

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO PARA LA EMPRESA TAQUITO'S**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**JORGE ANDRÉS SARÁUZ TERÁN**  
andres.sarauz@hotmail.com

**ALEXANDER JAVIER TIRIRA FREIRE**  
aj\_tirira@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. JAIME VARGAS**  
jaime.vargas@hotmail.com

**Quito, Agosto 2011**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Jorge Andrés Saráuz Terán y Alexander Javier Tirira Freire, declaramos bajo juramento que el trabajo descrito es de nuestra propia autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

Jorge Andrés Saráuz Terán

---

Alexander Javier Tirira Freire

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que bajo nuestra supervisión, el presente proyecto de titulación fue realizado por los señores: JORGE ANDRÉS SARÁUZ TERÁN Y ALEXANDER JAVIER TIRIRA FREIRE

---

Ing. Jaime Vargas

DIRECTOR

---

Ing. Washington Altuna

COLABORADOR

---

Ing. Jorge Escobar

COLABORADOR

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestra eterna gratitud a Dios y a nuestros padres; por habernos dado la vida y guiarnos por el camino del bien. Por su infinito sacrificio, paciencia, ejemplo y amor que siempre lo llevamos presente y que nos motiva a mejorar cada día. Gracias por enseñarnos a disfrutar de nuestros éxitos y aprender de nuestros fracasos.

Al ingeniero Jaime Vargas por su acertada dirección, apoyo y amistad brindada en la realización del presente proyecto.

Agradecemos a todos los profesores de nuestra vida estudiantil por habernos guiado y brindado las herramientas necesarias para nuestro desenvolvimiento en el campo profesional.

Al personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica, quienes demostraron siempre su apoyo incondicional.

A todos nuestros compañeros y amigos por estar en los momentos difíciles para darnos una mano, por depositarnos su confianza y amistad sincera.

***Andrés y Alexander***

## DEDICATORIA

Al culminar una etapa más de mi vida, este proyecto se lo dedico a toda mi familia por su amor, cariño y comprensión; de manera muy especial a mi madre Mariana ejemplo de vida y superación personal, ya que sin su constante apoyo y amor no hubiese alcanzado la culminación de este proyecto, a mi padre René por su apoyo y consejos para mejorar y crecer profesionalmente.

A mis hermanos Steven y Cinthya por su confianza, comprensión y cariño.

A Jacqueline, por darme su amor y apoyo incondicional, en especial en esta nueva etapa de mi vida profesional.

A todos quienes en forma directa o indirecta colaboraron en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente agradezco a Dios, por ponerme a todas estas personas en mi camino y por permitirme estar donde estoy.

***Andrés Saráuz.***

Este proyecto se lo dedico a mi familia en especial a mis padres: Ramiro y Susana, quienes han sido ejemplo a seguir cada día de mi vida; que gracias a su apoyo, cariño y comprensión han sido el pilar fundamental para alcanzar esta meta juntos.

A mis hermanos Darwin y Ramiro, por el gran apoyo y respaldo que me han brindado siempre.

A mis abuelitos Rosita y Gonzalito que en paz descansen y a mis abuelitos que siempre me alegran y alientan cada día Rosalbita y Miguelito.

A mis amigos que creyeron en mí y me han alentado a seguir adelante.

***Alexander Tirira.***

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1    INTRODUCCIÓN.....	1
1.2    DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA. ....	1
1.3    TORTILLA MEXICANA. ....	1
1.3.1    INGREDIENTES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE LA TORTILLA. ....	2
1.3.1.1    HARINA. ....	2
1.3.1.2    SAL. ....	4
1.3.1.3    AGUA.....	5
1.3.1.4    GRASAS.....	5
1.3.2    PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TORTILLA.....	6
1.3.2.1    AMASADO.....	7
1.3.2.2    REPOSO. ....	7
1.3.2.3    DIVISIÓN O CORTE.....	8
1.3.2.4    MOLDEO. ....	8
1.3.2.5    PRECOCIDO.....	8
1.4    MÁQUINA TORTILLADORA.....	9
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
<b>ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO</b> .....	<b>12</b>
2.1    INTRODUCCIÓN.....	12
2.2    DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. ....	12
2.3    ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	13
2.4    PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	15
2.4.1    ALTERNATIVA A: SISTEMA DE PRENSADO. ....	15
2.4.1.1    VENTAJAS. ....	15
2.4.1.2    DESVENTAJAS.....	16
2.4.2    ALTERNATIVA B: SISTEMA DE LAMINACIÓN CON RODILLOS.....	16
2.4.2.1    VENTAJAS .....	17
2.4.2.2    DESVENTAJAS.....	17
2.5    SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS. ....	17
2.5.1    CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	17
2.5.1.1    FUNCIONALIDAD.....	17
2.5.1.2    OPERACIÓN. ....	17
2.5.1.3    MANUFACTURA. ....	18
2.5.1.4    MANTENIMIENTO.....	18
2.5.1.5    COSTO.....	18
2.5.2    MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS. ....	18
2.6    RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	22

2.7	PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	22
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>26</b>
<b>DISEÑO DE LA MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS .....</b>		<b>26</b>
3.1	INTRODUCCIÓN.....	26
3.2	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.....	26
3.3	DISEÑO DE ELEMENTOS Y PARTES.....	27
3.3.1	RODILLOS LAMINADORES.....	28
3.3.1.1	DIÁMETRO DE RODILLOS LAMINADORES.....	28
3.3.1.2	LONGITUD DE RODILLOS LAMINADORES.....	30
3.3.1.3	CARGA EN LOS RODILLOS LAMINADORES.....	30
3.3.2	POTENCIA REQUERIDA.....	30
3.3.2.1	POTENCIA REQUERIDA PARA MOVER LOS RODILLOS Y VENCER LA RESISTENCIA DE LA MASA.....	30
3.3.2.2	POTENCIA REQUERIDA PARA MOVER LA BANDA TRANSPORTADORA.....	34
3.3.2.2.1	FUERZA NECESARIA PARA MOVER LA BANDA EN VACÍO Y SUS COMPONENTES.....	38
3.3.2.2.2	FUERZA NECESARIA PARA DESPLAZAR HORIZONTALMENTE LA CARGA.....	40
3.3.3	EJES DE TRANSMISIÓN PARA LOS RODILLOS.....	43
3.3.3.1	EJE DE TRANSMISIÓN PARA RODILLO 1.....	43
3.3.3.1.1	SELECCIÓN DE CATALINAS Y CADENA.....	44
3.3.3.1.2	ENGRANES.....	49
3.3.3.1.3	FUERZAS EN EL EJE 1.....	53
3.3.3.1.4	DISEÑO ESTÁTICO DEL EJE DE TRANSMISIÓN PARA EL EJE 1.....	57
3.3.3.1.5	DISEÑO DINÁMICO DEL EJE DE TRANSMISIÓN PARA EL EJE 1.....	60
3.3.4	SELECCIÓN DE POLEAS Y BANDA.....	64
3.3.5	RODILLO CORTADOR.....	65
3.3.5.1	DIMENSIONAMIENTO.....	65
3.3.6	LENGÜETA.....	67
3.3.7	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	69
3.3.8	ESTRUCTURA.....	71
3.3.8.1	COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA.....	72
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>76</b>
<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO.....</b>		<b>76</b>
4.1	CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	76
4.1.1	REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	77
4.1.1.1	MÁQUINAS Y EQUIPOS.....	77
4.1.1.2	HERRAMIENTAS.....	77
4.1.1.3	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN.....	78

4.1.1.4	RESUMEN DE MATERIA PRIMA.....	78
4.1.1.5	ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	78
4.1.1.6	ELEMENTOS SELECCIONADOS.....	78
4.1.2	HOJAS DE PROCESO .....	79
4.2	MONTAJE DE LA MÁQUINA .....	79
4.3	PRUEBAS DE CAMPO.....	80
4.3.1	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO.....	80
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>92</b>
<b>COSTOS.....</b>		<b>82</b>
5.1	INTRODUCCIÓN.....	82
5.2	COSTOS DEL PROTOTIPO.....	82
5.2.1	COSTOS DIRECTOS .....	82
5.2.1.1	COSTOS DE MATERIA PRIMA .....	82
5.2.1.2	COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	85
5.2.1.3	COSTOS DE MAQUINADO.....	85
5.2.1.4	COSTOS DE MONTAJE.....	86
5.2.2	COSTOS INDIRECTOS.....	87
5.2.2.1	COSTOS NO RECUPERABLES .....	87
5.2.2.2	COSTOS DE INGENIERÍA .....	88
5.2.2.3	COSTOS DE IMPREVISTOS .....	89
5.2.3	COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO .....	89
<b>CAPITULO 6.....</b>		<b>91</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>91</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	91
6.2	RECOMENDACIONES.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1</b> Harina de trigo. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas .....	3
<b>Figura 1. 2</b> Sal. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas.....	4
<b>Figura 1. 3</b> Agua. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas .....	5
<b>Figura 1. 4</b> Grasa. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas .....	6
<b>Figura 1. 5</b> Máquina tortilladora tipo prensa manual.....	10
<b>Figura 1. 6</b> Máquina tortilladora con rodillos laminadores .....	10
<b>Figura 2. 1</b> Máquina tortilladora con sistema de prensado .....	15
<b>Figura 2. 2</b> Tortilladora con sistema de rodillos laminadores.....	16
<b>Figura 3. 1</b> Máquina para la elaboración de tortillas. Alternativa seleccionada .....	27
<b>Figura 3. 2</b> Paso de la masa por los rodillos.....	30
<b>Figura 3. 3</b> Proyección de la presión de amasado.....	31
<b>Figura 3. 4</b> Área transversal de la tortilla .....	37
<b>Figura 3. 5</b> Transmisión de potencia desde el motor.....	42
<b>Figura 3. 6</b> Elementos mecánicos del rodillo .....	44
<b>Figura 3. 7</b> Transmisión por cadena .....	46
<b>Figura 3. 8</b> Fuerzas sobre las catalinas.....	47
<b>Figura 3. 9</b> Fuerza aplicada al engrane .....	50
<b>Figura 3. 10</b> Diagrama de cuerpo libre para el eje 1.....	53
<b>Figura 3. 11</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y .....	55
<b>Figura 3. 12</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano x-z .....	56
<b>Figura 3. 13</b> Teoría de la energía de la distorsión para falla de materiales dúctiles.....	59
<b>Figura 3. 14</b> Gráfico de la línea de Goodman modificada .....	62
<b>Figura 3. 15</b> Rodillo cortador .....	65
<b>Figura 3. 16</b> Esquema del conjunto rodillo laminador-cortador .....	66
<b>Figura 3. 17</b> Fuerzas ejercidas sobre la lengüeta.....	67
<b>Figura 3. 18</b> Estructura de la máquina.....	71
<b>Figura 3. 19</b> Propiedades del prototipo modelado .....	72
<b>Figura 3. 20</b> Carga y restricciones en la estructura .....	73
<b>Figura 3. 21</b> Reacciones que soporta la estructura .....	74
<b>Figura 3. 22</b> Deformaciones en la estructura.....	74
<b>Figura 3. 23</b> Factor de seguridad de la estructura .....	75
<b>Figura 5. 1</b> Trazado en planchas de 1220x2440 .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Especificaciones Técnicas de la máquina para la elaboración de tortillas .....	13
<b>Tabla 2.2</b> Evaluación del peso específico de cada criterio .....	19
<b>Tabla 2.3</b> Evaluación del peso específico del criterio Funcionalidad .....	19
<b>Tabla 2.4</b> Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento .....	20
<b>Tabla 2.5</b> Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento .....	20
<b>Tabla 2.6</b> Evaluación del peso específico del criterio Manufactura.....	21
<b>Tabla 2.7</b> Evaluación del peso específico del criterio Costo .....	21
<b>Tabla 2.8</b> Tabla de Conclusiones.....	21
<b>Tabla 2.9</b> Formato de Protocolo de Pruebas .....	23
<b>Tabla 3.1</b> Coeficiente de fricción de las partes giratorias.....	39
<b>Tabla 3.2</b> Especificaciones para catalinas tipo B (NK 60).....	49
<b>Tabla 3.3</b> Parámetros para el determinar el ancho de cara del engrane .....	52
<b>Tabla 3.4</b> Información de chumaceras seleccionadas .....	70
<b>Tabla 3.5</b> Desplazamientos de los elementos de la estructura.....	75
<b>Tabla 5.1</b> Costos de materia prima .....	84
<b>Tabla 5.2</b> Costos de elementos normalizados .....	85
<b>Tabla 5.3</b> Costos de maquinado .....	86
<b>Tabla 5.4</b> Costos de montaje .....	86
<b>Tabla 5.5</b> Costos no recuperables .....	87
<b>Tabla 5.6</b> Costos de materiales consumibles.....	87
<b>Tabla 5.7</b> Actividades y tiempo de ingeniería.....	88
<b>Tabla 5.8</b> Costos de imprevistos.....	89
<b>Tabla 5.9</b> Costo Total.....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO I</b>	
CATÁLOGO DE TUBOS DE ACERO INOXIDABLE.....	96
<b>ANEXO II</b>	
CATÁLOGO DE MOTORREDUCTOR.....	96
<b>ANEXO III</b>	
CATÁLOGO DE CADENA Y CATALINAS.....	97
<b>ANEXO IV</b>	
CATÁLOGO DEL NYLON.....	98
<b>ANEXO V</b>	
CATÁLOGO DE BANDAS.....	99
<b>ANEXO VI</b>	
CATÁLOGO DE CHUMACERAS.....	100
<b>ANEXO VII</b>	
CATÁLOGO DE PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE 304.....	101
<b>ANEXO VIII</b>	
CATÁLOGO DE EJE DE TRANSMISIÓN AISI 1018.....	102
<b>ANEXO I</b>	
CATÁLOGO DE TUBO CUADRADO.....	103
<b>ANEXO X</b>	
PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	104
<b>ANEXO XI</b>	
HOJAS DE PROCESOS.....	105
<b>ANEXO XII</b>	
FOTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL PROTOTIPO.....	106
<b>ANEXO XIII</b>	
PLANOS.....	107

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación surge a consecuencia de que el proceso de elaboración de las tortillas de harina de trigo de la empresa Taquito's resulta muy agobiante y poco eficiente para una tarea manual lo que limita la posibilidad de abrir nuevas sucursales por falta de personal calificado.

Por tales razones se decide diseñar y construir un prototipo que permita a la empresa Taquito's realizar en menor tiempo y con menor esfuerzo la elaboración de la tortilla de harina de trigo.

En el primer capítulo se realiza una descripción de la empresa TAQUITO'S, un estudio acerca de la tortilla mexicana con respecto a su composición, proceso de elaboración y finalmente se presenta un estudio de las máquinas que realizan este proceso, con el afán de relacionar las posibles máquinas que se pueden emplear en dicho proceso.

En el segundo capítulo se establecen las especificaciones técnicas, se presentan y evalúan las alternativas de la máquina para la elaboración de la tortilla, con la finalidad de seleccionar la más adecuada para solución del problema.

En el capítulo tres se detalla el diseño de las partes mecánicas a construirse y la selección de los elementos y dispositivos para el prototipo, considerando las características que deben reunir cada uno de ellos, en lo referente a materiales y dimensiones.

El capítulo cuatro contempla la construcción del prototipo con sus respectivas hojas de procesos, además de los planos constructivos, proceso de montaje y los resultados obtenidos de las pruebas de campo.

El capítulo cinco contiene el análisis de costos relacionados con el diseño y construcción de la máquina.

Finalmente en el sexto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que se debe tener en cuenta para el correcto funcionamiento del prototipo.

## PRESENTACIÓN

El presente proyecto contempla el diseño y construcción de una máquina para la elaboración de las tortillas de harina de trigo, para obtener diámetros de 15 y 25 [cm].

Taquito's es una empresa dedicada al expendio de burritos, tacos y quesadillas mexicanas, cuyo principal componente es la tortilla de harina de trigo. La elaboración de la tortilla resulta muy agobiante y poco eficiente para una tarea manual, limitando así la posibilidad de abrir nuevas sucursales. Paralelamente es importante resaltar que en Ecuador no existen empresas destinadas a la construcción de este tipo de máquinas y su importación trae consigo inconvenientes en las tareas de mantenimiento, reparación y adquisición de repuestos en el mercado nacional. Este proyecto pretende resolver estos problemas.

En el desarrollo del trabajo se presenta un estudio de las alternativas de las máquinas que permiten realizar este proceso, seguido de la selección de la alternativa más viable de acuerdo a ciertos parámetros establecidos.

El diseño de la máquina contempla el dimensionamiento de piezas y elementos mecánicos, así como también la selección de elementos normalizados.

Cabe indicar que la máquina presenta la facilidad de elaborar diversos diámetros de tortillas debido a que el rodillo cortador puede cambiarse de forma muy sencilla.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se realiza una descripción de la empresa TAQUITO'S y se abordan temas involucrados con la producción de la tortilla mexicana; con el afán de relacionar las posibles máquinas que se pueden emplear en dicho proceso.

### 1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

La empresa *TAQUITO'S Mexican Xpress* surge de la necesidad de ofrecer un producto de comida rápida al paso novedoso y diferente a las comunes hamburguesas y hot-dogs, que tradicionalmente se ofertan en el centro de la ciudad de Quito, particularmente en las horas de la noche y la madrugada.

Los productos que se elaboran son: burritos, tacos y quesadillas mexicanas, que se componen de una tortilla de harina de trigo rellena de vegetales, carnes y salsas. El Burrito es una tortilla de 25 [cm] de diámetro que se enrolla junto con los ingredientes según la variedad escogida por el cliente. Los tacos son 3 tortillas de 15 [cm] de diámetro cada uno, no se enrollan y el relleno se coloca encima. La quesadilla es una tortilla de 25 [cm] de diámetro que se rellena y se dobla por la mitad.

### 1.3 TORTILLA MEXICANA.

La tortilla mexicana es un alimento de forma redonda y aplanada, elaborada con harina de maíz o de trigo, siendo uno de los alimentos que más se ha consumido en México desde hace siglos.

Las tortillas de harina se distinguen por la forma en que son preparadas y/o por el relleno, dando lugar a distintos platos de la gastronomía mexicana.

A efecto de desarrollar este proyecto, se analizará la tortilla de harina de trigo. La tortilla de harina de trigo es originaria del norte de México, nació en la era colonial en el año 1519. La historia describe que hubo la conjunción de dos factores: la presencia de grupos colonizadores mesoamericanos tlaxcaltecas y la abundancia de trigo.

Las tortillas varían en tamaño, desde 6 a más de 30 [cm] dependiendo de la región del país y el plato para el que se pretende utilizarla. La tortilla de harina de trigo es más resistente y elástica que la tortilla de harina de maíz.

### **1.3.1 INGREDIENTES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE LA TORTILLA.**

Los principales ingredientes que se utilizan en el proceso de elaboración de la tortilla de harina de trigo son:

- Harina
- Sal
- Agua
- Grasas (Manteca/mantequilla).

#### **1.3.1.1 Harina.**

La harina es el polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. Se puede obtener harina de distintos cereales, aunque la más habitual es harina de trigo, también se hace harina de centeno, cebada, avena, maíz, arroz y de leguminosas.



**Figura 1. 1** Harina de trigo. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas

La harina de trigo tiene los siguientes componentes:

1. Carbohidratos: Compuestos químicos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Constituyen la parte mayor del endospermo<sup>1</sup> del trigo.
2. Proteínas: Son sustancias que contienen mucho nitrógeno. Se dividen en dos grupos:
  - a. Solubles: están presentes en pequeña cantidad.
  - b. Insolubles: son las que forman el gluten.

El gluten es la fracción natural e insoluble de las proteínas del trigo, y por lo tanto su contenido en la harina es importante por el doble aspecto de la calidad alimenticia determinada por su contenido y las condiciones de la harina.

