [kJ]

$m_{miel}$  = Masa de miel de abeja [kg]

$C_p$  = Calor específico de la miel de abeja [kJ/kg.°C]

$\Delta T$  = Variación de temperatura [°C]

Empleando la Ecuación 26 se determina el calor necesario para calentar la miel de abeja con un valor de calor específico de  $2,03 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$ , con una temperatura promedio de 37 °C.

$$Q_{miel} = 26 \text{ kg} * 2,03 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 37^{\circ}C$$

$$Q_{miel} = 1\,952,86 \text{ kJ}$$

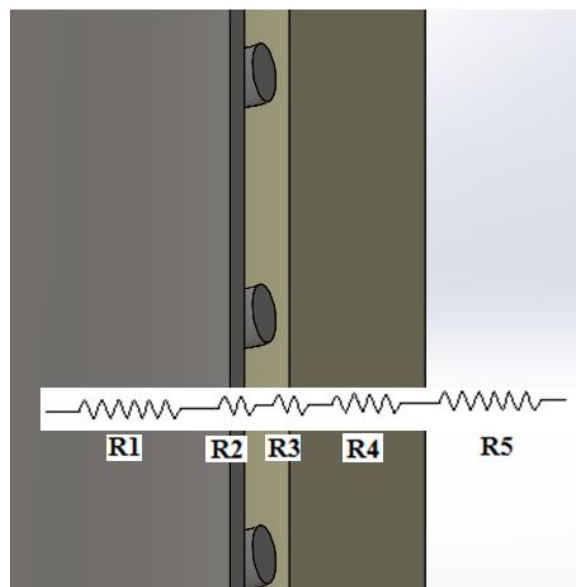


Figura 26 Representación de las resistencias térmicas

Fuente: Elaboración Propia.

Las resistencias térmicas de la Figura 26, se encuentran en serie y se procederá a calcular el valor de cada una de ellas.

La resistencia térmica R5, se encuentra por convección del aire.

Ecuación 27: Resistencia térmica por convección del aire

$$R5 = \frac{1}{hA}$$

Donde:

$R5$  = Resistencia térmica por convección del aire [ $^{\circ}C/W$ ]

$h$  = Coeficiente convectivo del aire [ $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ]

$A$  = Área en contacto con el aire [ $m^2$ ]

El área en contacto con el aire es el área de la sección del cono y del cilindro, se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{sección\ del\ cono} = \pi r g$$

Donde:

$g$  = generatriz del cono [ $m$ ]

$r$  = radio del cono [ $m$ ]

$$A_{sección\ del\ cono} = \pi * 0,37\ m * 0,373\ m$$

$$A_{sección\ del\ cono} = 0,43\ m^2$$

$$A_{sección\ del\ cilindro} = 2\pi r h$$

Donde:

$r$  = radio del cilindro [ $m$ ]

$h$  = altura del cilindro [ $m$ ]

$$A_{sección\ del\ cilindro} = 2 * \pi * 0,37\ m * 0,65\ m$$

$$A_{sección\ del\ cilindro} = 1,51\ m^2$$

Entonces el área total a calentar sería de:  $0,43\ m^2 + 1,51\ m^2 = 1,94\ m^2$

Para obtener el coeficiente convectivo del aire, se elegirá de la Figura 27:

Tipo de convección	$h, W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1 000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20 000
Ebullición y condensación	2 500-100 000

Figura 27 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Fuente: Cengel. Transferencia de calor y masa. 4<sup>ta</sup> Ed. México 2011.

El coeficiente convectivo del aire tiene un valor de  $2 W/m^2 \cdot ^\circ C$

Reemplazando los valores calculados anteriormente en la Ecuación 27, se calcula la resistencia térmica por convección del aire R5.

$$R5 = \frac{1}{2 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1,94 m^2}$$

$$R5 = 0,26 \frac{^\circ C}{W}$$

La resistencia térmica R4, se encuentra por conducción por el material aislante térmico.

Ecuación 28: Resistencia térmica por conducción del material

$$R4 = \frac{e}{kA}$$

Donde:

$e$  = Espesor del material aislante [ $m$ ]

$k$  = Conductividad térmica del material aislante [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]

$A$  = Área de la sección total del cono y del cilindro [ $m^2$ ]

$R4$  = Resistencia térmica por conducción del material aislante [ $^\circ C/W$ ]

El área de la sección total del cono y del cilindro es de  $1,94 m^2$ .

La resistencia térmica se seleccionará de los siguientes materiales aislantes:

Tabla 18 Lana de vidrio

Lana de vidrio	Espesor (m)		
		0,05	0,75
Resistencia (°C/W)	0,60	8,99	1,20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19 Armaflex

Armaflex	Espesor (m)		
		0,019	0,027
Resistencia (°C/W)	0,26	0,38	0,50

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 Fibra cerámica

Fibra cerámica	Espesor (m)		
		0,0127	0,0254
Resistencia (°C/W)	0,027	0,055	0,082

Fuente: Elaboración Propia

De las Tabla 18 ,Tabla 19 y Tabla 20, se seleccionará el material aislante Lana de vidrio, ya que su resistencia térmica es la mayor de todas, en consecuencia, se tendrá menores pérdidas en el sistema.

La resistencia térmica R3, se analizará como una fuente calorífica en el vacío, ya que se encuentra rodeado por un material aislante.

Ecuación 29: Resistencia térmica en una fuente de calor

$$R3 = \frac{Ln(r)}{2\pi Lk}$$

Donde:

$r$  = Radio del alambre nicromel [ $m$ ]

$L$  = Longitud del alambre nicromel [ $m$ ]

$k$  = Conductividad térmica del material [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]

$R3$  = Resistencia térmica por conducción del alambre nicromel [ $^\circ C/W$ ]

Para poder saber el valor del coeficiente conductivo del material, se tiene la siguiente ecuación:

Ecuación 30: Conductividad térmica del material

$$k = \frac{e}{A(T_1 - T_2)} \dot{Q}_{miel}$$

Donde:

$e$  = Espesor del material aislante [ $m$ ]

$A$  = Área de la sección total del cono y del cilindro [ $m^2$ ]

$T_1$  = Temperatura a la cual se va a calentar la miel [ $^{\circ}C$ ]

$T_2$  = Temperatura ambiente [ $^{\circ}C$ ]

$\dot{Q}_{miel}$  = Calor entregado a la miel de abeja [ $kJ$ ]

$$k = \frac{0,0127 m}{1,94 m^2 (55 - 18) ^{\circ}C} 1\ 952,86 kJ$$

$$k = 0,35 W/m. ^{\circ}C$$

Para hallar la longitud del alambre nicromel, se tiene que tener en cuenta el coeficiente global de transmisión de calor interno:

Ecuación 31: Coeficiente global de transmisión de calor interno

$$\frac{1}{U} = \frac{r}{k_1 A} + \frac{e}{k_2 A}$$

Donde:

$U$  = Coeficiente global de transmisión de calor interno [ $W/m^2. ^{\circ}C$ ]

$r$  = Radio del alambre nicromel [ $m$ ]

$e$  = Espesor del tanque [ $m$ ]

$k_1, k_2$  = Coeficiente de transferencia de calor por conducción del alambre nicromel y del acero inoxidable [ $W/m. ^{\circ}C$ ]

$A = \text{Área de la sección total del cono y del cilindro [m}^2\text{]}$

$$\frac{1}{U} = \frac{0,0054 \text{ m}}{0,35 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} * 1,94 \text{ m}^2} + \frac{0,0031 \text{ m}}{14,9 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} * 1,94 \text{ m}^2}$$

$$\frac{1}{U} = 0,0081$$

$$U = 124,068 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ecuación 32: Coeficiente global de transmisión de calor

$$Q = U * A * \Delta T$$

Donde:

$Q = \text{Coeficiente global de transmisión de calor [W]}$

$U = \text{Coeficiente global de transmisión de calor interno [W/m}^2 \cdot ^\circ C\text{]}$

$A = \text{Área de la sección total del cono y del cilindro [m}^2\text{]}$

$\Delta T = \text{Variación de temperatura [}^\circ C\text{]}$

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = 124,068 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1,94 \text{ m}^2 * 37 \text{ }^\circ C$$

$$Q = 8\,905,579 \text{ W}$$

Con la siguiente formula se obtiene la longitud del alambre nicromel que se va a emplear para envolver todo el recipiente y de esa manera poder calentarlo:

$$L = \frac{Q}{U * \pi * r * \Delta T}$$

$$L = 5,5 \text{ m}$$

Para terminar, se divide la longitud total del alambre nicromel por el diámetro del tanque, y de esta manera determinar cuántas vueltas dará el alambre.

$$L = 5,5 \text{ m}$$

$$vueltas = \frac{L}{D_{int}} = 14,86 \cong 15 \text{ vueltas}$$

Reemplazando en la Ecuación 29 se tiene:

$$R3 = \frac{\ln(0,0054 \text{ m})}{2 * \pi * 5,5 \text{ m} * 0,35 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}$$

$$R3 = -0,43 \text{ } ^\circ C/W$$

La resistencia térmica R2, se encuentra por conducción ya que se encuentra en el tanque de acero inoxidable.

Ecuación 33: Resistencia térmica por conducción en el tanque

$$R2 = \frac{e}{kA}$$

Donde:

$e$  = Espesor del tanque [m]

$k$  = Conductividad térmica del acero inoxidable [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]

$R2$  = Resistencia térmica por conducción del cilindro y del cono [ $^\circ C/W$ ]

Reemplazando en la Ecuación 33 se tiene:

$$R2 = \frac{0,0031 \text{ m}}{14,9 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} * 1,94 \text{ m}^2}$$

$$R2 = 0,00011 \text{ } ^\circ C/W$$

La resistencia térmica R1, se halla por convección forzada, lo cual hace calentar a la miel de abeja en el menor tiempo.

