

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA REMOVER LA CASCARILLA DE GRANOS DE CACAO PARA UNA PRODUCCIÓN DE 200 kg/h**

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

**NANCY ALEXANDRA IMBAQUINGO IMBAQUINGO**

**nalex\_0986@hotmail.com**

**ÓSCAR SANTIAGO ORTIZ ÁVILA**

**santiago.ortiz@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. JAIME VARGAS**

**jaime.vargas@epn.edu.ec**

**QUITO, ABRIL 2012**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Nancy Alexandra Imbaquingo Imbaquingo y Óscar Santiago Ortiz Ávila, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes 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.

---

Nancy Alexandra Imbaquingo Imbaquingo

---

Óscar Santiago Ortiz Ávila

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Nancy Alexandra Imbaquingo Imbaquingo y Óscar Santiago Ortiz Ávila, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Jaime Vargas T.  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

---

Ing. Jorge Escobar  
COLABORADOR

---

Dr. Víctor Cárdenas  
COLABORADOR

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir y demostrarme cada día su existencia dándome así la fortaleza de superar cada momento difícil de mi vida. A mis padres por todos sus sacrificios, sus consejos, su amor y apoyo incondicional. A mi abuelita Luz María, por tenerme siempre presente en sus oraciones, en su mente y en su corazón. A mis hermanos Joby, Stalin y Jazmín por su amistad y cariño total. A mis tías Martha y Esperanza porque siempre me han dado la mano sin dudarlo cuando he necesitado de ellas. A mi compañero de tesis y novio Santiago por su paciencia, cariño y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. A mis amigas y amigos por cada uno de esos momentos que hemos compartido durante nuestra vida universitaria, los atesoraré en mi corazón.

Finalmente una mención especial de agradecimiento al Ing. Jaime Vargas quien con su valiosa y generosa ayuda ha dirigido el desarrollo de este proyecto.

De todo corazón a todos mil gracias.

Nancy

A mi familia por toda la ayuda que me dieron para poder alcanzar esta meta tan importante en mi vida, en especial a mis padres Mariana y Juan, a mis hermanas Xime y Cinthy, a mi novia Nancy, y también al resto de mi familia que siempre estuvieron cerca de mí apoyándome a cada momento, a todos ellos un sincero gracias.

A mis profesores, compañeros y amigos de la Escuela Politécnica Nacional y más cercanamente a la gente de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Al Ing. Jaime Vargas por su acertada dirección y orientación en este proyecto, del mismo modo al Dr. Víctor Cárdenas y al Ing. Jorge Escobar por su colaboración para poder desarrollar este trabajo y cumplir los objetivos planteados.

Santiago

## DEDICATORIA

Con mucho cariño y gratitud dedico este trabajo a mis padres Dorita y Oswaldo, quienes han sido mi apoyo, mi guía, mi luz, quienes nunca dejaron que caiga dándome razones para seguir luchando. Gracias por su amor y por su fuerza.

A mi abuelita Luz María, por siempre creer en mí y darme palabras de aliento siempre que lo necesite, tú amor y dedicación por tú familia han hecho de mi lo que soy ahora.

Nancy Imbaquingo

Dedico este trabajo a mis padres Juan Ortiz y Mariana Ávila, porque gracias a sus consejos, esfuerzos y apoyo en cada momento de mi carrera he podido culminar esta etapa de mi vida.

Santiago Ortiz

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. EL CACAO .....	1
1.2.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	1
1.2.2. CLASIFICACIÓN.....	2
1.2.2.1. Criollo.....	2
1.2.2.1.1. Características.....	2
1.2.2.2. Forastero.....	4
1.2.2.2.1. Características.....	4
1.2.2.3. Trinitario .....	5
1.2.2.3.1. Características.....	5
1.2.3. EL CACAO ECUATORIANO .....	6
1.2.4. ZONAS DE CULTIVO EN EL ECUADOR .....	7
1.2.4.1. Ubicación geográfica.....	8
1.3. TRATAMIENTO DEL FRUTO.....	9
1.3.1. FERMENTACIÓN.....	9
1.3.2. SECADO .....	10
1.3.3. LIMPIEZA.....	13
1.3.4. TOSTADO.....	13
1.3.5. DESCASCARILLADO .....	14
1.4. ELABORACIÓN DE CHOCOLATE .....	15

1.4.1. MOLIDO .....	15
1.4.2. PRENSADO .....	15
1.4.3. ENFRIAMIENTO Y ATEMPERADO.....	16
1.4.4. OBTENCIÓN DEL CHOCOLATE.....	16
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>17</b>
<b>ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....</b>	<b>17</b>
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	18
2.2.1. PARÁMETROS FUNCIONALES.....	18
2.2.1.1. Tamaño.....	18
2.2.1.2. Capacidad.....	18
2.2.1.3. Operación.....	19
2.2.2. PARÁMETRO DE DISEÑO.....	19
2.2.2.1. Materiales.....	19
2.2.3. LIMITACIONES DE DISEÑO .....	19
2.2.3.1. Funcionalidad.....	19
2.2.3.2. Tiempo de procesado .....	19
2.2.3.3. Versatilidad .....	19
2.2.3.4. Facilidad de operación .....	20
2.2.3.5. Facilidad de construcción y montaje .....	20
2.2.3.6. Facilidad de mantenimiento .....	20
2.2.3.7. Bajo costo .....	20
2.2.3.8. Seguridad.....	20
2.3. ESTUDIO DE CAMPO .....	20

2.4. PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	27
2.4.1. ALTERNATIVA 1: DESCASCARILLADORA DE RODILLOS .....	27
2.4.1.1. Descripción .....	27
2.4.1.2. Ventajas .....	29
2.4.1.3. Desventajas .....	29
2.4.2. ALTERNATIVA 2: DESCASCARILLADORA DE DISCOS .....	30
2.4.2.1. Descripción .....	30
2.4.2.2. Ventajas .....	31
2.4.2.3. Desventajas .....	32
2.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	32
2.6. FACTORES CONSIDERADOS .....	34
2.7. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA .....	34
2.8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS...	39
2.9. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	39
2.9.1. VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES.....	39
2.9.2. FUNCIONAMIENTO EN VACÍO.....	39
2.9.3. FUNCIONAMIENTO CON CARGA.....	40
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>43</b>
<b>DISEÑO DE LA DESCASCARILLADORA DE RODILLOS .....</b>	<b>43</b>
3.1. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.....	43
3.1.1. SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR .....	43
3.1.2. SELECCIÓN DE LAS CATARINAS .....	44
3.1.3. LONGITUDES DE LAS CADENAS .....	47
3.1.3.1. Cadena que transmite movimiento de catarina 1 a 3.....	47

3.1.3.2.	Cadena que transmite movimiento de catarina 2 a 4.....	49
3.1.4.	CÁLCULO DE ENGRANES .....	50
3.1.4.1.	Diseño Estático .....	50
3.1.4.2.	Diseño dinámico: Fatiga a flexión .....	53
3.1.4.3.	Diseño dinámico: Fatiga superficial.....	56
3.2.	SISTEMA DE DESCASCARADO.....	58
3.2.1.	DISEÑO DE RODILLOS .....	58
3.2.2.	DISEÑO DE EJE EN RODILLOS .....	59
3.2.3.	LENGÜETAS.....	70
3.2.4.	SELECCIÓN DE CHUMACERAS TENSORAS.....	71
3.2.4.1.	Apoyo C .....	71
3.2.4.2.	Apoyo D .....	73
3.2.4.3.	Apoyo F.....	73
3.2.4.4.	Apoyo G .....	73
3.3.	SISTEMA DE TAMIZADO .....	74
3.3.1.	CÁLCULO DE EJE BIELA-MANIVELA .....	74
3.3.2.	SELECCIÓN CHUMACERAS CON SOPORTE DE PIE .....	82
3.3.2.1.	Apoyo A .....	82
3.3.2.2.	Apoyo B .....	83
3.3.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA BIELA-MANIVELA .....	83
3.3.4.	DISEÑO DEL TAMIZ.....	84
3.4.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL .....	85
3.4.1.	DIMENSIONES .....	85
3.4.2.	CARGAS Y DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE .....	86
3.4.3.	CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DETERMINACIÓN DEL MATERIAL .....	88

3.5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN .....	90
3.5.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA.....	90
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>92</b>
<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS.....</b>	<b>92</b>
4.1. GENERALIDADES .....	92
4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA .....	92
4.2.1. MÁQUINAS, HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	92
4.2.2. PROCESOS TECNOLÓGICOS .....	94
4.2.3. MATERIA PRIMA.....	94
4.2.4. ELEMENTOS MECÁNICOS Y PIEZAS A CONSTRUIR.....	95
4.2.5. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN.....	97
4.2.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN .....	100
4.3. MONTAJE .....	104
4.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE MONTAJE.....	104
4.4. PRUEBAS DE CAMPO .....	109
4.4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	112
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>114</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>114</b>
5.1. COSTOS DIRECTOS.....	114
5.1.1. MATERIALES DIRECTOS .....	114
5.1.2. ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	115
5.1.3. MANO DE OBRA DIRECTA.....	117
5.2. COSTOS INDIRECTOS .....	117
5.2.1. MATERIALES INDIRECTOS.....	118

5.2.2. GASTOS ADICIONALES .....	118
5.3. COSTO TOTAL .....	119
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>120</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>120</b>
6.1. CONCLUSIONES .....	120
6.2. RECOMENDACIONES .....	122
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Ventajas y desventajas de la fermentación del cacao.....	9
<b>Tabla 2.1.</b> Dimensiones de los granos de cacao.....	24
<b>Tabla 2.2.</b> Fuerzas obtenidas del ensayo de compresión.....	26
<b>Tabla 2.3</b> Valores utilizados en el método de criterio ponderados.....	33
<b>Tabla 2.4</b> Codificación de alternativas .....	34
<b>Tabla 2.5</b> Criterios a evaluar .....	34
<b>Tabla 2.6</b> Evaluación del peso específico de cada criterio. ....	35
<b>Tabla 2.7</b> Peso específico evaluado con Funcionalidad. ....	36
<b>Tabla 2.8</b> Peso específico evaluado con Tiempo de procesado. ....	36
<b>Tabla 2.9</b> Peso específico evaluado con Versatilidad.....	36
<b>Tabla 2.10</b> Peso específico evaluado con Seguridad. ....	37
<b>Tabla 2.11</b> Peso específico evaluado con Facilidad de mantenimiento.....	37
<b>Tabla 2.12</b> Peso específico evaluado con Facilidad de operación.....	37
<b>Tabla 2.13</b> Peso específico evaluado con Facilidad de construcción y montaje.....	38
<b>Tabla 2.14</b> Peso específico evaluado con Bajo costo.....	38
<b>Tabla 2.15</b> Conclusiones para la selección de la alternativa. ....	38
<b>Tabla 2.16.</b> Formato del Protocolo de Pruebas del Prototipo.....	41
<b>Tabla 3.1.</b> Dimensiones y fuerzas actuantes en los ejes b y c.....	61
<b>Tabla 3.2.</b> Reacciones en los apoyos de los ejes b y c. Torque aplicado.....	61
<b>Tabla 3.3.</b> Dimensiones del eje a.....	77
<b>Tabla 3.4.</b> Reacciones en los apoyos del eje a.....	77
<b>Tabla 3.5.</b> Torque aplicado al eje a.....	77
<b>Tabla 4.1.</b> Listado de Máquinas, herramientas e instrumentos de medición. ....	93
<b>Tabla 4.2.</b> Procesos tecnológicos. ....	94
<b>Tabla 4.3.</b> Materia prima a utilizarse. ....	95
<b>Tabla 4.4.</b> Elementos y Piezas a construir.....	95
<b>Tabla 4.5.</b> Simbología utilizada en el diagrama de flujo.....	100
<b>Tabla 4.6.</b> Diagrama de flujo de construcción.....	101
<b>Tabla 4.7.</b> Descripción de cada proceso involucrado en el montaje. ....	104

<b>Tabla 4.8.</b> Resultados de las pruebas de campo.....	110
<b>Tabla 5.1.</b> Costo de materiales directos.....	115
<b>Tabla 5.2.</b> Costo de elementos normalizados.....	116
<b>Tabla 5.3.</b> Costo de la mano de obra directa.....	117
<b>Tabla 5.4.</b> Costo de los materiales indirectos.....	118
<b>Tabla 5.5.</b> Costos adicionales.....	119
<b>Tabla 5.6.</b> Costo Total.....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Características de cacao criollo. (a)Vaina, (b)Grano .....	3
<b>Figura 1.2.</b> Características del cacao forastero. (a)Vaina, (b)Grano .....	5
<b>Figura 1.3.</b> Diversidad de colores del fruto de cacao Trinitario. (a)Vaina, (b)Grano ...	6
<b>Figura 1.4.</b> Ubicación geográfica de la producción de cacao ecuatoriano.....	8
<b>Figura 1.5.</b> Procesos en el proceso de fermentación. ....	10
<b>Figura 1.6.</b> Secado de cacao al sol en Santo Domingo de Tsáchilas.....	11
<b>Figura 1.7.</b> Cacao extendido en la secadora. ....	12
<b>Figura 1.8.</b> Secado de cacao.....	12
<b>Figura 1.9.</b> Partículas encontradas al realizar la limpieza del cacao. ....	13
<b>Figura 1.10.</b> Tostadora de cacao.....	14
<b>Figura 1.11.</b> Cacao descascarillado. ....	15
<b>Figura 2.1.</b> Tendales de cacao para su secado.....	21
<b>Figura 2.2.</b> Estudio de campo en la Agroexportadora Verdesoto. ....	21
<b>Figura 2.3.</b> Visita a la plantación de cacao. ....	22
<b>Figura 2.4.</b> Tamaños de grano encontrados en el estudio de campo.....	23
<b>Figura 2.5.</b> Cacao seco y cacao húmedo descascarado. ....	25
<b>Figura 2.6.</b> Ensayo de compresión en un grano de cacao tostado.....	26
<b>Figura 2.7.</b> Descascarilladora de rodillos.....	28
<b>Figura 2.8.</b> Descascarilladora de discos. ....	31
<b>Figura 3.1.</b> Motorreductor empleado para construir la máquina.....	44
<b>Figura 3.2.</b> Disposición de las catarinas y cadenas.....	45
<b>Figura 3.3.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje b y del eje c.....	60
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama de fuerza cortante del eje b (x,z).....	62
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama de fuerza cortante del eje b (y,z).....	62
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama de momento flector del eje b (x,z).....	63
<b>Figura 3.7.</b> Diagrama de momento flector del eje b (y,z).....	63
<b>Figura 3.8.</b> Diagrama de fuerza cortante del eje c (x,z).....	64
<b>Figura 3.9.</b> Diagrama de fuerza cortante del eje c (y,z).....	64

<b>Figura 3.10.</b> Diagrama de momento flector del eje c (x,z) .....	65
<b>Figura 3.11.</b> Diagrama de momento flector del eje c (y,z) .....	65
<b>Figura 3.12.</b> Diagrama de cuerpo libre del conjunto biela-manivela y tamiz.....	75
<b>Figura 3.13.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje.....	76
<b>Figura 3.14.</b> Diagrama de fuerza cortante del eje a (x,z).....	78
<b>Figura 3.15.</b> Diagrama de fuerza cortante del eje a (y,z).....	78
<b>Figura 3.16.</b> Diagrama de momento flector del eje a (x,z) .....	79
<b>Figura 3.17.</b> Diagrama de momento flector del eje a (y,z) .....	79
<b>Figura 3.18.</b> Esquema de la biela manivela.....	84
<b>Figura 3.19.</b> Esquema de la estructura.....	86
<b>Figura 3.20.</b> Diagrama de cuerpo libre de la estructura.....	88
<b>Figura 3.21.</b> Análisis de esfuerzos en la estructura .....	89
<b>Figura 4.1.</b> Trazo de bocetos para realizar el corte. ....	98
<b>Figura 4.2.</b> Corte de la placa de Acero Inoxidable.....	98
<b>Figura 4.3.</b> Soldadura de partes del tamiz.....	99
<b>Figura 4.4.</b> Eliminación de rebabas. ....	99
<b>Figura 4.5.</b> Verificación de medidas en la construcción.....	100
<b>Figura 4.6.</b> Montaje de ejes-rodillos.....	107
<b>Figura 4.7.</b> Montaje de tolva. ....	107
<b>Figura 4. 8.</b> Verificación de medidas en el montaje .....	108
<b>Figura 4.9.</b> Montaje del tamiz. ....	108
<b>Figura 4.10.</b> Montaje completo de la descascarilladora de cacao. ....	109
<b>Figura 4.11.</b> Realización de pruebas de campo. ....	113
<b>Figura 4.12.</b> Presentación del funcionamiento de la removedora de cacao. ....	113

## **ANEXOS**

**ANEXO A. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR**

**ANEXO B. ESPECIFICACIONES DEL REDUCTOR**

**ANEXO C. ESPECIFICACIONES DE CATARINAS**

**ANEXO D. ESPECIFICACIONES PARA CÁLCULO DE CADENAS**

**ANEXO E. MATERIALES**

**ANEXO F. TABLAS Y CURVAS PARA EL CÁLCULO DE ENGRANES**

**ANEXO G. TABLAS Y CURVAS PARA EL CÁLCULO DE EJES**

**ANEXO H. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS**

**ANEXO I. ESPECIFICACIONES DE PERNOS**

**ANEXO J. ESPECIFICACIONES DEL TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO**

**ANEXO K. ESPECIFICACIONES DE LOS ELECTRODOS E-6011 Y ER308L**

**ANEXO L. HOJAS DE PROCESOS**

**ANEXO M. PLANOS DE TALLER**

## RESUMEN

Este proyecto de titulación se compone de seis capítulos, los cuales recogen toda la información, datos y resultados del trabajo realizado y lo presentan de forma secuencial de esta manera en el primer capítulo se tiene el marco teórico, en el segundo se desarrolla el estudio y selección de la alternativa de diseño, en el tercero se muestran los elementos diseñados y seleccionados, en el cuarto se muestra todo lo referente a la construcción, montaje y pruebas de la máquina, en el quinto se presenta un análisis de costos y el sexto muestra las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado. Adicionalmente al final podemos encontrar la bibliografía consultada y los anexos.

El marco teórico contiene información referente al cacao, desde el punto de vista agrícola, comercial y productivo; se establece un punto de vista el cual permitirá enfocar el trabajo entorno a la producción de chocolate, ya que es ahí en donde se aplicará la máquina construida.

El estudio de las alternativas presenta una sección muy importante que abarca los parámetros funcionales y de diseño, y el trabajo de campo ya que de esto se desprenden algunos datos importantes para el diseño; posteriormente se evalúan las alternativas y se escoge la mejor alternativa para el diseño. También se muestra el formato para el protocolo de pruebas y se describe cada uno de sus componentes.

En la fase de diseño se diferencian cada uno de los sistemas involucrados en la máquina lo que se desarrolla en base a la determinación de las piezas a construirse y las seleccionadas. Se presentan todos los cálculos involucrados y los autores que los recomiendan.

Con respecto al capítulo que describe la construcción, montaje y pruebas, se presentan esquemas los cuales muestran en forma secuencial como deben realizar

estas actividades, describiendo paso a paso como se realizó el trabajo y sugiriendo mejoras que podrían ayudar en trabajos posteriores que se relacionen con este.

El análisis de costos se realiza en base a la recopilación de catálogos y proformas de algunas empresas que distribuyen elementos mecánicos y materiales en la ciudad de Quito y además con el valor de la mano de obra para realizar estos trabajos.

Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo las cuales están íntimamente relacionadas con los objetivos y con los resultados obtenidos y se establecen algunas recomendaciones que sirven para la operación de la máquina y para trabajos posteriores.