El gluten está conformado por dos tipos diferentes de proteínas con características bien definidas; la primera llamada GLIADINA que es soluble en alcohol, es la encargada de formar una masa blanda y pegajosa, dándole a la masa la características de extensibilidad y una cualidad adhesiva; por otro lado la GLUTEÍNA que es la de mayor peso molecular contribuye a la elasticidad dándole a la masa la características de tenacidad y fuerza.

---

<sup>1</sup> Parte interior del grano de trigo y de la cual se extrae la harina.

Las propiedades más valiosas del gluten son:

- Fortalecimiento de la masa.
  - Retención del gas y expansión controlada, con lo cual se obtienen productos de formas uniformes.
  - Mejoramiento estructural de la masa debido a su termo-coagulación de la proteína.
  - Absorción y retención de agua, lo cual incide directamente en la calidad, suavidad y una mayor conservación de la tortilla.
  - Mejoramiento del sabor natural.
3. Humedad: La humedad de la harina oscila alrededor del 14%. Este factor incide directamente en la conservación y en el porcentaje absorción de agua para la elaboración de la masa.
4. Cenizas: Es la cantidad de material mineral que tiene la harina, depende de la clase de trigo y de la molienda.

### 1.3.1.2 Sal.

El porcentaje de sal en la masa varía entre el 0.5% al 1%, y sus principales funciones son:

- Fortalecer el gluten
- Reducir la producción de gas
- Resaltar el sabor de los otros ingredientes.



**Figura 1. 2** Sal. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas

### 1.3.1.3 Agua.

En el agua se disuelven casi todos los ingredientes, permitiendo una total incorporación entre ellos. Por lo tanto es un elemento básico en el proceso de elaboración de las tortillas y sus funciones son las siguientes:

- Hace posible la formación del gluten y el acondicionamiento de los almidones.
- Determina la consistencia de la masa.
- Conduce el calor y controla la temperatura de la masa.



**Figura 1. 3** Agua. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas

### 1.3.1.4 Grasas.

Las grasas utilizadas en la elaboración de las tortillas son las mantecas y/o mantequillas. Para los fines de la formulación y la incidencia en la función de las masas tienen igual valor. Las grasas se consideran entre los ingredientes líquidos para los fines de la formulación; en consecuencia se deben realizar ajustes en el porcentaje de agua dependiendo de la plasticidad requerida.



**Figura 1. 4** Grasa. Ingrediente utilizado para la elaboración de tortillas

Las funciones de la grasa en la masa para la elaboración de la tortilla son las siguientes:

- El lubricante del gluten, al que le cubre con una película, permitiéndole un mayor estiramiento; hasta en un 3%, contribuyendo a mejorar el volumen de la tortilla.
- Da un mayor valor nutritivo a la tortilla. Aumenta su contenido de calorías.
- Mejora la textura y hace más suave la masa.
- Retiene la humedad prolongando la vida útil de la tortilla.
- Enriquecedor natural.

### **1.3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TORTILLA.**

El proceso convencional de elaboración de la tortilla está compuesto de varias actividades que se describen a continuación:

- Mezcla y amasado
- Tiempo de reposo
- División o corte
- Moldeo
- Pre-cocido

### **1.3.2.1 Amasado.**

Es la operación mediante la cual se incorporan los ingredientes de la masa, se obtiene una masa blanda y de mayor rendimiento. El amasado puede ser realizado manualmente, pero se obtienen mejores resultados si se utiliza una máquina adecuada.

Los objetivos del amasado son:

- Lograr una distribución uniforme de todos los ingredientes de la masa.
- Formar y desarrollar adecuadamente el gluten de la masa.
- Incorporar el agua de manera uniforme y completa en los gránulos de almidón.

Los periodos del amasado son:

1. Incorporación: Durante este período los ingredientes se combinan en una masa húmeda y pegajosa.
2. Desarrollo preliminar: En este período la masa adquiere una consistencia pastosa.
3. Comienzo de la elasticidad: Período de desarrollo del gluten.
4. Desarrollo final del gluten: En este período la masa se torna tersa, seca y elástica.

Si se amasa en exceso, la masa se vuelve húmeda, pegajosa, brillante, con ninguna o muy poca elasticidad. Esto debido a la destrucción del gluten.

### **1.3.2.2 Reposo.**

Es un intervalo de tiempo que da como resultado el acondicionamiento de la harina, lo que mejora el sabor y la textura de la tortilla.

### **1.3.2.3 División o Corte.**

Después del amasado y de un adecuado tiempo de reposo, se debe realizar la división de la masa en pequeñas porciones uniformes, de acuerdo a las dimensiones de la tortilla, variaran las porciones. Este proceso se lo puede realizar con el uso de una divisora de masa y/o pesando en una balanza.

### **1.3.2.4 Moldeo.**

El objeto del moldeo es darle la forma de la tortilla a las porciones de masa mediante un bolillo de madera.

El moldeo requiere gran habilidad manual que solo se adquiere con mucha experiencia.

### **1.3.2.5 Precocido.**

El objetivo es cocer la tortilla hasta un grado tal que, permita su almacenamiento y la conservación de sus propiedades, así como de su sabor. El tiempo de pre-cocido, depende de los siguientes factores:

- Propiedades de la masa
- Tamaño de la tortilla.

Es muy importante mencionar que, actualmente el proceso de elaboración de las tortillas ha sido total y parcialmente mecanizado, con la utilización de las máquinas tortilladoras.

## 1.4 MÁQUINA TORTILLADORA.

La máquina para la elaboración de tortillas o comúnmente llamada *tortilladora*, es aquella que permite la producción en serie de las tortillas. Son de uso extendido en México y en el sur de los Estados Unidos.

El diseño de las primeras máquinas, parten de reproducir la forma convencional de elaboración de las tortillas mediante un proceso mecanizado, y es así, que el ingenio de los inventores se ha ocupado de buscar los mecanismos con los que se puedan hacer tortillas de tan buena calidad como las hechas manualmente, que son el prototipo y las que han determinado las características de calidad de las tortillas.

Hasta la mitad de la década de los cincuenta, se diseñan dos máquinas que han sido los mecanismos o sistemas en base a los que se fabricaron todas las máquinas comúnmente llamadas de “aplastón” y el sistema de “laminación con rodillos”; las cuales revolucionaron relativamente la producción industrial de las tortillas.

La primera solución constituyen las máquinas “de aplastón”, que siguen el principio de la prensa; que no es otra cosa que someter una porción de masa a la presión de dos superficies rígidas y planas con uno o dos impulsos manuales, en vez de 20 o 30 palmoteos para extenderla. Debido a que la masa es muy adhesiva y donde se aprieta se queda pegada; es imposible despegar la masa hecha tortilla de superficies rígidas como son necesariamente las partes de la prensa que la comprimen y la extienden. Por esa característica natural de la masa es que, en las prensas simples, la masa recibe la presión entre dos hojas de material flexible como polietileno, tela ahilada o lienzos de manta, los cuales se despegan de la tortilla en forma manual. Estas primeras máquinas lograron ofrecer al público consumidor tortillas de una calidad muy aproximada a la de las tortillas hechas a mano.



**Figura 1. 5** Máquina tortilladora tipo prensa manual

**Fuente:** Propia (SolidWorks 2010)

Las máquinas de rodillos laminadores fueron la segunda solución. Estas máquinas se caracterizan por tener una tolva donde se deposita la masa, dos rodillos de metal o material plástico que tienen la función de laminar la masa y un rodillo con cortador de tipo troquel que forma la tortilla. El despegamiento se hace por medio de alambres tensados a lo largo de los rodillo o bien por cuchillas, y el movimiento se transmite con una manija o motor y un sistema de engranes.



**Figura 1. 6** Máquina tortilladora con rodillos laminadores

**Fuente:** Propia (SolidWorks 2010)

El sistema de laminación con rodillos, fue el primer mecanismo que integra la etapa de cocimiento a la máquina, mecanizando completamente el proceso de producción; pero por las limitaciones propias de los sistemas de aquellos tiempos produjeron tortillas de poca calidad.

Actualmente, las máquinas de ambos sistemas, han integrado totalmente el proceso de elaboración de la tortilla.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN.**

En el presente capítulo se define el problema. Partiendo de esto, se establecen las especificaciones técnicas se presenta y evalúa las alternativas de la máquina para la elaboración de la tortilla, con la finalidad de escoger la adecuada para la solución del problema.

#### **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

La elaboración de la tortilla de harina de trigo, requerida para la preparación de la tortilla mexicana en la empresa *Taquito's*; resulta muy agobiante y poco eficiente para una tarea manual, limitando así la posibilidad de abrir nuevas sucursales por la falta de personal calificado.

Paralelamente es importante resaltar que en Ecuador no existen empresas destinadas a la construcción de este tipo de máquinas y su importación trae consigo inconvenientes en las tareas de mantenimiento, reparación y adquisición de repuestos en el mercado nacional.

El presente proyecto se basa en construir una máquina prototipo que permita elaborar con menor esfuerzo, disminuir los tiempos y costos de producción de la tortilla de harina de trigo.

## 2.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

**Tabla 2.1** Especificaciones Técnicas de la máquina para la elaboración de tortillas

<b>Empresa:</b>  TAQUITO'S		<b>Producto:</b>  Máquina para la elaboración de tortillas		<b>Fecha Inicial:</b> 15/02/2011.
				<b>Última Revisión:</b> 20/04/2011.
				Página: 1/2
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>				
<b>CONCEPTO</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	
<b>Función</b>	C	R	Elaborar mínimo 1000 tortilla/hora	
	D+C	R	Incorporar un mecanismo que permita recoger las tortillas para su depósito posterior a un recipiente.	
<b>Dimensiones</b>	C	R	Dimensiones de las tortillas: 15 y 25 [cm] de diámetro, y un espesor máximo de 4mm.	
	D+C	R	Espacio disponible: 2 m <sup>2</sup> .	
<b>Materiales</b>	D+C	R	Acero Inoxidable: Contacto con alimentos.  Acero al Carbono A 36: Estructura.	
<b>Fabricación</b>	D	R	Construcción con materia prima disponible en el mercado.	
	D+C	R	El presupuesto máximo asignado para la construcción es de 6000 [USD].	

...../

**Tabla 2.1** Especificaciones Técnicas de la máquina para la elaboración de tortillas (continuación)

<b>Empresa:</b>  TAQUITO'S		<b>Producto:</b>  Máquina para la elaboración de tortillas		<b>Fecha Inicial:</b> 15/02/2011.
				<b>Última Revisión:</b> 20/04/2011.
				Página: 2/2
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>				
<b>CONCEPTO</b>		<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Mantenimiento</b>		D	R	Accesibilidad a todos los dispositivos.
		D+C	R	Fácil limpieza de partes en contacto con la masa.
<b>Seguridad</b> <b>Ergonomía</b>	y	D	D	Fácil operación: no necesita personal capacitado.

Propone: C= Cliente; D= Diseñador.

R/D: R= Requerimiento; D= Deseo.

**Fuente:** Propia

## 2.4 PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS.

### 2.4.1 ALTERNATIVA A: SISTEMA DE PRENSADO.

En este sistema formado principalmente por dos placas metálicas, calentadas mediante resistencias eléctricas, se coloca la porción de masa requerida en el centro de la plancha para posteriormente presionarla y formar la tortilla. En la figura 2.1 se presenta la máquina con el sistema de prensado.



**Figura 2. 1** Máquina tortilladora con sistema de prensado

**Fuente:** Propia (SolidWorks 2010).

#### 2.4.1.1 Ventajas.

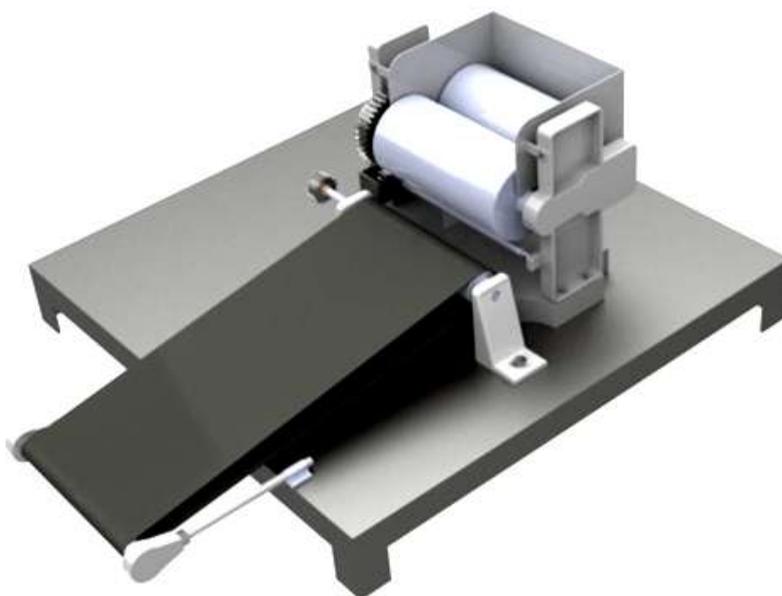
- De fácil operación.
- Permite obtener tortillas de diversos diámetros sin necesidad de cambiar algún dispositivo.
- Pre-cocido de la tortilla.
- La tortilla no se recupera elásticamente.

#### 2.4.1.2 Desventajas.

- Mayor mantenimiento que la máquina con sistema de rodillos laminadores.
- Necesita un boleado previo de la masa.
- Requiere de una persona para colocar las bolas de masa.
- Control de la temperatura de cocción de la tortilla (dependerá de la cantidad de masa).

#### 2.4.2 ALTERNATIVA B: SISTEMA DE LAMINACIÓN CON RODILLOS.

Este sistema consta de dos rodillos que inyectan y laminan la masa, formando una lámina que se adhiere al rodillo delantero. En la parte inferior de este rodillo delantero se coloca un cortador, que al ser presionado al rodillo corta la lámina de masa de harina formando la tortilla cruda (testal), misma que se despega por medio de alambres tensados a lo largo de los rodillos. En la figura 2.2 se presenta la máquina con sistema de laminación con rodillos.



**Figura 2. 2** Tortilladora con sistema de rodillos laminadores

**Fuente:** Propia (SolidWorks 2010).

#### **2.4.2.1 VENTAJAS**

- De fácil operación y mantenimiento.
- No necesita un boleado previo. Basta con poner la masa y el proceso es continuo.
- Mayor tasa de producción (tortillas/hora).
- No requiere personal que asista el proceso.
- Menor consumo de energía que la máquina con sistema de prensa.
- Los elementos son de fácil acceso en el mercado nacional.

#### **2.4.2.2 DESVENTAJAS**

- No realiza un pre-cocido la tortilla.
- Se debe disponer de un formador diferente para cada diámetro de tortilla.
- Existe recuperación elástica de la tortilla (aprox. 2 y 3mm).

### **2.5 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.**

#### **2.5.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN.**

##### **2.5.1.1 Funcionalidad.**

La máquina debe garantizar la formación de la tortilla en los diámetros especificados 15 y 25 [cm].

##### **2.5.1.2 Operación.**

La máquina debe operar sin necesidad de personal especializado y en un proceso continuo.

### **2.5.1.3 Manufactura.**

La máquina debe fabricarse con materiales disponibles en el mercado nacional y de fácil acceso.

### **2.5.1.4 Mantenimiento.**

La máquina deberá permitir:

- Facilidad de limpieza de los elementos en contacto con la masa.
- Accesibilidad a los diferentes mecanismos.
- Realizar las actividades de mantenimiento con personal no especializado.

### **2.5.1.5 Costo.**

El costo es un factor determinante ya que involucra no solo el costo de la máquina (materiales, accesorios y manufactura) sino también los costos de operación y mantenimiento. La máquina a diseñarse debe tener un costo competitivo en comparación con las máquinas de importación.

## **2.5.2 MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.**

El método ordinal corregido de criterios ponderados, se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores siguientes:

- 1** si el criterio de las filas es superior (o mejor; $>$ ) que el de las columnas.
- 0,5** si el criterio de las filas es equivalente ( $=$ ) al de las columnas.
- 0** si el criterio de las filas es inferior (o peor; $<$ ) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio.

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio

**Tabla 2.2** Evaluación del peso específico de cada criterio

**Funcionalidad>Mantenimiento>Operación>Manufactura=Costo**

<b>Criterio</b>	Funcionalidad	Mantenimiento	Operación	Manufactura	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Funcionalidad		1	1	1	1	5	0,33
Mantenimiento	0		1	1	1	4	0,27
Operación	0	0		1	1	3	0,20
Manufactura	0	0	0		0,5	1,5	0,10
Costo	0	0	0	0,5		1,5	0,10
						15	1,00

**Fuente:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Funcionalidad**.

**Tabla 2.3** Evaluación del peso específico del criterio Funcionalidad

**Solución A>Solución B**

<b>Funcionalidad</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
			3	1,00

**Fuente:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Mantenimiento**.**Tabla 2.4** Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

<b>Solución B&gt;Solución A</b>				
<b>Mantenimiento</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,33
Solución B	1		2	0,67
			3	1,00

Fuente: Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Operación**.**Tabla 2. 5** Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

<b>Solución B&gt;Solución A</b>				
<b>Operación</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,33
Solución B	1		2	0,67
			3	1,00

Fuente: Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Manufactura**.**Tabla 2.6** Evaluación del peso específico del criterio Manufactura**Solución B>Solución A**

<b>Manufactura</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,33
Solución B	1		2	0,67
			3	1,00

Fuente: Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Costo****Tabla 2.7** Evaluación del peso específico del criterio Costo**Solución B>Solución A**

<b>Costo</b>	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,33
Solución B	1		2	0,67
			3	1,00

Fuente: Propia

La alternativa se selecciona con los resultados de la Tabla 2.8

**Tabla 2.8** Tabla de Conclusiones

<b>Criterio</b>	Funcionalidad	Mantenimiento	Operación	Manufactura	Costo	$\Sigma$	Ponderación
Solución A	0,222	0,089	0,067	0,033	0,033	0,444	2
Solución B	0,111	0,178	0,133	0,067	0,067	0,556	1

Fuente: Propia

## **2.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.**

En el análisis anterior se puede observar que las dos alternativas cumplen con las especificaciones requeridas, pero la alternativa B es la que mejor se ajusta a los criterios de selección. Por lo tanto, el prototipo a diseñarse, es la máquina para la elaboración de tortillas con sistema de rodillos laminadores.

## **2.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS.**

Finalizada la construcción del prototipo de la máquina se procede a verificar su adecuado funcionamiento siguiendo el procedimiento descrito en la tabla 2.2, en la cual se considera los siguientes aspectos:

- ✓ Dimensiones generales de la máquina.
- ✓ Inspección de elementos y piezas de la máquina.
- ✓ Funcionamiento en vacío/carga del prototipo.
- ✓ Capacidad.
- ✓ Características y especificaciones de las tortillas.

### **Dimensiones generales de la máquina.**

Una vez que se ha finalizado la construcción del prototipo se deben comprobar las dimensiones obtenidas: área ocupada, diámetro de los rodillos, longitud de los rodillos y la longitud transversal de la banda; con las planteadas en el diseño.

### **Inspección de elementos y piezas de la máquina.**

Consiste en verificar que cada uno de los elementos y piezas que componen el prototipo estén correctamente posicionados y ajustados previo a su arranque.

### **Funcionamiento en vacío del prototipo.**

Consiste en comprobar el funcionamiento adecuado de cada uno de los elementos del prototipo sin carga.

**Funcionamiento en carga del prototipo.**

Consiste en verificar la funcionalidad y capacidad que tiene el prototipo, además, se comprueban las características que tienen las tortillas producidas.