Ecuación 34: Resistencia térmica por convección de la miel

$$R1 = \frac{1}{h_{miel}A}$$

Donde:

$h_{miel}$  = Coeficiente convectivo de la miel [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$A$  = Área lateral total del cono y del cilindro [ $m^2$ ]

$R1$  = Resistencia térmica por convección [ $^\circ C/W$ ]

Primero se tiene que calcular el  $h_{miel}$ , que se halla mediante la siguiente ecuacion:

Ecuación 35: Número de Nusselt

$$Nu_u = \frac{hD}{k}$$

Despejando h de la Ecuación 35:

Ecuación 36: Coeficiente convectivo

$$h = \frac{Nu_u k}{D}$$

Sección transversal	$\frac{b}{a}$	$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$	
		$q_s''$ uniforme	$T_s$ uniforme
Circular	-	4,36	3,66
Rectangular (a = altura, b =base)	1,0	3,61	2,98
Rectangular (a = altura, b =base)	1,43	3,73	3,08
Rectangular (a = altura, b =base)	2,0	4,12	3,39
Rectangular (a = altura, b =base)	3,0	4,79	3,96
Rectangular (a = altura, b =base)	4,0	5,33	4,44
Rectangular (a = altura, b =base)	8,0	6,49	5,60
Rectangular (a = altura, b =base)	$\infty$	8,23	7,54
Triangular	-	3,11	2,47

Figura 28 Números de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en tubos de diferente sección transversal

Fuente: Manrique Valadez. Transferencia de calor. 2da Edición. México

Reemplazando en la Ecuación 36 se tiene:

$$h = \frac{3,66 * 0,4 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0,74 m}$$

$$h = 1,98 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Reemplazando en la Ecuación 34 se obtiene:

$$R1 = \frac{1}{1,98 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1,94 m^2}$$

$$R1 = 0,26 \text{ } ^\circ C/W$$

Calor perdido en el sistema, debido a los elementos que generan resistencia:

Ecuación 37: Calor perdido

$$Q_p = \frac{\Delta T}{\sum R_{t\acute{e}rmicas}}$$

Donde:

$Q_p$  = Calor perdido en el sistema [kJ]

$\Delta T$  = Variación de temperatura [ $^\circ C$ ]

$\sum R_{t\acute{e}rmicas}$  = Sumatoria de las resistencias térmicas del sistema [ $^\circ C/W$ ]

Reemplazando en la Ecuación 37 se obtiene:

$$Q_p = \frac{(55 - 18) \text{ } ^\circ C}{(0,26 + 8,99 - 0,43 + 0,00011 + 0,26) \frac{^\circ C}{W}}$$

$$Q_p = 4,07 W$$

El sistema va a funcionar en un tiempo de 5 minutos, lo cual va a producir un calor perdido en el sistema que es de:

$$Q_p = 4,07 W \approx 4,07 \frac{J}{s}$$

$$Q_p = 4,07 \frac{J}{s} * 300 s$$

$$Q_p = 1221 J$$

$$Q_p = 1,22 kJ$$

Calor total requerido para calentar la miel:

$$Q_{total} = Q_p + Q_{miel}$$

Donde:

$$Q_{total} = \text{Calor total requerido [kJ]}$$

$$Q_{total} = 1,22 \text{ kJ} + 1\,952,86 \text{ kJ}$$

$$Q_{total} = 1\,954,08 \text{ kJ}$$

## 6. Analizar los componentes con software CAD – CAE

El modelado y análisis de la máquina centrifugadora se realiza mediante el software CAD SolidWorks, el cual es una herramienta computacional 3D que permite a ingenieros y diseñadores crear, simular, publicar y administrar datos de diferentes proyectos, permitiendo así, obtener diseños rentables y de forma más rápida.

SolidWorks permite simular y analizar el rendimiento del diseño mecánico, mediante el módulo SolidWorks Simulation, el cual está integrado en el software y abarca una amplia gama de posibilidades de estudios (desde el rendimiento de una pieza con una carga constante, hasta el análisis de un ensamblaje en movimiento con carga dinámica). Se calculan tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias producidas.

### 6.1. Análisis estático

Es necesario realizar un análisis estático del eje para determinar su resistencia a las cargas provocadas por la fuerza de los marcos, mediante el registro de sus deformaciones y tensiones, validando así los cálculos desarrollados en el numeral 5.5.

Una vez definidas las cargas, se procede a ejecutar el análisis. Los resultados obtenidos mediante software SolidWorks Simulation se encuentran en la Tabla 21.

Tabla 21 Resultados obtenidos del análisis estático

EJE	Tensión (von Mises) [Pa]		Desplazamiento [mm]		Factor de seguridad [FDS]
	Min	Max	Min	Max	
Análisis estático	1,403	1,941E+008	1,00E-030	3,88E-002	2,207

Fuente: Software Solidworks 2016

En la Figura 29, se puede observar que la mayor tensión en el eje ocurre en la parte extrema inferior, donde está ubicado el acoplamiento flexible al motor reductor. En la Figura 30, se puede ver como la parte inferior del eje tiene el mayor desplazamiento. En la Figura 31, se

comprueba que el valor asumido para los cálculos realizados en el análisis estático del eje, y el análisis realizado mediante software Solidworks, se tiene un valor aproximado.