## PRESENTACIÓN

El cacao ecuatoriano es de buena calidad, por ello es muy apetecido en el extranjero para la producción de derivados como chocolates o licor, sin embargo como materia prima su precio es relativamente bajo; es por ello que con la maquinaria adecuada se pueden producir semielaborados lo cual dinamizaría la economía local.

Este proyecto de titulación trata sobre el diseño y la construcción de una máquina para remover la cascarilla de los granos de cacao, con lo cual se busca impulsar las pequeñas y medianas empresas dedicadas a la producción de chocolates en el Ecuador, proceso que en la actualidad es artesanal siendo muy necesaria la introducción de maquinaria tecnificada que permita reducir los tiempos muertos y con ello mejorar la producción.

En la primera fase, el diseño, inicialmente se necesita recopilar información referente a la actividad agrícola cacaotera, así como también al diseño de maquinaria utilizada para tratar cacao especialmente máquinas para remover la cascarilla, luego de esto se debe realizar un trabajo de campo mediante el cual se pueden obtener tanto los parámetros funcionales como de diseño, todo esto aporta la información preliminar para el diseño; posteriormente se debe estudiar y seleccionar las alternativas de diseño, realizar el diseño en sí y elaborar los planos.

La segunda fase es la construcción, que involucra la fabricación y selección de partes y piezas, el montaje de cada uno de los elementos constituyentes como son: estructura, sistema de alimentación y descarga, transmisión, descascarillado; y finalmente se realizan las pruebas de campo a fin de determinar si los resultados son satisfactorios para el cliente y sólo así desarrollar las conclusiones que se desprendieron del trabajo y que recomendaciones se podrían dar para trabajos similares a futuro.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El cacao como materia prima se lo produce en varios países tropicales, uno de ellos es el Ecuador de donde se exporta una importante cantidad de cacao fino; sin embargo para obtener derivados como chocolate o licor es necesario seguir una serie de pasos los cuales son fundamentales para concentrar el sabor y el aroma del fruto; en el Ecuador se ha extendido la producción de semielaborados tales como: pasta de chocolate o polvo de chocolate, siendo necesario implementar maquinaria adecuada para incrementar la productividad.

### 1.2. EL CACAO

#### 1.2.1. RESEÑA HISTÓRICA

Un milenio antes del descubrimiento de América el cultivo y consumo del cacao fue realizado por los indígenas toltecas, aztecas, y mayas, los nativos utilizaban las pepas del cacao como un tipo de monedas siendo un elemento de trueque entre ellos, además eran también utilizadas para un brebaje amargo y concentrado llamado "XOCOALT".<sup>1</sup>

Un siglo más tarde los españoles llevaron las primeras muestras de semillas a España, en 1550 unas religiosas desarrollaron la primera receta denominándola chocolate a la que añadieron dulce y vainilla. La bebida en un inicio fue usada por la corte y la realeza, poco tiempo más tarde pasó a ser de consumo abierto.

El cultivo comercial del cacao en el Ecuador se inicia a mediados del siglo XVI ya que al ser un negocio muy rentable atrajo un gran interés en empresarios

---

<sup>1</sup> [http://ecuacocoa.com/espanol/index.php?option=com\\_content&task=view&id=12&Itemid=51](http://ecuacocoa.com/espanol/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=51)

guayaquileños, donde a principios de 1600 ya existían pequeñas plantaciones de cacao a orillas del río Guayas incrementándose gradualmente a orillas de sus afluentes río arriba, por lo que se le dominó con el nombre de “Arriba”. Este cacao ecuatoriano tenía una fama especial por su calidad y aroma por lo cual hasta la actualidad es considerado en el mercado internacional como cacao fino de aroma.

## **1.2.2. CLASIFICACIÓN**

### **1.2.2.1. Criollo**

El cacao Criollo es un cacao de “alta calidad” por excelencia, siendo el más raro y buscado de todas las variedades de cacao. Su árbol es muy frágil y de bajo rendimiento por lo que requiere cuidados especiales debido a que es muy susceptible a enfermedades y de ello depende la calidad del fruto. Este cacao sólo puede encontrarse en áreas de producción cacaotera en pequeñas cantidades, y se sabe que corresponde del 5 al 10% máximo de la producción mundial. El cacao criollo se lo produce en gran parte en Venezuela.

#### *1.2.2.1.1. Características*

La vaina es de color rojo violeta, puntiaguda al final y superficie áspera, conteniendo 20 a 30 granos aproximadamente por vaina como se observa en la Figura 1.1. Los granos se caracterizan por ser de un tono castaño grisáceo claro, color casi translúcido. El tiempo de fermentación varía de dos a tres días. El secado suele efectuarse al sol, directamente en el piso o sobre un lecho de hojas. Este cacao es de aroma perfumado suave, ligeramente amargo, con sabor delicado y redondeado.



**Figura 1.1.** Características de cacao criollo. (a)Vaina, (b)Grano

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### 1.2.2.2. Forastero

El cacao Forastero se caracteriza debido a que su árbol posee un gran rendimiento con respecto al cacao Criollo y resiste bien a las enfermedades representando así aproximadamente el 80% de la producción mundial, pero este no es considerado como cacao de “alta calidad” y es usado como base para mezclar con otros cacaos de alta calidad.

En el caso del cacao denominado Arriba del Ecuador es una excepción por su excelente y perfumado aroma, el cual es considerado como uno de “alta calidad” como el Criollo, diferente del resto de los Forasteros.

#### 1.2.2.2.1. Características

La vaina es de color verde o amarillo y forma muy variable. Cada vaina contiene entre 30 y 40 granos como se muestra en la Figura 1.2. El grano es largo y aplanado, de color púrpura oscuro. La fermentación y secado se realizan simultáneamente y puede ser superior a una semana. Este cacao es marrón oscuro con un aroma perfumado, sabor amargo con una nota de fruta y un toque de acidez.





**Figura 1.2.** Características del cacao forastero. (a)Vaina, (b)Grano

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### **1.2.2.3. Trinitario**

El cacao Trinitario es un híbrido de Criollo y Forastero, este es un cacao excelente y debido a su gran resistencia, generalmente se usa para plantar donde se está sustituyendo el Criollo, representa del 10 a 15% de la producción del cacao mundial denominado también como de “Alta Calidad” y apreciado en el mundo entero.

#### *1.2.2.3.1. Características*

Las vainas son de una gran variedad de colores rojo, violeta, limón y amarillo, con un número irregular de granos como se muestra en la Figura 1.3. Los granos son de color castaño oscuro, redondo y de tamaño irregular. La fermentación tarda una semana o más. El secado se realiza al sol, bajo tejados móviles. Este cacao tiene una cubierta de color rojo mediano. Variedad característica con un toque de fruta y aroma vivo. Sabor ligeramente amargo, con una acidez refrescante como nota principal.



**Figura 1.3.** Diversidad de colores del fruto de cacao Trinitario. (a)Vaina, (b)Grano

**Fuente:** [http://www.veitia.com/sp/Cocoa\\_varieties.htm](http://www.veitia.com/sp/Cocoa_varieties.htm)

**Elaboración:** [http://www.veitia.com/sp/Cocoa\\_varieties.htm](http://www.veitia.com/sp/Cocoa_varieties.htm)

### 1.2.3. EL CACAO ECUATORIANO

En el Ecuador existe un tipo de cacao único en el mundo conocido con el nombre de “Nacional”. El cacao Nacional se caracteriza por tener una fermentación muy corta, excelente calidad, aroma floral y sabor excepcional, lo que da un chocolate suave de buen sabor y aroma, por lo que es reconocido internacionalmente con la clasificación de “Cacao Fino de Aroma”.

La producción del cacao ecuatoriano se encuentra ligada a las condiciones del ecosistema, lo que determina un rendimiento diferente al de otros países productores. La buena calidad del producto ecuatoriano depende en gran medida de la ubicación geográfica en la que se cultiva y produce el cacao, lo que hace que el Ecuador sea el único exportador del “Cacao Fino de Aroma”.

El cacao representa el tercer rubro de exportación agrícola del país, siendo así una fuente de ingreso importante para pequeños productores de Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, la Amazonía, Guayas y Manabí, esta gran demanda del cacao ecuatoriano se debe a las características únicas que posee. El cacao es el tercer producto tradicional no petrolero más importante de las

exportaciones del Ecuador. En el último año da aproximadamente USD 350 millones. Debido a sus condiciones climáticas, el Ecuador tiene cerca del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma, con 10.119 hectáreas sembradas en 12 de las 24 provincias del país.<sup>2</sup> Entre los principales clientes del cacao ecuatoriano están Estados Unidos, Alemania y Bélgica.

#### **1.2.4. ZONAS DE CULTIVO EN EL ECUADOR**

El cacao en el Ecuador se expande principalmente en 4 zonas ecológicas, básicamente en 12 provincias las cuales en su mayor parte se encuentran ubicadas en estas zonas:

La zona denominada como “Arriba” que comprende la zona de la cuenca baja del río Guayas, básicamente las actuales provincias de Los Ríos y Guayas.

La zona de Manabí, con el cacao llamado de Bahía, que corresponde a la zona húmeda de la provincia de Manabí.

La zona de Naranjal, hacia el sur, que comprende una pequeña parte de la provincia del Guayas y la provincia de El Oro.

La zona de Esmeraldas, que tenía un cacao acriollado muy especial, al que se le denomina Esmeraldas.

En la zona húmeda de la costa ecuatoriana del Pacífico se hallan la mayoría de los lugares donde tradicionalmente se ha cultivado el cacao, pero se ha notado un movimiento a zonas más secas debido a que estas no se presentan enfermedades que generan un gran impacto económico. Por lo que existe un incrementado considerablemente el cultivo del cacao, en las estribaciones de la cordillera Occidental. En igual forma, el cultivo y producción se expande un poco más al norte

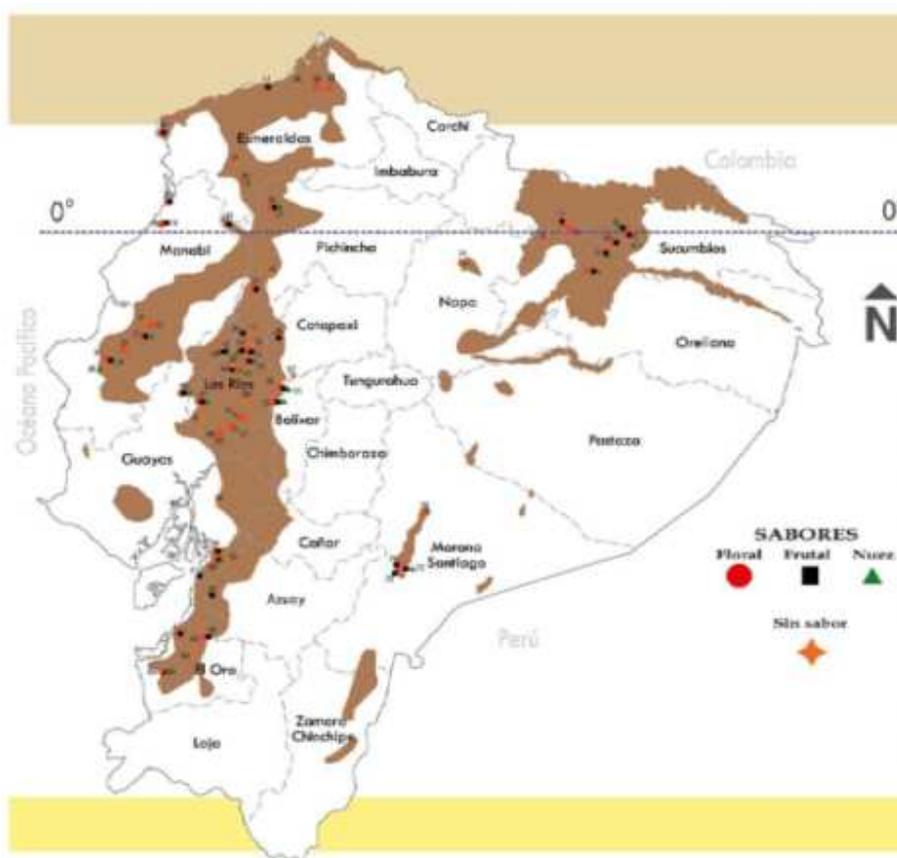
---

<sup>2</sup> Anecacao; Asociación Nacional de Exportadores de Cacao; 2011.

de la zona de “Arriba” en la provincia de Los Ríos y se ha movido a la zona amazónica del país. Además en los últimos años existe un gran incremento de superficie sembrada en las provincias de Sucumbíos y Orellana.

#### 1.2.4.1. Ubicación geográfica

La superficie de cacao se encuentra marcada, con color café, como se puede observar en la Figura 1.4. Los puntos rojos señalan las zonas en las que se produce cacao fino de aroma con sabor floral o cacao arriba.



**Figura 1.4.** Ubicación geográfica de la producción de cacao ecuatoriano.

**Fuente:** CORPEI, Gustavo Enríquez, Informe de Proyecto de Mapa de Sabores, 2007

**Elaboración:** CORPEI, Gustavo Enríquez, Informe de Proyecto de Mapa de Sabores, 2007

## 1.3. TRATAMIENTO DEL FRUTO

### 1.3.1. FERMENTACIÓN

Una vez que el cacao está maduro se lo cosecha y seguidamente se extrae la semilla y la pulpa, estas se colocan conjuntamente en recipientes para que se produzca la fermentación, lo cual es muy importante ya que de esta manera se concentra el sabor a chocolate en los granos de cacao. Las levaduras y azúcares presentes en la pulpa generan la fermentación externa al grano, posteriormente los ácidos producidos ingresan al cotiledón (grano) lo cual al entrar en contacto con las enzimas presentes crea los precursores del sabor a chocolate.

Todo este proceso dura alrededor de 5 días y puede alcanzar una temperatura de 50°C. Es muy importante que la temperatura no sobre pase este valor, de otro modo las levaduras mueren y el proceso se interrumpe. La humedad del grano al finalizar este proceso bordea el 45%.<sup>3</sup> En la Tabla 1.1 se muestran las ventajas que genera la fermentación y las desventajas que se presentan cuando el proceso es deficiente o no se realiza la fermentación. A demás en la Figura 1.5 se puede observar el proceso de fermentación del cacao.

**Tabla 1.1.** Ventajas y desventajas de la fermentación del cacao.

VENTAJAS DE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO Y DESVENTAJAS DE NO REALIZARLO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El grano gana cuerpo	El grano queda aplanado
La cáscara se separa con facilidad	Es complicado separar la cáscara
Color marrón	Color blanquecino
Grano quebradizo	Grano compacto

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

<sup>3</sup> [http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19\\_Fermentacion\\_del\\_Cacao.pdf](http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf)



**Figura 1.5.** Procesos en el proceso de fermentación.

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### 1.3.2. SECADO

Cuando el cacao sale del proceso de fermentación requiere ser secado, lo cual consiste en extraer la humedad hasta aproximadamente el 7%. Comúnmente esto se realiza con la ayuda del sol lo cual permite obtener un cacao con un sabor concentrado y buen aroma; a niveles industriales es necesario usar máquinas que emiten una corriente de aire caliente la cual extrae de forma más rápida la humedad, sin embargo los expertos recomiendan que por lo menos unos dos días se realice el secado al ambiente para que el grano no pierda sus propiedades.

Es así como lo realizan en varias provincias del Ecuador, en donde primero se seca el cacao mediante el sol (Figura 1.6) y posteriormente se lo lleva a grandes máquinas donde se acelera el proceso (Figura 1.7 y Figura 1.8). Al final del proceso de secado

el color de los granos es marrón y al frotar los granos entre sí suena como papel estrujado.



**Figura 1.6.** Secado de cacao al sol en Santo Domingo de Tsáchilas.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto

**Elaboración:** Propia



**Figura 1.7.** Cacao extendido en la secadora.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto

**Elaboración:** Propia



**Figura 1.8.** Secado de cacao.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto

**Elaboración:** Propia

### 1.3.3. LIMPIEZA

Los granos de cacao seco contienen tierra, piedras, insectos, cáscaras sueltas de la semilla, granos echados a perder y muchas otras partículas, por eso es necesario retirar todos estos contaminantes, antes de procesar el producto para obtener los semielaborados, con ello se logra obtener un producto de excelente calidad. Existen varios procesos de limpieza, dependen de la cantidad de producto que se está procesando, por eso algunos son manuales y otros mecanizados. En la Figura 1.9 se puede observar las partículas a desechar que se encuentran al momento de limpiar el cacao.



**Figura 1.9.** Partículas encontradas al realizar la limpieza del cacao.

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### 1.3.4. TOSTADO

Para potenciar el sabor a chocolate se debe activar los precursores generados durante el proceso de fermentación, esto se logra mediante el tostado de los granos, lo cual definirá el aroma y color finales del producto. Una ventaja de tostar los granos

es que se reduce al máximo la humedad de los mismos, lo cual es favorable al momento de retirar la cascarilla, además al someterse a las altas temperaturas se liberan algunos ácidos volátiles presentes en los granos debido a la fermentación lo que permite obtener un producto con un sabor más suave. En la Figura 1.10 se observa como tuestan el cacao en la Agroexportadora Verdesoto.



**Figura 1.10.** Tostadora de cacao.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto

**Elaboración:** Propia

### **1.3.5. DESCASCARILLADO**

Consiste en retirar la cascarilla que cubre al grano de cacao, es en este proceso en donde se implementará el diseño y construcción de una máquina que permita remover dicha cascarilla. La importancia de este proceso se debe a que de no realizarlo el producto final sale amargo. Al salir del descascarillado, el cacao está listo para ser procesado en la industria chocolatera. En la Figura 1.11 se puede el caco descascarillado y su cáscara.



**Figura 1.11.** Cacao descascarillado.

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

## **1.4. ELABORACIÓN DE CHOCOLATE**

El cacao descascarillado es la materia prima para hacer chocolates. En adelante existen una serie de pasos necesarios para obtener el producto refinado.

### **1.4.1. MOLIDO**

Primeramente los granos deben ser molidos, antiguamente se usaban molinos de piedra pero en la actualidad existen máquinas específicas las cuales aumentan el rendimiento del proceso y mejoran la calidad del producto; debido al calor generado por la fricción se derrite la manteca presente en los granos, de esta manera se obtiene una sustancia líquida llamada pasta de cacao, lo importante es que el resultado sea muy fino.

### **1.4.2. PRENSADO**

La grasa presente en esta pasta posteriormente debe ser separada a fin de controlar adecuadamente las proporciones en la preparación de chocolate. Para lograrlo se

necesita prensar la pasta de cacao, esto además permite que el cacao se mucho más fino y su textura es impalpable.

Este paso se realiza para separar la pasta y la manteca de cacao. En este proceso se eleva la temperatura del cacao hasta aproximadamente 45°C.

#### **1.4.3. ENFRIAMIENTO Y ATEMPERADO**

Es necesario enfriar la mezcla hasta una temperatura de 30°C la cual permite fluir fácilmente la mezcla de chocolate al momento de verter en los moldes.

#### **1.4.4. OBTENCIÓN DEL CHOCOLATE**

La obtención del chocolate se realiza mediante la mezcla de manteca de cacao, polvo o pasta de cacao y azúcar, los cuales son controlados en proporciones exactas por cada fabricante. Algunos suelen adicionar otros ingredientes como leche, vainilla, canela o frutos secos.

## **CAPÍTULO II**

### **2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

Se determina el problema alrededor del cual se enfoca el diseño, se presentan los parámetros funcionales evalúan dos tipos de máquinas, las cuales deben cumplir con los parámetros funcionales y de diseño, y se selecciona la mejor alternativa para el diseño.

#### **2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En el Ecuador los microempresarios dedicados a la producción de chocolate, compran el cacao en grano, es decir seco, posteriormente ellos se encargan de realizar el tostado y el descascarillado comúnmente es manual. Por tal razón con miras a aumentar la productividad de una de estas microempresas se desea implementar una máquina para remover la cascarilla.