**Tabla 2.9** Formato de Protocolo de Pruebas

<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS</b>				
<b>Máquina para elaboración de tortillas de harina de trigo</b>				
<b>Empresa:</b>		<b>Supervisor:</b>		
<b>Fecha:</b>		<b>No. de hoja</b>		1/3
<b>VERIFICACION DE DIMENSIONES</b>				
<b>Dimensión</b>	<b>Diseño</b>	<b>Prototipo</b>	<b>Cumple</b>	<b>No cumple</b>
Área ocupada				
Diámetro de Rodillos laminadores				
Longitud de Rodillos laminadores.				
Longitud transversal de banda transportadora.				
<b>INSPECCION DE ELEMENTOS Y PIEZAS</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Aprobado</b>		<b>No aprobado</b>	
Posicionamiento de elementos mecánicos				
Acople y desacople del rodillo cortador.				
Ajustes de elementos				

...../

Tabla 2.9 Formato de Protocolo de Pruebas (continuación)

<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS</b>			
<b>Máquina para elaboración de tortillas de harina de trigo</b>			
<b>Empresa:</b>		<b>Supervisor:</b>	
<b>Fecha:</b>		<b>No. de hoja</b>	<b>2/3</b>
<b>FUNCIONAMIENTO VACIO/CARGA DEL PROTOTIPO</b>			
<b>Prueba</b>	<b>Cumple</b>	<b>No Cumple</b>	
Encendido de la máquina.			
Movimiento de los rodillos laminadores (VACÍO)			
Funcionalidad de la banda transportadora (VACÍO)			
Movimiento del rodillo cortador (VACÍO)			
Acople/desacople del rodillo cortador (VACÍO)			
Apagado de la máquina			
Movimiento de los rodillos laminadores (CARGA)			
Funcionalidad de la banda transportadora (CARGA)			
Movimiento del rodillo cortador (CARGA)			
Acople/desacople del rodillo cortador (CARGA)			

<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS</b>			
<b>Máquina para elaboración de tortillas de harina de trigo</b>			
<b>Empresa:</b>		<b>Supervisor:</b>	
<b>Fecha:</b>		<b>No. de hoja</b>	<b>3/3</b>
<b>CAPACIDAD</b>			
<b>Tiempo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cumple</b>	<b>No Cumple</b>
1 hora			
<b>CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LA TORTILLA</b>			
<b>Item</b>	<b>Cumple</b>	<b>No Cumple</b>	
Diámetro			
Espesor			
Consistencia			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<b>PROTOTIPO PASA:</b>		<b>PROTOTIPO NO PASA:</b>	
<b>APROBADO POR:</b>			
<hr style="width: 30%; margin: 0 auto;"/>			
<b>FIRMA</b>			

## CAPÍTULO 3

# DISEÑO DE LA MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se detalla el diseño de las partes a construirse y la selección de los elementos y dispositivos de la máquina para la elaboración de tortillas, considerando las características que deben reunir cada uno de ellos, en lo referente a materiales y dimensiones, para satisfacer de mejor manera las especificaciones descritas en el capítulo 2.

En la figura 3.1 se indican las partes principales de la máquina, y que servirán de guía para el diseño y selección de las diferentes piezas y elementos.

### 3.2 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.

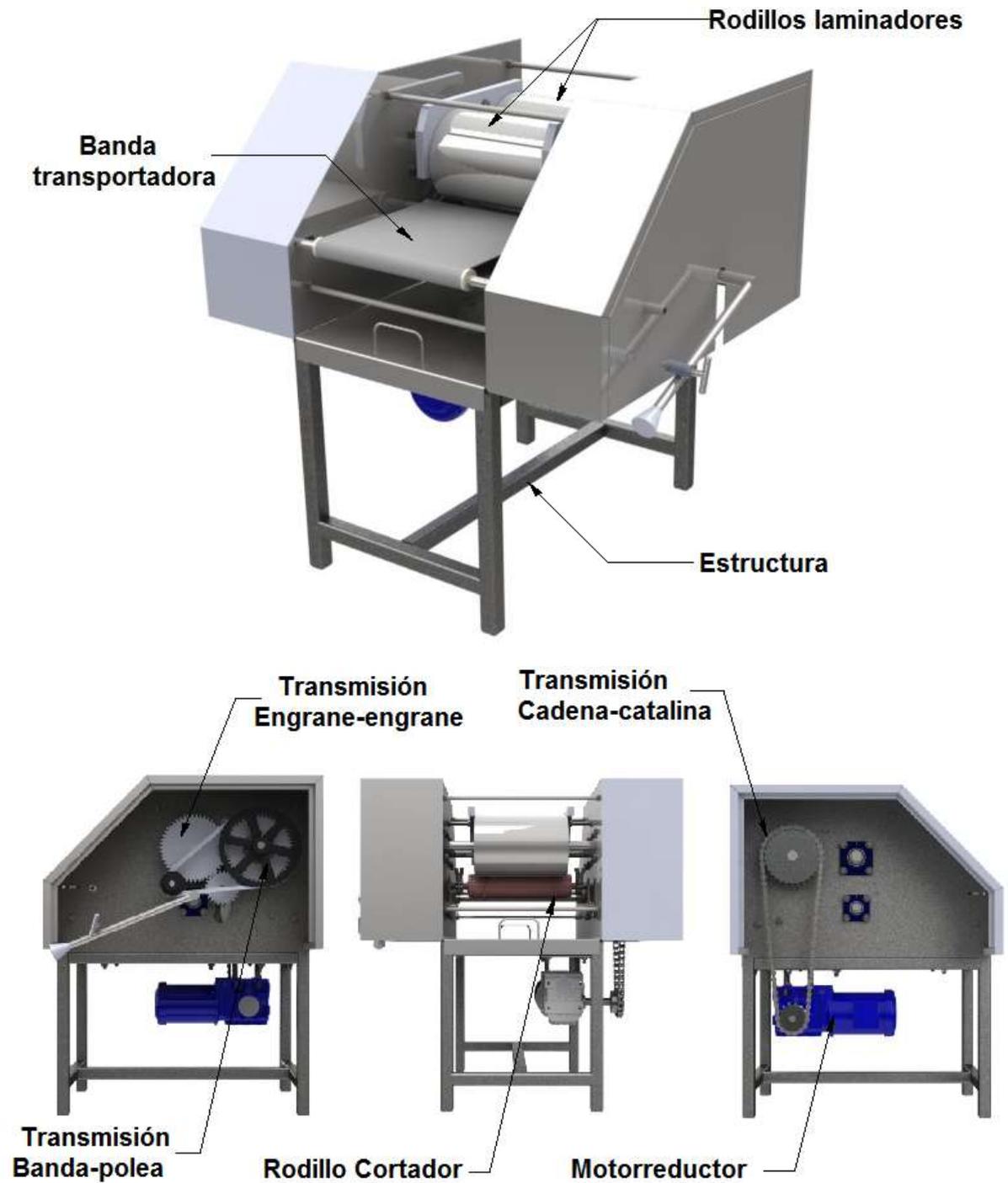
Los parámetros considerados para el diseño se obtienen en base a las características que tiene la tortilla elaborada en forma manual y las propiedades de su masa.

- Producción: aprox. 1000 [tortillas/hora].
- Diámetros de tortilla: 15 y 25 [cm].
- Espesor máx.: 4[mm].
- Presión de amasado: 1.2 [kg/cm<sup>2</sup>]<sup>2</sup>.
- Ángulo de agarre: 70°.
- Capacidad máxima de trabajo: 10 [kg] de masa.

---

<sup>2</sup> COYAGO R.; “Estudio de las características físico-químicas, funcionales y reológicas de las masas de banano seda y plátano dominico y barraganete”; Proyecto de Titulación Previo a la obtención al Título de Ingeniera Química, pág. 73.

### 3.3 DISEÑO DE ELEMENTOS Y PARTES.



**Figura 3. 1** Máquina para la elaboración de tortillas. Alternativa seleccionada

Fuente: Propia (SolidWorks 2010).

### 3.3.1 RODILLOS LAMINADORES.

El proceso de laminación cumple con los siguientes objetivos:

- Ordenar la masa.
- Adelgazar la masa (disminuir el espesor).
- Hacer una masa homogénea y uniforme.
- Facilitar el moldeo de la masa.
- Permitir el reingreso de la masa de los bordes.

Los rodillos laminadores deben formar una lámina uniforme y consistente para garantizar la formación de la tortilla. La experiencia ha demostrado que a velocidades mayores a 100 [rpm] la masa se desprende de los rodillos de una forma inadecuada.

Para el proceso de laminado de la masa, la máquina dispone de dos rodillos, contruidos de tubo mecánico de acero inoxidable AISI 304 para no contaminar la masa.

#### 3.3.1.1 Diámetro de rodillos laminadores.

Al tener rodillos de laminación de gran diámetro, la reducción de la masa es suave y requiere menor fuerza mecánica, lo cual permite un mejor tratamiento de la masa. Al tener rodillos de menor diámetro, estos hacen que la masa se frene y no permita un óptimo laminado en términos de elasticidad y uniformidad, además de dañarla masa, produciendo una masa no uniforme ni continua.

El diámetro del rodillo se calcula con la ecuación 3.1:

$$D = \frac{P}{\pi}$$

[Ec. 3.1]

Donde:

D: diámetro del rodillo [m].

P: perímetro del rodillo laminador [m].

Para calcular el diámetro de los rodillos se considera que por cada revolución del rodillo, deben formarse dos tortillas separadas a una distancia de 8 [cm].

Por lo tanto, el perímetro del rodillo laminador se obtiene con la ecuación:

$$P = 2 d_{tortilla} + d_{separación} \quad \text{[Ec. 3.2]}$$

Donde:

P: perímetro del rodillo laminador[m].

$d_{tortilla}$ : diámetro de la tortilla. 0.25 [m].

$d_{separación}$ : distancia de separación. 0.08 [m].

$$P = 2 (0.25) + (0.08)$$

$$P = 0.58 [m]$$

Se reemplaza el valor anterior en la Ec. 3.1, se tiene que:

$$D = \frac{0.58}{\pi}$$

$$D = 0.184 [m]$$

Se selecciona un tubo mecánico con diámetro 8 pulgadas (0.2191 [m]), AISI 304 del Anexo I.

### 3.3.1.2 Longitud de rodillos laminadores.

Se establece una longitud para los rodillos laminadores de 0.30 [m], debido a que el mayor diámetro requerido para la tortilla es de 0.25 [m].

### 3.3.1.3 Carga en los rodillos laminadores.

Las cargas a las que se encuentran sometidos los rodillos laminadores son de compresión y corte, que dependen directamente de la presión de amasado. La presión de amasado es un valor que no representa condición alguna de falla para los rodillos, razón por la cual, no es motivo de análisis en este proyecto.

## 3.3.2 POTENCIA REQUERIDA.

### 3.3.2.1 Potencia requerida para mover los rodillos y vencer la resistencia de la masa.

Para realizar el cálculo de la potencia se considera:

- Velocidad del rodillo=11 [rpm].
- Longitud del rodillo= 0.30 [m].
- Diámetro del rodillo= 0.1995 [m].
- Paso entre rodillos= 0.001 [m].
- Presión=1.2 [kgf/cm<sup>2</sup>].

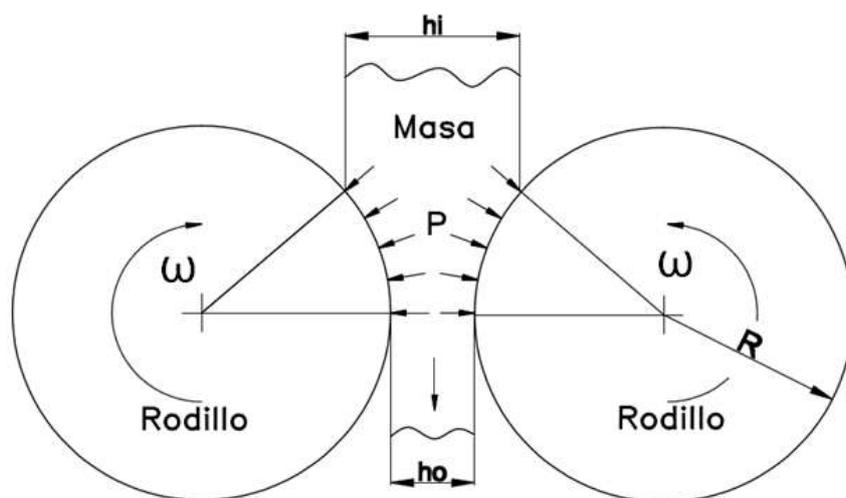
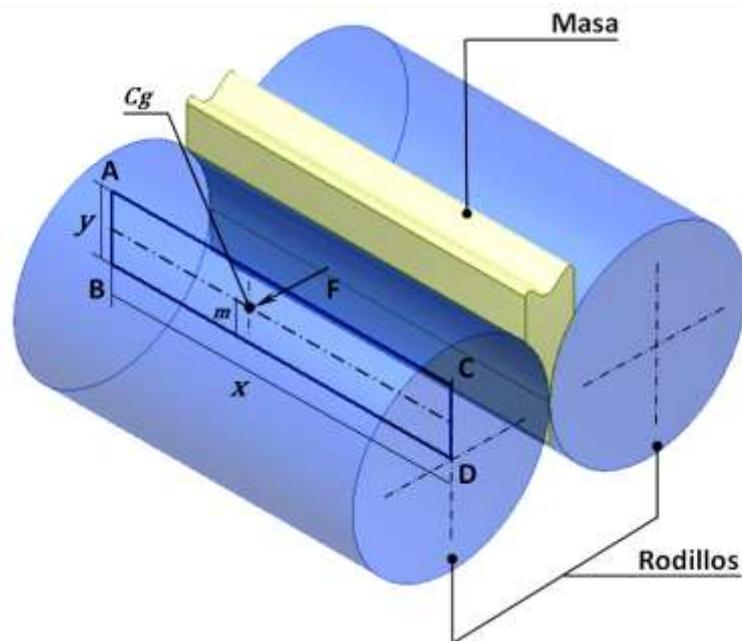


Figura 3. 2 Paso de la masa por los rodillos

Fuente: Propia.

En la figura 3.2 se presenta el paso de la masa a través de los rodillos, las magnitudes indicadas en esta figura son:

- $h_i$ : Separación de los rodillos en la entrada de la masa.  
 $h_o$ : Separación de los rodillos en la salida de la masa.  
 $R$ : Radio del rodillo.  
 $P$ : Presión.



**Figura 3. 3** Proyección de la presión de amasado

**Fuente:** Propia.

En la figura 3.3, se representa la proyección de la distribución de presión en uno de los rodillos, en donde:

- $A_{ABCD}$ : Área proyectada, con longitud  $x$ -ancho  $y$ .  
 $F$ : Fuerza resultante de la presión.  
 $M$ : Posición del centro de gravedad respecto al centro del rodillo y posición de la resultante de la presión.

$$m = y/2$$

El área proyectada se calcula:

$$A_{ABCD} = x \cdot y \quad \text{[Ec. 3.3]}$$

Donde:

x: longitud del rodillo 0.30 [m].

y: ancho del área proyectada en el rodillo.

$$y = \sqrt{R(h_i - h_o)} \quad \text{[Ec. 3.4]}$$

Donde:

R: radio del rodillo 99.75 [mm]=0.09975 [m].

h<sub>i</sub>: 50 [mm]=0.05 [m].

h<sub>o</sub>: 1 [mm]=0.001 [m].

$$y = 70 \text{ [mm]}$$

$$y = 0.07 \text{ [m]}$$

Se reemplaza en la ecuación 3.3:

$$A_{ABCD} = 209.7 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{ABCD} = 0.02097 \text{ [m}^2\text{]}$$

La fuerza resultante de la presión, es igual al producto de la presión por el área proyectada:

$$F = P \times A_{ABCD} \quad \text{[Ec. 3.5]}$$

Donde:

$$P: \quad 1.2 \text{ [kgf/cm}^2\text{].}$$

$$A_{ABCD}: \quad 209.7 \text{ [cm}^2\text{].}$$

$$F = 251.69 \text{ [Kgf]}$$

Esta resultante provoca un torque:

$$T_r = F \times m \quad \text{[Ec. 3.6]}$$

Donde:

$$F: \quad 251.69 \text{ [Kgf].}$$

$$M: \quad 3.5 \text{ [cm].}$$

$$T_r = 879.80 \text{ [Kgf.cm]}$$

$$T_r = 86.31 \text{ [N.m]}$$

La potencia que se consume en cada rodillo es:

$$P = T_r \times \omega \quad \text{[ Ec. 3.7]}$$

Donde:

$$T_r: \quad 879,80 \text{ [Kgf.cm]}$$

$$\omega: \quad 11 \text{ [rpm]}$$

$$P = (879.80 \text{ kgf} \times \text{cm})(11 \text{ rpm}) \left( \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} \right) \left( \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right)$$

$$P = 0.133 \text{ [hp]}$$

Por lo tanto la potencia necesaria en los rodillos es:

$$P_{rs} = 2 \times P \quad \text{[Ec. 3.8]}$$

$$P_{rs} = 0.27[hp]$$

### 3.3.2.2 Potencia requerida para mover la banda transportadora.

La potencia requerida para la banda transportadora depende de:

- La fuerza necesaria para mover la banda vacía y los componentes que giran alrededor de ella.
- La fuerza necesaria para desplazar la carga horizontalmente dentro del sistema.

Para hallar estas fuerzas es necesario establecer los parámetros de diseño y selección de toda banda transportadora como son:

*Material a transportar.*

El material que va a ser transportado establece la razón de ser de la banda, aunque la tortilla no sea un material abrasivo, es muy importante, ya que es un producto para consumo humano por lo que este parámetro influye directamente en la selección del material de la banda.

La banda seleccionada en el presente proyecto es de material PVC aprobado por FDA para uso directo con alimentos.

Las características principales del material que se deben considerar para el diseño son:

- El peso específico<sup>3</sup>, cuyo valor promedio es de  $750 \frac{kg}{m^3}$ .

---

<sup>3</sup><http://www.agromarc.com.ar/datosutiles.php>

- Máximo tamaño del material; este valor se precisa para hallar el ancho de la banda. Este valor corresponde al diámetro de la tortilla más grande, cuyo valor es de 25 [cm], por lo que se establece un ancho de banda de 35 [cm].
- Temperatura del material; ambiente ya que no es sometido a ningún otro proceso.

*Trayectoria de la banda transportadora.*

La trayectoria de la banda es totalmente en línea recta desde el lugar en que la tortilla es recogida hasta cuando es retirada. La longitud de la banda transportadora tomada a los centros de los rodillos es de 30 [cm].

*Velocidad de la banda.*

La velocidad de la banda depende de las características y limitaciones del producto, la capacidad requerida, la tensión resultante en la banda y la potencia requerida. Lo recomendable es seleccionar una velocidad que resulte en una banda llena.

En el presente proyecto se tomará el valor de la velocidad a la cual se produce o se forma la tortilla.

$$v = \omega \times R \quad \text{[Ec. 3.9]}$$

Donde:

R: radio del rodillo laminador; 0.0995 [m].