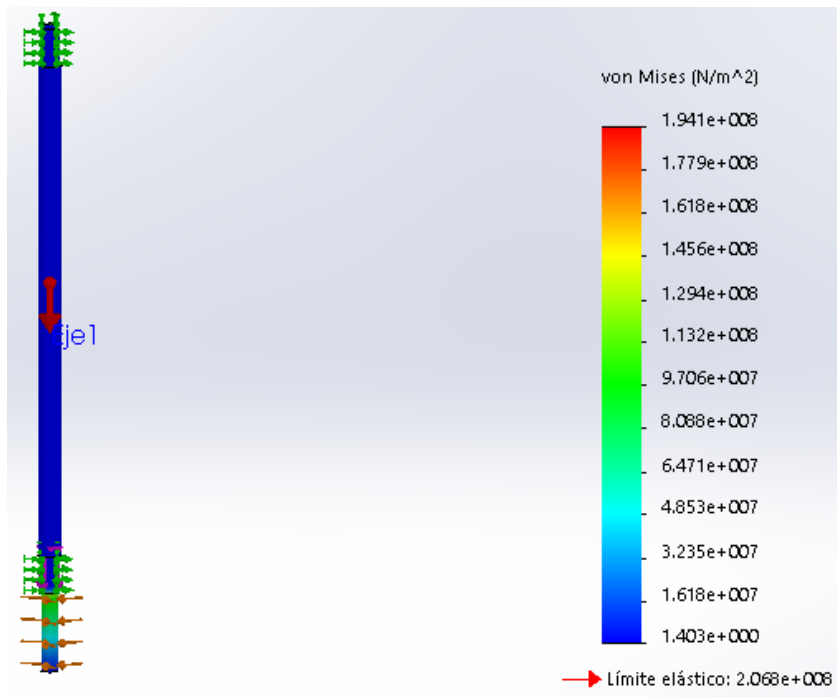


Figura 29 Tensión de von Mises  
Fuente: Software Solidworks 2016

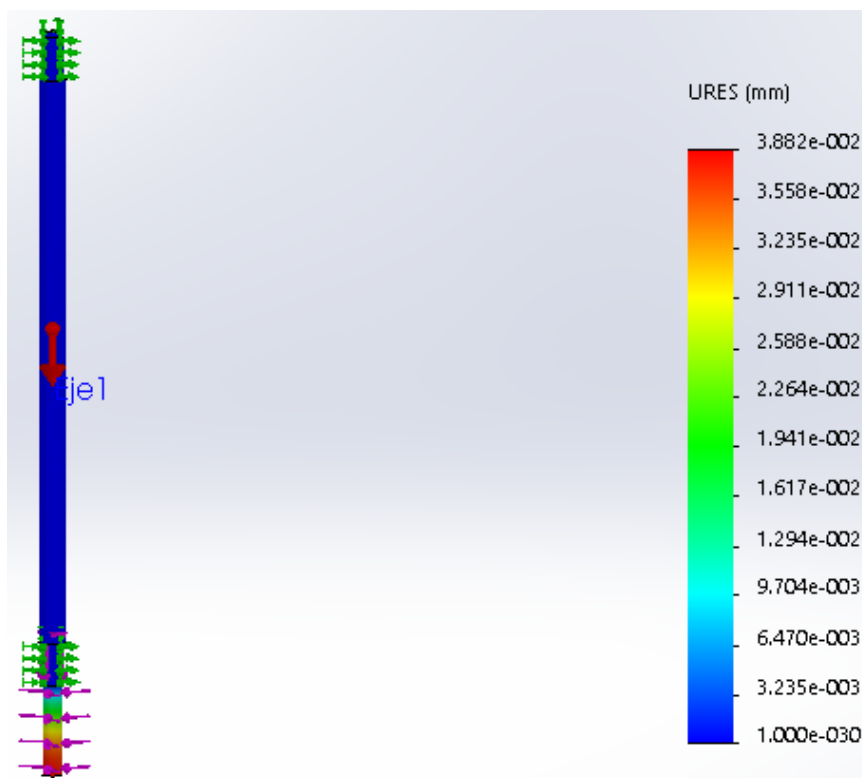


Figura 30 Desplazamientos  
Fuente: Software Solidworks 2016

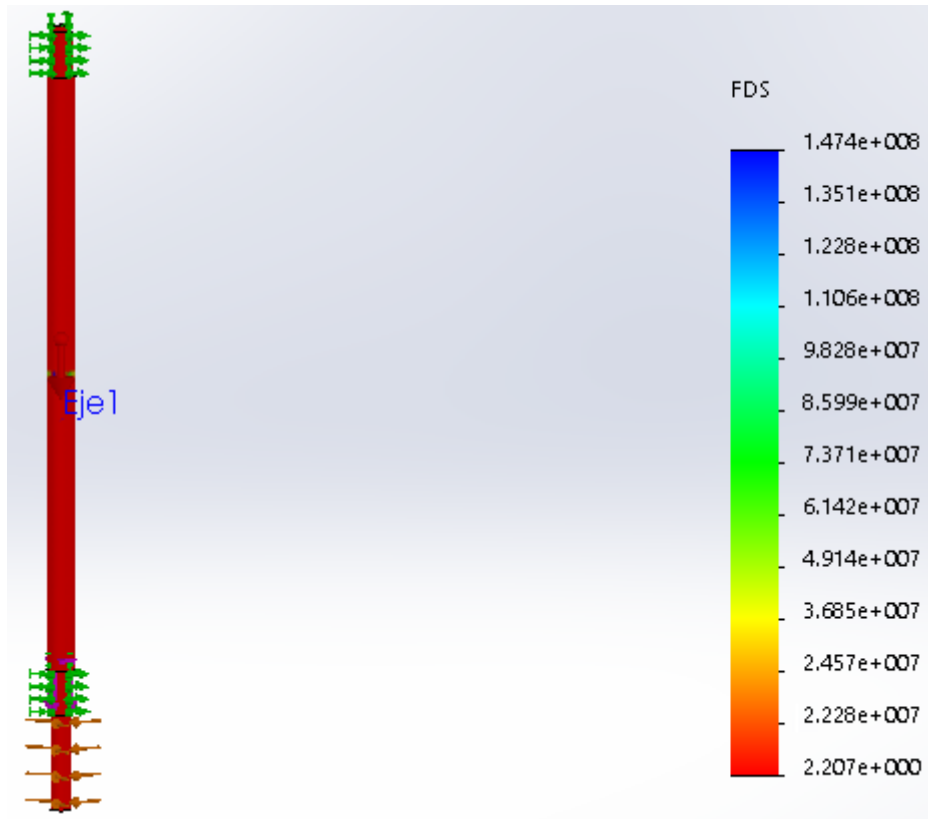


Figura 31 Factor de seguridad  
 Fuente: Software Solidworks 2016

## 6.2. Análisis estructural de la base del recipiente

Es necesario realizar un análisis estructural de la base del recipiente para determinar su resistencia a las cargas provocadas por el peso total que contiene todo el recipiente, mediante el registro de sus tensiones y desplazamientos.

Diagrama de cuerpo libre (D.C.L): al analizar la base del recipiente, es conveniente realizar el D.C.L para hallar las cargas que actúan sobre la base del recipiente.

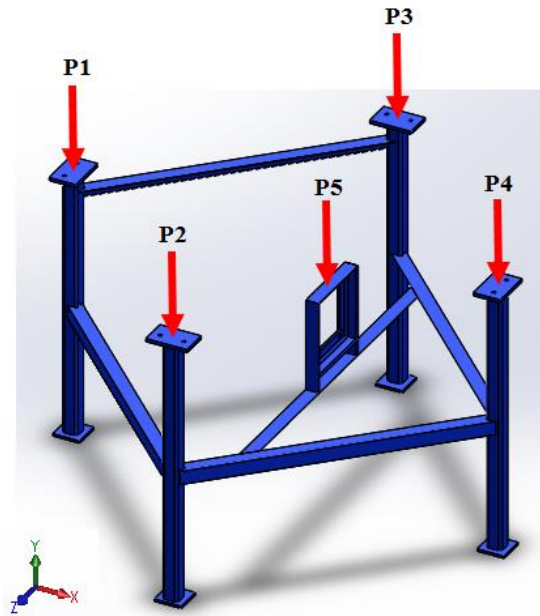


Figura 32 D.C.L de las cargas que actúan sobre la base del recipiente

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$P_t$  = peso total del recipiente

$P_1, P_2, P_3$  y  $P_4$  = peso ejercido en cada soporte

$P_5$  = peso del motor

Del cual:

$P_1, P_2, P_3$  y  $P_4 = 367,8 \text{ N}$

$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1\,471,5 \text{ N}$

$P_5 = 49,05 \text{ N}$

Diagrama de cuerpo libre (D.C.L): al analizar la base del recipiente, es conveniente realizar el D.C.L para hallar las reacciones debidas al peso total del recipiente.

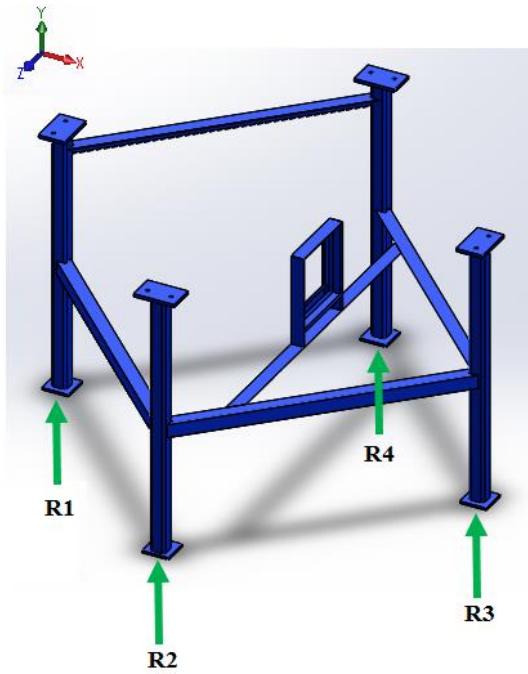


Figura 33 D.C.L de las reacciones debidas al peso total del recipiente

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

R1, R2, R3, R4 = reacciones resultantes debidas al peso total del recipiente

Observando el D.C.L de la figura 33, se puede encontrar las reacciones en los tres ejes (x, y, z), mediante el empleo del SolidWorks Simulation.

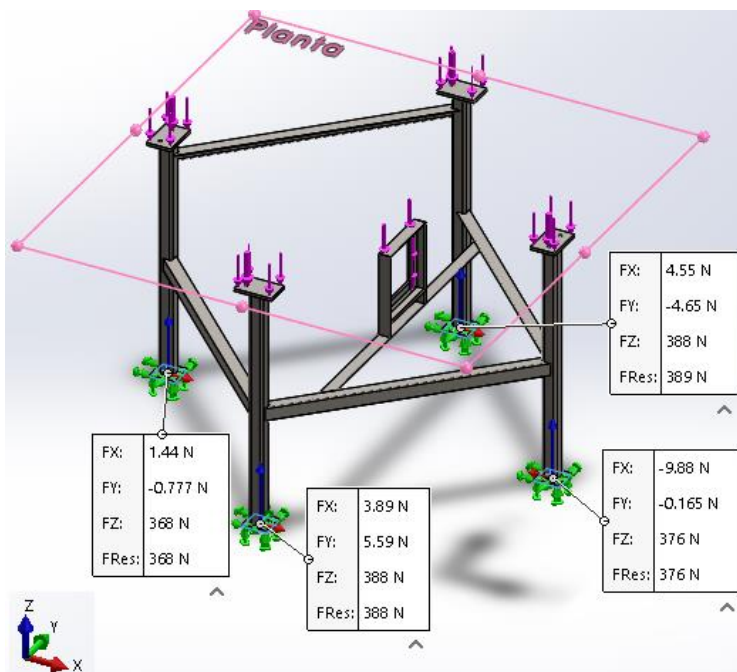


Figura 34 Reacciones resultantes

Fuente: Software Solidworks 2016

Una vez identificadas las cargas, se procede a ejecutar el análisis. Los resultados obtenidos mediante software SolidWorks Simulation se encuentran en la tabla 22.

Tabla 22 Resultados obtenidos del análisis estructural

BASE DE RECIPIENTE	Tensión (von Mises) [N/m <sup>2</sup> ]		Desplazamiento Uy [mm]	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Análisis estructural	1,31E+003	4,86E+007	-1,45E-001	1,28E-006

Fuente: Software Solidworks 2016

En la Figura 35, se puede observar que la mínima tensión ocurre en la viga con un valor de 1,31E+003 N/m<sup>2</sup>, por el contrario la máxima tensión sucede en la unión entre el soporte del motor y la viga. En la Figura 36, se puede ver que el máximo desplazamiento en el eje “y” es de 1,28E-006 mm.