El cacao que compran los productores de chocolate es variado y posee distintas características tanto en tamaño como porcentaje de humedad. Esto se debe a que cada productor de cacao seco aplica su propia técnica de secado, por lo que los niveles de humedad del grano son distintos. Además, estos productores a su vez, compran el cacao en distintas fincas, las cuales lo cosechan en diferentes estados de maduración, esto genera una variación en el tamaño de los granos y en la cantidad de agua presente en estos. Lo que hace casi imposible poder establecer una trazabilidad sobre la humedad presente en el grano, factor que resulta muy importante al momento de realizar el descascarillado.

Es por eso que la máquina se debe construir a fin de que separe producto grande (cotiledón entero y cáscara grande) y también producto pequeño (grano y cáscara

pulverizada), esto permite disminuir las pérdidas ya que el precio del cacao es alto y se debe aprovechar todo para la producción de chocolate. Sin embargo, la inversión para construir la máquina no debe ser exagerada, de tal forma que sea de fácil adquisición, además es importante considerar el tamaño, disponibilidad energética y personal necesario para operar la máquina, todo esto se detalla en las páginas siguientes.

## **2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Para la determinación de las especificaciones del presente proyecto se debe tener en cuenta el satisfacer los requerimientos del cliente cuyo objetivo es el descascarillar el cacao tostado para la elaboración del chocolate.

El método con que el cliente cuenta para el descascarillado del cacao tostado es de forma manual lo que genera mucho tiempo este proceso, debido a de que se requiere aumentar la producción se ve en la necesidad de la creación de un equipo con el afán de optimizar el tiempo en esta etapa de la elaboración del chocolate.

### **2.2.1. PARÁMETROS FUNCIONALES**

Los parámetros funcionales poseen una importancia esencial en la función que va a desempeñar el equipo siendo así los parámetros más importantes en el diseño de éste.

#### **2.2.1.1. Tamaño**

A pedido del cliente el equipo debe tener un tamaño adecuado que se encuentra establecido entre un  $1\text{m}^2$  de área por una altura máxima de 2m lo cual facilita el cargamento del cacao tostado a la tolva.

#### **2.2.1.2. Capacidad**

Viéndose en la necesidad de optimizar el tiempo en el proceso de la obtención del chocolate solicita una capacidad de la máquina de 200kg/hora.

### **2.2.1.3. Operación**

Automática, siendo la única operación manual el cargamento del producto en la tolva.

## **2.2.2. PARÁMETRO DE DISEÑO**

### **2.2.2.1. Materiales**

La máquina para remover la cascarilla del cacao tostado al estar en contacto directo con alimentos destinados para el ser humano es importante tener en cuenta los materiales que cumplen con las normas de salubridad establecidas. Por este motivo se han establecido el uso de acero inoxidable y dura aluminio.

## **2.2.3. LIMITACIONES DE DISEÑO**

### **2.2.3.1. Funcionalidad**

La máquina debe garantizar que se descascare el cacao tostado teniendo como resultado el quiebre de la cascara para lograr la separación del cacao.

### **2.2.3.2. Tiempo de procesado**

Es el tiempo que se demorará la máquina en descascarillar el cacao tostado, el cual debe ser tomado en cuenta para el diseño de esta máquina.

### **2.2.3.3. Versatilidad**

Se debe evaluar la versatilidad que la máquina posee ya que está dirigida a empresas de pequeña y mediana producción donde el cacao que utilizan es recolectado de las diferentes zonas cacaoteras del Ecuador.

#### **2.2.3.4. Facilidad de operación**

Es muy importante considerar que la operación de la máquina sea fácil de comprender ya que esta será dirigida por un usuario u operario que no tiene altos conocimientos de sistemas mecánicos.

#### **2.2.3.5. Facilidad de construcción y montaje**

La facilidad de construcción está relacionada con las posibilidades que implica el obtener las partes de la máquina, es decir la disponibilidad de los materiales en el mercado y el tipo de máquinas herramientas para su construcción.

#### **2.2.3.6. Facilidad de mantenimiento**

La máquina deberá permitir realizar el mantenimiento a personal no especializado por lo que este deberá da un rápido y fácil acceso a las piezas para limpiarlas y repararlas.

#### **2.2.3.7. Bajo costo**

Por el motivo que esta máquina es dirigida para la elaboración de chocolate de forma artesanal por pequeñas empresas, debe tener un costo de diseño y construcción que no supere los valores presupuestados como son los costos de mano de obra , materiales, equipos y costos de diseño.

#### **2.2.3.8. Seguridad**

Está relacionado con la seguridad que presenta la máquina para los usuarios, por lo que es importante que esta cuente con seguros de bloqueo y protección fáciles de activar por los operarios para la seguridad de la integridad de estos.

### **2.3. ESTUDIO DE CAMPO**

Se realiza una investigación acerca de las características de los granos de cacao a fin de determinar los factores ponderados que se deban consideran para la selección de alternativas.

En las Figura 2.1, 2.3, 2.4 se puede observar la visita a la Agroexportadora Verdesoto en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.



**Figura 2.1.** Tendales de cacao para su secado.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto.

**Elaboración:** Propia



**Figura 2.2.** Estudio de campo en la Agroexportadora Verdesoto.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto.

**Elaboración:** Propia



**Figura 2.3.** Visita a la plantación de cacao.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto.

**Elaboración:** Propia

Un primer análisis se basa en determinar una media del tamaño más común de los granos de cacao que compran los productores de chocolate, en la Figura 2.4 se muestran los distintos tamaños de granos encontrados en este estudio.



**Figura 2.4.** Tamaños de grano encontrados en el estudio de campo.

**Fuente:** Agroexportadora Verdesoto.

**Elaboración:** Propia

Una muestra al azar señala los distintos tamaños de grano y se determina el promedio de estos valores. En la Tabla 2.1 se muestra los valores tomados de las dimensiones de los granos, los cuales corresponden al diámetro y largo de los mismos.

**Tabla 2.1.** Dimensiones de los granos de cacao.

Muestra	Dimensiones de granos de cacao (mm)	
	Longitud	Diámetro máx.
1	23,5	12
2	24	13,3
3	25	13,6
4	21,5	14
5	25,5	14,9
6	22,1	13
7	23,7	13,5
8	22,7	14
9	25	12,9
10	23	12,6
11	23,6	13
12	21,2	14
13	22,6	11,5
14	24,4	13,3
15	23	12,4
<b>Promedio</b>	23,39	13,2

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Es importante considerar que dependiendo de la humedad resulta diferente el resultado del producto descascarado, ya que si el cacao está muy húmedo tanto la cáscara como el cotiledón se pulveriza, no ocurriendo lo mismo cuando el cacao está seco, en cuyo caso el cotiledón sale entero y la cáscara se parte por la mitad. En la Figura 2.5 se muestra un resultado de descascarar cacao seco y cacao húmedo.

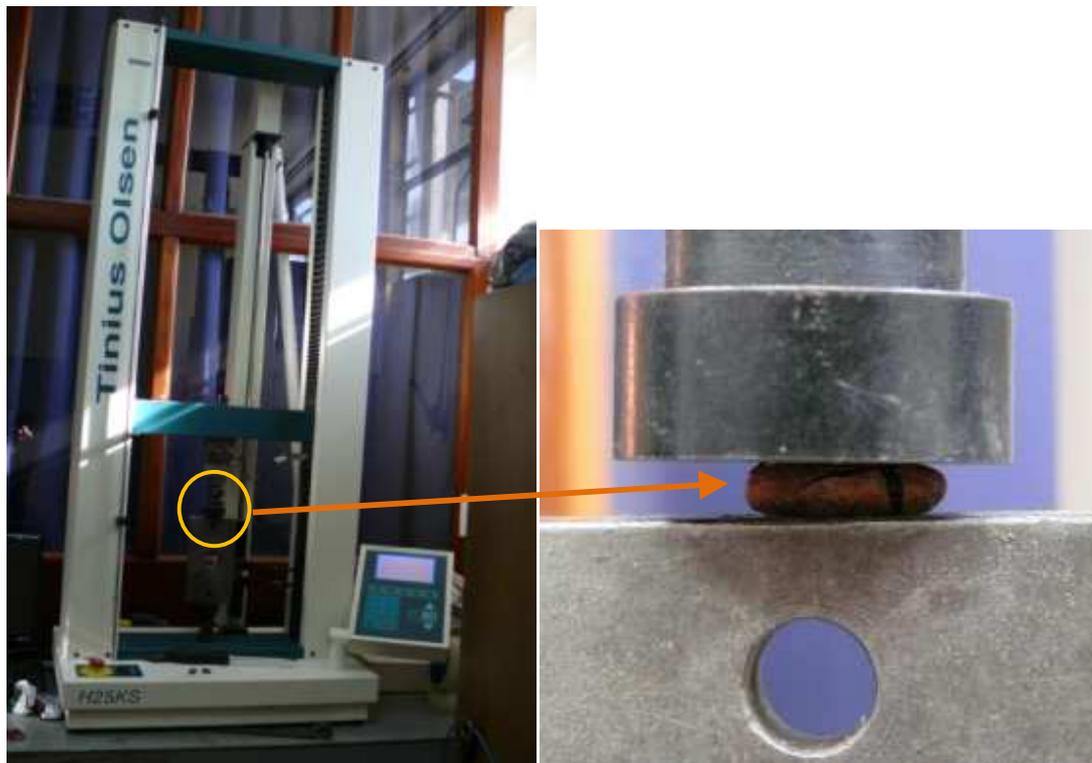


**Figura 2.5.** Cacao seco y cacao húmedo descascarado.

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Finalmente se estudia la fuerza necesaria para romper la cáscara de un grano tostado de cacao, esto se realiza mediante la aplicación de una fuerza en una máquina universal de ensayos hasta conseguir que la cáscara se resquebraje y se desprenda del cotiledón. Para esto se realizan varias pruebas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones, utilizando un equipo de la marca Tinius Olsen serie H25KS. En la Figura 2.6 se muestra el ensayo de compresión en un grano de cacao y en la Tabla 2.2 se indican las fuerzas que se registraron en varios granos ensayados.



**Figura 2.6.**Ensayo de compresión en un grano de cacao tostado.

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

**Tabla 2.2.** Fuerzas obtenidas del ensayo de compresión

Grano	Fuerza aplicada F [N]
1	155
2	282
3	247
4	281
5	392
6	288
7	157
8	296
9	275
10	182
<b>Promedio</b>	<b>255,5</b>

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

A partir del estudio de campo en el cual se realizan ensayos aplicando una fuerza de compresión se establece que la fuerza promedio que se debe aplicar para quebrar el grano y poder retirar la cáscara es de 255,5 [N], sin embargo entre los datos obtenidos se puede observar que algunos granos requirieron apenas 155 [N] y otros 392[N] para quebrarse y retirar su cáscara, es por esto que para tener la certeza de que cualquier grano que pase por los rodillos se quebrará se establece que la fuerza que deben ejercer los rodillos sea de 500 [N]. De esta manera se determina la fuerza necesaria para romper la cáscara del cacao tostado y con ello desarrollar el diseño.

## **2.4. PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS**

En base a los parámetros de diseño y la funcionalidad de la máquina requerida se establecen dos alternativas para realizar el estudio de estas mediante la evaluación de cada uno de sus factores principales para posteriormente realizar la selección de la alternativa a diseñar y construir. Para este estudio se presentan las alternativas siguientes.

- 1) Descascarilladora de rodillo.
- 2) Descascarilladora centrífuga.

### **2.4.1. ALTERNATIVA 1: DESCASCARILLADORA DE RODILLOS**

#### **2.4.1.1. Descripción**

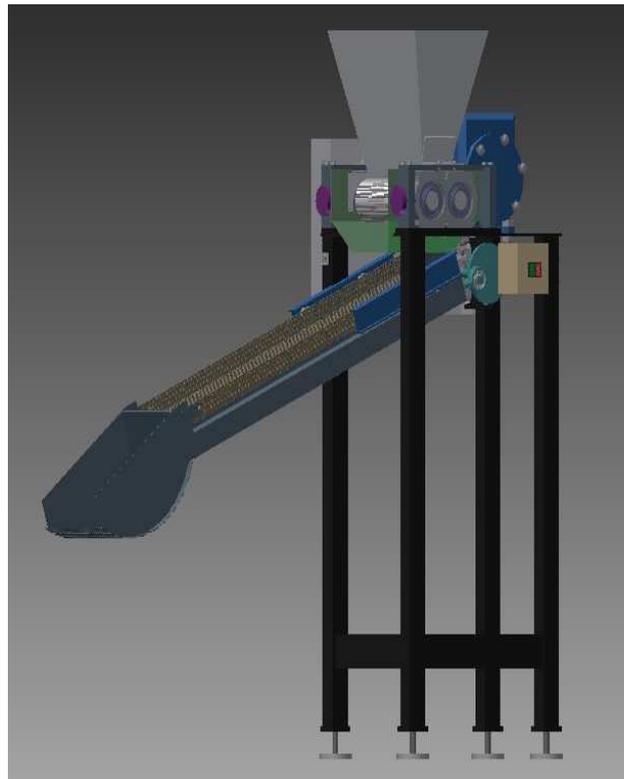
Esta alternativa comprende de un motorreductor eléctrico que proporciona dos movimientos principales de la máquina mediante la conexión de engranes, catarinas y cadenas.

El primer movimiento principal es para el sistema de descascarillado que está conformado por dos ejes-rodillos que permiten que el cacao se desplace entre estos teniendo como resultado el quiebre de la cascarilla de cacao y el desprendimiento de este gracias a una fuerza transmitida por el motorreductor a estos, existe dos reguladores de separación de los ejes-rodillos, dicha distancia varía dependiendo del tamaño del cacao ya que este no cuenta con dimensiones establecidas.

El sistema de los ejes-rodillos se encuentra apoyado en chumaceras, en un extremo cuenta de un juego de engranes que hacen que giren uno hacia el otro, dichos engranajes giran mediante una transmisión de movimiento del motorreductor que se da por medio de catarinas y cadenas.

El segundo movimiento que proporciona el motorreductor es a un juego biela-manivela el cual está conectado a un sistema tamizador que permite la separación según el tamaño del cacao que se encuentra sin la cascarilla, además este sistema permite la recolección del cacao descascarillado en costales.

El sistema de alimentación del cacao está compuesto por una tolva que se encuentra fija mediante pernos al sistema de descascarillado. En la Figura 2.7 se muestra el esquema de la descascarilladora de rodillos.



**Figura 2.7.** Descascarilladora de rodillos.

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia (Autodesk Inventor)

Partes principales:

1. Tolva.
2. Motorreductor.
3. Sistema de transmisión de movimiento de los ejes-rodillos.
4. Sistema de transmisión de movimiento para el juego biela-manivela.
5. Ejes-rodillos.
6. Estructura de soporte.
7. Reguladores de distancia entre los ejes-rodillos.
8. Tamizador.

#### **2.4.1.2. Ventajas**

- La tolva posee gran capacidad, proporcionando una alimentación continua.
- Capacidad de producción mayor, en menor tiempo.
- Al tener un sistema de regulación de la separación entre los ejes-rodillos permite mayor eficacia de descascarillado siendo este el objetivo principal del equipo.
- Fácil operación.
- Fácil mantenimiento.
- Costo

#### **2.4.1.3. Desventajas**

- Los granos de cacao se parten o quiebran en varias partes, proporcionando una variedad de tamaños del cacao descascarillado.
- Existe desperdicio del producto.
- Máquina ruidosa debido al uso del motorreductor.
- Se requiere un cacao fino de exportación que sea de una cosecha determinada el cual va a tener un tamaño similar del cacao.

## **2.4.2. ALTERNATIVA 2: DESCASCARILLADORA DE DISCOS**

### **2.4.2.1. Descripción**

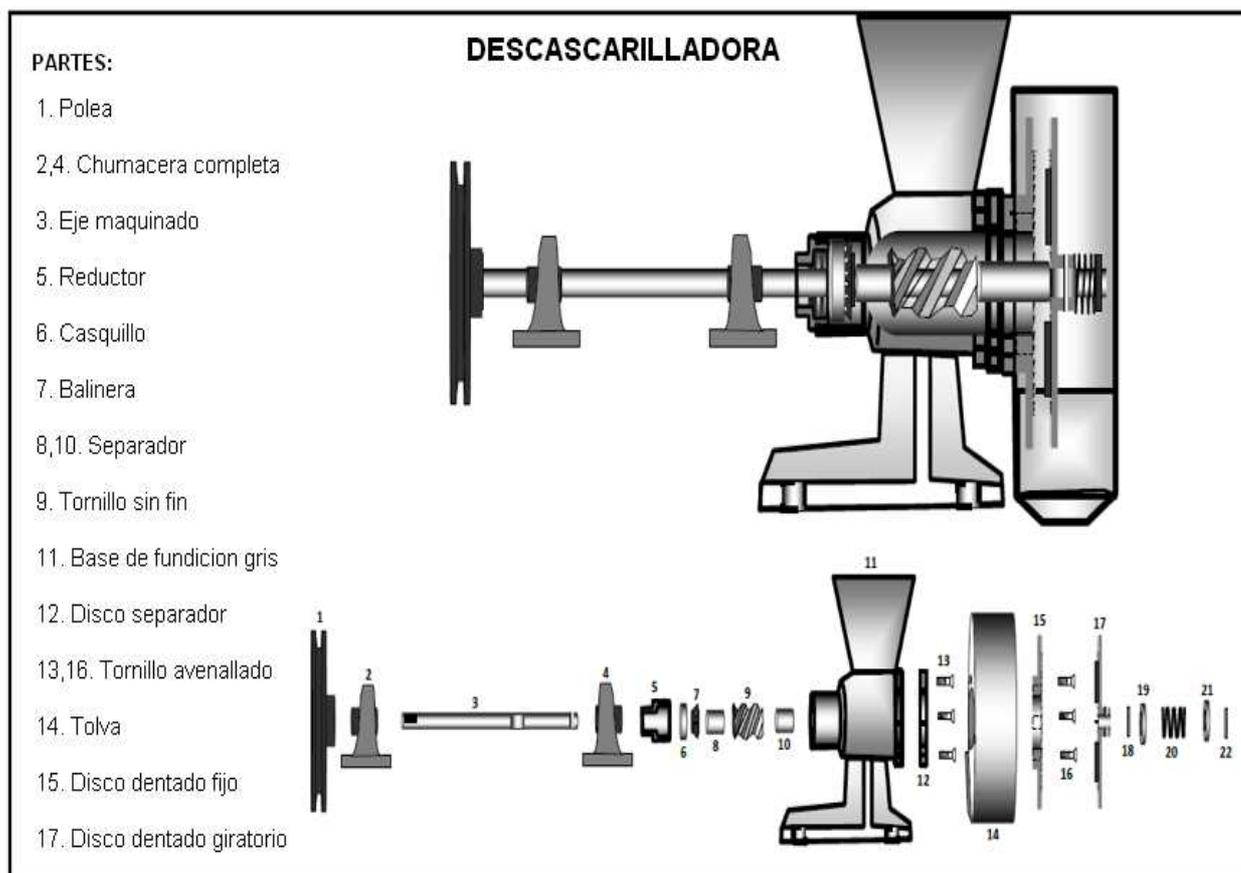
Esta máquina realiza el descascarillado por medio de discos estriados, uno fijo y otro móvil, entre ellos se ubican los granos de cacao, de los cuales se desprenden las cascarillas mediante la fricción entre ellos y gracias a la acción de cuña que ejercen las estrías. En esta máquina un alto porcentaje de los granos se quiebran en partículas pequeñas, y esto por una razón principal, los discos de la máquina giran a una velocidad de 500 rpm y la alta velocidad genera que una mayor energía al momento del impacto prácticamente pulverice al grano, esto aumenta el porcentaje de pérdidas ya que es mayor la cantidad de polvo de cacao producido el cual fácilmente se pierde en el proceso de elaboración de semielaborados.