$\omega$ : 11[rpm].

$$v = 11 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60s} \times \frac{2\pi rad}{1 rev} \times 0.09975 m$$

$$v = 0.115 \frac{m}{s}$$

*Capacidad requerida.*

La capacidad requerida para el sistema se determina en base a los parámetros establecidos en la sección 3.2 de la siguiente manera:

$$Q_r = 1000 \frac{\text{tortillas}}{\text{hora}} \times \frac{0.09 \text{ kg}}{1 \text{ tortilla}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

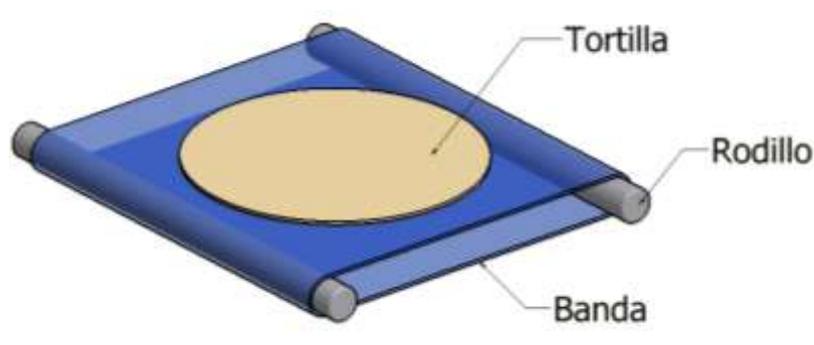
$$Q_r = 0.09 \text{ ton/hora}$$

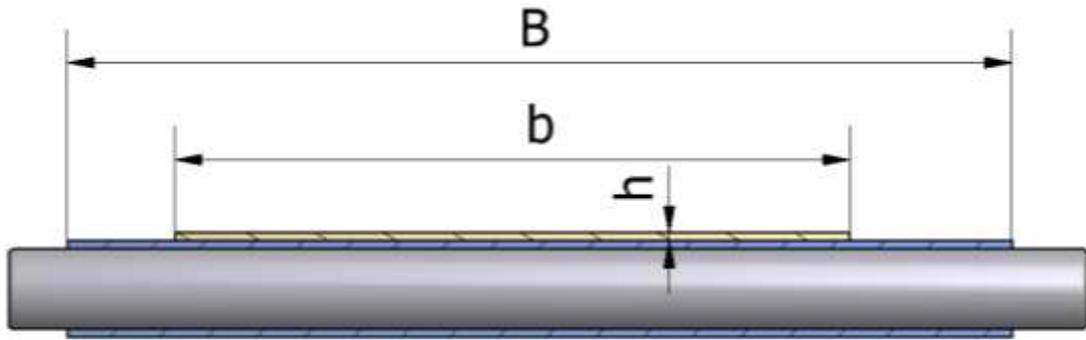
*Capacidad máxima de transporte.*

Es la capacidad volumétrica de la banda transportadora, está determinada por el área transversal de la carga que puede ser apilada encima de la cinta sin ocasionar derrame del material excesivo en los puntos de carga o subsecuentemente debido a pequeñas ondulaciones de la banda a su paso sobre los rodillos. Esta área es afectada por la granulometría del material, su contenido de humedad y la forma de las partículas.

Debido a que resulta usualmente impráctico evaluar cada uno de estos factores específicamente para predecir sus efectos sobre el área de la sección transversal de la carga, a continuación se presenta una ecuación aceptable para cualquier combinación de las condiciones anteriormente mencionadas:

*Rodillo plano:*





**Figura 3. 4** Área transversal de la tortilla

Fuente: Propia.

$$A = b \times e \quad \text{[Ec. 3.10]}$$

$$A = 0.25 \times 0.003$$

$$A = 7.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

A continuación, la capacidad volumétrica de carga de la banda transportadora, conocida el área de la sección transversal del material y la velocidad de transporte puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$Q_v = 3600 \times A \times v \quad \text{[Ec. 3.11]}$$

Donde:

$Q_v$ : Capacidad volumétrica de la banda transportadora [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

A: Área de la sección transversal del material [ $\text{m}^2$ ].

V: Velocidad de la banda [ $\text{m/s}$ ].

$$Q_v = 3600 \times 7.5 \times 10^{-4} \times 0.115$$

$$Q_v = 0.31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La capacidad de transporte en toneladas por hora se obtiene multiplicando por el peso específico del material transportado:

$$Q_t = Q_v \times \gamma \quad [\text{Ec. 3.12}]$$

$$Q_t = 0.31 \frac{m^3}{h} \times 750 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$Q_t = 0.233 \frac{\text{ton}}{h}$$

### 3.3.2.2.1 Fuerza necesaria para mover la banda en vacío y sus componentes.

Como su nombre lo indica, es la fuerza necesaria para mover la banda y los componentes que giran, sin carga alguna y es calculada de la siguiente manera:

$$F_1 = C \times f \times L \times G \times g \quad [\text{Ec. 3.13}]$$

Donde:

- F<sub>1</sub>: Fuerza para mover la banda en vacío [N].
- C: Factor de fricción por longitud de banda.
- f: Factor de fricción de las partes móviles.
- L: Longitud de la banda [m].
- G: Peso de las partes móviles [kg/m].
- g: Aceleración de la gravedad [9.81 m/s<sup>2</sup>].

El factor de fricción de las fuerzas mencionadas se debe al contacto generado por el peso de la banda, peso de las partes móviles entre otros. Para este valor que varía en función del tipo de rodillos, el diseño de forma y el mantenimiento del sistema, se presenta una tabla para diferentes condiciones de trabajo, el valor tomado de esa tabla es el de 0.02.

**Tabla 3.1** Coeficiente de fricción de las partes giratorias

CONDICIÓN	f
Buenos transportadores con rodillos de marcha suave y pequeña fricción interna en el material.	0.017
Valor estándar para bandas transportadoras con ambiente normal de trabajo	0.020
Para condiciones de marcha desfavorables operación polvosa, sobrecargas periódicas.	0.023-0.030
Transportadores descendentes que requieren frenado por medio de motor	0.012

Fuente: ROULUNDS, Catálogo de bandas transportadoras.

El coeficiente de fricción C se relaciona con la longitud de la banda (longitud proyectada) mediante la siguiente ecuación<sup>4</sup>:

$$C = 15.9 \times L^{-0.61} + 0.77 \quad [\text{Ec. 3.14}]$$

Donde:

L: Longitud de la banda o separación entre rodillos, 0.30 [m].

$$C = 15.9 \times 0.3^{-0.61} + 0.77$$

$$C = 33.91$$

Por último para estimar el peso de las partes móviles G, se lo realiza a través de la ecuación:

---

<sup>4</sup> Normativa DIN 22101.

$$G = 2G_b + \frac{G_{ro}}{S_1}$$

**[Ec. 3.15]**

Donde:

G: Peso de las partes móviles [kg/m].

G<sub>b</sub>: Peso de la banda 0.35 [kg/m].

G<sub>ro</sub>: Peso de los rodillos 0.5 [kg].

S<sub>1</sub>: Separación entre los rodillos 0.3 [m].

$$G = 2 \times 0.35 + \frac{0.5}{0.3}$$

$$G = 2.37 \text{ [kg/m]}$$

Obtenido este valor, se reemplaza en la Ec. 3.13:

$$F_1 = 33.91 \times 0.02 \times 0.3 \times 2.37 \times 9.81$$

$$F_1 = 4.73 \text{ [N]}$$

### 3.3.2.2.2 *Fuerza necesaria para desplazar horizontalmente la carga.*

Es la fuerza para vencer la inercia de la tortilla y poderla transportar horizontalmente entre los dos puntos de su banda. La ecuación que permite calcular esta fuerza es:

$$F_2 = \left( \frac{C \times f \times L \times Q_t}{3.6 \times v} \right) \times g$$

**[Ec. 3.16]**

Donde:

- $F_2$ : Fuerza para desplazar la carga [N].
- C: Factor de fricción por longitud de banda.
- f: Factor de fricción de las partes móviles.
- L: Longitud de la banda [m].
- $Q_t$ : Capacidad máxima de transporte [ton/h].
- g: Aceleración de la gravedad [9.81m/s<sup>2</sup>].
- V: Velocidad de la banda [m/s].

Se reemplaza los valores y se tiene que:

$$F_2 = 1.231 [N]$$

Potencia requerida para la banda:

$$P_B = \frac{(F_1 + F_2) \times v}{1\ 000}$$

**[Ec. 3.17]**

$$P_B = \frac{(4.73 + 1.231) \times 0.117}{1\ 000}$$

$$P_B = 6.97 \times 10^{-4} [kW]$$

$$P_B = 0.001 [hp]$$

La potencia necesaria para la banda como se puede observar es un valor muy pequeño y esto se debe principalmente a que es una banda transportadora de pequeña longitud y que la tortilla no es una carga representativa sobre ésta.

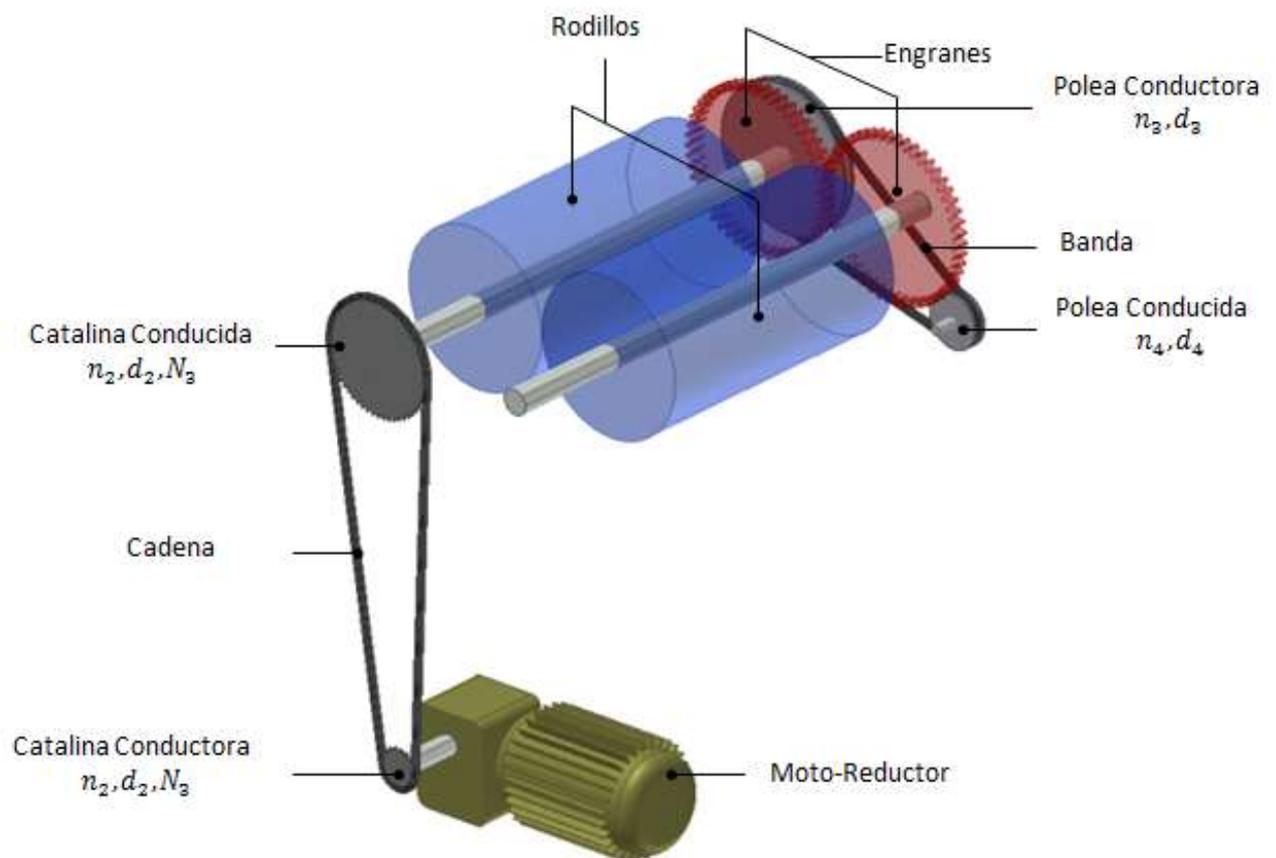
Una vez obtenidas las potencias tanto para los rodillos laminadores, así como para la banda transportadora, se procede a calcular la potencia total teórica requerida para la máquina para la elaboración de las tortillas:

$$P_t = P_{rs} + P_B \quad [\text{Ec. 3.18}]$$

$$P_t = 0.27 + 0.001 \text{ [hp]}$$

$$P_t = 0.271 \text{ [hp]}$$

Calculado el valor teórico, se puede calcular la potencia real del motor ya que solo se ha considerado la potencia requerida por el sistema, pero no las pérdidas ocasionadas en la transmisión y la eficiencia del motor.



**Figura 3. 5** Transmisión de potencia desde el motor

**Fuente:** Propia.

La eficiencia del motor se establece en un 90%, la eficiencia del sistema mediante banda es 96% y de la transmisión por cadena 98%, además se debe considerar la eficiencia del motor-reductor, para este caso se asume el valor del 98%.

Por lo tanto:

$$P_R = \frac{P_t}{(\eta_{motor} \times \eta_{motorreductor} \times \eta_{tb} \times \eta_{tc})}$$

**[Ec. 3.19]**

$$P_R = \frac{0.271}{(0.9 \times 0.98 \times 0.96 \times 0.98)}$$

$$P_R = 0.325[hp]$$

Por lo que se selecciona un motor de 0.5 [hp] (0.37 [kW]) para la máquina, acoplado a un reductor con una velocidad angular comprendida entre 20-25 [rpm].

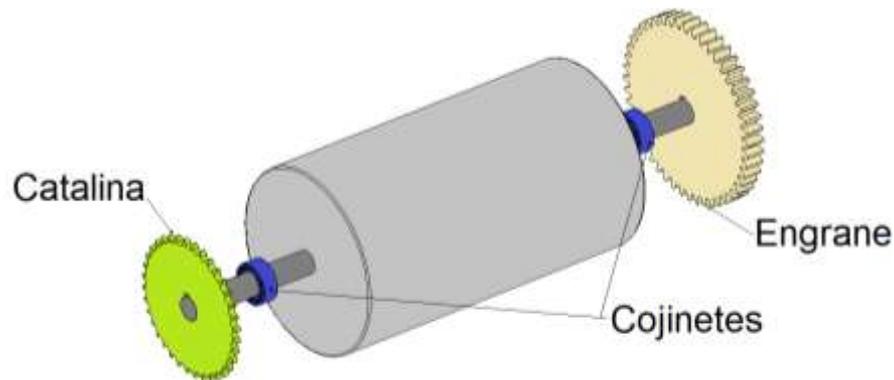
Acorde con el catálogo del Anexo II se selecciona un motor-reductor de 22.5 [rpm] MR IV 63-71.

### **3.3.3 EJES DE TRANSMISIÓN PARA LOS RODILLOS.**

#### **3.3.3.1 Eje de transmisión para rodillo 1.**

Para el dimensionamiento, se determinan los puntos críticos o puntos que estarán sometidos a los esfuerzos máximos y en función a éstos realizar el correspondiente diseño estático y a fatiga del eje.

Para este efecto, primero se establecen las fuerzas que actúan sobre el eje del rodillo. En la figura 3.6 se muestran los elementos mecánicos que forman parte del rodillo, en los cuales se deberá determinar las fuerzas que transmitirán sobre el eje.



**Figura 3. 6** Elementos mecánicos del rodillo

**Fuente:** Propia.

#### 3.3.3.1.1 Selección de catalinas y cadena.

Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante puesto que no se involucra al deslizamiento ni el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia.

Para seleccionar las catalinas y cadena se considera que:

- La velocidad angular de salida del moto-reductor es de 22.5 [rpm].
- La potencia de salida del moto-reductor es de 0.5 [hp].
- Distancia entre centros aproximada 20 [pulg].

Para determinar el número de dientes de la catalina conducida, se asume que el número de dientes de la catalina conductora es 15 dientes, y se utiliza la siguiente expresión:

$$N_2 = \frac{n_1}{n_2} \times N_1$$

[Ec. 3.20]

Donde:

$n_1$ : Velocidad de la catalina conductora, 22.5 [rpm].

$N_1$ : Número de dientes de la catalina conductora, 15 [dientes].

$n_2$ : Velocidad de la catalina conducida, 11.25 [rpm].

$N_2$ : Número de dientes de la catalina conducida.

$$N_2 = 30 \text{ [dientes]}$$

El cálculo de la potencia de selección de la cadena se determina por:

$$P_{sel} = f_1 \times f_2 \times P$$

[Ec. 3.21]

Donde:

$f_1$ : Factor de aplicación de carga 1                      Anexo III

$f_2$ : Factor de diente 1.27                                      Anexo III

$P$ : Potencia a transmitir 0.37 [kw]

$$P_{sel} = 0.47 \text{ [kw]}$$

Por la tanto la cadena a emplearse es una estándar de rodillos N°60 y paso  $\frac{3}{4}$  [pulg], según el anexo III de cadenas ANSI.

La longitud de la cadena se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_C = \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{2C}{P} + \frac{P \left( \frac{N_2 - N_1}{\pi} \right)^2}{C}$$

[Ec. 3.22]

Donde:

$L_c$ : Longitud de la cadena [pulg]

$N_1$ : Número de dientes de la catalina conductora 15 [dientes]

$N_2$ : Número de dientes de la catalina conducida 30 [dientes]

$P$ : Paso de la cadena  $3/4$  [pulg]

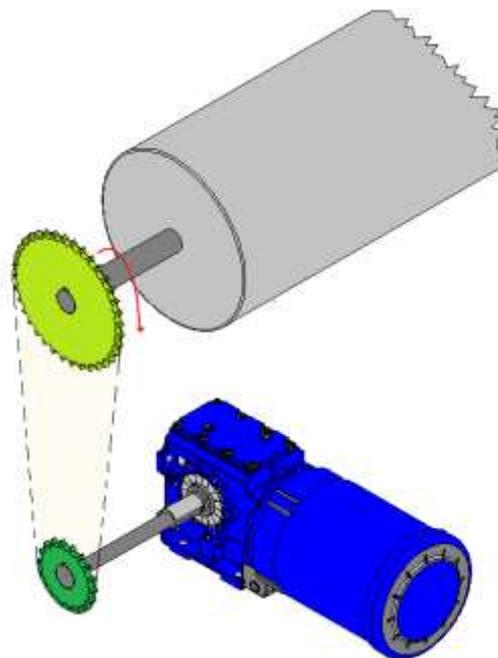
$C$ : Distancia entre centros 20 [pulg]

$$L = 53 \text{ [pulg]}$$

#### 3.3.3.1.1.1 Fuerzas producidas por la catalina.

Es importante realizar el cálculo de las fuerzas de transmisión de movimiento por la catalina, puesto que, este es el un punto de partida para dimensionar el eje de los rodillos laminadores para la máquina para la elaboración de tortillas.

En la figura 3.7 se muestra el esquema de transmisión por cadena que se utilizará para mover los rodillos.

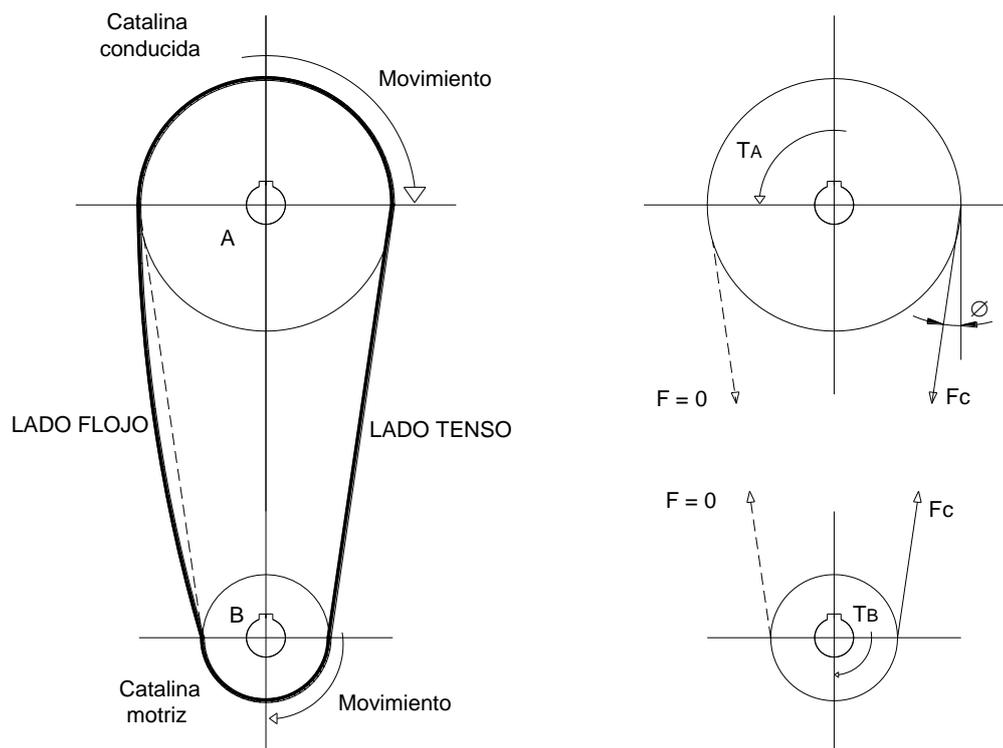


**Figura 3. 7** Transmisión por cadena

**Fuente:** Propia.

Establecido el sistema de transmisión por cadena, se puede realizar el diagrama de cuerpo libre de las catalinas, con las siguientes consideraciones:

1. La catalina B es la catalina piñón.
2. La cadena tiene un lado tensionado y produce el par torsional en cada catalina. El otro tramo de la cadena o también llamado lado flojo, no ejerce fuerzas sobre las catalinas. En consecuencia, la fuerza flexiónate total sobre el eje que sostiene la catalina es igual a la tensión el lado tenso de la cadena.
3. Debido a que la transmisión de movimiento se realiza por cadena de rodillos, las fuerzas producidas por la cadena son perpendiculares al diámetro de paso de las catalinas.
4. De acuerdo a las dimensiones del sistema de transmisión, se determinaron los ángulos que se forman entre las catalinas y la cadena.