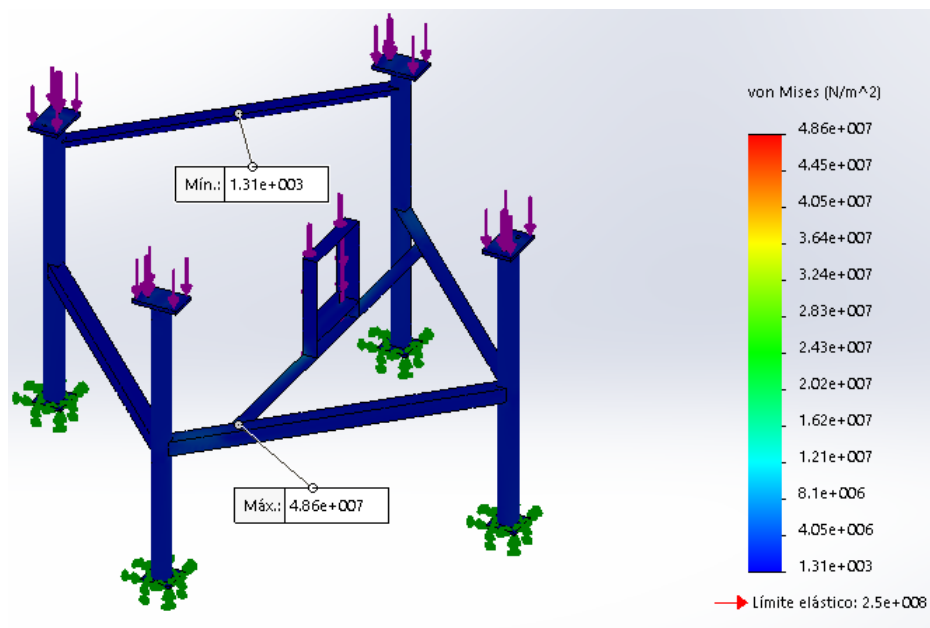


Figura 35 Tensión von Mises

Fuente: Software Solidworks 2016

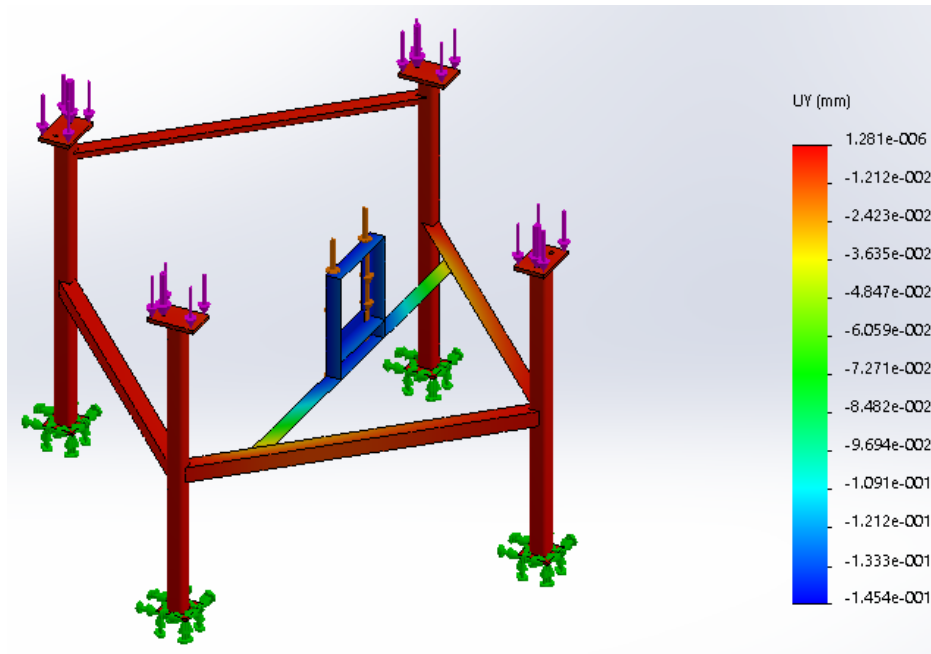


Figura 36 Desplazamientos

Fuente: Software Solidworks 2016

### 6.3 Simulación transferencia de calor mediante software SolidWorks Simulation

Según [24], el análisis térmico se encarga de calcular la distribución de temperatura en un cuerpo producida por tres mecanismos: conducción, convección y radiación. A través de estos mecanismos, la energía calorífica fluye desde el medio con mayor temperatura hasta el medio con menor temperatura. Las transferencias de calor por conducción y convección necesitan la presencia de un medio interviniente, a diferencia de la transferencia de calor por radiación que no la requiere.

Es necesario realizar un análisis térmico del recipiente con los marcos llenos de miel de abeja para determinar la temperatura, la cual se produce mediante el alambre calefactor alrededor del recipiente, validando así los cálculos desarrollados en el numeral 5.8.

De la Figura 37, se puede observar que la mínima temperatura es de 22 °C ubicada al centro del recipiente, y a una cara de los marcos con miel de abeja; la máxima temperatura de 35°C se da tanto afuera como adentro del recipiente; el calor se dirige hacia los marcos, haciendo así de esta manera la transferencia de calor para que ayude a disminuir la viscosidad de la miel de abeja, ayudando así a recepcionar la miel en un envase.

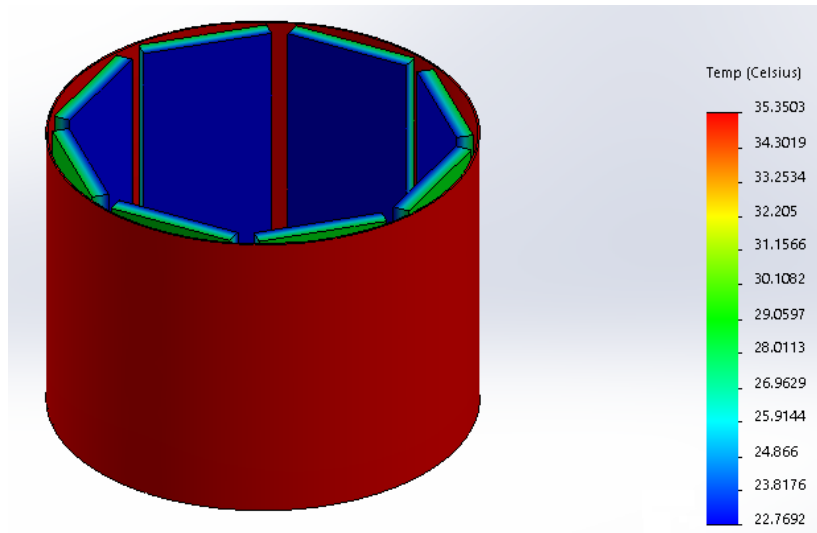


Figura 37 Resultados de análisis térmico de temperatura

Fuente: Software Solidworks 2016

#### 6.4. Análisis de frecuencia

Cada estructura tiene la tendencia a vibrar a ciertas frecuencias, llamadas frecuencias naturales o resonantes. Cada frecuencia natural se asocia a una forma determinada, llamada forma modal, que el modelo tiende a adoptar al vibrar a esa frecuencia.

Al construir la geometría de un modelo, generalmente se crea según la forma original (no deformada) del modelo. Algunas cargas, como el peso propio de la estructura, están siempre presentes y pueden causar efectos considerables en la forma de la estructura y en sus propiedades modales. En muchos casos, este efecto puede omitirse, ya que las desviaciones inducidas son pequeñas.

Finalmente, el software SolidWorks nos informa acerca de los modos frecuenciales obtenidos que usualmente son 5 para tener una idea más clara sobre el comportamiento del sistema bajo la geometría diseñada, el material asignado y las cargas a las que se encuentra sometido. Los resultados de modos frecuenciales obtenidos por el software se encuentran en la Tabla 23.

Tabla 23 Lista de modos frecuenciales

Modo Frecuencial	Frecuencia Circular [rad/s]	Frecuencia [Hz]	Tiempo [s]
1	2 371,4	377,43	0,002649
2	2 373,7	377,78	0,002647
3	6 450,4	1 026,6	0,000974
4	6 456,1	1 027,5	0,000973
5	10 491	1 669,7	0,000599

Fuente: Software Solidworks 2016

Se observa que el más estable es el numero 5 como se muestra en la figura 36, se aprecia que el eje tiene un mejor alineamiento con una frecuencia de 1 669,7 Hz, y los modos más inestables son el número 1 y 3 (figura 32 y 34) con frecuencias casi parecidas de 377,43 Hz y 377,78 Hz, con desalineamientos en ambos lados durante la rotación sin embargo el problema aparece en la participación de masa normalizada con 0,58907 y 0,58882 respectivamente con respecto a los ejes x e y en cada modo frecuencial.