Para impulsar los granos hacia los discos se requiere un tornillo sinfín, esta es otra pieza muy importante de la máquina ya que se ubica justo por debajo de la tolva de alimentación y tiene la función de presionar los granos contra el disco estriado móvil.

La máquina consta de un sistema de transmisión por bandas y poleas, desde el eje del motor que es uno de combustión interna, hasta el eje que transmite el movimiento al tornillo sin-fin y a los discos, este eje se apoya sobre dos chumaceras.

El sistema de alimentación consta de una tolva y en la ubicación de los discos existe una carcasa que protege la contaminación del cacao por agentes externos y a la salida existe una tolva para facilitar la recolección del producto procesado.

El producto procesado cáscara y cotiledón sale de la máquina y cae por gravedad para ser apilado. En la Figura 2.8 se detalla cada una de las partes involucradas en la máquina.



**Figura 2.8.** Descascarilladora de discos.

**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Ganadería; Guía Técnica Descascarilladora de cacao.

**Elaboración:** Ministerio de Agricultura y Ganadería; Guía Técnica Descascarilladora de cacao.

#### 2.4.2.2. Ventajas

- La distancia de separación entre los discos estriados es variable, lo que permite descascarar granos de distinto tamaño, obteniendo así mejores resultados en el producto final.
- Gracias a la alimentación continua de los granos a través del tornillo sin-fin, nunca existe un atascamiento de la materia prima a la entrada y la producción tiene una tasa estable y continua.

- El mantenimiento de esta máquina es muy esporádico y realizarlo no representa ningún problema, únicamente se debe aplicar la cantidad recomendada de lubricante en los piñones del reductor.
- La base o estructura principal de la máquina es maciza y estable, lo que asegura que la máquina no tenga vibraciones.
- La operación no requiere más de una persona, es decir la máquina es un equipo semiautomático.

#### **2.4.2.3. Desventajas**

- La fabricación de la hélice requiere un proceso de manufactura muy complejo y por ende su valor es muy alto, la misma característica afecta también la construcción del tornillo sin-fin.
- La velocidad angular requerida por la máquina es elevada, sobre las 500 rpm, esto es necesario para producir las fuerzas necesarias para el quiebre de los granos, sin embargo la alta energía de impacto ocasiona prácticamente la pulverización de los granos.
- La transmisión de movimiento por bandas y poleas, produce una pérdida de potencia del motor lo que resta eficiencia a la máquina.
- El costo de fabricar esta máquina sería de difícil acceso para los medianos productores de cacao en el Ecuador.
- El desgaste propio de las bandas obliga a que se realice un cambio cada cuatro meses de las mismas, siempre y cuando la máquina trabaje doce horas diarias.

### **2.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Una vez expuestas cada alternativa, corresponde hacer una evaluación de las mismas que sirva de base para la posterior toma de una decisión.

Para la evaluación de alternativas se realiza por medio del método de criterios ponderados ya que este nos permite decidir entre diversas soluciones a través de la

evaluación los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permitiendo obtener resultados globales suficientes significativos.<sup>4</sup>

Este método se basa en realizar tablas con criterios respecto a las alternativas donde se asigna valores a cada criterio como se muestra en la Tabla 2.3 los cuales son utilizados para la evaluación de estos y selección de la mejor alternativa.

**Tabla 2.3** Valores utilizados en el método de criterio ponderados.

VALOR	CRITERIO
1	Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o menor) que al de las columnas.
0,5	Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (igual) al de las columnas.
0	Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor) que el de las columnas.

**Fuente:** Diseño Concurrente; Carlos Riva; Pág.60

**Elaboración:** Propia

Una vez asignados los valores de cada criterio se suman los valores asignados en la relación a los restantes criterios al que se añade una unidad (para evitar que el criterio 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 de cada criterio.

Las alternativas a evaluarse para el diseño y construcción de la máquina descascarilladora de cacao son las siguientes soluciones presentadas en la Tabla 2.4 donde se codifican para realizar el estudio de estas.

---

<sup>4</sup> Diseño Concurrente; Carlos Riva; Pág.59

**Tabla 2.4** Codificación de alternativas

<b>Código</b>	<b>Solución</b>
A	Descascarilladora de rodillos
B	Descascarilladora centrífuga

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

## 2.6. FACTORES CONSIDERADOS

Para realizar la evaluación de la mejor alternativa se consideran varios criterios que son importantes para la llegar al objetivo planteado.

Estos criterios se encuentran establecidos en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Criterios a evaluar

	<b>Criterio</b>
<b>1</b>	Funcionalidad
<b>2</b>	Tiempo de procesado
<b>3</b>	Versatilidad
<b>4</b>	Facilidad de operación
<b>5</b>	Facilidad de construcción y montaje
<b>6</b>	Facilidad de mantenimiento
<b>7</b>	Bajo costo
<b>8</b>	Seguridad

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

## 2.7. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Se realiza la selección de la alternativa por medio del método de criterios ponderados, este método realiza la evaluación del peso específico de cada criterio como se muestra en la Tabla 2.6.

Funcionalidad > Tiempo de proceso > Versatilidad > Seguridad > Facilidad de Mantenimiento > Facilidad de operación = Facilidad de construcción y montaje > Bajo costo.

**Tabla 2.6** Evaluación del peso específico de cada criterio.

<b>Criterio</b>	<b>Funcionalidad</b>	<b>Tiempo de proceso</b>	<b>Versatilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Facilidad de mantenimiento</b>	<b>Facilidad de operación</b>	<b>Facilidad de construcción y montaje</b>	<b>Bajo costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Funcionalidad</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0,22
<b>Tiempo de proceso</b>	0	1	1	1	1	1	1	1	7	0,19
<b>Versatilidad</b>	0	0	1	1	1	1	1	1	6	0,17
<b>Seguridad</b>	0	0	0	1	1	1	1	1	5	0,14
<b>Facilidad de mantenimiento</b>	0	0	0	0	1	1	1	1	4	0,11
<b>Facilidad de operación</b>	0	0	0	0	0	0,5	1	1	2,5	0,07
<b>Facilidad de construcción y montaje</b>	0	0	0	0	0	0,5	1	1	2,5	0,07
<b>Bajo costo</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,03
									<b>36</b>	<b>1</b>

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Se procede a realizar la evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio como se presentan en las Tabla 2.7, Tabla 2.8, Tabla 2.9, Tabla 2.10, Tabla 2.11, Tabla 2.12, Tabla 2.13, Tabla 2.14.

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

**Tabla 2.7** Peso específico evaluado con Funcionalidad.

Solución A = Solución B

Funcionalidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0,5	1,5	0,50
Solución B	0,5		1,5	0,50
		<b>Suma</b>	3	1

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Tiempo de proceso**.

**Tabla 2.8** Peso específico evaluado con Tiempo de procesado.

Solución A > Solución B

Tiempo de proceso	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	3	1

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Versatilidad**.

**Tabla 2.9** Peso específico evaluado con Versatilidad.

Solución A > Solución B

Versatilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,5
Solución B	0		1	0,5
		<b>Suma</b>	3	1

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Seguridad**.

**Tabla 2.10** Peso específico evaluado con Seguridad.

Solución A = Solución B

Seguridad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0,5	1,5	0,50
Solución B	0,5		1,5	0,50
		<b>Suma</b>	3	1

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Facilidad de mantenimiento**.

**Tabla 2.11** Peso específico evaluado con Facilidad de mantenimiento.

Solución A > Solución B

Facilidad de mantenimiento	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	3	1

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Facilidad de operación**.

**Tabla 2.12** Peso específico evaluado con Facilidad de operación.

Solución A > Solución B

Facilidad de operación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	3	1

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Facilidad de construcción y montaje**.

**Tabla 2.13** Peso específico evaluado con Facilidad de construcción y montaje.

Solución A > Solución B				
Facilidad de construcción y montaje	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	3	1

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Evaluación del peso específico del criterio **Bajo Costo**.

**Tabla 2.14** Peso específico evaluado con Bajo costo.

Solución A > Solución B				
Bajo costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	3	1

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

El cálculo de la tabla de conclusiones se presenta en la **Tabla 2.15**

**Tabla 2.15** Conclusiones para la selección de la alternativa.

Conclusión	Funcionalidad	Tiempo de proceso	Versatilidad	Seguridad	Facilidad de mantenimiento	Facilidad de operación	Facilidad de construcción y montaje	Bajo costo	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,1	0,13	0,1	0,07	0,1	0,05	0,0469	0	0,609	1
Solución B	0,1	0,06	0,1	0,07	0	0,02	0,0231	0	0,391	2

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

## **2.8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

En Tabla 2.15 se puede observar que después del análisis realizado por medio del método de criterios ponderados, la solución A es la que mejor se ajusta a los criterios de selección por lo que la máquina a diseñarse es la descascarilladora de rodillos ya que cumple con los objetivos de este proyecto.

## **2.9. PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Se detalla una serie de pasos importantes que se deben cumplir antes de dar por terminada la fabricación de la máquina, ya que todas las pruebas deben ser satisfactorias, de lo contrario es necesario rectificar las piezas o elementos que impidan lograr los objetivos planteados mediante los parámetros de diseño y funcionales hasta que la máquina pase la prueba.

### **2.9.1. VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES**

Existen algunos controles que se deben realizar previo a la puesta en marcha de la máquina, siendo lo más importante verificar que las dimensiones de la máquina satisfagan los requerimientos del cliente, por eso se debe asegurar que tanto el área que ocupa la máquina como su altura no sobrepasen los límites máximos preestablecidos. Además se pueden revisar otros factores los cuales determinarán el tiempo de vida útil de la máquina por ejemplo pintura, limpieza y lubricación.

### **2.9.2. FUNCIONAMIENTO EN VACÍO**

Una vez que se ha superado el primer paso satisfactoriamente, se procede a hacer las pruebas en vacío, es decir puesta en marcha de la máquina pero sin carga, esto

es muy importante para verificar: el correcto funcionamiento del sistema de transmisión, la velocidad angular, trabajo normal de cada parte y que exista el adecuado ajuste de pernos para que no haya ruidos extraños, verificación de que no haya fallas de ensamble.

### **2.9.3. FUNCIONAMIENTO CON CARGA**

Posteriormente se debe realizar las pruebas con carga para ello se utiliza una determinada cantidad de cacao tostado, similar al que posteriormente será procesado en la microempresa y mediante un cronómetro se debe determinar el tiempo necesario para descascarar esa cantidad, con esto se puede: determinar si la capacidad es la correcta, evaluar las características del producto obtenido las cuales deben satisfacer los deseos del microempresario. Es importante percatarse si las vibraciones pueden afectar el funcionamiento normal del equipo o si esto es despreciable.

El formato para el protocolo de pruebas debe poseer un membrete en el cual se señale toda la información necesaria para identificar la prueba de campo realizada y además se deben registrar firmas de responsabilidad.

En la Tabla 2.16 se muestra el formato que se utilizará para realizar las pruebas de campo:

**Tabla 2.16.** Formato del Protocolo de Pruebas del Prototipo.

<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL            FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA            PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO</b>			
<b>1.- DATOS GENERALES</b>			
<b>EQUIPO:</b>	Máquina para remover cascarilla de cacao		
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:</b>	Nancy Imbaquingo Santiago Ortiz		
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Jaime Vargas		
<b>COLABORADORES:</b>	Dr. Víctor Cárdenas Ing. Jorge Escobar		
<b>LUGAR DE LA PRUEBA:</b>			
<b>FECHA DE LA PRUEBA:</b>			
<b>2.- VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES GENERALES Y PESO</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Alto			
Largo			
Ancho			
Peso			
<b>3.- VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD Y MONTAJE DE LAS PIEZAS</b>			
<b>PIEZA O ELEMENTO</b>	<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>	
Rodillos			
Engranes			
Cadenas			
Catarinas			
Eje biela-manivela			
Tamiz			
Estructura			
Tolva			
Pintura			
Lubricación			
Ajuste de pernos			

<b>4.- FUNCIONAMIENTO EN VACÍO</b>			
<b>SISTEMA O CRITERIO EVALUADO</b>		<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Transmisión			
Descascarador			
Tamizador			
Estructural			
Alimentación			
Eléctrico			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Velocidad angular			
<b>5.- FUNCIONAMIENTO CON CARGA</b>			
<b>SISTEMA O CRITERIO EVALUADO</b>		<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Transmisión			
Descascarador			
Tamizador			
Estructural			
Alimentación			
Calidad del producto obtenido			
Nivel de vibraciones			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Tamaño producto obtenido			
Capacidad			
<b>6.- CONCLUSIÓN</b>			
<b>PROTOTIPO</b>		<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
<b>7.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD</b>			
<b>CARGO</b>	<b>OPERADOR</b>	<b>OPERADORA</b>	<b>DIRECTOR PROYECTO</b>
<b>NOMBRE</b>	Santiago Ortiz	Nancy Imbaquingo	Ing. Jaime Vargas
<b>FIRMA</b>			
<b>FECHA</b>			

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

## **CAPÍTULO III**

### **3. DISEÑO DE LA DESCASCARILLADORA DE RODILLOS**

Para diseñar esta máquina se determinan primero las piezas a construirse y los elementos a seleccionarse, para ello se deben realizar una serie de iteraciones que involucran optimización de materiales, costos, fabricación, disponibilidad en el mercado, etc. De acuerdo a este principio se obtiene la mejor solución tomando en cuenta que lo más importante es que se cumpla satisfactoriamente con la funcionalidad del equipo y a continuación se presentan dichos resultados.

Es importante identificar que sistemas están involucrados en la máquina, ya que de esto depende el enfoque que tenga el diseño, de esta manera se han determinado los siguientes sistemas:

#### **3.1. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO**

##### **3.1.1. SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR**

El primer análisis se basa en la disponibilidad energética. El motorreductor seleccionado necesita corriente eléctrica trifásica de 220 [V], entonces mediante la visita a la empresa (trabajo de campo) se constata que existe toma corrientes de este tipo, ya que en el lugar se utilizan otras máquinas utilizadas para procesar el cacao y utilizan motores del mismo tipo.

Para obtener la velocidad de salida deseada se tiene dos opciones: construir una caja reductora o adquirir un motorreductor, en base a una comparación entre estos se determina que es más efectivo comprar un motorreductor ya que es más barato y no requiere tiempo ni esfuerzo adicional para realizar su diseño.

Entonces se plantea la utilización de un motorreductor, en donde el motor tiene una potencia de 1 [HP] con velocidad nominal de 1660 [rpm] y el motorreductor una relación de transmisión de 27,43:1, por ende el motorreductor entrega 51 [rpm]. Todos los cálculos siguientes se centran en la demostración de que este motorreductor satisface los requerimientos de la máquina; debido a que el diseño involucra una serie de iteraciones modificando cada una de las variables de las piezas, únicamente se presenta la solución encontrada, es decir las dimensiones definitivas para construir.

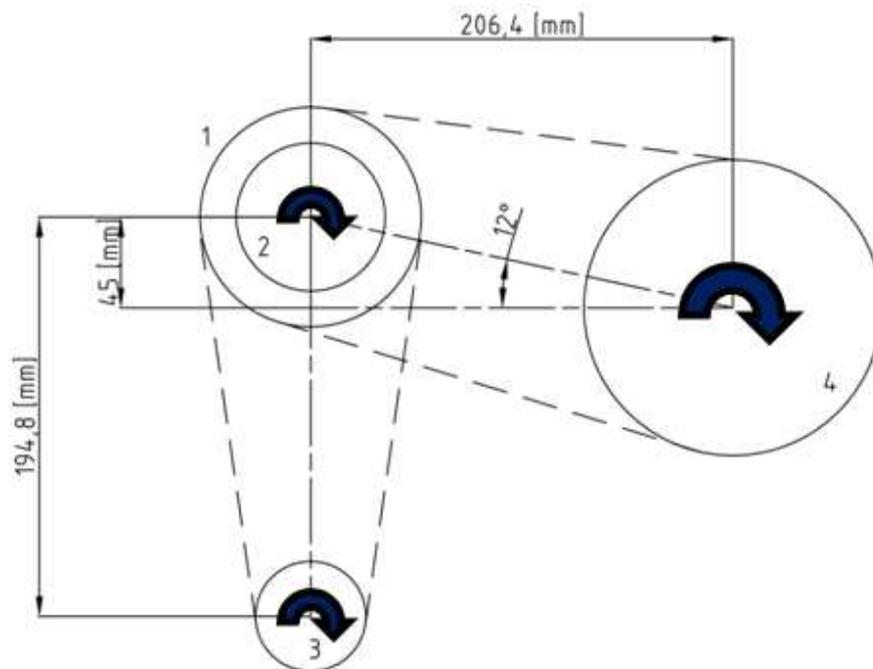
Las especificaciones del motorreductor seleccionado se muestran en los anexos A y B. En la Figura 3.1 se indica una fotografía del motorreductor con el cual se construye la máquina.



**Figura 3.1.** Motorreductor empleado para construir la máquina.

### **3.1.2. SELECCIÓN DE LAS CATARINAS**

En el eje de los rodillos se requiere una velocidad angular de 30 [rpm] y se establece que una velocidad adecuada para el eje que transmite el movimiento al dispositivo biela-manivela debe ser de 120 [rpm] con lo cual se consigue un eficaz movimiento de vaivén en el tamiz. En la Figura 3. 2 se muestra una figura de la disposición de las catarinas que transmitirán el movimiento en la máquina.



**Figura 3. 2.** Disposición de las catarinas y cadenas

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Se sabe que la velocidad que entrega el eje del motor es 1660 [rpm], esto al dividir para la relación de transmisión de la caja reductora que es  $RATIO= 27,43$  se obtiene la velocidad angular a la salida del reductor:

$$n = \frac{Velocidad_{motor}}{m_{reductor}} \quad (Ec. 3.1)$$

$$n = \frac{1660 [rpm]}{27,43} = 60,5 [rpm]$$

Estas corresponden a las velocidades angulares de las catarinas ubicadas en el eje del motorreductor:

$$n_1 = 60,5 [rpm]$$

$$n_2 = 60,5 [rpm]$$

Entonces se debe seleccionar las catarinas con un número de dientes adecuado, teniendo en cuenta la limitación de espacio para su montaje, la disponibilidad en el mercado y también su precio. Por lo tanto los números de dientes de las catarinas seleccionadas son:

$$Z_1 = 28$$

$$Z_2 = 12$$

$$Z_3 = 14$$

$$Z_4 = 24$$

A continuación se determina las velocidades angulares de las ruedas 3 y 4:

$$\frac{n_1}{n_3} = \frac{Z_3}{Z_1} \quad (\text{Ec. 3.2})^5$$

$$n_3 = 121 \text{ [rpm]}$$

$$\frac{n_2}{n_4} = \frac{Z_4}{Z_2} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$n_4 = 30,3 \text{ [rpm]}$$

La velocidad angular en la rueda 3 es 121 [rpm] y en la rueda 4 es de 30,3 [rpm], lo cual es aproximado a las velocidades requeridas. Por lo tanto los códigos de las catarinas seleccionadas son:

Catarina 1: 40 Z – 28

$$D_1 = 4,4 \text{ [pulg]} = 112 \text{ [mm]}$$

Catarina 2: 60 Z – 12

$$D_2 = 2,9 \text{ [pulg]} = 74 \text{ [mm]}$$

Catarina 3: 40 Z – 14

$$D_3 = 2,2 \text{ [pulg]} = 56 \text{ [mm]}$$

Catarina 4: 60 Z – 24

$$D_4 = 5,8 \text{ [pulg]} = 148 \text{ [mm]}$$

---

<sup>5</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

Los catálogos en donde se especifican las medidas de estas catarinas están en el anexo C.