$T_A =$  Par torsional de reacción que ejerce el eje sobre la catalina A

$T_B =$  Par torsional que ejerce el eje sobre la catalina B

**Figura 3. 8** Fuerzas sobre las catalinas

**Fuente:** Propia.

A continuación se procede a calcular la fuerza que actúan sobre la catalina B.

Con la potencia entregada por el motor de 0.5 [hp], se procede a calcular el torque que se transmite a las catalinas:

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

$$T_B = \frac{372.8 \times 60}{22.5 \times 2 \times \pi}$$

$$T_B = 158.22 [N.m]$$

Conocido el par torsional en la catalina B y los diámetros de paso de cada una de ellas (ver tabla 3.2) se tiene que:

$$F_c = \frac{T_B}{\text{Radio de paso}_{\text{catalina B}}} [N]$$

**[Ec. 3.23]**

$$F_c = \frac{158.22}{0.09162/2} [N]$$

$$F_c = 3453.85 [N]$$

$$T_A = F_c \times \text{Radio de paso}_{\text{catalina A}} [N]$$

$$T_A = 314.64 [N]$$

**Tabla 3. 2** Especificaciones para catalinas tipo B (NK 60)

No. of Teeth	Pitch Dia. (P.C.D)	Outside Dia. (OD)	SINGLE B TYPE						Approx Weight (kg)	Materials
			Bore (OD)		Hub					
			Stock	Max.	HD	HL				
9	2.193	2.51	0.47	0.98	*1.693	1.260	0.40	SAE1040		
10	2.427	2.76	0.59	1.18	*1.929	1.260	0.49			
11	2.662	3.01	0.59	1.26	*2.008	1.260	0.60			
12	2.898	3.25	0.59	1.26	2.008	1.260	0.69			
13	3.134	3.49	0.59	1.38	2.244	1.260	0.81			
14	3.371	3.74	0.67	1.57	2.241	1.260	0.96			
15	3.607	3.98	0.67	1.77	2.677	1.260	1.10			
16	3.844	4.22	0.67	1.89	2.874	1.260	1.30			
17	4.082	4.46	0.67	1.89	2.874	1.260	1.40			
18	4.319	4.70	0.67	2.17	3.268	1.575	2.00			
19	4.557	4.95	0.67	2.17	3.268	1.575	2.10			
20	4.794	5.19	0.67	2.17	3.268	1.575	2.20			
21	5.032	5.43	0.67	2.17	3.268	1.575	2.30			
22	5.270	5.67	0.67	2.17	3.268	1.575	2.50			
23	5.507	5.91	0.67	2.17	3.268	1.575	2.50			
24	5.746	6.15	0.67	2.17	3.268	1.575	2.60			
25	5.984	6.39	0.67	2.17	3.268	1.575	2.70			
26	6.222	6.63	0.67	2.17	3.268	1.575	2.90			
27	6.460	6.85	0.83	2.17	3.268	1.575	3.00			
28	6.698	7.11	0.83	2.17	3.268	1.575	3.10			
29	6.937	7.32	0.83	2.17	3.268	1.575	3.30			
30	7.175	7.59	0.83	2.17	3.268	1.575	3.40			

 Catalina A  
 Catalina B

**Fuente:** Catálogo de Iván Bohman; Catalinas ANSI (ASA) NK 60.

Acorde con la figura 3.8 se tiene que la fuerza  $F_A$ , puede ser descompuesta en:

$$F_A = (-3\ 453.85 \times \cos 4.87^\circ \mathbf{j} - 3\ 453.85 \times \sen 4.87^\circ \mathbf{k}) [N]$$

$$F_A = (-3\ 422.46 \mathbf{j} - 464.56 \mathbf{k}) [N]$$

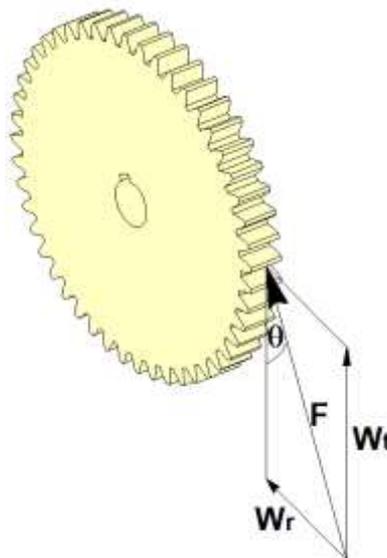
### 3.3.3.1.2 Engranés.

De acuerdo al funcionamiento de la máquina se requiere de engranes rectos por la facilidad de construcción y se selecciona como material el nylon (Duralón) el mismo que tiene las siguientes características: alta resistencia mecánica, buena resistencia al desgaste y a la fatiga.

El diámetro primitivo del engrane se establece de un diámetro de 200 [mm] debido a que el diámetro del rodillo es de 199.5 [mm] con una separación entre rodillos de 1 [mm].

Las consideraciones que se toman en cuenta para el cálculo del ancho de cara del engrane son:

- Relación de transmisión 1:1
- Velocidad angular 11.25 [rpm]
- Material Duralón ( $S_y=70$  [MPa])
- $n=2$



**Figura 3. 9** Fuerza aplicada al engrane

**Fuente:** Propia.

De la figura 3.9 se tiene que:

$$W_t = \frac{2 \times T_s}{d_p}$$

**[Ec. 3.24]**

$$W_r = W_t \times \tan(\phi) \quad [\text{Ec. 3.25}]$$

Donde:

$W_t$ : Fuerza tangencial sobre el engrane [N].

$W_r$ : Fuerza radial sobre el engrane [N].

$d_p$ : diámetro primitivo del engrane 0.2 [m].

$T_s$ : Torque de salida [N.m]

$\Phi$ : ángulo de presión  $20^\circ$ .

El torque de salida se obtiene de la diferencia del torque producido a la entrada por la catalina con el torque empleado en la laminación de la masa:

$$T_s = T_A - T_r \quad [\text{Ec. 3.26}]$$

$$T_s = (314.64 - 86.31) [N.m]$$

$$T_s = 228.33 [N.m]$$

Una vez que se obtiene el torque de salida, se procede a calcular la  $W_t$  de la Ec. 3.24:

$$W_t = 2283.38 [N]$$

Por lo tanto:

$$W_r = 831.08 [N]$$

La potencia a transmitir es:

$$H = \frac{T_s \times \omega}{7120.91}$$

$$[\text{Ec. 3.27}]$$

Donde:

H: Potencia, [hp]

$T_s$ : Torque, 228.33 [N.m]

$\omega$ : Velocidad angular, 11.25 [rpm]

$$H = 0.36 [hp]$$

Para el cálculo del ancho de cara se emplea la tabla 3.3

**Tabla 3. 3** Parámetros para el determinar el ancho de cara del engrane

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	
Diámetro de Paso	[mm]	200	200
Número de Dientes		50	40
Módulo	[mm]	4	5
Paso Diametral	P[dientes/pulg]	6,35	5,08
Diámetro de Paso	dp [pulg]	7,87	7,87
Velocidad de Giro	V [ft/min]	23,19	23,19
Fuerza Tangencial	W [lb]	512,27	512,27
Factor de Velocidad	Kv	1,02	1,02
Factor de Forma de Lewis	Y	0,409	0,3892
Ancho de Cara	F [pulg]	1,60	<b>1,34</b>
Paso Circular	p	0,49	0,62
Ancho de cara mínimo	$F_{\min}$ [pulg]	1,48	1,17
Ancho de cara máximo	$F_{\max}$ [pulg]	2,47	3,09

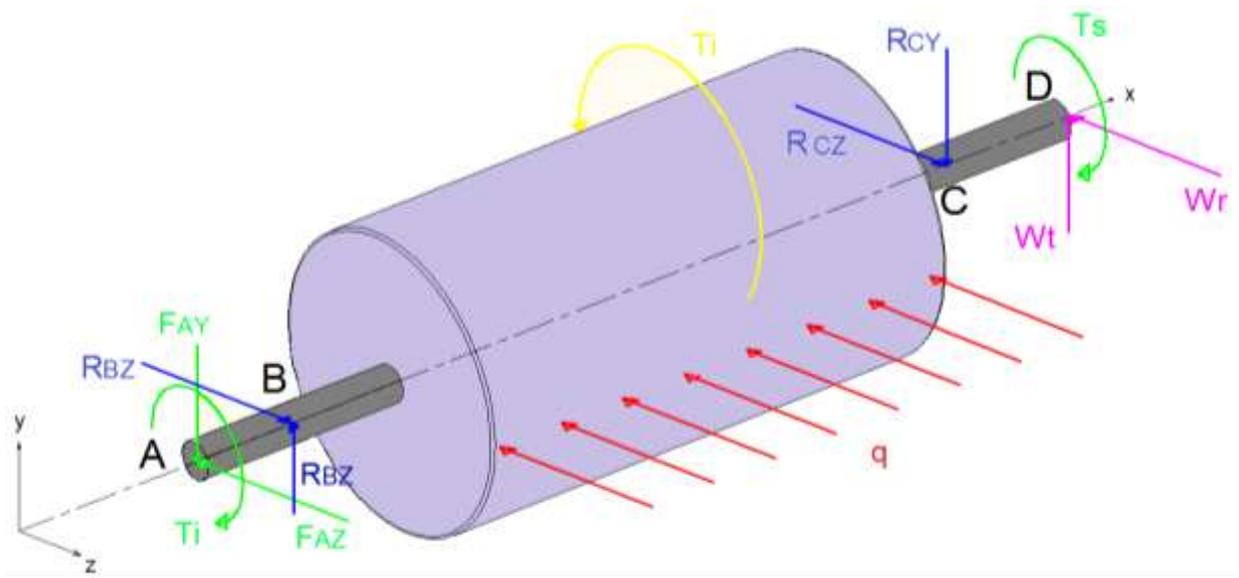
Con los resultados obtenidos de la tabla 3.3 se establecen los siguientes parámetros de construcción de los engranes:

- Diámetro primitivo 200 [mm].
- Módulo 5.
- Número de dientes (Z) 40.
- Ancho de cara 35 [mm].

### 3.3.3.1.3 Fuerzas en el eje 1

Para el cálculo de las fuerzas en los rodillos se debe tomar en cuenta todas las fuerzas y torques que actúan sobre los ejes.

En la figura 3.10 se muestran las fuerzas y momentos de torsión que actúan sobre el eje 1 debido a la catalina (punto A) y al engrane (punto D), se tiene que:



$$q = 8\,220.24 \frac{N}{m}$$

**Figura 3. 10** Diagrama de cuerpo libre para el eje 1

**Fuente:** Propia.

De acuerdo a la figura 3.10 y al análisis de fuerzas y momentos se tiene que:

**PUNTO A**

$$F_A = (-3\,422.46 \mathbf{j} - 464.56 \mathbf{k}) [N]$$

**PUNTO B**

$$R_B = (2565.83 \mathbf{j} + 1\,642.62 \mathbf{k}) [N]$$

**PUNTO C**

$$R_C = (-3145.01 \mathbf{j} + 2\,119.09 \mathbf{k}) [N]$$

**PUNTO D**

$$W = (2\,288.38 \mathbf{j} - 831.08 \mathbf{k}) [N]$$

Conocidas las fuerzas y torques que actúan en el eje 1, se realiza los diagramas de fuerza cortante y momento flector en los planos x-y y x-z.

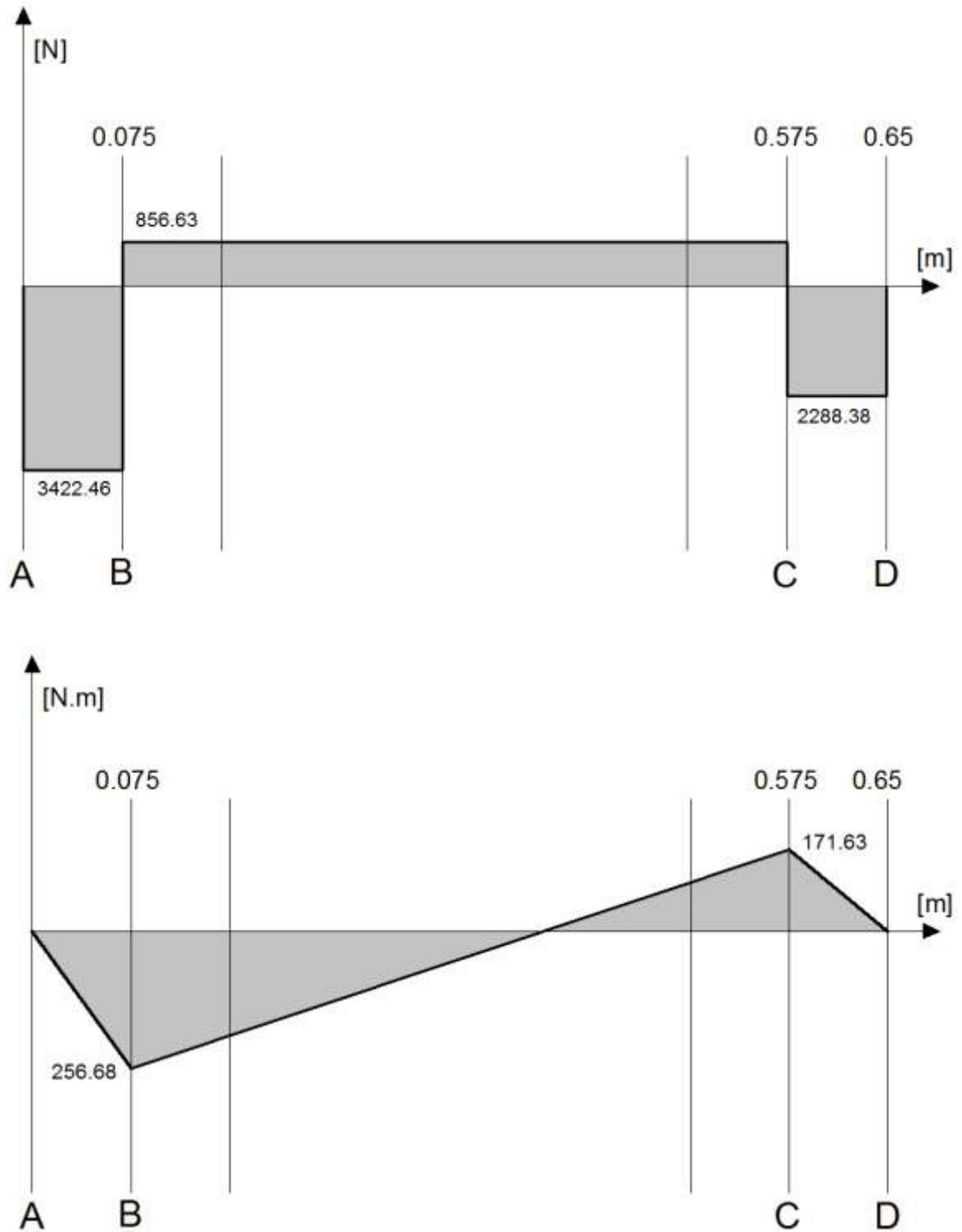


Figura 3. 11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y

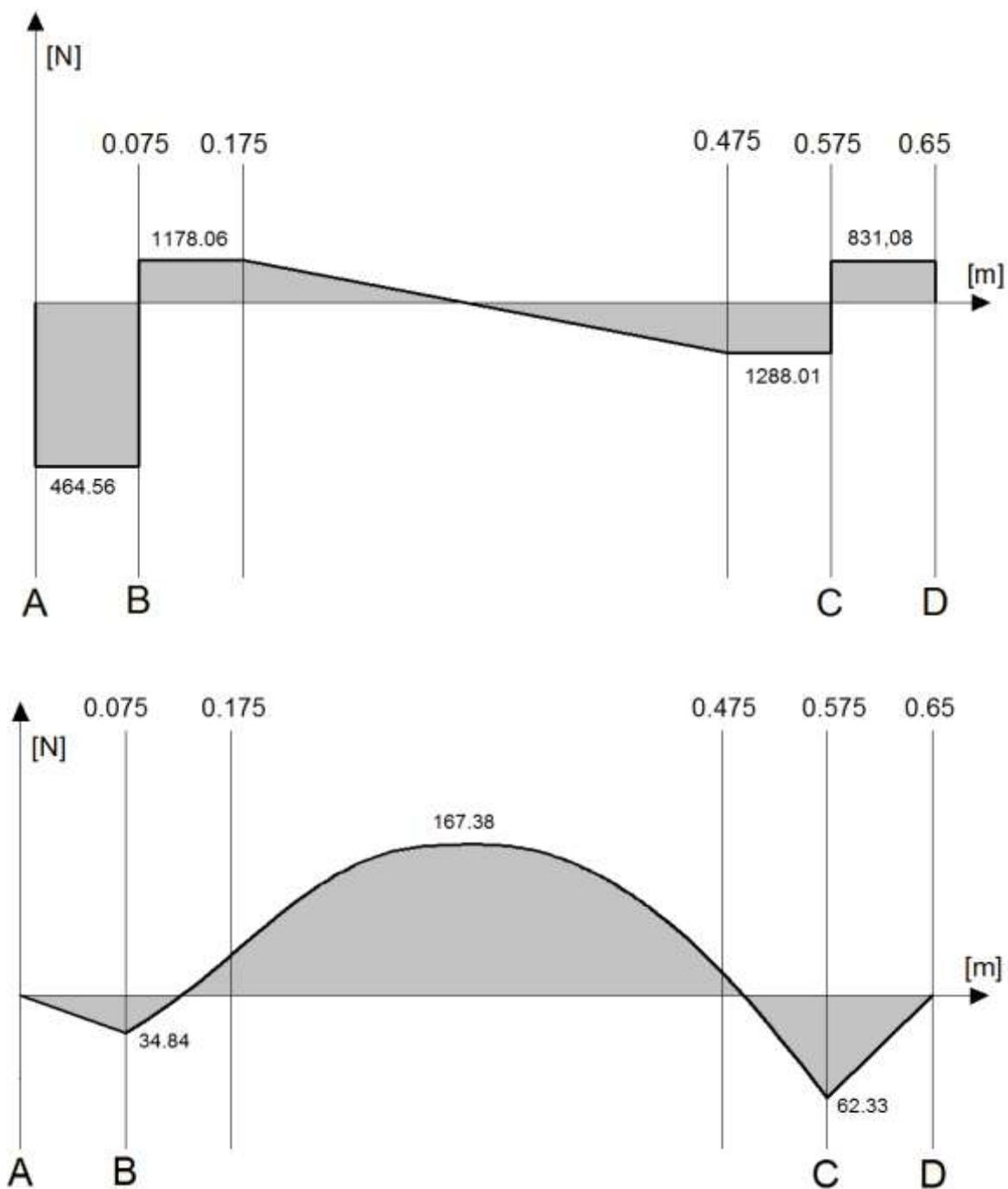


Figura 3. 12 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano x-z

De los diagramas anteriores, se dice que el punto crítico se encuentra cuando:

Cuando  $x = 0.075 \text{ m}$ ,

y/o cuando  $x = 0.575 \text{ m}$ .