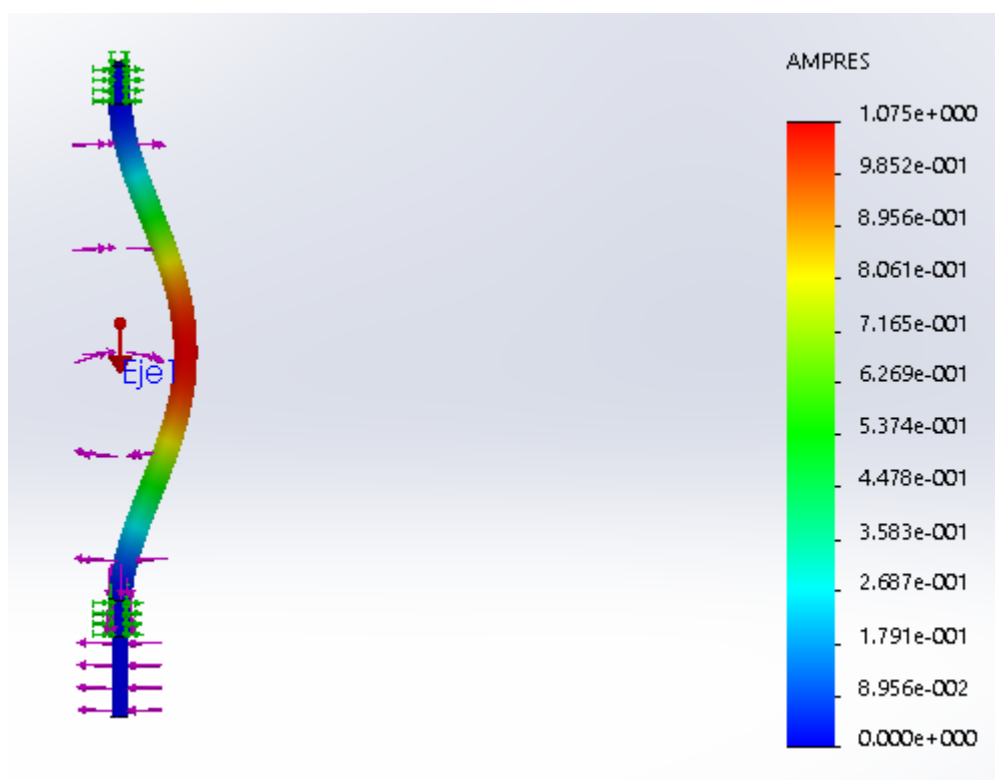


Figura 38 Modo frecuencial 1

Fuente: Software Solidworks 2016

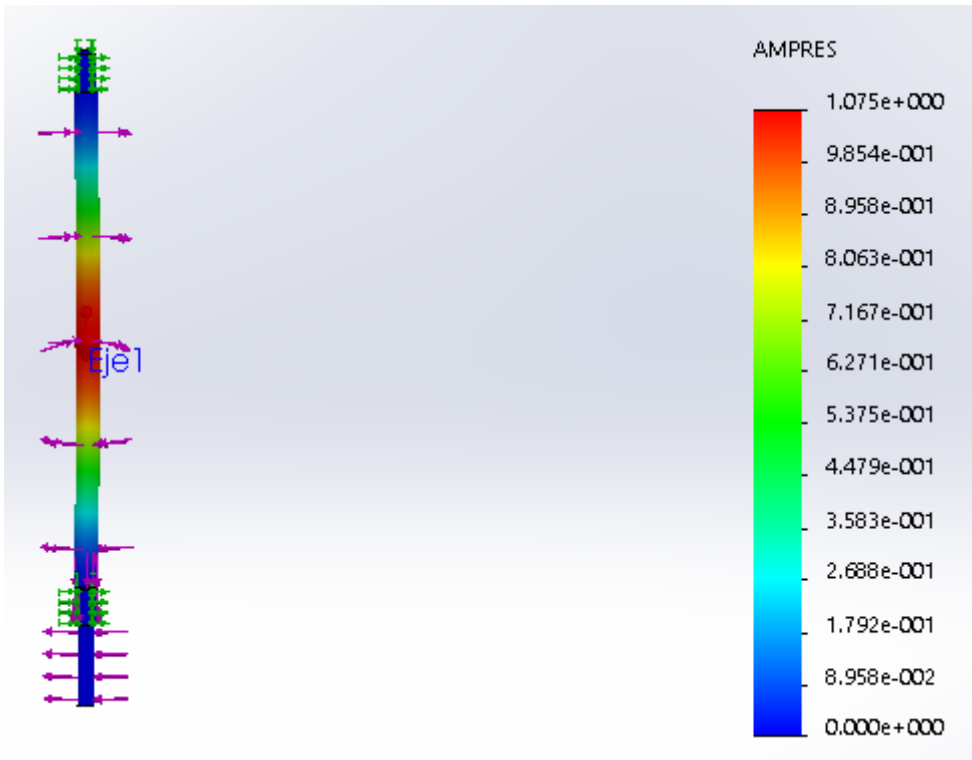


Figura 39 Modo frecuencial 2  
Fuente: Software Solidworks 2016

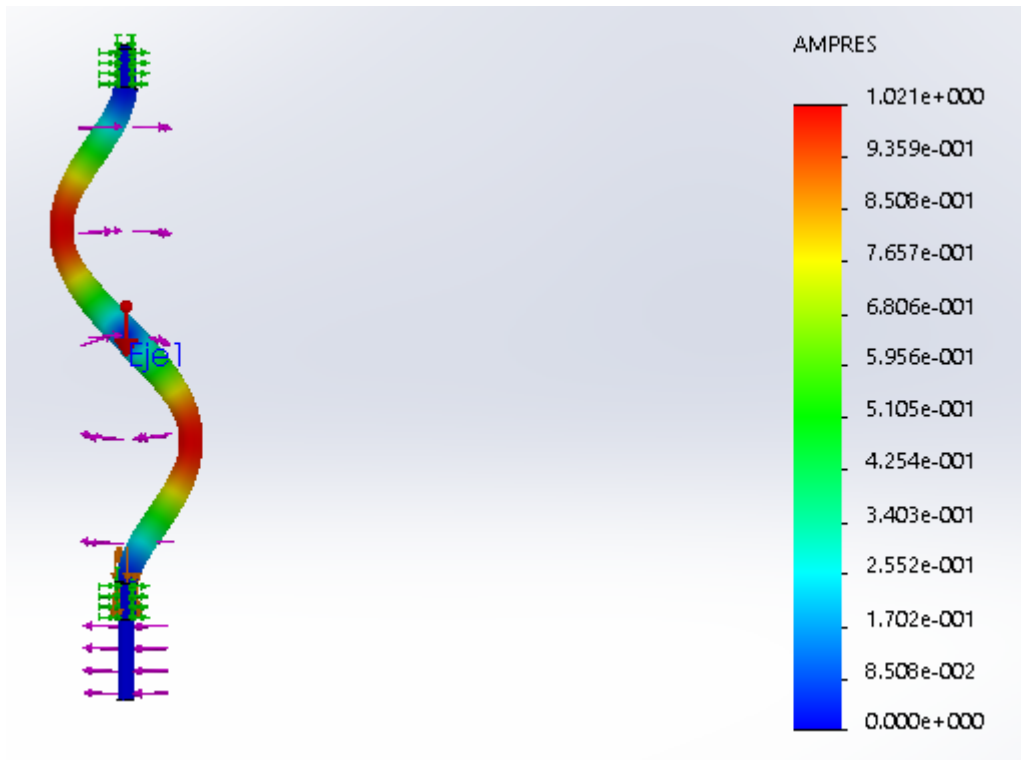


Figura 40 Modo frecuencial 3  
Fuente: Software Solidworks 2016

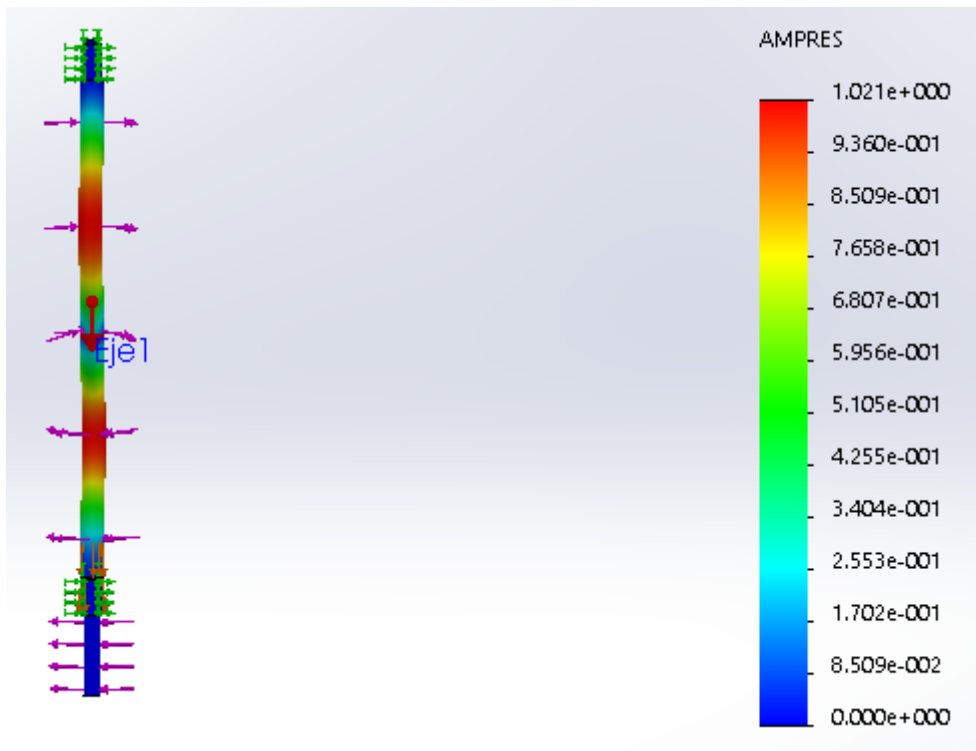


Figura 41 Modo frecuencial 4

Fuente: Software Solidworks 2016

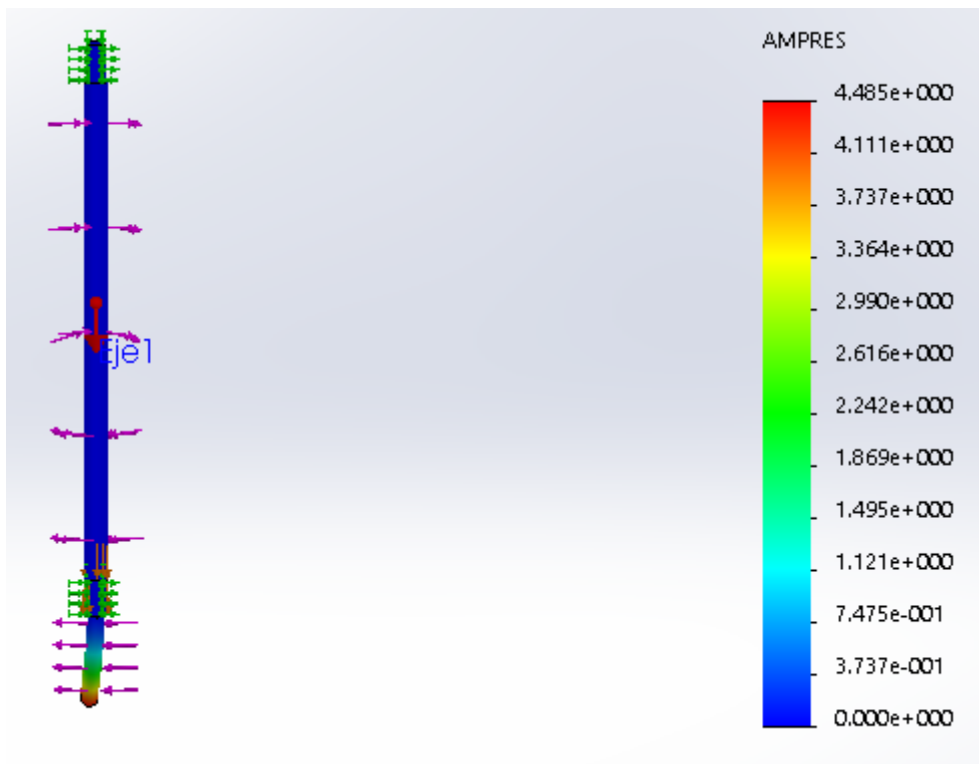


Figura 42 Modo frecuencial 5

Fuente: Software Solidworks 2016

En cuanto a la participación de masa normalizada (Tabla 24), [25] argumentan que las normas códigos de distintos países exigen que al menos el 80% de la masa del sistema participe en determinadas direcciones, es decir que en la práctica los valores de participación de masa en las direcciones X, Y y Z sean menores que 0,8.