### 3.1.3. LONGITUDES DE LAS CADENAS

Se conoce de antemano las distancias entre centro de las catarinas y también sus diámetros y números de dientes, por lo tanto para iniciar al cálculo de la longitud de las cadenas se debe definir el factor de servicio, tomando en cuenta el tipo de operación de la máquina, estos valores se pueden identificar en el anexo D, y se obtiene que para máquinas con choque moderado:

$$K_s = 1,3$$

Se ha podido determinar en que fracción actúa la potencia del motor sobre cada uno de los sistemas, descascarado y tamizado, pudiendo identificar la potencia que actúa en cada uno de ellos:

$$P_1 = 0,4 [hp] = \text{Potencia transmitida al tamizador}$$

$$P_2 = 0,6 [hp] = \text{Potencia transmitida al descascarador}$$

#### 3.1.3.1. Cadena que transmite movimiento de catarina 1 a 3

Potencia de diseño:

$$P = K_s \times P_1 \tag{Ec. 3.4}^6$$

$$P = 1,3(0,4 hp)$$

$$P = 0,52 [hp]$$

Potencia corregida:

$$P'r = K_1 \times K_2 \times P_r \tag{Ec. 3.5}^7$$

---

<sup>6</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>7</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

Donde:

$$K_1 = \text{Factor de corrección para los dientes (Anexo D)} = 1,71$$

$$K_2 = \text{Factor para cadenas de cordones múltiples (Anexo D)} = 1$$

$$P_r = \text{Potencia nominal (Anexo D)} = 0,44$$

$$P_r = 1,71 \times 1 \times 0,44 [\text{hp}]$$

$$P_r = 0,75 [\text{hp}]$$

Lo cual es satisfactorio ya que si funciona para la potencia de diseño calculada. Ahora se puede determinar la longitud requerida de esta cadena, la cual expresada en pasos es:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4 \times \pi^2 \times (C/p)} \quad (\text{Ec. 3.6})^8$$

Donde:

$L$  = longitud de la cadena

$p$  = paso de la cadena = 12,7 [mm]

$C$  = distancia entre centros = 200 [mm]

$N_1$  = número de dientes de la rueda menor = 14

$N_2$  = número de dientes de la rueda mayor = 28

$$\frac{L}{p} = \frac{2 \times 200}{12,7} + \frac{14 + 28}{2} + \frac{(28 - 14)^2}{4 \times \pi^2 \times (200/12,7)} = 52,81 [\text{pasos}]$$

Sin embargo es deseable tener un número par de pasos en la cadena, por ello el par más cercano es 52 pasos. Recalculando la longitud de la cadena  $L$  y despejando la distancia entre centros  $C$ :

$$L = 52 \times 12,7 [\text{mm}]$$

$$L = 660,4 [\text{mm}]$$

$$C = 194,8 [\text{mm}]$$

---

<sup>8</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

Esta distancia de centros es requerida corregir a fin a obtener una cadena con un número par de pasos.

### 3.1.3.2. Cadena que transmite movimiento de catarina 2 a 4

Potencia de diseño:

$$\mathbb{P} = K_s \times \mathbb{P}_2$$

$$\mathbb{P} = 1,3(0,6 \text{ hp})$$

$$\mathbb{P} = 0,78[\text{hp}]$$

Potencia corregida:

$$\mathbb{P}'r = K_1 \times K_2 \times \mathbb{P}r$$

$$\mathbb{P}r = 0,69 \times 1 \times 1,46[\text{hp}]$$

$$\mathbb{P}r = 1,007 [\text{hp}]$$

Lo cual es satisfactorio ya que si funciona para la potencia de diseño calculada. Ahora se puede determinar la longitud requerida de esta cadena, la cual expresada en pasos es:

$$\frac{L}{p} = \frac{2 \times 210}{19,05} + \frac{12 + 24}{2} + \frac{(24 - 12)^2}{4 \times \pi^2 \times (210/19,05)}$$

$$\frac{L}{p} = 40,38 [\text{pasos}]$$

Sin embargo es deseable tener un número par de pasos en la cadena, por ello el par más cercano es 40 pasos. Recalculando la longitud de la cadena L y despejando la distancia entre centros C:

$$L = 40 \times 19,05 [\text{mm}]$$

$$L = 762 [\text{mm}]$$

$$C = 206,4 [\text{mm}]$$

Esta distancia de centros es requerida corregir a fin a obtener una cadena con un número par de pasos.

### 3.1.4. CÁLCULO DE ENGRANES

#### 3.1.4.1. Diseño Estático

Se deben diseñar dos engranes, ambos tienen las mismas dimensiones ya que estos deberán transmitir el movimiento hacia los rodillos descascarilladores los cuales giran a la misma velocidad. Se debe realizar el diseño estático ya que de este cálculo se desprende el valor del ancho de cara y el diseño dinámico a fin de determinar el diámetro de las ruedas y el material requerido en base al esfuerzo producido.

El ángulo de presión más común para engranes de dientes rectos es:

$$\phi = 20^\circ$$

En base a un proceso iterativo se van seleccionando algunos valores importantes a continuación se indica los valores seleccionados.

Paso diametral:

$$P = 6 \left[ \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}} \right]$$

Número de dientes de los engranes:

$$Z_1 = 24 \text{ [dientes]}$$

$$Z_2 = 24 \text{ [dientes]}$$

Como tienen las mismas dimensiones, en adelante se realizan los cálculos únicamente para uno de ellos. El diámetro de las ruedas se obtiene con la siguiente fórmula:

$$d_2 = \frac{Z}{P} \tag{Ec. 3.7}^9$$

---

<sup>9</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$d_2 = \frac{24}{6} = 4 \text{ [pulg]}$$

$$d_2 = 102 \text{ [mm]}$$

Velocidad tangencial:

$$V = \frac{\pi \times d_2 \times n_4}{12} \quad (\text{Ec. 3.8})^{10}$$

$$V = \frac{\pi \times 4 \times 30,3}{12}$$

$$V = 31,678 \text{ [pies/min]}$$

La fuerza tangencial y radial en los engranes es:

$$W_t = \frac{33000 \times \mathbb{P}_2}{V} \quad (\text{Ec. 3.9})^{11}$$

$$W_t = \frac{33000 \times 0,6}{31,678}$$

$$W_t = 625,045 \text{ [lb]}$$

$$W_r$$

$$= W_t \times \tan (\phi) \quad (\text{Ec. 3.10})^{12}$$

$$W_r = 625,045 \times \tan (20^\circ)$$

$$W_r = 227,498 \text{ [lb]}$$

El factor por efectos dinámicos para el caso de dientes cortados o fresados es:

$$K_V = \frac{1200}{1200 + V} \quad (\text{Ec. 3.11})^{13}$$

$$K_V = \frac{1200}{1200 + 32,463}$$

<sup>10</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>11</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>12</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>13</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$K_V = 0,974z$$

Por lo tanto el ancho de cara es:

$$F = \frac{n \times W_t \times P}{S_y \times K_V \times Y} \quad (\text{Ec. 3.12})^{14}$$

Donde:

$$n = \text{Factor de seguridad de diseño estático} = 4$$

$$S_y = \text{Límite de fluencia del material} = 45515 \text{ [psi]} \text{ (Anexo E)}$$

$$Y = \text{Factor de forma de Lewis (Anexo F)}$$

$$a = 0,8$$

$$b = 1$$

$$\emptyset = 20^\circ$$

$$Z_2 = 24$$

$$Y = 0,42806$$

Se utiliza un factor de seguridad relativamente alto, con el fin de eliminar una posible falla durante un largo período de vida, ya que esta máquina al ser un prototipo único, se debe evitar una parada de la producción. Como material para los engranes se selecciona acero 1045, el cual se recomienda para la fabricación de piezas de maquinaria, en las cuales la seguridad y la resistencia a la fatiga son importantes. Especial para la fabricación de piñones donde se requiere una superficie dura y un núcleo tenaz.

$$F = \frac{4 \times 625,045 \times 6}{45515 \times 0,974 \times 0,42806}$$

$$F = 0,288 \text{ [pulg]}$$

Sin embargo este ancho de cara es muy pequeño, por tal razón se escoge el ancho de cara mínimo recomendado:

---

<sup>14</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$F_{\min} = 3p = 3 \left( \frac{\pi}{P} \right) \quad (\text{Ec. 3.13})^{15}$$

$$F_{\min} = 3 \left( \frac{\pi}{6} \right) = 1,57 \text{ [pulg]}$$

$$F_{\max} = 5p = 5 \left( \frac{\pi}{P} \right) \quad (\text{Ec. 3.14})^{16}$$

$$F_{\max} = 5 \left( \frac{\pi}{6} \right) = 2,62 \text{ [pulg]}$$

$$F_{\min} \leq F \leq F_{\max}$$

$$1,57 \leq 1,575 \leq 2,62$$

El ancho de cara calculado cumple con los límites establecidos en la bibliografía por lo tanto se escoge dicho valor, sin embargo para poder fabricar con las herramientas existentes se debe transformar ese valor a 40 [mm].

### 3.1.4.2. Diseño dinámico: Fatiga a flexión

La fórmula utilizada para determinar el esfuerzo producido en los dientes de los engranes es la siguiente:

$$\sigma = \frac{W_t \times P}{K_V \times F \times J} \quad (\text{Ec. 3.15})^{17}$$

Donde:

$W_t$  = fuerza tangencial

$P$  = paso diametral

$K_V$  = factor por efectos dinámicos

$F$  = ancho de cara

$J$  = factor geométrico de concentración de esfuerzos (Anexo F)

<sup>15</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>16</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>17</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$a = 0,8$$

$$b = 1$$

$$Z_2 = 24$$

$$Z_3 = 24$$

$$J = 0,37584$$

Reemplazando:

$$\sigma = \frac{625,045 \times 6}{0,974 \times 1,575 \times 0,37584}$$

$$\sigma = 6503,528 \text{ [psi]}$$

Resistencia última a la tracción (Anexo E):

$$S_{ut} = 92,452 \text{ [kpsi]}$$

Límite de resistencia a fatiga de la probeta:

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} \tag{Ec. 3.16}^{18}$$

$$S'_e = 46,23 \text{ [kpsi]}$$

Factor de acabado superficial:

$$k_a = 2,67 \times S_{ut}^{(-0,265)} \tag{Ec. 3.17}^{19}$$

$$k_a = 0,805$$

Factor de tamaño: En base a una tabla se obtiene el factor de tamaño dependiendo del paso diametral (Anexo F).

$$k_b = 0,925$$

Factor de confiabilidad: Para una confiabilidad del 90%, lo cual se justifica para este tipo de máquina se obtiene un factor de confiabilidad de (Anexo F):

---

<sup>18</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>19</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$k_c = 0,897$$

Factor por efectos diversos:

$$k_f = 1,33$$

Límite de resistencia a fatiga del elemento:

$$S_e = S'_e \times k_a \times k_b \times k_c \times k_f \quad (\text{Ec. 3.18})^{20}$$

$$S_e = 46 \times 0,805 \times 0,925 \times 0,897 \times 1,33$$

$$S_e = 41,041 \text{ [kpsi]}$$

Factor de diseño por fatiga a flexión:

$$\eta_G = \frac{S_e}{\sigma} \quad (\text{Ec. 3.19})^{21}$$

$$\eta_G = \frac{41,04}{6,50}$$

$$\eta_G = 6,31$$

El factor de sobrecarga y el factor de distribución de la carga se encuentran en el Anexo F:

$$K_o = 1,25$$

$$K_m = 1,6$$

Factor de seguridad de diseño dinámico fatiga a flexión:

$$\eta = \frac{\eta_G}{K_o \times K_m} \quad (\text{Ec. 3.20})^{22}$$

$$\eta = \frac{6,31}{1,25 \times 1,6}$$

$$\eta = 3,155$$

<sup>20</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>21</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>22</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

### 3.1.4.3. Diseño dinámico: Fatiga superficial

Resistencia a la fatiga superficial:

$$S_c = 0,4 \times HB - 10 \quad (\text{Ec. 3.21})^{23}$$

$$S_c = 0,4 \times (225) - 10$$

$$S_c = 80 \text{ [kpsi]}$$

Factor de vida: Para  $10^6$  ciclos de vida (Anexo F)

$$C_L = 1$$

Factor de dureza:

$$\frac{HB_{\text{piñón}}}{HB_{\text{engrane}}} = 1 \quad (\text{Ec. 3.22})^{24}$$

$$1 < 1,2$$

$$C_H = 1$$

Factor de temperatura:

$$\text{Temperatura} \leq 250^\circ\text{C}$$

$$C_T = 1$$

Factor de confiabilidad (Anexo F):

$$C_R = 0,8$$

Límite de fatiga superficial:

$$S_H = \frac{C_L \times C_H}{C_T \times C_R} \times S_c \quad (\text{Ec. 3.23})^{25}$$

$$S_H = \frac{1 \times 1}{1 \times 0,8} \times 80$$

$$S_H = 100 \text{ [kpsi]}$$

<sup>23</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>24</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>25</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

Relación de transmisión:

$$m_G = \frac{d_G}{d_p} = \frac{4}{4} = 1 \quad (\text{Ec. 3.24})^{26}$$

Factor de configuración geométrica:

$$I = \frac{\cos \phi \times \sin \phi}{2} \times \frac{m_G}{m_G + 1} \quad (\text{Ec. 3.25})^{27}$$

$$I = \frac{\cos 20 \times \sin 20}{2} \times \frac{1}{1 + 1}$$

$$I = 0,080$$

Coefficiente elástico (Anexo F):

$$C_p = 2300 \text{ [psi]}$$

Carga tangencial permisible:

$$W_{tp} = \left( \frac{S_H}{C_p} \right)^2 \times C_v \times F \times d_p \times I \quad (\text{Ec. 3.26})^{28}$$

$$W_{tp} = \left( \frac{100000}{2300} \right)^2 \times 0,974 \times 1,575 \times 4 \times 0,08$$

$$W_{tp} = 928,121 \text{ [lb]}$$

Factor de diseño por fatiga superficial:

$$\eta_G = \frac{W_{tp}}{W_t} \quad (\text{Ec. 3.27})^{29}$$

$$\eta_G = \frac{928,121}{625,045}$$

$$\eta_G = 4,080$$

<sup>26</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>27</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>28</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>29</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

El factor de sobrecarga y el factor de distribución de la carga se encuentran en el Anexo F:

$$C_o = 1,25$$

$$C_m = 1,6$$

Factor de seguridad de diseño dinámico fatiga superficial:

$$\eta = \frac{\eta_G}{C_o \times C_m} \quad (\text{Ec. 3.28})^{30}$$

$$\eta = \frac{4,080}{1,25 \times 1,6}$$

$$\eta = 2,04$$

## 3.2. SISTEMA DE DESCASCARADO

### 3.2.1. DISEÑO DE RODILLOS

Los rodillos deben tener un tamaño adecuado para que permitan procesar la capacidad de 200 kg/h, por tal razón se debe determinar diámetro, longitud y forma de la superficie. Sin embargo en este proyecto el parámetro primordial con el cual se determina que la máquina cumpla con la capacidad requerida es la velocidad angular de los rodillos es por eso que las dimensiones de los mismos se puede determinar en base a la disponibilidad en el mercado. Por lo tanto se establecen las siguientes medidas de rodillos.

$$D_r = 90 \text{ [mm]} = \textit{diámetro del rodillo}$$

$$L_r = 270 \text{ [mm]} = \textit{longitud del rodillo}$$

Se establece que la superficie de los rodillos debe poseer ranuras axiales y longitudinales, esto favorece al arrastre de los granos y además tienen un efecto de cuña lo cual al momento de aplastar los granos de cacao rompe sus cáscaras. Cabe

---

<sup>30</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

recalcar que los extremos de los rodillos son maquinados a fin de obtener una sola pieza eje-rodillo.

El material seleccionado para la fabricación de los rodillos es duraluminio, cuyo nombre comercial en la empresa IVAN BOHMAN es ASSAB PRODAX (Anexo E). Se escoge este material por su facilidad de maquinabilidad y porque su precio es conveniente.

Del estudio de campo se puede determinar que el diámetro que presentan los granos de cacao es muy variable, pero después de un proceso de selección de los granos se podría variar la separación de acuerdo a tres tamaños de grano: pequeño, mediano y grande. Por lo tanto se establece que la separación entre los rodillos debe ser de 24[mm]

### 3.2.2. DISEÑO DE EJE EN RODILLOS

Según se plantea el diseño de la máquina estos ejes deben permitir transmitir el movimiento desde del motor por lo que uno de ellos consta de la catarina 4 que es movida por medio de una cadena desde la catarina 2, ubicada en el eje del motor. Además para el movimiento relativo entre los rodillos se usan dos engranes del mismo diámetro y número de dientes. Primero se calcula la velocidad tangencial de la catarina 4 y también la fuerza tangencial.

$$V_{D4} = \frac{\pi \times D_4 \times n_4}{12} \quad (\text{Ec. 3.29})^{31}$$

$$V_{D4} = \frac{\pi \times 5,8 \times 30,3}{12}$$

$$V_{D4} = 45,933 \text{ [pies/min]}$$

$$Wt_{D4} = \frac{33000 \times P_2}{V} \quad (\text{Ec. 3.30})^{32}$$

<sup>31</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>32</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$W_{t_{D4}} = \frac{33000 \times 0,6}{45,933}$$

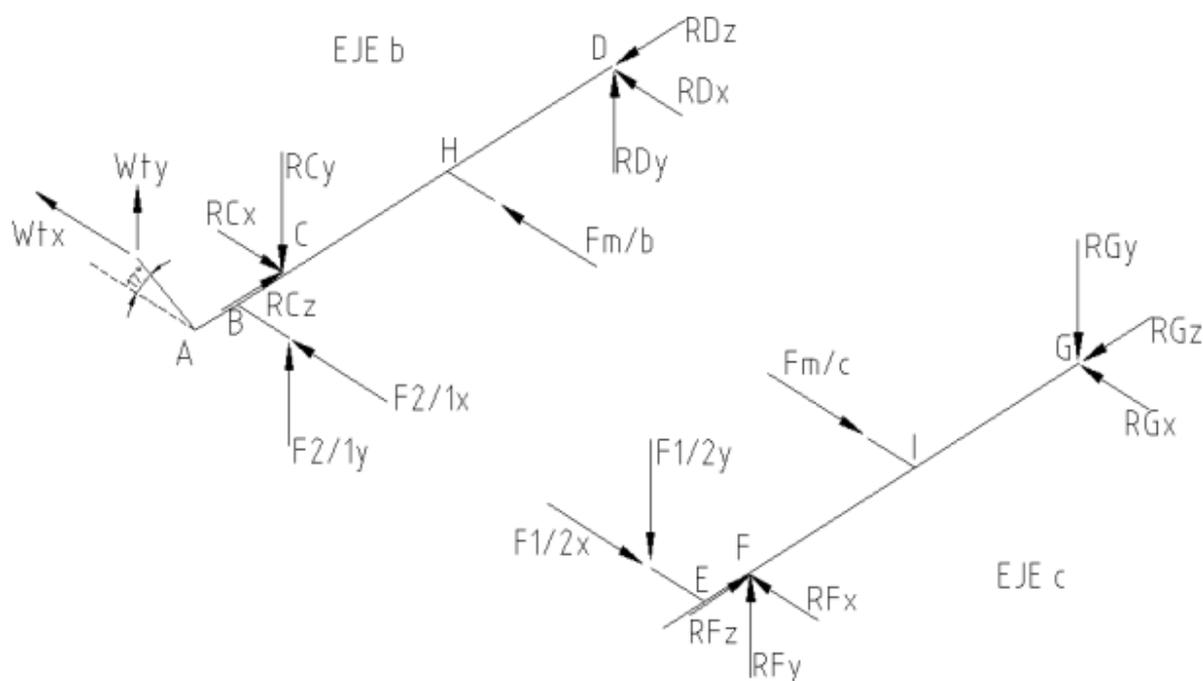
$$W_{t_{D4}} = 431,065 [lb] = 1920,2 [N]$$

Ahora es importante descomponer esta fuerza en las direcciones (x,y).

$$W_{t_{D4}x} = 1920,2 \times \cos(7,65^\circ) = 1903,11 [N] \quad (\text{Ec. 3.31})$$

$$W_{t_{D4}y} = 1920,2 \times \sin(7,65^\circ) = 255,62 [N] \quad (\text{Ec. 3.32})$$

Ahora estas fuerzas pueden ser representadas en un diagrama de cuerpo libre, tanto para el eje b y c en la Figura 3.3. Las dimensiones de estos ejes se indican en la Tabla 3.1. Estos sirven para poder determinar las reacciones en cada uno de los apoyos lo cual se indica en la Tabla 3.2.