Por lo tanto, se tiene que:

$$M_{x@0.075} = \sqrt{M_{By}^2 + M_{Bz}^2} = \sqrt{256.68^2 + 34.84^2} = 259,03 \text{ [N.m]}$$

$$M_{x@0.575} = \sqrt{M_{Cy}^2 + M_{Cz}^2} = \sqrt{171.63^2 + 62.33^2} = 182.6 \text{ [N.m]}$$

El mayor momento flector se encuentra en el punto B, por lo que es el punto crítico y que sirve para el análisis.

#### 3.3.3.1.4 Diseño estático del eje de transmisión para el eje 1.

Los esfuerzos a los que está sometido el eje son de flexión y de torsión, presentes en una forma combinada.

Mediante un reemplazo de términos en la ecuación de esfuerzo por flexión se obtiene una expresión general en términos del momento flector y del diámetro del eje.

$$\sigma_x = \frac{32}{\pi} \left( \frac{M}{d^3} \right) \quad \text{[Ec. 3.28]}$$

Donde:

$\sigma_x$ : Esfuerzo de flexión, [MPa].

M: Momento flector en la sección crítica (B) del eje, 259.03 [N.m].

d: Diámetro del eje, [m].

Se realiza el mismo reemplazo de ecuaciones para obtener una expresión del esfuerzo de corte en términos del momento torsor y del diámetro del eje.

$$\tau_{xy} = \frac{16}{\pi} \left( \frac{T}{d^3} \right)$$

**[Ec. 3.29]**

Donde:

$\tau_{xy}$ : Esfuerzo de corte, [MPa].

T: Momento torsor en la sección crítica del eje, 314.65 [N.m].

d: Diámetro del eje, [m].

Con la teoría de la energía de la distorsión para falla estática y asumiendo un diámetro de 31.75 [mm] se tiene que:

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

**[Ec. 3.30]**

Donde:

$\sigma_x$ : Esfuerzo de flexión, 82.43 [MPa].

$\tau_{xy}$ : Esfuerzo de corte, 50.06 [MPa].

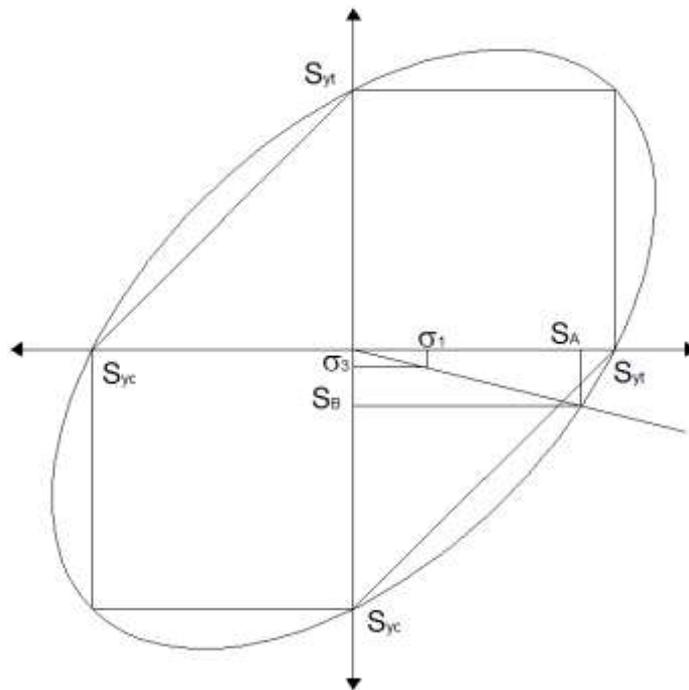
d: Diámetro del eje, 0.03175 [m].

Se reemplaza en la Ec.3.30 y se tiene:

$$\sigma_1 = 106.06 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_3 = -23.63 \text{ [MPa]}$$

Aplicando la teoría de falla para materiales dúctiles:



**Figura 3. 13** Teoría de la energía de la distorsión para falla de materiales dúctiles

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right) + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right)^2}}$$

**[Ec. 3.31]**

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del acero AISI 1018, 370 [MPa].

Se reemplaza los valores de  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ , en la ecuación 3.31:

$$S_A = 328 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, calculando el factor de seguridad:

$$n = \frac{S_A}{\sigma_1}$$

**[Ec. 3.32]**

$$n = \frac{328}{106.06}$$

$$\mathbf{n = 3.1}$$

### 3.3.3.1.5 Diseño dinámico del eje de transmisión para el eje 1.

$$S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times S'_e \quad \text{[Ec. 3.33]}$$

Donde:

$S_e$  : Límite de resistencia a la fatiga del eje 1.

$S'_e$  : Límite de resistencia a la fatiga de la probeta.

$k_a$ : Factor de superficie.

$K_b$ : Factor de tamaño.

$K_c$ : Factor de confiabilidad.

$K_d$ : Factor de temperatura.

$K_e$ : Factor de modificación por concentrador de esfuerzo.

$K_f$ : Factor de efectos diversos.

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 0.5 \times 440MPa = 220MPa.$$

$$k_a = 0,84 \quad \text{Elemento maquinado y } 0.44 [GPa]^5$$

$$k_b = 1.189 \times d^{-0.097}$$

$$k_c = 1 \quad \text{Para una confiabilidad del 50\%.$$

$$k_d = 1 \quad \text{Para } T \leq 450^\circ C$$

---

<sup>5</sup> SHIGLEY, Diseño de elementos de máquinas.

$$k_e = \frac{1}{k_f}$$

$$k_f = 1 + q(K_t - 1)$$

**[Ec. 3.34]**

Donde:

q : Sensibilidad a las ranuras.

$k_t$ : Factor de concentración de esfuerzos.

En el diseño del eje, no se ha considerado ningún cambio de sección (ranuras), por lo que:

$$q = 0$$

Se reemplaza en la ecuación 3.34 y se tiene que:

$$k_f = k_e = 1$$

Debido a que el punto crítico del eje se encuentra en la sección B, entonces se tiene:

$$\sigma_x = \frac{32}{\pi} \left( \frac{M}{d^3} \right) ; \quad \tau_{xy} = \frac{16}{\pi} \left( \frac{T}{d^3} \right)$$

Donde:

M: Momento flector en B 259.03 [N.m].

T: Torque de entrada 314.65 [N.m].

d : Diámetro del eje [m].

Debido a que el eje está sometido a cargas combinadas, se aplica la teoría de la energía de la distorsión, donde se encuentran esfuerzos equivalentes tanto para la amplitud de esfuerzos como para los esfuerzos medios, y con estos

esfuerzos determinar el factor de diseño en el diagrama que contiene la línea de Goodman modificada.

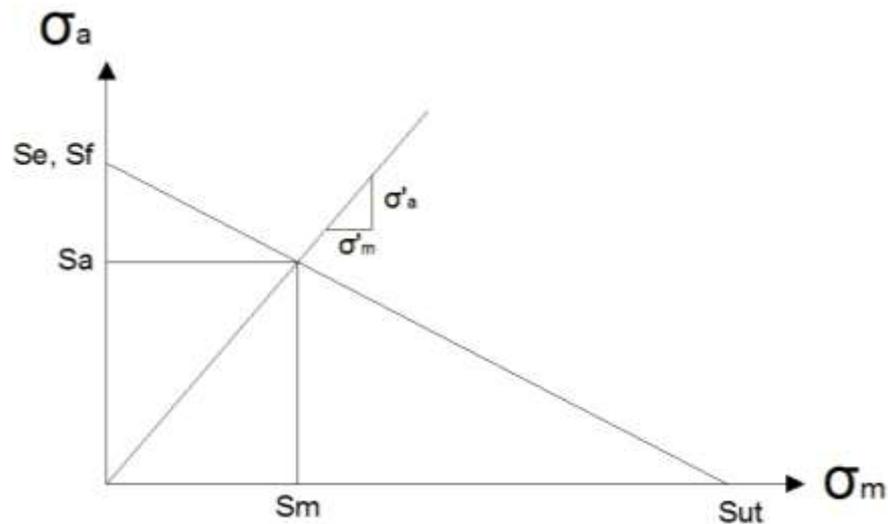
Como  $\sigma_y = 0$ , entonces  $\sigma_{ym} = 0, \sigma_{ya} = 0$ .

Por lo tanto:

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3\tau_{xym}^2} \quad [\text{Ec. 3.35}]$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3\tau_{xya}^2} \quad [\text{Ec. 3.36}]$$

Con las componentes de esfuerzo equivalentes calculadas anteriormente se va al gráfico de la línea de Goodman modificada, indicada a continuación:



**Figura 3. 14** Gráfico de la línea de Goodman modificada

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{S_e}{S_{ut}} + \frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}}$$

[Ec. 3.37]

$$n = \frac{S_m}{\sigma'_m} = \frac{S_a}{\sigma'_a}$$

[Ec. 3.38]

Se analiza lo expuesto anteriormente, para un diámetro de 0.03175 [m] (1.25 pulgadas), se tienen los siguientes resultados:

$$\sigma_{xa} = \sigma_{xmax} = \frac{32}{\pi} \left( \frac{M}{d^3} \right) = 82.43 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{xm} = \tau_{xya} = 0 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{xym} = \tau_{xymax} = \frac{16}{\pi} \left( \frac{T}{d^3} \right) = 50.06 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3\tau_{xym}^2} = \tau_{xym}\sqrt{3} = 86.72 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3\tau_{xya}^2} = \sigma_{xa} = 82.43 \text{ [MPa]}$$

$$k_b = 1.189 \times d^{-0.097} = 0.84$$

$$S_e = 157.11 \text{ [MPa]}$$

$$S_m = 120.14 \text{ [MPa]}$$

$$\mathbf{n = 1.4 \text{ [MPa]}}$$

Por lo tanto, se selecciona un eje AISI 1018 de diámetro 0.03175 [m] (1.25 [pulg]).

### *Eje de transmisión para rodillo 2.*

Las cargas (del engrane y de la presión de amasado) que están aplicadas en el eje 2 son iguales a las cargas aplicadas en el eje de transmisión para el rodillo 1, además, considerando la congruencia de elementos que debe existir dentro del diseño de una máquina, se establece que el eje 2 debe ser idéntico al eje 1.

### **3.3.4 SELECCIÓN DE POLEAS Y BANDA.**

Debido a que la potencia que se necesita transmitir desde el eje del rodillo hacia la banda transportadora es mínima para lograr un adecuado funcionamiento se selecciona una banda en V tipo A.

Por las condiciones de diseño se establece una relación de transmisión de  $i=4$  por lo tanto se emplea un diámetro en las poleas de 10 [pulg] y 2.5 [pulg].

La distancia aproximada entre los centros de las poleas es 11 [pulg], que depende de la ubicación de la banda transportadora con respecto al eje.

La longitud aproximada de la banda se calcula:

$$L_B = 2C + 1.57(d_3 + d_4) + \frac{(d_3 + d_4)^2}{4C}$$

**[Ec. 3.39]**

Donde:

- $L_B$  : longitud de la banda [pulg]
- $C$  : distancia aproximada entre centros 11 [pulg]
- $d_3$  : diámetro primitivo de la polea conductora 10 [pulg]
- $d_4$  : diámetro primitivo de la polea conducida 2.5 [pulg]

$$L_B = 45.18 \text{ [pulg]}$$

Según el catálogo del Anexo V se selecciona una banda A45.

### 3.3.5 RODILLO CORTADOR.

Las cargas a las que está sometido el rodillo cortador será de compresión y corte, que al igual que los rodillos laminadores, depende directamente de la presión de amasado, y cómo se describió en la sección 3.3.2.2.2 esta presión es un valor que no representa condición alguna de falla para el cortador, razón por la cual no es motivo de análisis en este proyecto.

En la figura 3.15 se muestran los diferentes elementos que conforman el rodillo cortador.



Figura 3. 15 Rodillo cortador

Fuente: Propia.

#### 3.3.5.1 DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento del rodillo cortador es necesario puntualizar algunas consideraciones:

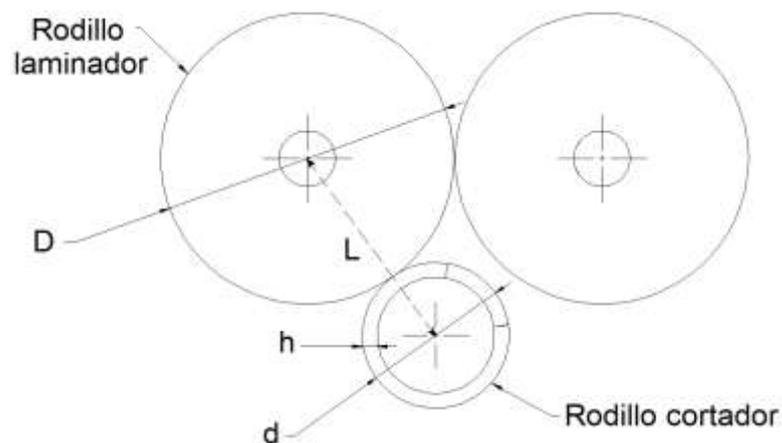
- El rodillo laminador y el rodillo cortador deben tener la misma velocidad.

$$v_{laminador} = v_{cortador}$$

- Acorde con lo indicado en la sección 3.3.1.1 el rodillo cortador debe tener el doble de revoluciones del rodillo laminador.

$$w_{laminador} = 2w_{cortador}$$

- Diámetro primitivo del engrane del rodillo laminador, 200 [mm].
- Diámetro primitivo del engrane del rodillo cortador, 100 [mm].



**Figura 3. 16** Esquema del conjunto rodillo laminador-cortador

Donde:

- D: Diámetro del rodillo laminador, 199.5 [mm].
- L: Longitud de separación entre centros, 150 [mm].
- d: Diámetro del rodillo cortador, [mm].
- h: Altura del perfil cortador [mm]

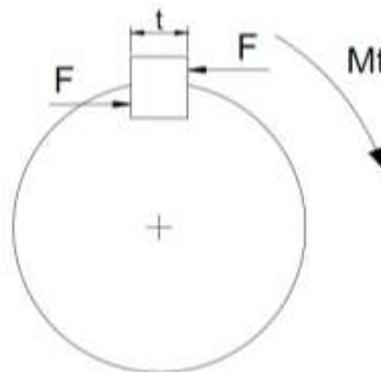
$$d = 2 \left( L - \frac{D}{2} \right) = 100.5 [mm]$$

Acorde al Anexo I, se selecciona un tubo mecánico de 3 pulgadas AISI 304, con lo que se establece una altura para el perfil del cortador de 11,6 [mm].

### 3.3.6 LENGÜETA.

La lengüeta es un elemento mecánico que se utiliza para unir o fijar piezas como en el caso de engranes o poleas, a sus respectivos ejes, con la finalidad de transmitir el momento de torsión. En la práctica usual consiste en elegir una lengüeta cuyo ancho sea un cuarto del diámetro del eje.<sup>6</sup>

Para determinar las dimensiones de la lengüeta se considera que las fuerzas se distribuyen de manera uniforme a lo largo del eje y el engrane. Las fuerzas a la que está sometida la lengüeta se muestra en figura 3.17.



**Figura 3. 17** Fuerzas ejercidas sobre la lengüeta

**Fuente:** Propia.

Para el diseño se selecciona acero AISI 1020 estirado en frío cuya resistencia a la fluencia es  $S_y=448$  [MPa], considerando un factor de seguridad de 2.

La fuerza cortante en la lengüeta depende del diámetro y del momento torsor del eje del rodillo.

---

<sup>6</sup>SHIGLEY J; Diseño en Ingeniería Mecánica; 6ta. Edición.

Esta fuerza se aplica en el área transversal de la lengüeta, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{Mt}{r}$$

**[Ec. 3.40]**

Donde:

F: Fuerza Cortante [N]

Mt: Momento torsor del eje, 228.33 [N.m]

r: Radio del eje, 12.5 mm=0.0125 [m]

$$F = 18\,266.4 \text{ [N]}$$

El esfuerzo cortante se calcula con la ecuación:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{l \cdot t} \leq [\tau_{\text{máx}}] = \frac{S_{sy}}{n}$$

**[Ec. 3.41]**

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante, [Pa]

t: Ancho de la lengüeta cuadrada 8 [mm]=0.008 [m]

l: Longitud de la lengüeta [m]

$S_{sy}$ : Resistencia al cortante por la energía de distorsión.

Por la teoría de la distorsión, la resistencia al cortante se calcula con la ecuación:

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y = 0.577 \cdot 448 = 258.5 \text{ [MPa]}$$

Reemplazando se tiene:

$$l = 0.018 [m] = 18 [mm]$$

La resistencia al aplastamiento se determina con un área igual a la mitad de la cara de la lengüeta:

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{t \cdot l/2}$$

Reemplazando se tiene:

$$l = 0.02 [m] = 20 [mm]$$

Por lo tanto las dimensiones de la lengüeta son:

$$t = 8 [mm]$$

$$l = 20 [mm]$$

### 3.3.7 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

Para la selección del rodamiento se considera que va estar sometido a una sollicitación estática debido a que la velocidad angular es de 11.25 [rpm] y únicamente están presentes cargas radiales porque las cargas axiales son mínimas, por lo tanto se selecciona un rodamiento rígido de bolas.

El manual de la SKF establece que para rodamientos rígidos de bolas cargados estáticamente la ecuación 3.42:

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad \text{[Ec. 3.42]}$$

Donde:

$P_o$ : Carga estática equivalente, [N].

$F_r$ : Carga radial, [N].

$F_a$ : Carga axial, [N].

La carga radial es la carga más grande que actúa entre los apoyos del eje del rodillo y es igual a  $R_{cz} = 2\,119.09$  [N], obtenida de la Fig. 3.9, la carga axial es despreciable.

Se reemplaza en la ecuación 3.42:

$$P_o = 1271.45[N]$$

Se tiene que  $P_o < F_r$ , por lo tanto se considera que  $P_o = F_r = 2\,119.09$  [N]

El diámetro en el que se acopla el rodamiento es de  $1\frac{1}{4}$  [pulg], con este dato y la carga estática equivalente, se procede con el catálogo de la SNR (Anexo VI) a seleccionar el rodamiento.