Tabla 24 Participación de masa normalizada

Modo	Frecuencia [Hz]	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	377,43	0,58907	0,00096	2,3088E-009
2	377,78	0,00096	0,58882	1,6367E-009
3	1 026,6	2,852E-009	1,805E-009	7,5255E-009
4	1 027,5	1,3002E-009	4,878E-009	1,0595E-008
5	1 669,7	0,00053	0,04656	2,4043E-010
		Sum X = 0,59057	Sum Y = 0,63634	Sum Z = 2,2307E-008

Fuente: Software Solidworks 2016

El análisis en esta investigación cumple dicha exigencia, finalmente se observa que los modos que no presentan mayor peligro son los modos frecuenciales 4 y 5, pues su participación de masa normalizada es casi nula.

## 7. Evaluación económica

Tabla 25 Evaluación económica de la máquina – lista de materiales

<b>Diseño de una máquina centrifugadora, para la extracción de miel de abeja en Lambayeque.</b>				
Ítem	Descripción	Cant.	Precio S/.	Precio total S/.
1	Motoreductor R17 DRS 71S4	1	2 000	2 000
2	Panel de control	1	150	150
3	Soporte SKF FYTB 1. TDW	2	40	80
4	Acoplamiento	1	120	120
5	Resistencia eléctrica	1	100	100
6	Aislamiento térmico	1	410	410
7	Sello o retén	1	30	30
8	Perno hexagonal M8X1,25X30	4	2	8
9	Anillo de presión angosto M8	4	1	4
10	Tuerca M8X1,25	4	1	4
11	Perno hexagonal M6x1x25	12	2	24
12	Anillo de presión angosto M6	12	1	12
13	Tuerca M6x1	12	1	12
14	Perno hexagonal M8X1,25X25	4	1	4
15	Anillo de presión angosto M8	4	1	4
16	Tuerca M8X1,25	4	1	4
17	Guardamotor magneto térmico 3Φ 220/440V 0,5Hp	1	120	120
18	Contactador 3Φ 220/440V 0,5Hp 1NA + 1NC	1	70	70
19	Pulsador de paro (rojo) 1NA + 1NC	1	7	7
20	Pulsador de marcha (verde) 1NA + 1NC	1	7	7
21	Lámpara de señalización verde	1	5	5
22	Lámpara de señalización rojo	1	5	5
23	Conductor THW 2,5 mm <sup>2</sup>	5	2	10
			Total	3 190

Fuente: Elaboración propia

<b>COSTO DE DISEÑO</b>				
Ítem	Descripción	Cant.	Precio S/.	Preciototal S/.
1	Diseño de ingeniería	1	2500	2500
2	Impresiones	1	150	150
3	Dibujo CAD y simulación en SolidWorks	1	1500	1500
			Total	4150

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Evaluación económica de la máquina – manufactura

Ítem	Manufactura	Cant.	Precio S/.	Precio total S/.
1	Maquinado del acoplamiento	1	50	50
2	Eje de 1-1/8" Acero inox. AISI 304	1	60	60
3	Maquinado del eje	1	50	50
4	ESTRUCTURA -BASE	1	150	150
5	Tubo cuadrado 1 1/2"x1 1/2"x0,25" A36	1	80	80
6	Tapa de pernos y base A36	8	10	80
7	Angulo 1"x1"x3/16"" A36	1	60	60
8	TANQUE	1	200	200
9	Plancha acero inox 304 3/16"	1	320	320
10	Platina de soporte de chumacera 3/8"x3" acero inox 304	1	50	50
11	Platina de soporte inferior 3/8"x3" acero inox 304	1	50	50
12	Cartelas acero inox 304	6	10	60
13	Base de cartela acero inox	6	10	60
14	ESTRUCTURA DE BASTIDORES	1	100	100
15	Bocinas de acero portamarco 2"x1" acero inox	2	50	100
16	Platina para portamarco 1/8"x1/2" acero inox	1	50	50
	GASTOS DE MANUFACTURA			500
	GASTOS ADICIONES			200
	Total			2 220

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Costo total de la máquina

Costo total de los materiales	3 190
Costo total de manufactura	2 220
Costo de diseño	4 150
Costo del mantenimiento (3%)	162,3
Costo total de la máquina	9 722,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Evaluación económica de la máquina

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7
Flujo de caja	-9 722,3	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
Flujo acumulado	-9 722,3	-8 222,3	-6 722,3	-5 222,3	-3 722,3	-2 222,3	-722,3	777,7

Fuente: Elaboración propia

Empleando el cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback (Tabla 28), se tiene que la inversión se recupera en un tiempo de 7 meses aproximadamente.

## VI. CONCLUSIONES

- Por medio del empleo del software SPSS se determinó la producción de miel de abeja en la región de Lambayeque con un total de 512 274 kg anual, a través del ministerio de agricultura.
- Mediante la elaboración de la matriz morfología de Zwicky, se seleccionó la mejor solución de diseño de una máquina centrifugadora, la cual esta accionada por un motorreductor, que esto a su vez ayuda al proceso, esto se puede observar en la Figura 15.
- Se dimensionó los componentes de la máquina, a través de los marcos usados a nivel nacional para el diseño de la estructura del portamarco. Los componentes de la máquina se dimensionan, mediante un procedimiento el cual está basado en criterios y cálculos de diseño.
- La validación de los componentes de la máquina centrifugadora, fueron validados a través del software CAD Solidworks. Mediante el modelado de las piezas, el análisis estático lineal, frecuencial y temperatura de sus componentes; se comprobó que los materiales y dimensiones de la máquina centrifugadora, permitirán que este soporte las tensiones a las cuales estará sometido.
- Finalmente se realizó una evaluación económica en el cual se obtiene en un tiempo de siete meses aproximadamente, con una inversión inicial de S/. 9 722,3 y así obtener máximas ganancias.

### Recomendaciones

- Se recomienda otras configuraciones de posición de los marcos de forma radial y de manera horizontal.

## VII. ANEXOS

### 7.1. ANEXO A – PRUEBAS EXPERIMENTALES

#### Anexo\_A 1 Protocolo de ensayo

- ✓ Datos requeridos para calcular la viscosidad de la miel de abeja.

Datos de la esfera:		
masa =	20	gr
radio	8,7	mm
volumen =	2 758,331	mm <sup>3</sup>
densidad =	0,00725	gr/mm <sup>3</sup>
	7 250,762	kg/m <sup>3</sup>
gravedad =	9,81	m/s <sup>2</sup>

Datos de la probeta:		
peso de probeta sin miel =	120	gr
peso de probeta con miel =	240	gr
radio de la probeta =	1,325	cm
altura de la probeta =	17,5	cm
volumen de la probeta =	96,521	cm <sup>3</sup>

Densidad de la miel =	1,243	gr/cm <sup>3</sup>
	1 243,259	kg/m <sup>3</sup>

- ✓ Materiales empleados.



Botella con miel de abeja



Mechero



Tripode de laboratorio



Probeta de vidrio



Termómetro varilla para líquidos



Balanza



Esfera de acero

✓ Peso de los materiales.



Peso de esfera de acero



Peso de probeta de vidrio



Peso de probeta de vidrio con miel de abeja

✓ Procedimiento mediante el uso de los materiales.



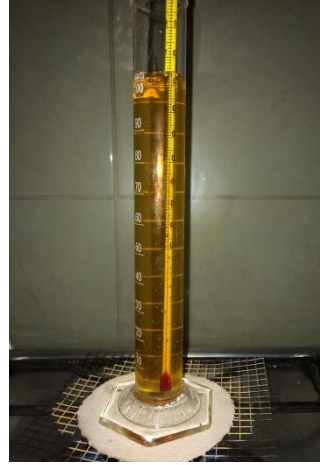
Medición de temperatura 1



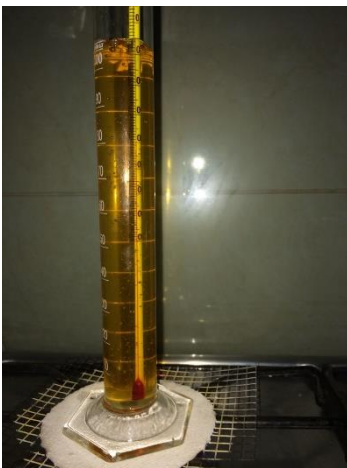
Medición de tiempo 1



Medición de tiempo 2



Medición de temperatura 2



Medición de temperatura 3



Medición de temperatura 4

## Anexo\_A 2 Medición de velocidad de giro (tacómetro)



## 7.2. ANEXO B – CATÁLOGOS

### Anexo\_B 1 Platinas de acero inoxidable 304 - JAHESA

PLATINAS		NORMA ASTM A-276			FLAT BARS	
CALIDAD 304/304L						
Espesor		Ancho (Pulgadas/mm)				
Pulgadas	Milímetros (mm)	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
		19.05mm	25.40mm	31.75mm	38.10mm	50.80mm
Peso teórico aproximado (Kg/m)						
1/8"	3.175	0.484	0.645	0.806	0.968	1.290
3/16"	4.763	-	0.968	1.210	1.452	1.936
1/4"	6.350	-	1.290	1.613	1.935	2.581
5/16"	7.938	-	1.613	-	2.420	3.226
3/8"	9.525	-	1.935	2.419	2.903	3.871
1/2"	12.700	-	2.581	-	3.871	5.161

Fuente: <http://www.jahesa.com/platinas-acero-inoxidable.php>





Anexo\_B 2 Barras redondas de acero inoxidable 304 – MULTIMET S.A.