**Figura 3.3.** Diagrama de cuerpo libre del eje b y del eje c

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

**Tabla 3.1.** Dimensiones y fuerzas actuantes en los ejes b y c.

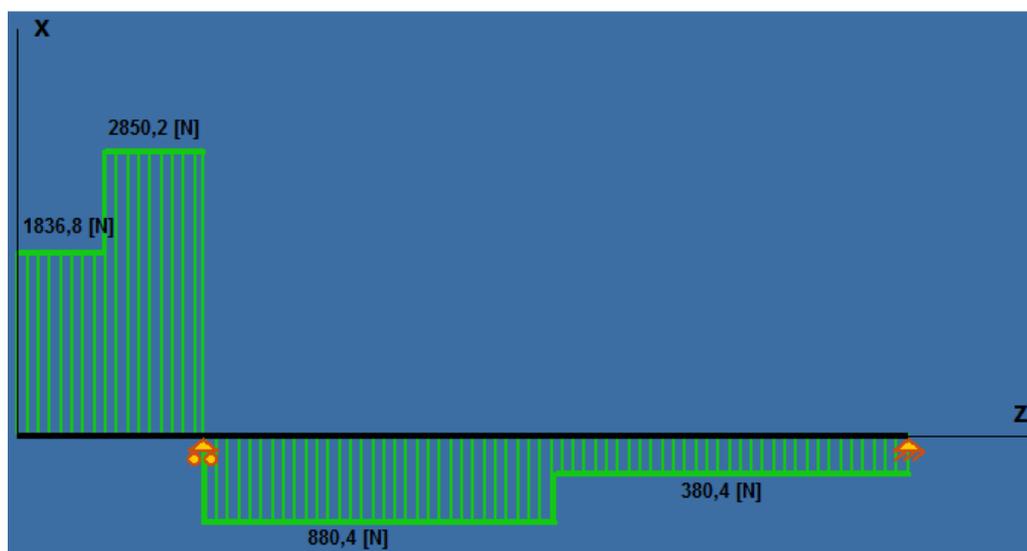
<b>DIMENSIONES DE LOS EJES</b>			
<b>EJE b</b>		<b>EJE c</b>	
Distancia	[mm]	Distancia	[mm]
AB	40	–	–
BC	45	EF	45
CD	320	FG	320
CH	160	FI	160
<b>FUERZAS EN LOS EJES</b>			
<b>EJE b</b>		<b>EJE c</b>	
Fuerza	[N]	Fuerza	[N]
Wtx	1836,8	–	–
Wty	559,810	–	–
F2/1x	1013,4	F1/2x	1013,4
F2/1y	2784,3	F1/2y	2784,3
Fm/b	500	Fm/c	500

**Fuente:** Propia**Elaboración:** Propia**Tabla 3.2.** Reacciones en los apoyos de los ejes b y c. Torque aplicado.

<b>REACCIONES EN LOS APOYOS DE LOS EJES</b>			
<b>EJE b</b>		<b>EJE c</b>	
Reacciones	[N]	Reacciones	[N]
RCx	3730,6	RFx	1405,9
RCy	3884,3	RFy	3175,8
RCz	0	RFz	0
RDx	380,4	RGx	107,5
RDy	540,2	RGy	391,5
RDz	0	RGz	0
<b>TORQUE APLICADO A LOS EJES</b>			
Torque/b	[lb*pulg]	1250,1	

**Fuente:** Propia**Elaboración:** Propia

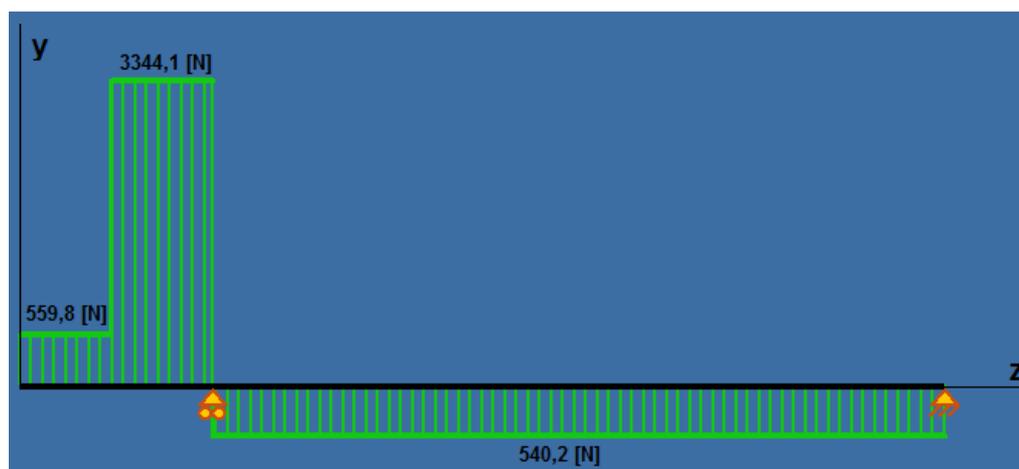
A continuación se muestran los diagramas de fuerza cortante en la Figura 3.4 y Figura 3.5 y momento flector Figura 3.6 y Figura 3.7 para el eje b.



**Figura 3.4.** Diagrama de fuerza cortante del eje b (x,z)

**Fuente:** Propia

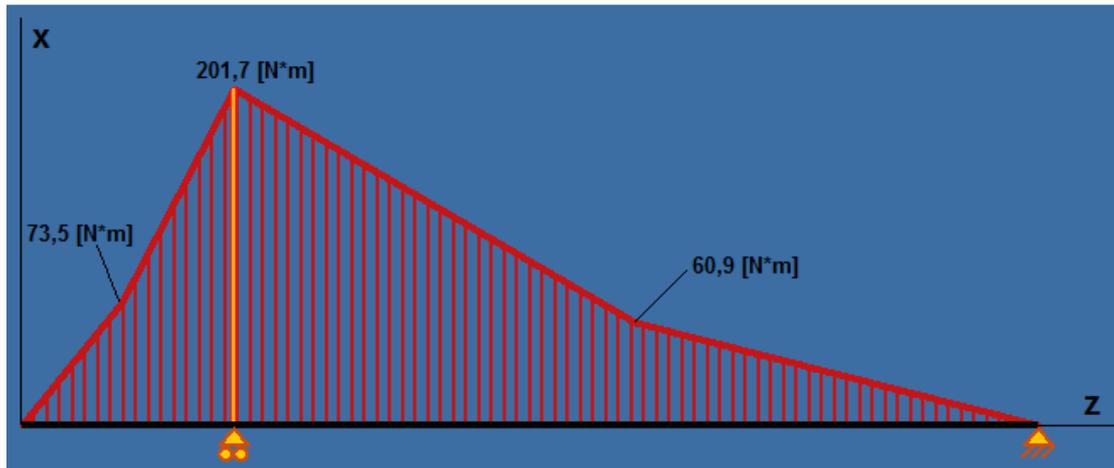
**Elaboración:** Propia



**Figura 3.5.** Diagrama de fuerza cortante del eje b (y,z)

**Fuente:** Propia

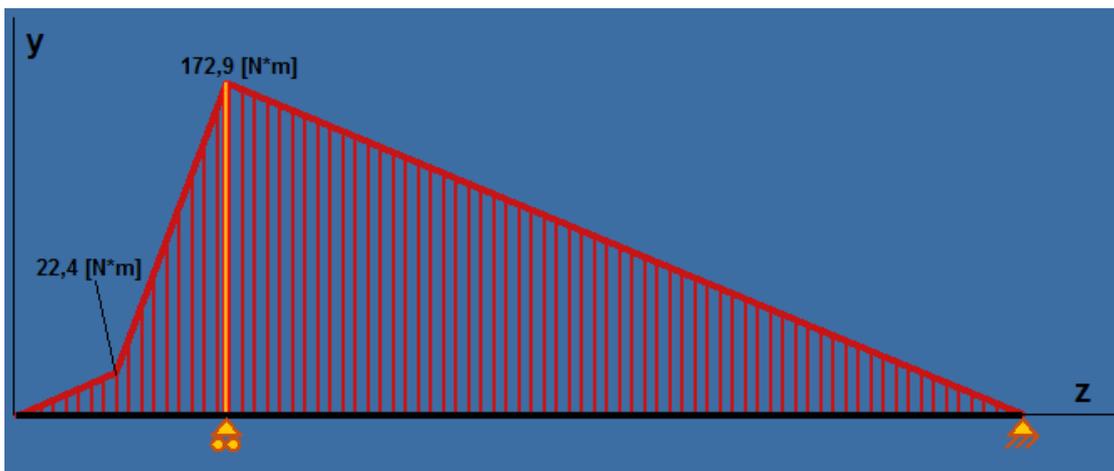
**Elaboración:** Propia



**Figura 3.6.** Diagrama de momento flector del eje b (x,z)

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia



**Figura 3.7.** Diagrama de momento flector del eje b (y,z)

**Fuente:** Propia

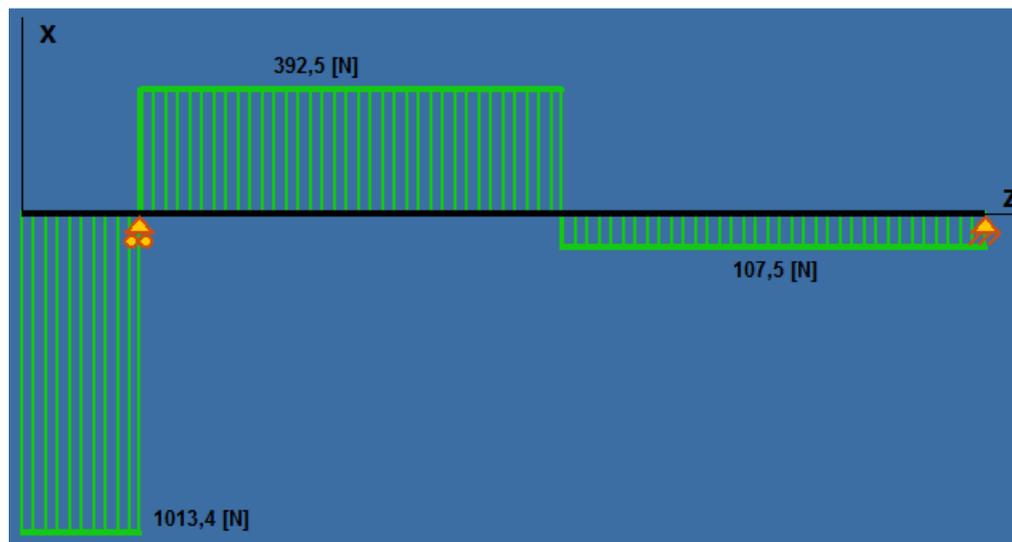
**Elaboración:** Propia

Momento flector resultante en el eje b:

$$M_b = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2} \quad (\text{Ec. 3.33})$$

$$M_b = \sqrt{(201,7)^2 + (172,9)^2} = 265,7 [N * m]$$

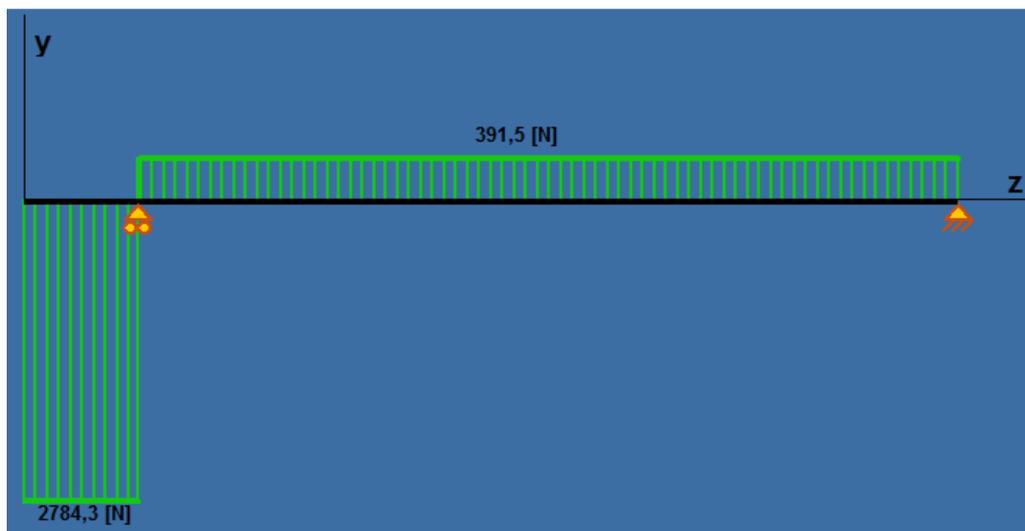
A continuación se muestran los diagramas de fuerza cortante en la Figura 3.8 y Figura 3.9 y momento flector Figura 3.10 y Figura 3.11 para el eje c.



**Figura 3.8.** Diagrama de fuerza cortante del eje c (x,z)

**Fuente:** Propia

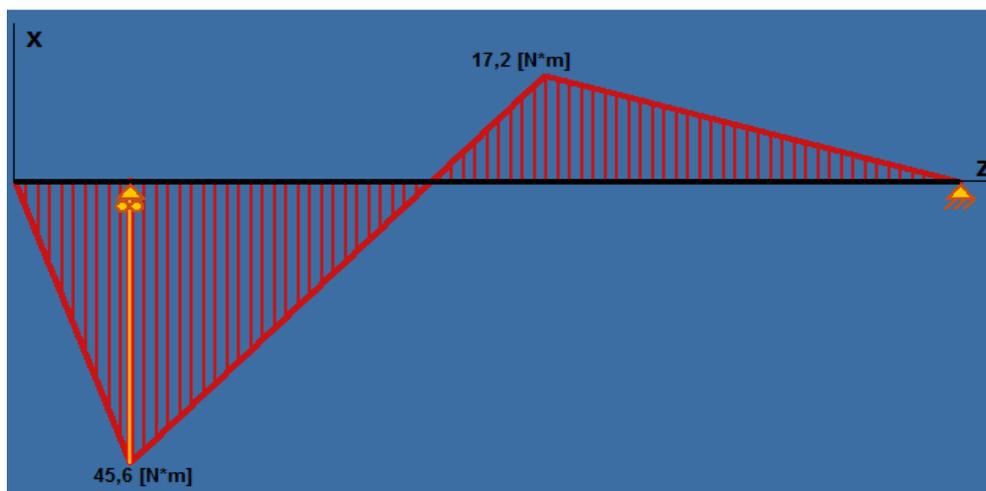
**Elaboración:** Propia



**Figura 3.9.** Diagrama de fuerza cortante del eje c (y,z)

**Fuente:** Propia

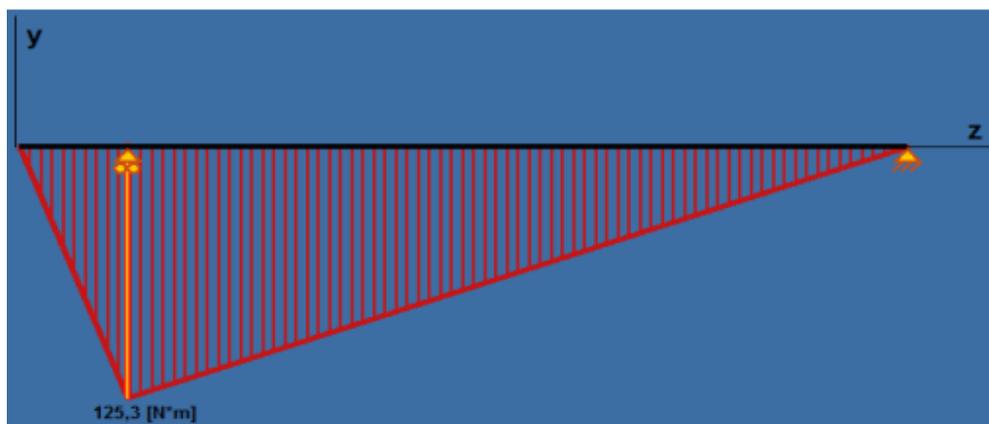
**Elaboración:** Propia



**Figura 3.10.** Diagrama de momento flector del eje c (x,z)

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia



**Figura 3.11.** Diagrama de momento flector del eje c (y,z)

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Momento flector resultante en el eje b:

$$M_b = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2} \quad (\text{Ec. 3.34})$$

$$M_b = \sqrt{(45,6)^2 + (125,3)^2} = 133,3 \text{ [N * m]}$$

Entonces del proceso iterativo se desprende que el diámetro del eje b, el ancho y la profundidad del chavetero son (Anexo G):

$$D_b = 40 [mm] = 1,575 [pulg]$$

$$b = \frac{3}{8} [pulg]$$

$$h = \frac{1}{8} [pulg]$$

A continuación podemos determinar el esfuerzo axial amplitud y el esfuerzo cortante xy medio, para lo cual se usan las fórmulas deducidas en el (Anexo G):

$$\sigma_{xa} = \frac{M \times d/2}{\left\{ \pi \times d^4/64 - \left[ b \times h^3/12 + b \times h \left( d/2 - h/2 \right)^2 \right] \right\}} \quad (\text{Ec. 3.35})$$

$$\sigma_{xa} = \frac{2348 \times \frac{1,575}{2}}{\left\{ \pi \times \frac{1,575^4}{64} - \left[ 0,375 \times \frac{0,125^3}{12} + 0,375 \times 0,125 \times \left( \frac{1,575}{2} - \frac{0,125}{2} \right)^2 \right] \right\}}$$

$$\sigma_{xa} = 6,669 [kpsi]$$

$$\sigma_{xm} = 0$$

$$\tau_{xym} = \frac{T * d/2}{\left\{ \pi * d^4/32 - \left[ b * h^3/12 + b * h \left( d/2 - h/2 \right)^2 \right] \right\}} \quad (\text{Ec. 3.36})$$

$$\tau_{xym} = \frac{1250,09 \times \frac{1,575}{2}}{\left\{ \pi \times \frac{1,575^4}{32} - \left[ 0,375 \times \frac{0,125^3}{12} + 0,375 \times 0,125 \times \left( \frac{1,575}{2} - \frac{0,125}{2} \right)^2 \right] \right\}}$$

$$\tau_{xym} = 1,7 [kpsi]$$

$$\tau_{xya} = 0$$

Por lo tanto el esfuerzo de Von Mises amplitud y medio es:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3(\tau_{xya})^2} = \sigma_{xa} \quad (\text{Ec. 3.37})^{33}$$

$$\sigma'_a = 6,669 \text{ [kpsi]}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3(\tau_{xym})^2} = \sqrt{3} \times \tau_{xym} \quad (\text{Ec. 3.38})^{34}$$

$$\sigma'_m = 2,944 \text{ [kpsi]}$$

El siguiente paso es determinar el límite de resistencia a fatiga del elemento, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$Se = Se' \times ka \times kb \times kc \times kd \times ke \times kf \quad (\text{Ec. 3.39})^{35}$$