Por lo tanto las chumaceras seleccionadas se presentan en la tabla 3.3 (Anexo VI):

**Tabla 3. 4** Información de chumaceras seleccionadas

Componente	Diámetro [mm]	$C_o$ [N]	Designación
<b>Rodillo laminador</b>	31.75	11 200	UC 207-20
<b>Rodillo cortador</b>	19.05	6650	UC 204-12

Al actuar una carga estática se calcula el factor estático  $S_o$ , para demostrar que el rodamiento de la chumacera tiene la suficiente capacidad:

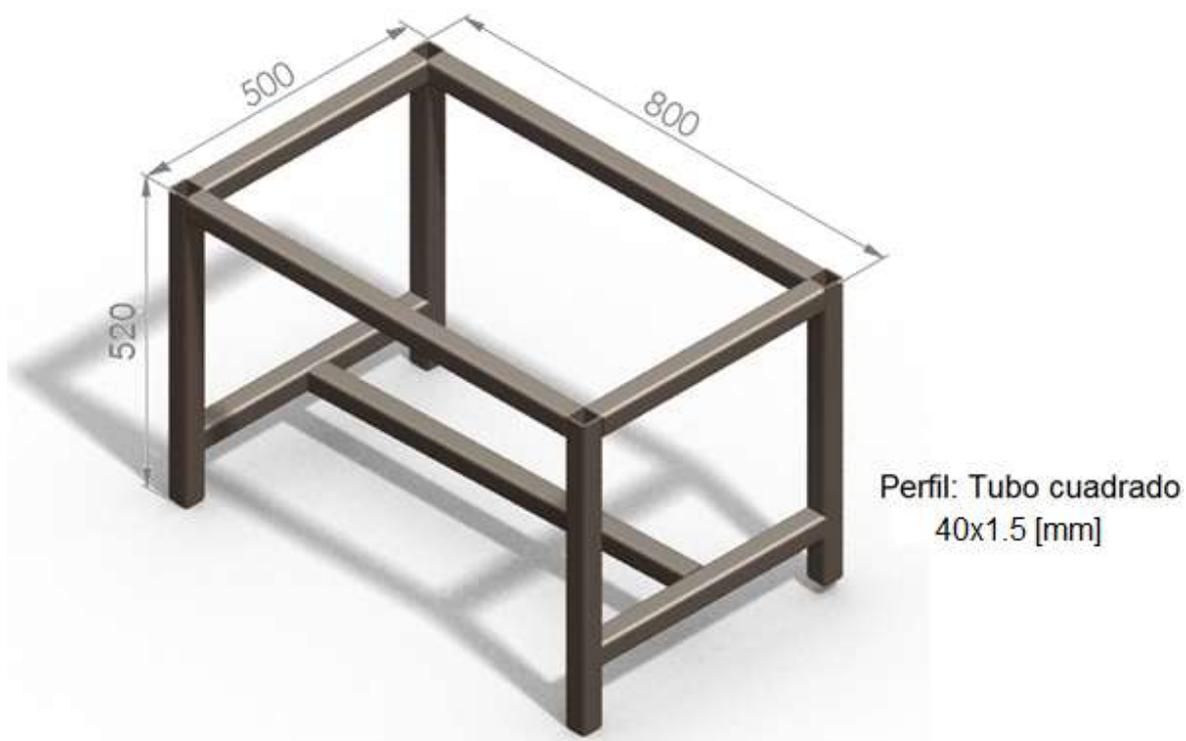
$$S_o = \frac{C_o}{P_o}$$

$$S_o = 5.2$$

El factor recomendado por la SKF es de 2, para este caso el valor es de 5.2 que es mayor que el recomendado e indica que el rodamiento seleccionado es apropiado.

### 3.3.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

La estructura que sirve de soporte para todos los elementos que conforman la máquina, tiene las siguientes características:



**Figura 3. 18** Estructura de la máquina

**Fuente:** Propia.

### 3.3.8.1 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA.

La resistencia de la estructura se verifica mediante el software SAP2000.

Para determinar las cargas aplicadas en la estructura se utiliza el programa SOLIDWORKS 2010, una vez realizada la modelación se obtiene las propiedades que se presentan en la figura 3.19.

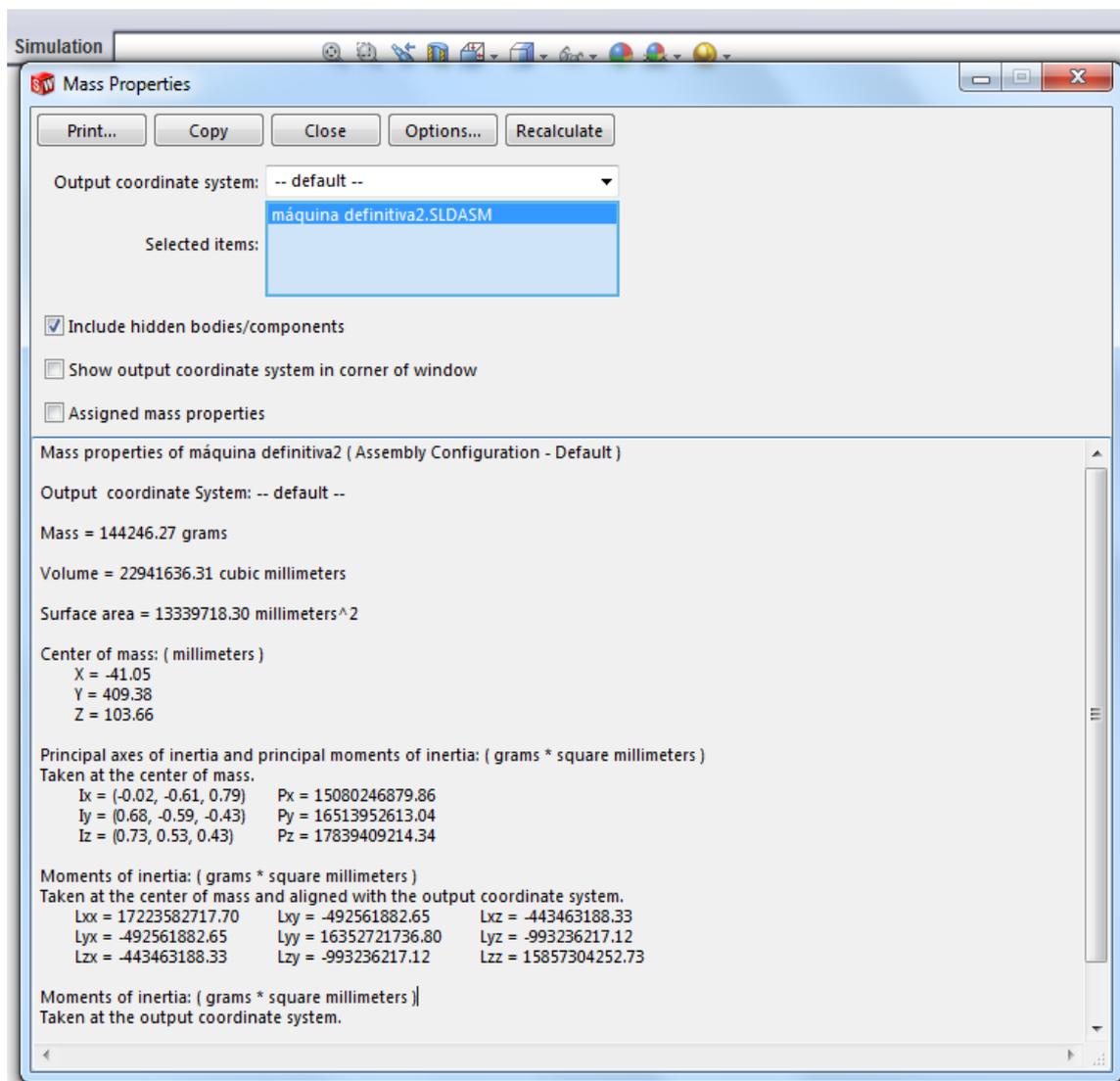
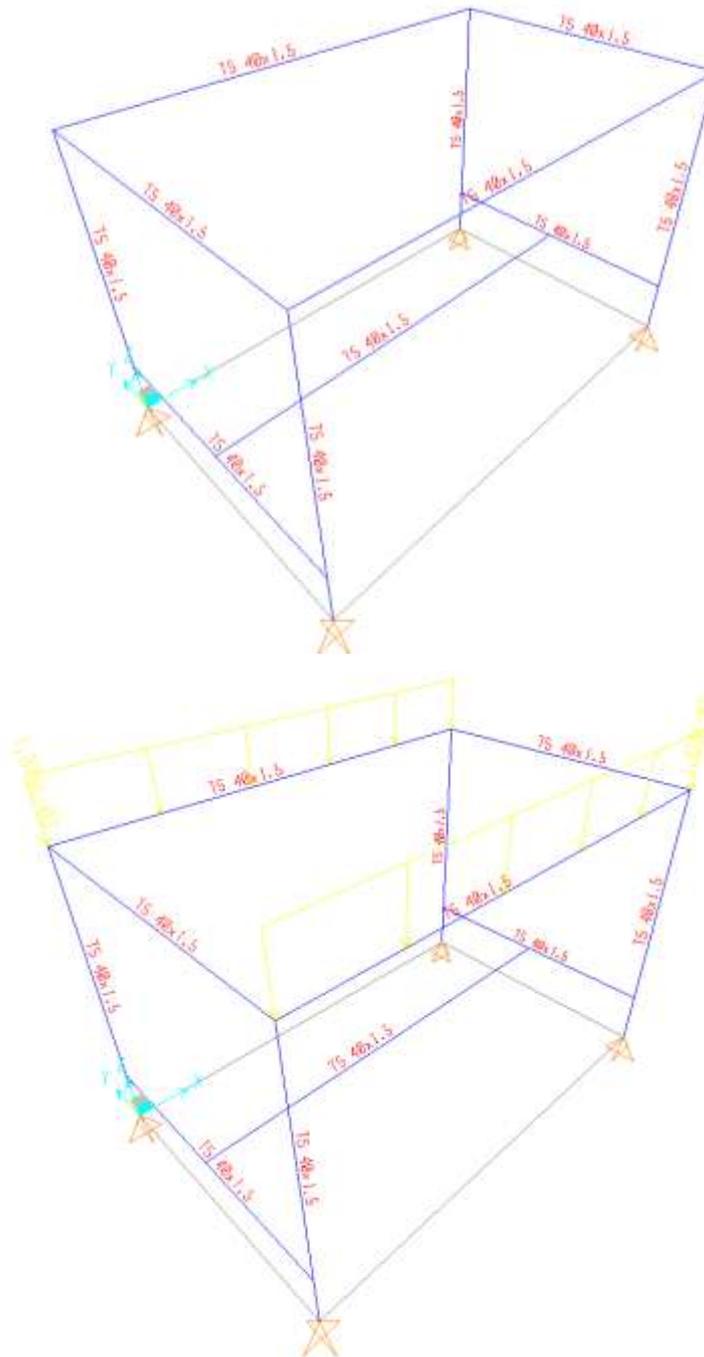


Figura 3. 19 Propiedades del prototipo modelado

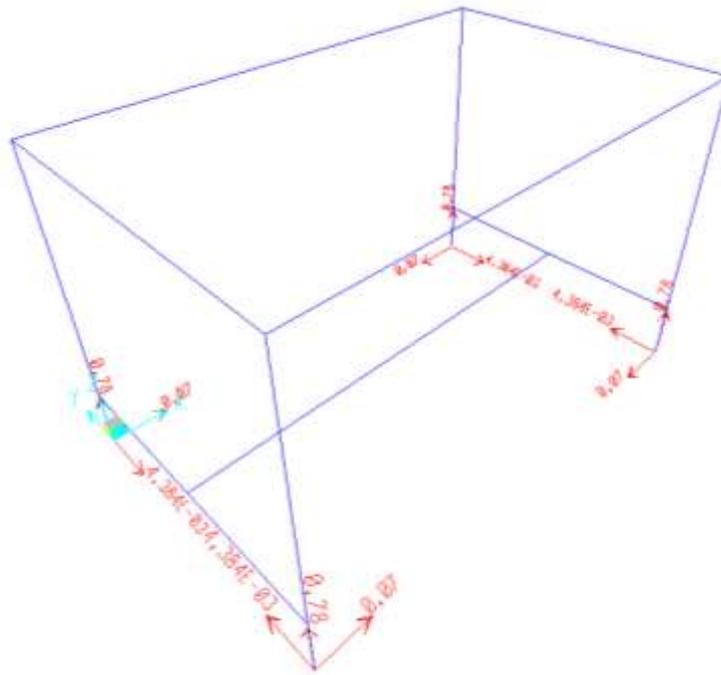
Fuente: SolidWorks 2010

De la figura 3.19 se obtiene un valor de masa  $m=144$  [kg], lo que equivale a una fuerza aplicada de 1411.2 [N] sobre la estructura, para el análisis en SAP2000 se utiliza las dimensiones del plano 1.2746.101 con una carga distribuida de 1500 [N] sobre los tramos laterales. En la figura 3.20 se presentan la fuerza y restricciones aplicadas sobre la estructura.



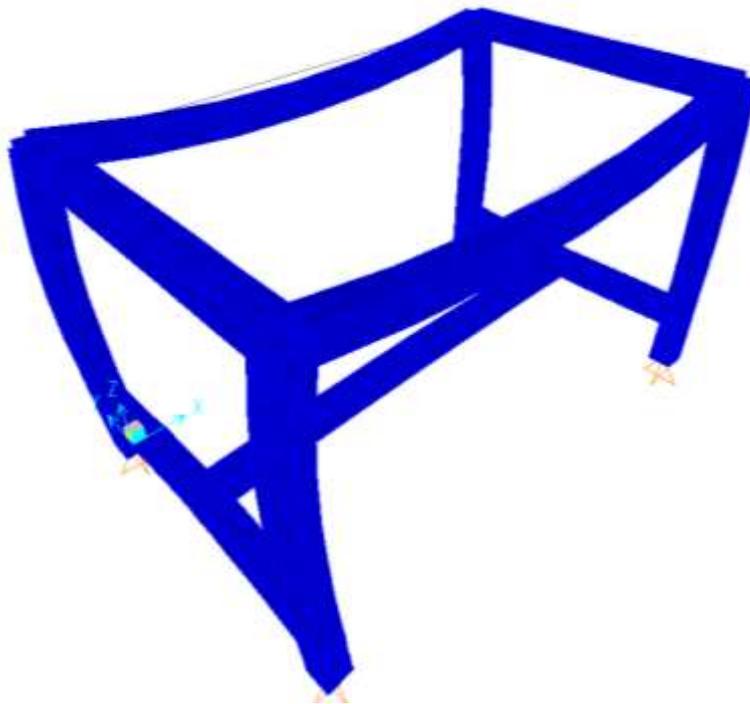
**Figura 3. 20** Carga y restricciones en la estructura

Fuente: SAP200.



**Figura 3. 21** Reacciones que soporta la estructura

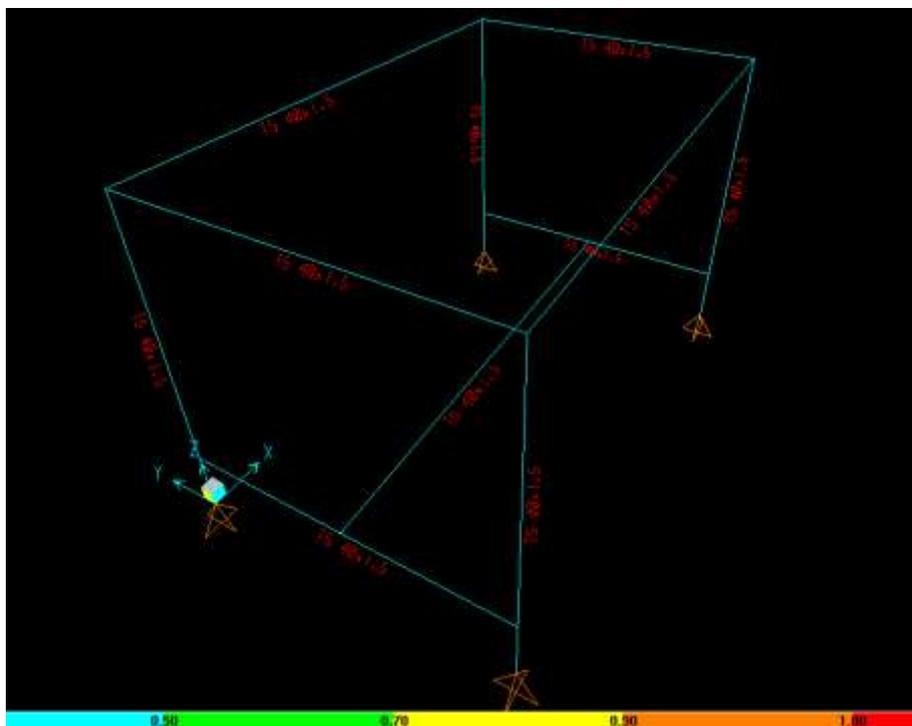
Fuente: SAP2000.



**Figura 3. 22** Deformaciones en la estructura

Fuente: SAP2000.

Finalmente con el programa SAP2000 se analiza el factor de seguridad de la estructura, en la figura 3.23 se presenta el análisis:



**Figura 3. 23** Factor de seguridad de la estructura

La figura 3.23 indica el factor de seguridad y se tiene un factor aproximado de 0.5. El software también proporciona un reporte técnico, el reporte generado indica los desplazamientos de cada elemento de la estructura que se indican en la tabla 3.5:

**Tabla 3. 5** Desplazamientos de los elementos de la estructura

Joint	Output Case	CaseType	U1 [mm]	U2 [mm]	U3 [mm]
4	MT 1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000
5	MT 1	Combination	0,000018	-7,404E-06	-0,000199
6	MT 1	Combination	0,000018	7,404E-06	-0,000199
7	MT 1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000
8	MT 1	Combination	-0,000018	-7,404E-06	-0,000199
9	MT 1	Combination	-0,000018	7,404E-06	-0,000199
10	MT 1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000
11	MT 1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000
12	MT 1	Combination	-0,000216	-0,000016	-0,000060
13	MT 1	Combination	-0,000216	0,000016	-0,000060
14	MT 1	Combination	0,000216	-0,000016	-0,000060
15	MT 1	Combination	0,000216	0,000016	-0,000060
16	MT 1	Combination	-8,804E-06	-4,794E-19	-0,001115
17	MT 1	Combination	8,804E-06	-2,893E-19	-0,001115

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

La construcción y montaje de la máquina se le debe realizar en un taller mecánico en donde se disponga de máquinas y herramientas necesarias para construir las diferentes piezas.

Las piezas que conforman la máquina se construyen de acuerdo a los planos de taller. Es importante considerar la disponibilidad en el mercado de los diferentes materiales y elementos seleccionados que conforman el prototipo.

En la estructura base de la máquina, se utilizan perfiles cuadrados sobre la cual se ensamblan los demás componentes mediante juntas soldadas o empernadas.

Los ejes, rodillos, placas de soporte, rigidizadores y demás componentes se construyen con la ayuda de máquinas herramientas. Es importante destacar que todas las partes que están en contacto con alimentos son de acero inoxidable AISI 304.

Los procesos de construcción se seleccionan de tal manera que la construcción no requiera de equipos especiales o mano de obra especializada evitando así un incremento en el costo total del prototipo. La construcción implica procesos de corte, soldadura y doblado.

Para el sistema motriz se utiliza un motor de ½ HP acoplado a un reductor de velocidad, el cual reduce las rpm de salida mejorando así el proceso de laminación de la masa.

En el Anexo XII se muestran fotografías de la construcción y montaje del prototipo.

#### **4.1.1 REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

Para realizar la construcción de cada uno de las partes constitutivas del prototipo se requiere de máquinas, equipos, herramientas, materiales, instrumentos, etc. los mismos que se detallan a continuación:

##### **4.1.1.1 MÁQUINAS Y EQUIPOS**

- Fresadora
- Torno
- Esmeril
- Soldadora
- Taladro de pedestal
- Equipo de pintura
- Amoladora
- Mototool
- Cortadora de tubos

##### **4.1.1.2 HERRAMIENTAS**

- Brocas
- Útiles para torneear
- Escuadras
- Limas
- Martillo
- Juego de llaves
- Rayador
- Sierra
- Machuelos

#### **4.1.1.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN**

- Calibrador pie de rey
- Flexómetro
- Escuadra

#### **4.1.1.4 RESUMEN DE MATERIA PRIMA**

- Plancha de acero inoxidable AISI 304 en espesores de 1.5 y 4 [mm].
- Plancha de acero inoxidable AISI 340, espesor 1.2 [mm]
- Plancha de acero al carbono ASTM-A36, espesor de 4mm.
- Eje AISI 1018.
- Tubo cuadrado de 40x1.5 [mm].
- Tubo de acero inoxidable cédula 80 y 40.
- Ejes y planchas de duralón.
- Banda de PVC (FDA)

#### **4.1.1.5 ELEMENTOS NORMALIZADOS**

- Arandelas planas
- Arandelas de presión
- Pernos
- Tuercas
- Chumaceras
- Interruptor

#### **4.1.1.6 ELEMENTOS SELECCIONADOS**

- Catalinas
- Cadena
- Poleas
- Banda
- Motorreductor

#### **4.1.2 HOJAS DE PROCESO**

La construcción del prototipo para elaboración de tortillas de harina de trigo, debe tener la guía de procedimientos, por lo tanto se realizan hojas de procesos para el maquinado de los elementos que presenten dificultad en su manufactura, éstas y los planos de taller facilitan el proceso de fabricación y además son de gran ayuda para el trabajador encargado de la fabricación.