Diámetro		Peso Aprox.
mm	Pulg.	Kg.
2	5/64	0.025
3.175	1/8	0.062
3.810	3/20	0.089
4.763	3/16	0.140
6.350	1/4	0.249
7.938	5/16	0.388
9.525	3/8	0.559
11.113	7/16	0.761
12.000	.	0.888
12.700	1/2	0.994
13.000	.	1.042
15.875	5/8	1.554
16.000	.	1.578
19.050	3/4	2.237
20.000	.	2.466
22.225	7/8	3.045
25.00	.	3.853
25.400	1	3.978
28.575	1.1/8	5.034
31.750	1.1/4	6.215

Fuente: <http://www.multimetsa.com/productos/barras>

Anexo\_B 3 Motor y reductor Catálogo SEW – EURODRIVE

4-pole DRS motors for 50/60 Hz, IE1\*

Motor type DRS	P <sub>N</sub> kW	M <sub>N</sub> Nm	n <sub>N</sub> rpm	m kg	J <sub>Mot</sub> 10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>	BE..	Z <sub>0</sub> BG BGE 1/h	M <sub>B</sub> Nm	m <sub>B</sub> kg	J <sub>Mot_BE</sub> 10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>	Global	CEL	ENCE
DRS 71S 4	0.18	1.25 1.01	1380 1700	7.8	4.9	BE05	6000 9500	2.5	10.2	6.2		-	-
DRS 71S 4	0.25	1.72 1.4	1390 1700	7.8	4.9	BE05	6000 9500	3.5	10.2	6.2		-	-
DRS 71S 4	0.37	2.55 2.1	1380 1700	7.8	4.9	BE05	6000 9500	5	10.2	6.2		-	-
DRS 71M 4	0.55	3.8 3.1	1380 1700	9.1	7.1	BE1	4100 11000	10	11.7	8.4		-	-

R17, $n_e = 1400$ 1/min					85 Nm	
$n_a$ [1/min]	$M_{amax}$ [Nm]	$F_{Ra}$ [N]	$\varphi_{(R)}$ [°]	$i$	DR63 DRS71S DRS71M	DRS80
 3						
17	85	1770	-	81.64		
20	85	1770	-	70.39		
21	85	1770	-	65.61		
24	85	1770	-	57.35		
26	85	1770	-	53.76		
30	85	1770	-	47.44		
32	85	1770	-	44.18		
36	85	1770	-	38.61		
39	85	1770	-	36.20		
44	85	1770	-	31.94		
49	85	1770	-	28.32		
58	85	1650	-	24.07		
 2						
55	85	1680	-	25.23		
60	85	1620	-	23.15		
71	85	1500	-	19.71		
82	85	1400	-	16.99		
88	85	1350	-	15.84		
101	85	1270	-	13.84		
108	85	1230	-	12.98		

#### Anexo\_B 4 Vida útil en diferentes tipos de vida - Catálogo rodamientos SKF

Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

## Anexo\_B 5 Factor de seguridad estática - Catálogo rodamientos SKF/Rodamiento A

Valores orientativos para el factor de seguridad estática  $s_0$

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios						Rodamientos fijos	
	Requisitos de rendimiento (p. ej., funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones) sin importancia							
	normal		sup.					
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se recomienda utilizar  $s_0 \geq 4$ .

<sup>1)</sup> Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deben utilizarse valores de  $s_0$  por lo menos iguales a los arriba mencionados. Si se conoce la magnitud de las cargas de choque, se pueden aplicar valores de  $s_0$  menores.

## Anexo\_B 6 SKF web – rodamiento A

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Velocidad límite	Designaciones		
	Altura del soporte	Longitud del soporte	Ancho de la unidad	dinámica	estática		Unidad de rodamientos	Soporte	Rodamiento
d	H	L	T	C	$C_0$				
mm				kN		r/min			
◀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀	⌀
20	91	67	20.3	12.7	6.55	8500	PFT 20 RM	PFT 47	YAT 204
20	112	60.5	37.3	10.8	6.55	5000	FYTWK 20 YTH	FYTWK 504 Y	YAR 204-2RF/HV
20	112	60.5	37.3	12.7	6.55	5000	FYTBK 20 TR	FYTBK 504	YAR 204-2RF
20	112	60.5	37.3	12.7	6.55	5000	FYTWK 20 YTA	FYTWK 504 Y	YAR 204-2RF/VE495
20	112	60.5	37.3	12.7	6.55	1800	FYTBK 20 TD	FYTBK 504	YARAG 204
20	112	60.5	37.3	12.7	6.55	8500	FYTBK 20 TF	FYTBK 504	YAR 204-2F
20	130	68	36.5	14	7.8	7000	FYTJ 25 KF	FYTJ 505	YSA 205-2FK
20	112	60.5	37.3	12.7	6.55	1800	FYTB 20 TDW	FYTB 504	YARAG 204 M/VZ033
20	112	60	33.3	12.7	6.55	8500	FYTJ 20 TF	FYTJ 504	YAR 204-2F
20	112	60.5	43	12.7	6.55	8500	FYTB 20 FM	FYTB 504	YET 204 M
20	111.9	60.3	32.6	10.8	6.55	5000	FYTWR 20 YTHR	FYTWR 504 Y	YAR 204-2RFGR/HV
20	112	60.5	45.6	12.7	6.55	8500	FYTB 20 WF	FYTB 504	YEL 204-2F M
20	112	60.5	45.6	12.7	6.55	1800	FYTBK 20 WD	FYTBK 504	YELAG 204

Anexo\_B 7 Factores de cálculo – Catálogo rodamientos SKF/Rodamiento B

Factores de cálculo						
$f_0 F_w/C_0$	Series de rodamientos			17262, 17263		
	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,29	0,46	1,88	0,19	0,56	2,3
0,345	0,32	0,46	1,71	0,22	0,56	1,99
0,689	0,36	0,46	1,52	0,26	0,56	1,71
1,03	0,38	0,46	1,41	0,28	0,56	1,55
1,38	0,4	0,46	1,34	0,3	0,56	1,45
2,07	0,44	0,46	1,23	0,34	0,56	1,31
3,45	0,49	0,46	1,1	0,38	0,56	1,15
5,17	0,54	0,46	1,01	0,42	0,56	1,04
6,89	0,54	0,46	1	0,44	0,56	1

Anexo\_B 8 Factor de seguridad estática - Catálogo rodamientos SKF/Rodamiento B

**Tabla 11**

**Valores orientativos para el factor de seguridad estática  $s_0$**

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios				Rodamientos fijos			
	Requisitos de rendimiento (p. ej., funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones)							
	sin importancia		normal		sup.			
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas <sup>1)</sup>	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se recomienda utilizar  $s_0 \geq 4$ .

<sup>1)</sup> Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deben utilizarse valores de  $s_0$  por lo menos iguales a los arriba mencionados. Si se conoce la magnitud de las cargas de choque, se pueden aplicar valores de  $s_0$  menores.

## Anexo\_B 9 SKF web – rodamiento B

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
d	D	T	C	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	r/min		
15	35	11.75	18.5	14.6	1.43	17000	20000	▶ 30202
15	42	14.25	27.7	20	2.08	15000	18000	▶ 30302
15	34.988	10.998	16.5	13.2	1.29	17000	22000	A 4059/A 4138
15.875	42.862	14.288	21.5	17.6	1.8	13000	17000	11590/11520
17	47	20.25	42.8	33.5	3.65	12000	16000	▶ 32303
17	40	13.25	23.4	18.6	1.83	15000	18000	▶ 30203
17	47	15.25	34.2	25	2.7	13000	16000	▶ 30303
17.462	39.878	13.843	26.1	20.8	2.12	15000	18000	▶ LM 11749/710
19.05	45.237	15.494	33.8	27.5	2.9	13000	16000	▶ LM 11949/910
20	52	22.25	54.3	45.5	5	11000	14000	▶ 32304
20	47	15.25	34.1	28	3	12000	15000	▶ 30204
20	52	16.25	41.9	32.5	3.55	12000	14000	▶ 30304
20	42	15	29.7	27	2.65	13000	16000	▶ 32004 X
21.43	50.005	17.526	45.4	38	4.15	12000	15000	M 12649/610
22	45.237	15.494	33.9	31	3.2	12000	15000	▶ LM 12749/710
22	44	15	30.9	29	2.85	13000	15000	▶ 320/22 X
22.225	52.388	19.368	51.5	44	4.8	11000	14000	1380/1328
25	52	19.25	50.4	45.5	4.9	11000	13000	32205
25	62	25.25	74.1	63	7.1	9000	12000	▶ 32305
25	62	18.25	46.6	40	4.4	8500	11000	▶ 31305
25	52	16.25	38.1	33.5	3.45	11000	13000	▶ 30205

## Anexo\_B 10 Catalogo de alambre nicromel

[www.mikai.com.mx](http://www.mikai.com.mx)  
Tel. (81) 8374-3217, (81) 8374-6021

INFORMACION TECNICA ALAMBRES  
NiCrome 80% - 20 % ( valores tomados a temperatura de 20°C)



**Alambre NICROM 80-20**

CALIBRE	DIAMETRO		RESISTENCIA	
	SWG	MM	OHMS/MTO	MTO/KG
2	5.4000	0.2575	0.0324	3.50

Fuente: <https://mikai.mx/wp-content/uploads/2017/08/Informacion-tecnica-alambres-y-cintas-NiCrome.pdf>

### 7.3. ANEXO C – PROPIEDADES DE MATERIAL

#### Anexo\_C 1 Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304

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

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura $\epsilon_f$
			Fluencia $S_y$ MPa (kpsi)	Última $S_u$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_b$ MPa (kpsi)	Coficiente $\sigma_{0.2}$ MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>f</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>f</sup>	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>f</sup>	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) <sup>f</sup>	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) <sup>f</sup>	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) <sup>f</sup>	1 410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) <sup>f</sup>	1 270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>f</sup>	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>f</sup>	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>f</sup>	882 (128)	0.13	0.18	

\*Las sales se tomaron de uno o dos cálculos y se consideró que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.  
<sup>f</sup>Valor de diseño.