Donde:

$$Se' = 0,5 \times Sut \quad (\text{Ec. 3.40})$$

El material utilizado para estos ejes es una aleación de aluminio, que comercialmente se conoce como ASSAB PRODAX (Anexo E):

$$Sut = 98,626 \text{ [kpsi]}$$

$$Se' = 0,5 \times (98,626)$$

$$Se' = 49,313 \text{ [kpsi]}$$

Factor de acabado superficial:

$$ka = 2,67 \times (Sut)^{-0,265} = 0,791 \quad (\text{Ec. 3.41})$$

Factor de tamaño:

$$kb = 0,869 \times (d)^{-0,097} = 0,832 \quad (\text{Ec. 3.42})$$

Factor de confiabilidad: Para una confiabilidad del 90%, lo cual se justifica para este tipo de máquina se obtiene un factor de confiabilidad de (Anexo F):

<sup>33</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>34</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>35</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$k_c = 0,897$$

Factor de corrección por temperatura:

$$k_d = 1$$

Ahora se determina el factor por concentración de esfuerzo (Anexo G):

$$k_e = K_{ef} \times K_{eT} = K_{ef} \times 1 = \frac{1}{K_f} \quad (\text{Ec. 3.43})^{36}$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (\text{Ec. 3.44})^{37}$$

Donde:

$$q = 0,75$$

$$D = 90 \text{ [mm]} = 3,54 \text{ [pulg]}$$

$$d = 40 \text{ [mm]} = 1,575 \text{ [pulg]}$$

$$r = 3 \text{ [mm]} = 0,12 \text{ [pulg]}$$

$$\frac{r}{d} = 0,076$$

$$\frac{D}{d} = 2,25$$

$$K_t = 1,9$$

$$K_f = 3,175$$

$$k_e = \frac{1}{3,175} = 0,315$$

Finalmente el factor por efectos varios es:

$$k_f = 1$$

Entonces reemplazando todos los factores se puede determinar el límite de resistencia a fatiga del elemento.

$$S_e = 49,313 \times 0,791 \times 0,832 \times 0,897 \times 1 \times 0,315 \times 1$$

$$S_e = 9,162 \text{ [kpsi]}$$

<sup>36</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>37</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$S_m = \frac{Se}{\frac{Se}{S_{ut}} + \frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}} \quad (\text{Ec. 3.45})^{38}$$

$$S_m = \frac{9,162}{\frac{9,162}{98,626} + \frac{6,669}{2,944}}$$

$$S_m = 3,885 \text{ [kpsi]}$$

$$n = \frac{S_m}{\sigma'_m} \quad (\text{Ec. 3.46})^{39}$$

$$n = \frac{3,885}{2,944}$$

$$n = 1,32$$

Exactamente el mismo trabajo se realiza para el eje c, para el cual se han obtenido los siguientes valores:

$$D_c = 40 \text{ [mm]} = 1,575 \text{ [pulg]}$$

$$b = \frac{3}{8} \text{ [pulg]}$$

$$h = \frac{1}{8} \text{ [pulg]}$$

$$\sigma_{xa} = 3,346 \text{ [kpsi]}$$

$$\sigma_{xm} = 0$$

$$\tau_{xym} = 1,7 \text{ [kpsi]}$$

$$\tau_{xya} = 0$$

$$\sigma'_a = 3,346 \text{ [kpsi]}$$

$$\sigma'_m = 2,944 \text{ [kpsi]}$$

$$Se = 9,162 \text{ [kpsi]}$$

---

<sup>38</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>39</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$S_m = \frac{9,162}{\frac{9,162}{98,626} + \frac{3,346}{2,944}}$$

$$S_m = 7,451 \text{ [kpsi]}$$

$$n = \frac{7,451}{2,944}$$

$$n = 2,53$$

### 3.2.3. LENGÜETAS

Se ha determinado ya en el diseño de los ejes dos dimensiones de las lengüetas estas son altura y ancho, las cuales se muestran a continuación, sin embargo es necesario también definir la longitud mínima a fin de asegurar que está no falle. En el Anexo F se muestra una tabla con dimensiones recomendadas para lengüetas cuadradas y rectangulares estándar, de donde se obtiene las siguientes dimensiones.

$$\text{ancho} = b = \frac{3}{8} \text{ [pulg]}$$

$$\text{altura} = H = \frac{2}{8} \text{ [pulg]}$$

Torque:

$$T = 1220 \text{ [lb * pulg]}$$

Limite de fluencia, del material para chavetas AISI 1045 (Anexo E):

$$S_y = 45,515 \text{ [kpsi]}$$

Factor de seguridad para la chaveta:

$$n = 2$$

Longitud mínima:

$$L = \frac{4 \times T \times \eta}{D_{eje} \times b \times S_y} \quad (\text{Ec. 3.47})^{40}$$

$$L = \frac{4 \times 1220 \times 2}{1,575 \times 0,375 \times 45515}$$

$$L = 0,363 \text{ [pulg]}$$

$$L = 9,22 \text{ [mm]}$$

Con este cálculo se confirma que las chavetas no fallan cuando la máquina opere ya que el ancho de cara de los engranes es 40 [mm] y se fabricarán chavetas que cubran todo este espacio de los engranes.

### 3.2.4. SELECCIÓN DE CHUMACERAS (SOPORTES TENSORES CON RODAMIENTO Y)

Existe una chumacera deslizante cuyo propósito es permitir regular la separación entre los rodillos, respecto a esto es importante tener en cuenta que para que la chumacera pueda deslizarse con facilidad esta debe conjugar con una guía adecuada cuyas dimensiones posean la tolerancia necesaria. Además las chumaceras deben sujetarse en un soporte el cual debe fijarse mediante pernos, estos pernos deben ser adecuados para soportar las fuerzas transmitidas desde los rodillos hasta las chumaceras, a continuación se presenta el proceso de selección de chumaceras:

#### 3.2.4.1. Apoyo C

$$R_{Cx} = 3730,6 \text{ [N]}$$

$$R_{Cy} = 3884,3 \text{ [N]}$$

$$Fr = 5385,6 \text{ [N]}$$

---

<sup>40</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

Sobre este rodamiento no actúan fuerzas axiales por lo tanto:

$$F_a = 0$$

$$P = XFr + YFa \quad (\text{Ec. 3.48})^{41}$$

$$P = XFr$$

$$\frac{F_a}{C_0} = 0$$

$$e = 0,22$$

$$\frac{F_a}{Fr} = 0 < e$$

$$X = 1$$

Por lo tanto la carga dinámica equivalente es:

$$P = Fr$$

$$P = 5385,6 \text{ [N]}$$

Ahora se determina la carga dinámica:

$$C = \frac{f_L}{f_n \times f_H} \times P \quad (\text{Ec. 3.49})^{42}$$

Donde:

$$f_L = 4,5 \quad \text{Para el caso de ir montados en rodillos,} \quad (\text{Anex } H)$$

$$f_n = 1,036 \quad \text{Para cojinetes de bolas y } n = 30,3 \text{ [rpm],} \quad (\text{Anex } H)$$

$$f_H = 1 \quad \text{Temperatura de servicio menor a } 120^\circ\text{C,}$$

$$C = \frac{4,5}{1,036 \times 1} \times 5385,6$$

$$C = 23393,1 \text{ [N]}$$

<sup>41</sup> Catálogo de rodamientos SKF

<sup>42</sup> Catálogo de rodamientos SKF

El mismo cálculo se establece para los otros tres soportes y se obtienen los siguientes resultados:

#### 3.2.4.2. Apoyo D

$$R_{Dx} = 380,4 [N]$$

$$R_{Dy} = 540,2 [N]$$

$$Fr = 660,7 [N] = P$$

$$C = \frac{4,5}{1,036 \times 1} \times 660,7$$

$$C = 2869,8 [N]$$

#### 3.2.4.3. Apoyo F

$$R_{Fx} = 1405,9 [N]$$

$$R_{Fy} = 3175,8 [N]$$

$$Fr = 3473,1 [N] = P$$

$$C = \frac{4,5}{1,036 \times 1} \times 3473,1$$

$$C = 15085,9 [N]$$

#### 3.2.4.4. Apoyo G

$$R_{Gx} = 107,5 [N]$$

$$R_{Gy} = 391,5 [N]$$

$$Fr = 406 [N] = P$$

$$C = \frac{4,5}{1,036 \times 1} \times 406$$

$$C = 1763,5 [N]$$

Finalmente se decide que el soporte tensor que se usará en las cuatro posiciones y que satisface los datos calculados tiene las siguientes características:

$$d = 40 \text{ [mm]}$$

$$A = 40 \text{ [mm]}$$

$$C = 23600 \text{ [N]}$$

### 3.3. SISTEMA DE TAMIZADO

#### 3.3.1. CÁLCULO DE EJE BIELA-MANIVELA

Para el diseño del eje que transmite el movimiento al conjunto biela manivela se parte por determinar la velocidad tangencial de la catarina 3:

$$V_{D3} = \frac{\pi \times D_3 \times n_3}{12} \quad (\text{Ec. 3.50})^{43}$$

$$V_{D3} = \frac{\pi \times 2,2 \times 121}{12}$$

$$V_{D3} = 69,7 \left[ \frac{\text{pies}}{\text{min}} \right]$$

Fuerza tangencial en la catarina:

$$Wt_3 = \frac{33000 \times P_1}{V} \quad (\text{Ec. 3.51})^{44}$$

$$Wt_3 = \frac{33000 \times 0,4}{69,7}$$

$$Wt_3 = 189,4 \text{ [lb]} = 843,7 \text{ [N]}$$

<sup>43</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>44</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

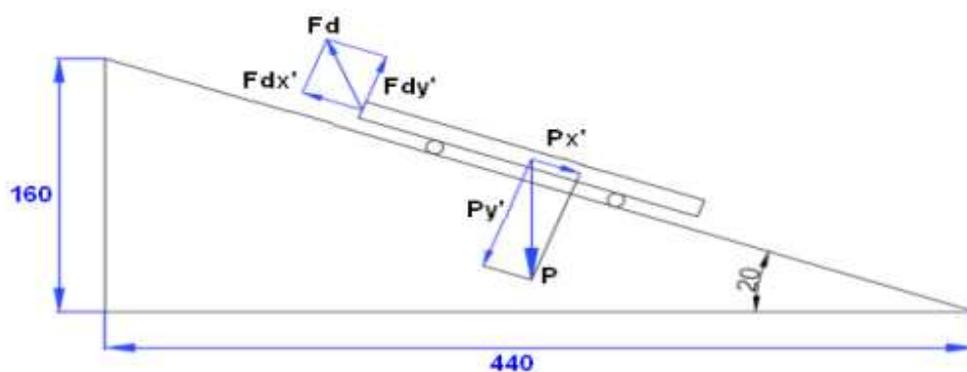
La separación entre centros de la Catarina 1 y 3 es 194,8 [mm], y conociendo los diámetros de las catarinas se puede conocer que el ángulo de acción de la fuerza tangencia es:

—

Por lo tanto la fuerza en la dirección y que actúa sobre la Catarina 3 es:

Peso de la biela-manivela y tamiz:

En la Figura 3.12 se indica el diagrama de cuerpo libre que involucra a todo el conjunto biela-manivela y tamiz y se lo representa como un bloque para simplificar el cálculo.



**Figura 3.12.** Diagrama de cuerpo libre del conjunto biela-manivela y tamiz

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Se calcula el peso en la dirección  $x'$ , lo cual se muestra en la figura 3.13. y sirve para facilitar los cálculos:

$$\frac{P_{x'}}{P} = \cos \theta \quad (\text{Ec. 3.54})$$

$$P_{x'} = 147 \times \cos(20^\circ)$$

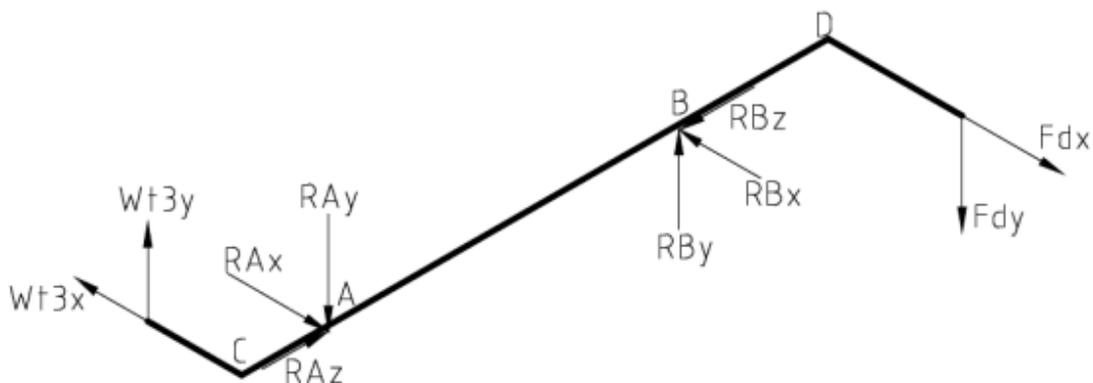
$$P_{x'} = 50,28 \text{ [N]}$$

Sin embargo de esta fuerza se debe encontrar la fuerza en las direcciones (x,y):

$$F_{dx} = 50,28 \text{ [N]} * \cos 20^\circ = 47,2 \text{ [N]} \quad (\text{Ec. 3.55})$$

$$F_{dy} = 50,28 \text{ [N]} * \sin 20^\circ = 17,2 \text{ [N]} \quad (\text{Ec. 3.56})$$

En la Figura 3.13 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje.



**Figura 3.13.** Diagrama de cuerpo libre del eje

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Las dimensiones de este eje se indican en la Tabla 3.3. Esto servirá para poder determinar las reacciones en cada uno de los apoyos lo cual se indica en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.3.** Dimensiones del eje a.

DIMENSIONES DEL EJE a	
Distancia	[mm]
CA	25
AB	105
BD	45
CD	175

**Fuente:** Propia**Elaboración:** Propia**Tabla 3.4.** Reacciones en los apoyos del eje a.

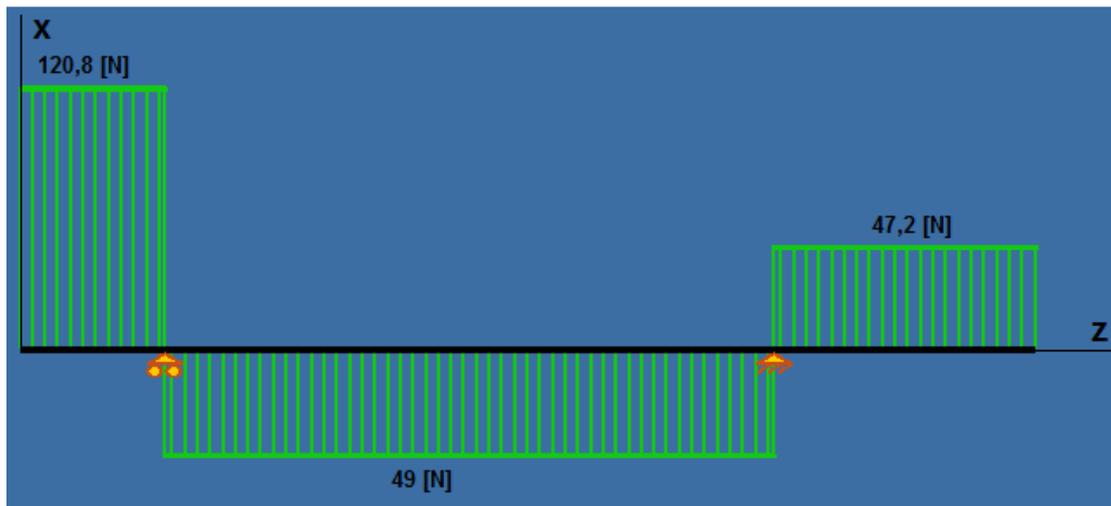
REACCIONES EN LOS APOYOS DEL EJE a			
Reacciones	[N]	Reacciones	[N]
RAx	169,8	RBx	96,2
RAy	1041,2	RBy	223,4

**Fuente:** Propia**Elaboración:** Propia**Tabla 3.5.** Torque aplicado al eje a.

TORQUE APLICADO AL EJE a		
Torque/a	[N*m]	
		23,54

**Fuente:** Propia**Elaboración:** Propia

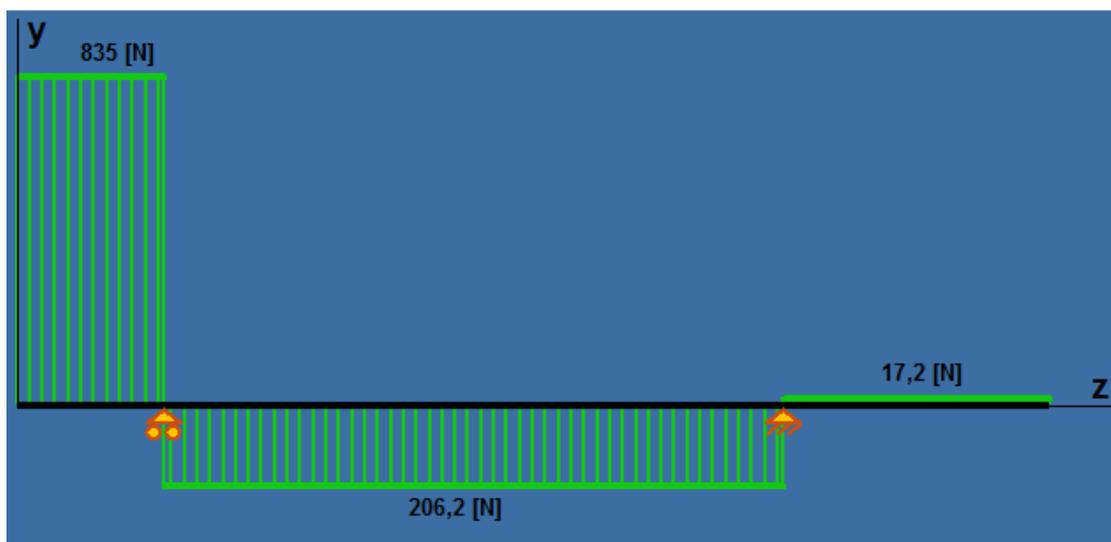
A continuación se muestran los diagramas de fuerza cortante en la Figura 3.14 y Figura 3.15 y momento flector Figura 3.16 y Figura 3.17 para el eje a.