Las hojas de procesos para la construcción de las principales partes constitutivas de la máquina se encuentran en el Anexo XI.

#### **4.2 MONTAJE DE LA MÁQUINA**

El montaje se realiza preferentemente con el siguiente orden:

La denominación empleada en el procedimiento de montaje de la máquina para cada uno de los elementos corresponde a los establecidos en el plano de conjunto 1.2746.001.

- a. Verificación de la presencia de pernos, prisioneros, arandelas, etc., que serán utilizados en el montaje.
- b. Unión de placas principales a la estructura base mediante pernos.
- c. Ensamble de los elementos rigidizadores de la estructura mediante tuercas a las placas principales.
- d. Disposición de alambres separadores de masa.
- e. Ubicación de rodillos laminadores.
- f. Colocación de chumaceras.
- g. Fijación de ejes de rodillos laminadores a chumaceras mediante prisioneros.
- h. Fijación de chumaceras a placas principales.
- i. Fijación de engranes y catalina conducida sobre los ejes de rodillos laminadores.
- j. Colocación de rodillo cortador.

- k. Fijación de engrane a eje de rodillo cortador.
- l. Unión de cortador con palanca de accionamiento.
- m. Disposición de ejes para banda transportadora, se debe colocar previamente la banda.
- n. Ubicación y fijación de las poleas y bandas.
- o. Templado de la banda transportadora
- p. Ubicación del motorreductor.
- q. Ubicación y fijación de catalina motriz.
- r. Colocación de cadena.
- s. Disposición de guías laterales de masa.
- t. Ubicación de bandeja recolectora.
- u. Instalación eléctrica.

### **4.3 PRUEBAS DE CAMPO**

Luego de la construcción y el montaje de la máquina, es conveniente realizar las pruebas de campo acorde con el protocolo de pruebas descrito en el Capítulo 2. Éstas tienen como objetivo verificar las condiciones de diseño y el correcto funcionamiento de la máquina.

Los resultados se muestran en el Anexo X.

#### **4.3.1 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO**

De acuerdo a los resultados del Anexo X, se observa que los diferentes elementos y partes que conforman la máquina funcionan correctamente sin carga y de igual forma al estar con carga, trabaja sin ningún problema en la elaboración de las tortillas. Es muy importante mencionar que los resultados obtenidos en la calidad de la tortilla dependen específicamente de las propiedades de la masa.

La alineación de los rodillos laminadores y la ubicación de los alambres separadores, es la correcta para poder obtener el espesor requerido en la tortilla de harina de trigo.

La disposición de la banda transportadora también es la adecuada para no dañar la tortilla una vez que se ha despegado de los rodillos laminadores.

Finalmente se puede observar que la capacidad para la que fue diseñada la máquina es la apropiada.

## **CAPITULO 5**

### **COSTOS**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se realiza un estudio de los costos de diseño, construcción y montaje del prototipo de máquina para la elaboración de tortillas.

#### **5.2 COSTOS DEL PROTOTIPO**

Para la construcción del prototipo se considera los costos directos y costos indirectos.

Costos directos:

- Costos de materia prima.
- Costos de elementos normalizados.
- Costos de maquinado.
- Costos de montaje.

Costos indirectos:

- Costos no recuperables.
- Costo de materiales consumibles.
- Costos de ingeniería.
- Costos de imprevistos.

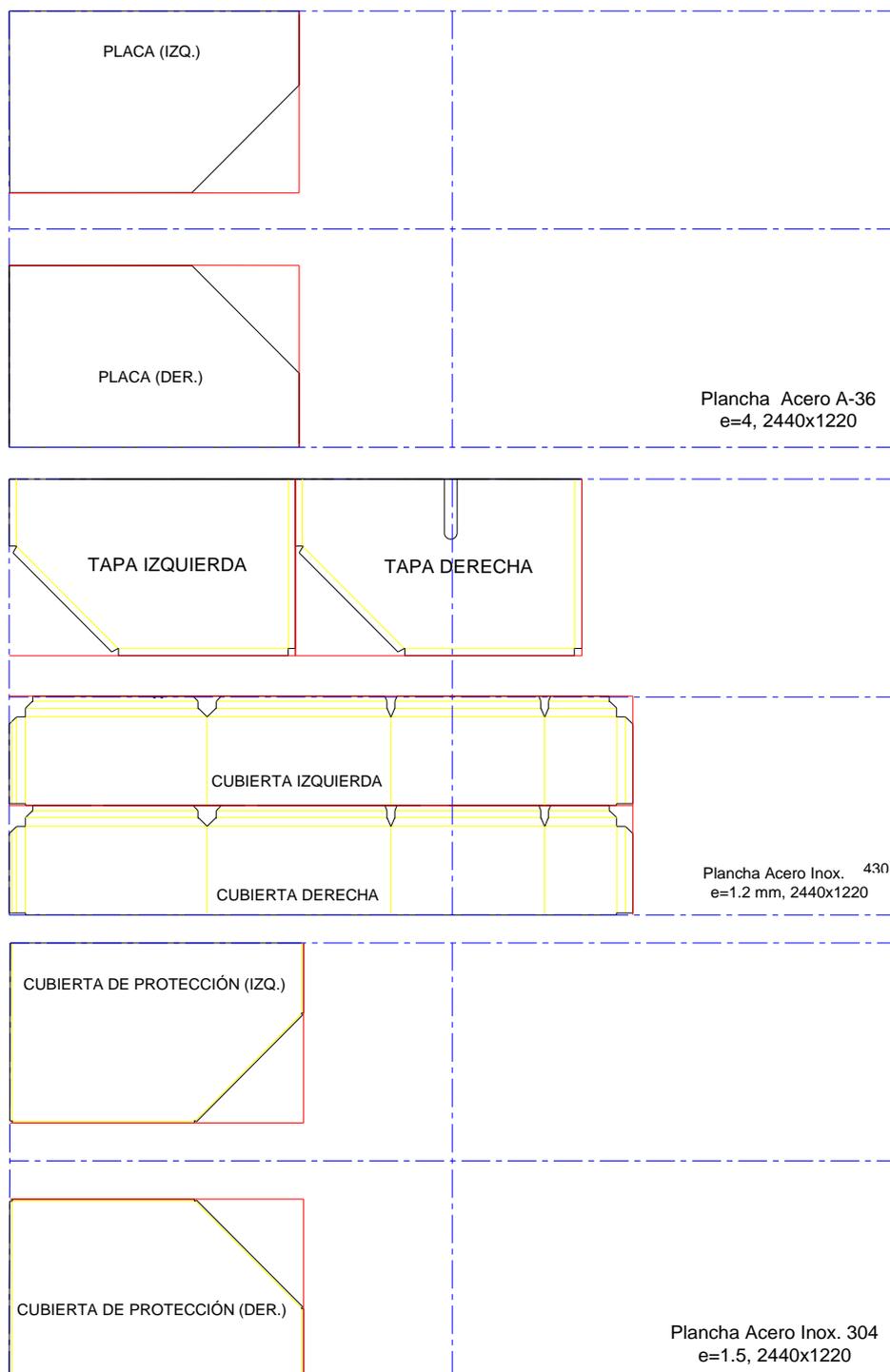
El costo total de la máquina para la elaboración de tortillas de harina de trigo se obtiene al sumar los costos directos con los costos indirectos.

##### **5.2.1 COSTOS DIRECTOS**

###### **5.2.1.1 Costos de materia prima**

En la tabla 5.1 se resume los costos de materia prima que se utiliza en la fabricación y construcción de los elementos constitutivos de la máquina.

Para determinar las dimensiones de las planchas requeridas se traza sobre una plancha de 1120 x 2440 las dimensiones de las placas que forman parte del prototipo como se indica en la figura 5.1



**Figura 5. 1** Trazado en planchas de 1220x2440

**Fuente:** Propia

Tabla 5. 1 Costos de materia prima

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO [USD]	VALOR TOTAL [USD]
Plancha Acero Inox. AISI 430 e=1.2 [mm], Dim. 2440x1220 [mm].	1	133,56	133,56
Plancha Acero Inox. AISI 304 e=1.5 [mm], Dim. 1220x1220 [mm].	1	215,04	215,04
Plancha Acero Inox. 304 e=4 [mm] Dim. 610x610 [mm].	1	203,49	203,49
Plancha A-36 e=4 [mm] Dim. 1220x1220 [mm].	1	117,78	117,78
Eje AISI 1018 $\phi$ 1 1/4, L=670 [mm]	2	19,75	39,50
Tubo Acero Inox. 304 $\phi$ =8", SH=80, L=1000 [mm].	1	391,73	391,73
Tubo Acero Inox. 304 $\phi$ =3", SH=80, L=2000 [mm]	1	122,89	122,89
Eje Acero Inoxidable $\phi$ =1/2", L=3500 [mm].	1	147,00	147,00
Eje Acero Inoxidable $\phi$ =3/4", L=1100 [mm].	1	60,00	60,00
Eje Acero Inoxidable $\phi$ =1", L=300 [mm].	1	34,00	34,00
Tubo estructural cuadrado 40x40x1.5 [mm], L=7000 [mm].	1	35,80	35,80
Eje de duralón $\phi$ =210 [mm], L=35 [mm].	2	466,28	932,56
Eje de duralón $\phi$ =110 [mm], L=35 [mm].	1	135,41	135,41
Eje de duralón $\phi$ =60, L=100 [mm].	2	91,73	183,46
Plancha de duralón e=3/4". Dim. 425x210 [mm].	1	127,58	127,58
<b>Subtotal</b>			<b>2879,80</b>

Fuente: Macroferro.

### 5.2.1.2 Costos de elementos normalizados

En la tabla 5.2 se muestran los costos de elementos normalizados.

**Tabla 5. 2** Costos de elementos normalizados

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO [USD]	VALOR TOTAL [USD]
Elementos de sujeción (Pernos, Tuercas, Arandelas)			40,00
Chumacera de pared 1 1/4"	4	12,30	49,20
Chumacera de pared 1/2"	2	7,50	15,00
Polea de aluminio 10"	1	8,30	8,30
Polea de aluminio 2,5"	1	4,80	4,80
Catalina Paso=3/4", Z=30	1	80,40	80,40
Catalina Paso=3/4", Z=15	1	50,20	50,20
Cadena Paso=3/4", L=1.5 [m]	1	60,00	60,00
Banda A45	1	4,50	4,50
Moto-reductor MR IV 63-71	1	750,95	750,95
Pulsador On/Off	1	5,50	5,50
Cable eléctrico flexible No. 10 AWG	2m	0,90	1,80
<b>Subtotal</b>			<b>1070,65</b>

**Fuente:** Ivan Bohman.

### 5.2.1.3 Costos de maquinado

Estos costos corresponden al costo de las máquinas herramientas empleadas incluido la mano de obra para la fabricación de componentes del prototipo. Los costos de maquinado se presentan en la tabla 5.3

**Tabla 5. 3** Costos de maquinado

MÁQUINA	PERIODO DE TRABAJO [h]	VALOR HORA [USD]	VALOR TOTAL [USD]
Torno paralelo	30	15,00	450,00
Fresadora Universal	20	10,00	200,00
Taladro	5	4,00	20,00
Soldadora	1	7,00	7,00
Soldadora TIG	5	10,00	50,00
<b>Subtotal</b>			<b>727,00</b>

Fuente: Rectificadora Borja.

#### 5.2.1.4 Costos de montaje

Los costos de montaje se refieren a la mano de obra requerida para el armado y ensamblado del prototipo. En la tabla 5.4 se presentan los costos de montaje.

**Tabla 5. 4** Costos de montaje

DETALLE	PERIODO DE TRABAJO [días]	PERSONAL REQUERIDO	VALOR/DÍA [USD]	VALOR TOTAL [USD]
Electromecánico	1	1	25	25
Ayudante 1	1	1	15	15
Ayudante 2	1	1	15	15
<b>Subtotal</b>				<b>55</b>

## 5.2.2 COSTOS INDIRECTOS

### 5.2.2.1 Costos no recuperables

Tabla 5. 5 Costos no recuperables

DETALLE	PERIODO DE TRABAJO	VALOR/HORA [USD]	VALOR TOTAL [USD]
Amoladora	3 horas	0,80	2,40
Esmeril	2 hora	1,00	2,00
Mototool	4 horas	0,80	3,20
Cortadora de tubos	4 horas	4,00	16,00
Dobladora	5 horas	3,00	15,00
Instrumentos de medida	50 horas	0,60	30,00
<b>Subtotal</b>			<b>68,60</b>

### 5.2.2.2. Costos de materiales consumibles

Tabla 5. 6 Costos de materiales consumibles

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO [USD]	VALOR TOTAL [USD]
Electrodo TIG EWTh 2, $\phi$ 3/32"	1 Caja (10 u)	15,30	15,30
Electrodo E6011, $\phi$ 1/8"	1 [lb]	1,50	1,50
Lijas de grano fino	3	0,50	1,50
Disco de desbaste	1	3,90	3,90
Pintura anticorrosiva	1 [l]	10,00	10,00
Pintura	1 [l]	4,50	4,50
Thinner	1 [l]	1,50	1,50
Varios	-----	10,00	10,00
<b>Subtotal</b>			<b>48,20</b>

### 5.2.2.2 Costos de ingeniería

El costo de ingeniería es el tiempo y conocimiento empleado para diseñar una máquina, para el caso del diseño del prototipo se necesita de la participación de dos profesionales, los tiempos empleados en cada actividad se detallan en la tabla 5.7.

**Tabla 5. 7** Actividades y tiempo de ingeniería

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>TIEMPO [h]</b>
Definición del problema	2
Presentación de alternativas	4
Selección de alternativas	2
Diseño y selección de componentes principales	30
Supervisión de construcción del prototipo	10
Supervisión de montaje del prototipo	5
<b>Total</b>	<b>53</b>

El costo por hora en el diseño de maquinaria es de 20 [USD], por lo tanto el costo de ingeniería se establece en 1060 [USD]

### 5.2.2.3 Costos de imprevistos

Tabla 5. 8 Costos de imprevistos

DETALLE	VALOR TOTAL [USD]
Movilización	20,00
Papelería	15,00
Impresión de documentos	20,00
Impresión de planos	15,00
Varios	10,00
<b>Subtotal</b>	<b>80,00</b>

### 5.2.3 COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO

Tabla 5. 9 Costo Total

DETALLE	VALOR TOTAL [USD]
Costos de materia prima	2879,80
Costos de elementos normalizados	1070,65
Costos de maquinado	727,00
Costos de montaje	55,00
Costos no recuperables	68,60
Costos de materiales consumibles	48,20
Costos de ingeniería	1060,00
Costos de imprevistos	80,00
<b>Total</b>	<b>5989,25</b>

Como se puede observar en la tabla 5.9; el costo de la máquina para elaboración de tortillas de harina de trigo llega a ser de 5989,25 [USD]. Éste valor es aceptable de acuerdo a lo esperado inicialmente.

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

- El proyecto de titulación cumple con el objetivo de diseñar y construir una máquina para la elaboración de tortillas de harina de trigo de forma satisfactoria, de acuerdo a los requerimientos establecidos inicialmente.
- El diseño de la máquina para elaboración de tortillas de harina de trigo permite a la empresa Taquito's reducir el esfuerzo humano y aumentar la producción de tortillas, dando así la posibilidad de expandir nuevas sucursales en la ciudad de Quito.
- Después de realizar las pruebas de campo del prototipo construido se observó, que cumple con las especificaciones de producción requeridas, se obtienen tortillas de harina de trigo con un espesor máximo de 2,5 [mm].
- El prototipo construido tiene la capacidad de cortar diferentes diámetros de tortillas, puesto que, su sistema de corte permite reemplazar de una manera fácil y rápida el rodillo de corte al tamaño requerido.
- La operación de la máquina para elaboración de tortillas se requiere de una sola persona la cual no necesariamente debe ser calificada.
- Con el prototipo se reduce el tiempo de elaboración de tortillas, ya que se pasa de una elaboración manual a una semiautomática

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Una vez que hay sido cargada la máquina con masa, se recomienda accionar la máquina con el rodillo cortador separado, hasta obtener una laminación uniformemente distribuida de la masa, para garantizar una formación completa de la tortilla. Es importante indicar que se debe tomar en cuenta que el exceso de laminado produce que la masa pierda sus propiedades.
- Se debe revisar que los alambres separadores de la masa estén dispuestos correctamente. Se deberá tener cuidado al ajustar los alambres por cuanto al tensionarlo demasiado puede ocasionar su ruptura.
- Limpiar el prototipo de los desperdicios de masa en cada utilización, principalmente los rodillos laminadores y el rodillo cortador para evitar la contaminación de la masa.
- Durante el funcionamiento de la máquina es importante no acercar las manos a los rodillos laminadores, únicamente colocar la masa sobre los mismos.
- Se recomienda que para una mejora del diseño se acople a la máquina un dispositivo que mezcle los ingredientes y se obtenga la masa que se coloca en el prototipo.
- Mantener lubricado la cadena y los engranes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BUDYNAS-NISBETT; Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley; 8a Ed.; Editorial McGraw-Hill; México; 2008.
2. COYAGO R.; “Estudio de las características físico-químicas, funcionales y reológicas de las masas de banano seda y plátano dominico y barraganete”; Proyecto de Titulación Previo a la obtención al Título de Ingeniera Química.
3. ESTRONEO Y CONSORTI; El Dibujo Mecánico; 2ª Ed.; Editorial Montaner y Simón S.A; Barcelona; 1975.
4. INEN, Código de dibujo técnico mecánico; Quito, 1981.
5. JUVINALL, R; Fundamentos para Ingeniería Mecánica; Editorial Limusa; México, 1997.
6. MOTT R.; Diseño de elementos de máquinas; 4ª Ed.; Editorial Person Education; México, 2006.
7. NOVELO V.; La tortilla: Alimento, trabajo y tecnología; Folleto; México 1987.
8. VARGAS, J.; Guía de los fundamentos de Dibujo Industrial; E.P.N.; Carrera de Ingeniería Mecánica; Quito-Ecuador; 1992.
9. VARGAS, J.; Producción por Virutaje; E.P.N; Carrera de Ingeniería Mecánica; Quito Ecuador; 2007.
10. RIBA, C.; Diseño concurrente; U.P.C.; Departamento de Ingeniería Mecánica.

# ANEXOS

# **ANEXO I**

## **CATÁLOGO DE TUBOS DE ACERO INOXIDABLE**



# **ANEXO II**

## **CATÁLOGO DE MOTORREDUCTOR**



# **ANEXO III**

## **CATÁLOGO DE CADENA Y CATALINAS**



# **ANEXO IV**

## **CATÁLOGO DEL NYLON**



# **ANEXO V**

## **CATÁLOGO DE BANDAS**



# **ANEXO VI**

## **CATÁLOGO DE CHUMACERAS**



# **ANEXO VII**

## **CATÁLOGO DE PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE 304**



# **ANEXO VIII**

## **CATÁLOGO DE EJE DE TRANSMISIÓN AISI 1018**



# **ANEXO IX**

## **CATÁLOGO DE TUBO CUADRADO**



# **ANEXO X**

## **PROTOCOLO DE PRUEBAS**



# **ANEXO XI**

## **HOJAS DE PROCESOS**



# **ANEXO XII**

## **FOTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL PROTOTIPO**



# **ANEXO XIII**

## **PLANOS**