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley

#### Anexo\_C 2 Propiedades Físicas de la Manta de Lana de Vidrio

Propiedades Físicas de la Manta de Lana de Vidrio – Micro-Aire ® – Rigid Roll ®								
Dimensiones Nominales (1)				Propiedades				
				Térmicas (2)				Acústicas (3)
Espesor mm	Largo m	Ancho m	Solapa mm	Conductividad Térmica ( $\lambda$ )		Resistencia Térmica ( R )		Coeficiente NRC
				$\frac{\text{Kcal m}}{\text{m}^2\text{C h}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m K}}$	$\frac{\text{m}^2\text{ C h}}{\text{kcal}}$	$\frac{\text{m}^2\text{ K}}{\text{W}}$	
50	10 a 15	1,20	70	0,037	0,043	1.35	1,16	0,90
75	8 a 12	1,20	70	0,037	0,043	2,02	1,74	0,95
100	9	1,20	70	0,037	0,043	2,70	2,33	0,95
125	8	1,20	70	0,037	0,043	3,37	2,91	0,95
150	7	1,20	70	0,037	0,043	4,05	3,49	0,95

Fuente: <http://www.aislantessh.com.ar/aislantes/14.5.htm>

### Anexo\_C 3 Aplicaciones de planchas de acero Inoxidable – JN Aceros

	NORMAS INTERNACIONALES		APLICACIONES
	AISI	N° Acero	
AUSTENÍTICA	J4	1.4003	Cuartería, menaje, exhibidores, decoración interior
	304	1.4301	Industria alimentaria, cuartería, menaje, aplicaciones criogénicas e industriales.
	304L	1.4307	Industria alimentaria, cuartería, menaje, aplicaciones criogénicas e industriales.
	310	1.4845	Construcciones soldadas, calderería, tubos con costura.
	316	1.4401	Hornos, aplicaciones a altas temperaturas.
	316L	1.4404	Industrias químicas, ideal para ambientes agresivos.
FERRÍTICA	430	1.4016	Construcciones soldadas, calderería, tubos con costura. Especial para ambientes agresivos.
			Cuartería, menaje, exhibidores, decoración interior

Fuente: <https://jnaceros.com.pe/index.php/productos/planchas>

- Anexo\_D 1 Accesorios Eléctricos Schneider Electric, circuito de fuerza y control de arranque directo de un motor eléctrico
- Guardamotor magneto térmico 3φ

HP 220V/440V	Regulación (A)	I Corte 415 V
0.1 / 0.12	0.25 - 0.44	>100KA
0.1 / 0.24	0.40 - 0.63	>100KA
0.25 / 0.5	0.63 - 1	>100KA
0.34 / 0.75	1 - 1.6	>100KA
0.5 / 1.5	1.6 - 2.5	>100KA
1 / 2	2.5 - 4	>100KA
1.5 / 4	4 - 6.3	>100KA
3 / 5	6 - 10	>100KA
4 / 10	9 - 14	15KA
5 / 10	13 - 18	15KA
7 / 12	17 - 23	15KA
7 / 15	20 - 25	15KA
10 / 20	24 - 32	15KA

Fuente: Catálogo Schneider Electric

- Contactores

Corriente Nominal (A)	Tensión de Operación del motor (V)	Potencia Máxima (HP)	Tensión de bobina (V)
9	230	1.5	120 Vac
	480	2	
18	230	3	120 Vac
	480	5	
27	230	7.5	120 Vac
	480	10	
45	230	15	120 Vac
	480	25	
90	230	30	120 Vac
	480	50	
135	230	50	120 Vac
	480	100	
270	230	100	120 Vac
	480	200	
540	230	200	120 Vac
	480	400	

Fuente: Catálogo Schneider Electric

➤ Pulsadores 1NA + 1NC

Descripción	Color	Contacto
Rasante	plaquetas: negro, rojo, verde, amarillo, naranja, azul y blanco	1 NANC
Saliente		1 NANC

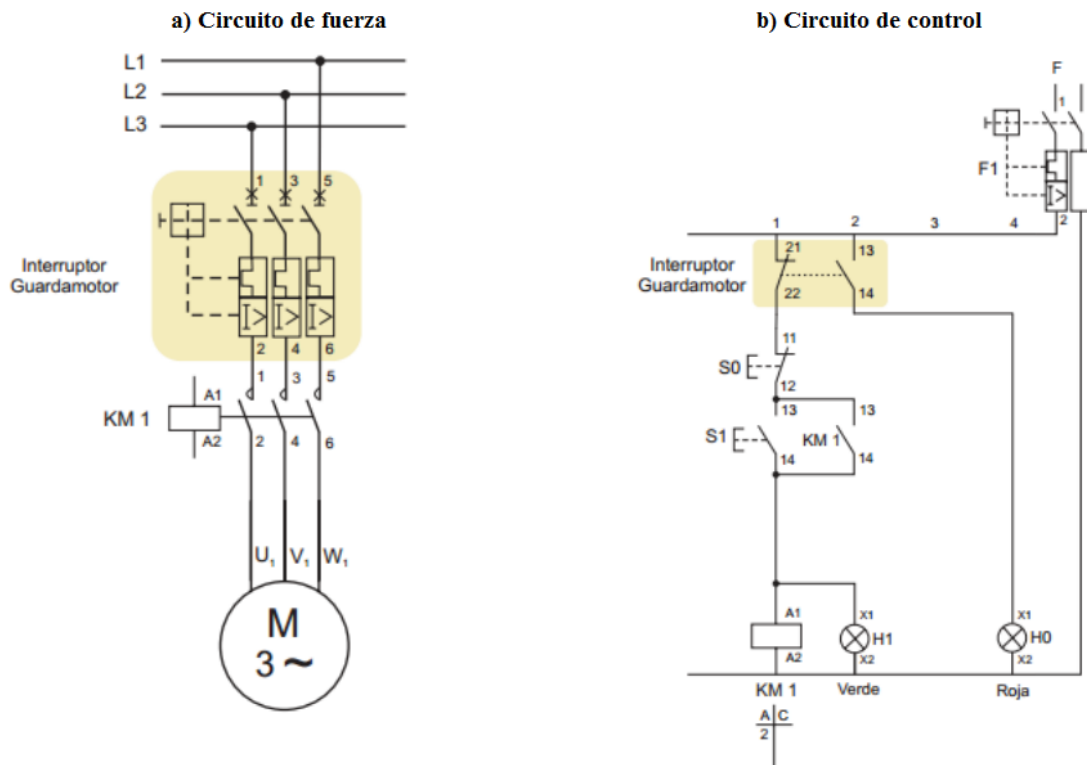
Fuente: Catálogo Schneider Electric

➤ Lámparas de señalización

Descripción	Color	Contacto
Bulbo incandescente (no incluido)	24 VAC/DC	Verde
		Rojo
		Amarillo
	120 VAC/DC *	Verde
		Rojo
		Amarillo
	220 VAC/DC	Verde
		Rojo
		Amarillo
LED de alta luminosidad (incluido)	24 VAC/DC	Verde
		Rojo
		Amarillo
	120 VAC/DC *	Verde
		Rojo
		Amarillo
	220 VAC/DC	Verde
		Rojo
		Amarillo

Fuente: Catálogo Schneider Electric

➤ Circuito de fuerza y control de arranque directo de un motor eléctrico



Fuente: [https://www.academia.edu/31619602/Maquinas\\_Electricas\\_Chapman\\_5ta\\_edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/31619602/Maquinas_Electricas_Chapman_5ta_edici%C3%B3n)

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. d. Agricultura, «Propuesta del Plan Nacional de Desarrollo Apícola,» Lima, 2011.
- [2] E. Lema y D. Tisalema, «Diseño y construcción de una máquina centrífuga semiautomática para la extracción de miel de abeja.,» Riobamba - Ecuador, 2016.
- [3] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, México: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [4] Y. A. Cengel, Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones, México: McGraw-hill/interamericana editores, s.a. de c.v, 2006.
- [5] «Encyclopeda Britannica,» [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/centrifugal-force#accordion-article-history>. [Último acceso: 5 Mayo 2018].
- [6] R. A. Serway y J. W. Jewett, Física para ciencias en ingeniería con Física Moderna, México: EDITEC S.A. de C.V., 2009.
- [7] W. Callister, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Barcelona: Editorial Reverté S.A., 2009.
- [8] J. Holman, Transferencia de calor, México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. , 1999.
- [9] Norma Técnica Peruana, Lima, 1999.
- [10] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México: Pearson educación, 2006.
- [11] M. Tamayo, El proceso de la investigación científica, México: Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 2003.
- [12] F. Arias, El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica, Caracas: Editorial Episteme, C.A., 2006.
- [13] V. Niño, Metodología de la Investigación: diseño y ejecución, Bogotá: Ediciones de la U, 2011.
- [14] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, Metodología de la Investigación, Mexico: McGraw - Hill Interamericana de México, s.a. de c.v, 1991.
- [15] M. d. Agricultura, «Resultados Obtenidos en el Censo de productores Apícolas en el Departamento de Lambayeque,» Chiclayo, 2008.
- [16] L. Gonzales, «Estudio de viabilidad comercial para una marca de miel de abeja para la asociación de productores apícolas cruz verde del distrito Illimo,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2015.

- [17] M. d. Agricultura, Manual Práctico de Apicultura, Lambayeque, 2007.
- [18] O. Bejarano, Diseño de una máquina experimental para la deformación en frío en una dirección de láminas no ferrosas, mediante fuerzas de compresión., Lima, 2013.
- [19] Prescripciones generales para máquinas eléctricas rotativas: IEC 60034-1.
- [20] Máquinas eléctricas rotativas. Parte 5: Grados de protección proporcionados por el diseño integral de las máquinas eléctricas (código IP): IEC 60034-5.
- [21] WEG, Selección y aplicación de motores eléctricos, 2016.
- [22] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V, 2012.
- [23] A. Rueda, «Motores Alta Eficiencia,» Programa de Ahorro de Energía del Sector Electrico, p. 70, 2017.
- [24] A. V. Lázaro, Simulación con SolidWorks, Lima: Empresa Editora Macro EIRL, 2014.
- [25] C. Chagoyén, C. Álvarez, Y. Brito y J. Moya, «Comportamiento estático y modal del chasis de un ómnibus,» Cuba, 2013, pp. 161-170.
- [26] I. N. d. E. e. Informática, «IV Censo Nacional Agropecuario,» Chiclayo, 2012.
- [27] H. Bazalar, «Diseño y fabricación de una máquina limpiadora de trigo.,» Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, 2004.
- [28] V. Useche, Conceptos básicos sobre diseño de máquinas, Colombia, 2002.