**Figura 3.14.** Diagrama de fuerza cortante del eje a (x,z)

**Fuente:** Propia

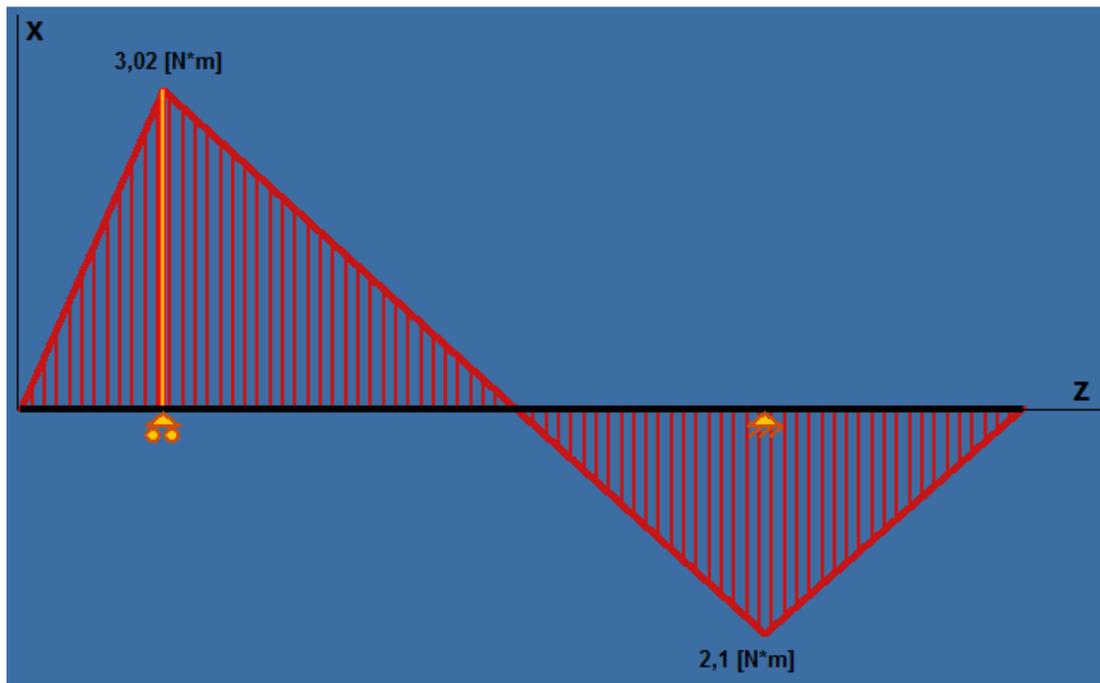
**Elaboración:** Propia



**Figura 3.15.** Diagrama de fuerza cortante del eje a (y,z)

**Fuente:** Propia

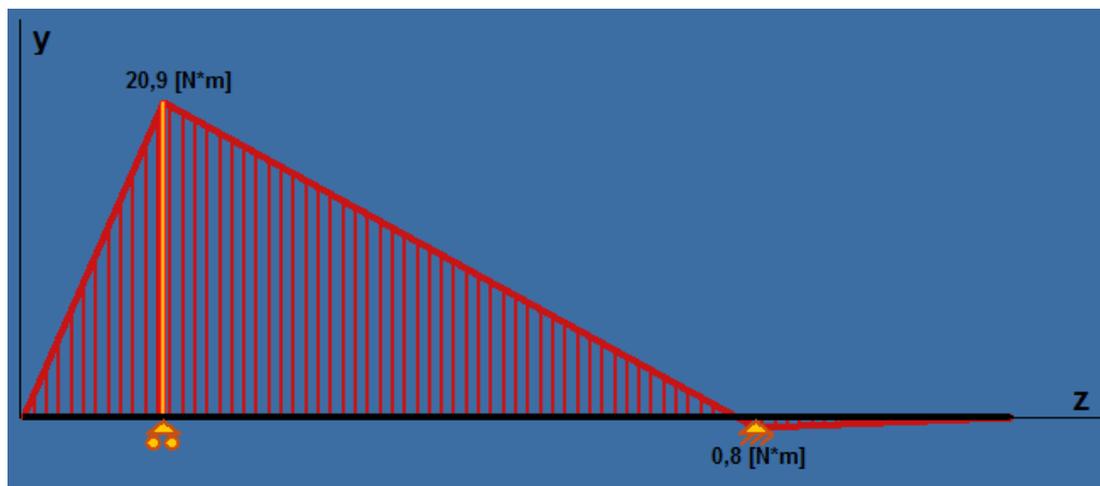
**Elaboración:** Propia



**Figura 3.16.** Diagrama de momento flector del eje a (x,z)

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia



**Figura 3.17.** Diagrama de momento flector del eje a (y,z)

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Momento flector resultante en el eje b:

$$M_a = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2} \quad (\text{Ec. 3.57})$$

$$M_a = \sqrt{(3,02)^2 + (20,9)^2} = 21,1 [N * m]$$

Entonces del proceso iterativo se desprende que el diámetro del eje a es:

$$D_a = 20 [mm]$$

A continuación se determina el esfuerzo axial amplitud y el esfuerzo cortante xy medio:

$$\sigma_{xa} = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3} \quad (\text{Ec. 3.58})^{45}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 \times 21,1}{\pi \times 20^3}$$

$$\sigma_{xa} = 26,9 [MPa]$$

$$\sigma_{xm} = 0$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 \times T}{\pi * d^3} \quad (\text{Ec. 3.59})^{46}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 \times 23,54}{\pi * 20^3}$$

$$\tau_{xym} = 15 [MPa]$$

$$\tau_{xya} = 0$$

Por lo tanto el esfuerzo de von Mises amplitud y medio es:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3(\tau_{xya})^2} = \sigma_{xa} \quad (\text{Ec. 3.60})^{47}$$

$$\sigma'_a = 26,9 [MPa] = 3,9 [kpsi]$$

<sup>45</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>46</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

<sup>47</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3(\tau_{xym})^2} = \sqrt{3} \times \tau_{xya} \quad (\text{Ec. 3.61})^{48}$$

$$\sigma'_m = 26 \text{ [MPa]} = 3,8 \text{ [kpsi]}$$

El siguiente paso es determinar el límite de resistencia a fatiga del elemento, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$Se = Se' \times ka \times kb \times kc \times kd \times ke \times kf \quad (\text{Ec. 3.62})$$

Donde:

$$Se' = 0,5 \times Sut \quad (\text{Ec. 3.63})$$

El material utilizado para este eje se lo comercializa en Böhler bajo el código E920, y corresponde a la denominación AISI 1018 (Anexo E):

$$Sut = 59,465 \text{ [kpsi]}$$

$$Se' = 0,5 \times (59,465)$$

$$Se' = 29,733 \text{ [kpsi]}$$

$$ka = 2,67 \times (Sut)^{-0,265} = 0,904 \quad (\text{Ec. 3.64})$$

$$kb = 0,869 \times (d)^{-0,097} = 0,889 \quad (\text{Ec. 3.65})$$

$$kc = 0,897$$

$$kd = ke = kf = 1$$

$$Se = 29,733 \times 0,904 \times 0,889 \times 0,897 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$Se = 21,451 \text{ [kpsi]}$$

$$Sm = \frac{Se}{\frac{Se}{Sut} + \frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}} \quad (\text{Ec. 3.66})$$

<sup>48</sup> Manual de Diseño Mecánico; Joseph Edward Shigley; 1989

$$Sm = \frac{21,451}{\frac{21,451}{59,465} + \frac{3,9}{3,8}}$$

$$Sm = 15,369 \text{ [kpsi]}$$

$$n = \frac{Sm}{\sigma'm} \quad (\text{Ec. 3.67})$$

$$n = \frac{15,369}{3,765}$$

$$n = 4,08$$

### 3.3.2. SELECCIÓN CHUMACERAS (SOPORTE DE PIE CON RODAMIENTO Y)

Este eje debe estar apoyado en dos chumaceras, una a cada extremo, las cuales deben soportar la carga radial que actúa sobre el eje y los resultados de la selección se encuentran a continuación, se usa el mismo procedimiento para la selección de soportes tensores:

#### 3.3.2.1. Apoyo A

$$R_{Ax} = 169,8[N]$$

$$R_{Ay} = 1041,2 [N]$$

$$Fr = 1055[N] = P$$

Ahora se determina la carga dinámica:

$$C = \frac{f_L}{f_n \times f_H} \times P \quad (\text{Ec. 3.68})$$

Donde:

$$f_L = 4 \quad \text{Para sistemas de transmisión con motores de tipo medio, (Anexo H)}$$

$$f_n = 0,6504 \quad \text{Para cojinetes de bolas y } n = 121 \text{ [rpm], (Anexo H)}$$

$$f_H = 1 \quad \text{Temperatura de servicio menor a } 120^\circ\text{C}$$

$$C = \frac{4}{0,6504 \times 1} \times 1055$$

$$C = 6488,3 [N]$$

### 3.3.2.2. Apoyo B

$$R_{Bx} = 96,2 [N]$$

$$R_{By} = 223,4 [N]$$

$$Fr = 243,2 [N] = P$$

$$C = \frac{4}{0,6504 \times 1} \times 243,2$$

$$C = 1495,9 [N]$$

Finalmente se decide que el soporte tensor a usar en las dos posiciones y que satisface los datos calculados tiene las siguientes características:

$$d = 20 [mm]$$

$$A = 32 [mm]$$

$$C = 9800 [N]$$

### 3.3.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BIELA-MANIVELA

Ya se tiene determinado la velocidad angular de la manivela que es:

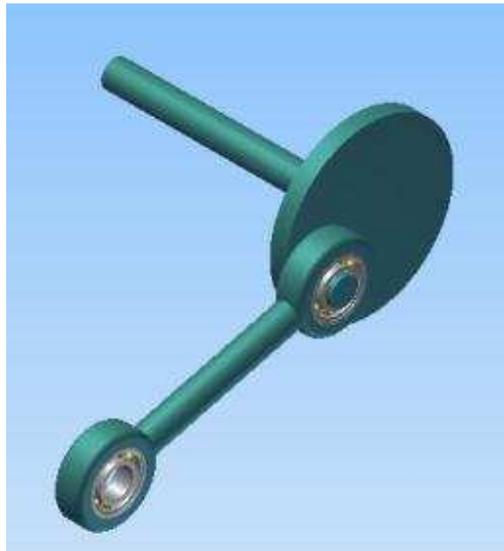
$$V_{manivela} = 124 [rpm]$$

Ahora se debe establecer una longitud de carrera del tamiz adecuada la cual es:

$$Longitud\ de\ carrera = 8 [cm]$$

Esto significa que el diámetro de rotación de la manivela es 8 [cm], en un punto de esta circunferencia debe ser soldado la unión (eje), en un extremo la manivela y al otro debe estar montado el rodamiento que se inserta en el anillo de un extremo de la biela.

Se determina que la manivela es un disco, el cual funciona a la vez como volante, existe además un eje (biela) el cual se conecta tanto a la manivela con al tamiz por medio de rodamientos en cada uno de sus extremos, de este modo podemos establecer el esquema de la biela manivela como se muestra en la Figura 3.18.



**Figura 3.18.** Esquema de la biela manivela

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

#### **3.3.4. DISEÑO DEL TAMIZ**

Corresponde a la selección de una placa perforada con el diámetro del agujero adecuado para que caiga solo el polvo de cacao, mas no el cotiledón ni la cáscara, esto es importante porque el cacao es un producto muy valioso y si se desperdiciaría el polvo al soplar el producto para arrojar la cáscara se estaría incurriendo en pérdidas significativas. Además se necesita una placa de acero inoxidable para realizar un recogido preliminar antes de que este producto pulverizado caiga por gravedad por una abertura en la placa de acero inoxidable y finalmente se construye una pieza similar a una cuchara para recolectar el cotiledón y la cáscara, desde donde caen estos productos y se realiza su recogido por medio de bandejas.

El tamiz se apoya sobre rodamientos, en estos rodamientos no actúa ninguna carga axial, y la carga radial que soportan es mínima, únicamente el peso del tamiz y el cacao, por tal razón es innecesario realizar un proceso de selección para definir sus características, cabe señalar que la función que desempeñan estos rodamientos es disminuir la fuerza de fricción que existiría si únicamente se colocara el tamiz sobre guías.

El criterio para seleccionarlos es únicamente adquirir los más económicos del mercado. Las guías para los rodamientos del tamiz son dos perfiles en I, lo importante para seleccionar estos perfiles es que la distancia interna entre los patines y el diámetro exterior de los rodamientos tengan una holgura adecuada para garantizar el normal funcionamiento.

### **3.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL**

#### **3.4.1. DIMENSIONES**

Dentro de los parámetros de diseño existe la limitación de que la máquina no debe tener un área mayor a  $1\text{m}^2$  y una altura máxima de 2m, por tal razón se ha realizado un esquema de como puede diseñarse esta estructura con las medidas más adecuadas para facilitar el montaje de cada una de las demás pieza y elementos mecánicos, tal como se muestra en la Figura 3.19.



**Figura 3.19.** Esquema de la estructura

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### 3.4.2. CARGAS Y DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

A continuación se definen todas las cargas que actúan sobre la estructura y se las representa en un diagrama de cuerpo libre en la Figura 3.20.

La masa de las piezas que cubren las chumaceras es 4 kg, la masa de la tolva es 2 kg, los soportes tensores tienen cada uno una masa de 2,42 kg, por lo que la masa total es 9,68 kg. Y entonces el peso corresponde a:

$$P_1 = (4 + 2 + 9,68 + 10,8)kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 26,48kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 259,5 [N] \quad (\text{Ec. 3.69})$$

La masa del motor es 8,1 kg, la masa del reductor es 26 kg y la masa de las catarinas 1 y 2 es 1 y 0,69 kg respectivamente. Por lo tanto el peso total del sistema motriz es:

$$P_2 = (8,1 + 26 + 1 + 0,69)kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 35,79kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 350,7 [N] \quad (\text{Ec. 3.70})$$

La masa de la plancha superior es 5 kg, por lo tanto su peso es:

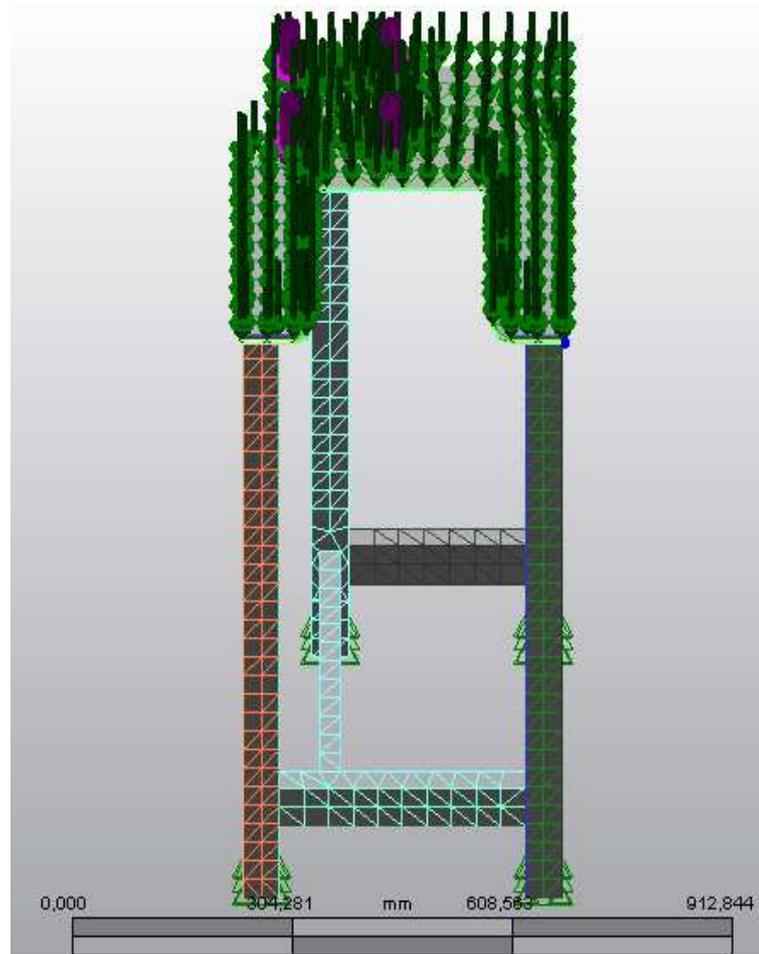
$$P_3 = 5kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 49 [N] \quad (\text{Ec. 3.71})$$

La masa del tamizador es 15 kg, por lo tanto su peso es:

$$P_4 = 15kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 147 [N] \quad (\text{Ec. 3.72})$$

La masa del eje biela manivela y su estructura es 10 kg, por lo tanto su peso es:

$$P_3 = 10kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 98 [N] \quad (\text{Ec. 3.73})$$



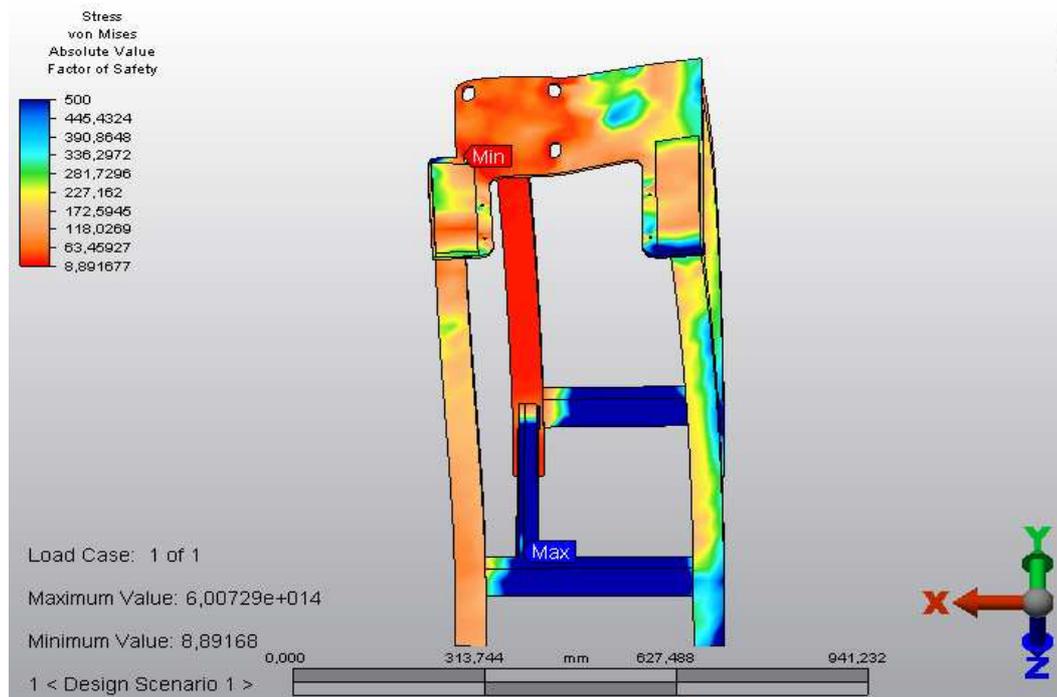
**Figura 3.20.** Diagrama de cuerpo libre de la estructura

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### 3.4.3. CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DETERMINACIÓN DEL MATERIAL

Para garantizar que el diseño de la estructura y el material utilizado sean correctos, estos son evaluados mediante un software de análisis de esfuerzos, para éste análisis se usa el programa Autodesk Algor Simulation, mediante el cual se evaluó el factor de seguridad mínimo y máximo en cada parte de la estructura, usando como material tubo de acero A36 50x50 y se muestra en la Figura 3.21 (Anexo J)



**Figura 3.21.** Análisis de esfuerzos en la estructura

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Como se puede observar el factor de seguridad mínimo es 8,9 de esta manera comprobamos que la estructura tiene una buena resistencia mecánica y su diseño es válido con el material seleccionado.

El software utilizado (ALGOR SIMULATION) requiere de un cierto grado de conocimiento del tipo de análisis que se desea hacer, es la única forma de comprobar si la simulación está bien hecha, ya que cualquier error o condición pasada por alto puede alterar totalmente los resultados. Se debe resolver primero el ejercicio a mano y usar el software únicamente para comprobar, o en todo caso si ya se tiene experiencia se puede comprobar los resultados con valores que sean esperados. Para fabricar esta estructura se utiliza el proceso de soldadura SMAW, en este caso el electrodo utilizado como material de aporte es E6011 de 2,4 [mm] de diámetro.

### 3.5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

#### 3.5.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA

Para alimentar producto a la máquina se utiliza una tolva de pirámide truncada (invertida), una consideración importante es que la altura no debe ser mayor a 30 [cm] evitando que sea demasiado alta para poder colocar la materia prima en su boca de entrada.

Considerando que la máquina procesará 200 [kg/h], se establece que se debe ingresar alrededor de 3,5 [kg/min] a fin de alcanzar la capacidad deseada, y conociendo que un kilogramo de cacao puede ocupar un volumen de 1500 [cm<sup>3</sup>] se determina que el volumen mínimo que debe poseer la tolva para garantizar un abastecimiento continuo a los rodillos es 5250 [cm<sup>3</sup>] por minuto, tiempo ideal en el cual el operador podría cargar la cantidad deseada de material y se multiplica este valor por 3 para generar un factor de seguridad por lo que el volumen requerido en la tolva es de 15750 [cm<sup>3</sup>].

Las medidas del área inferior de la tolva son de largo la misma longitud de un rodillo y de ancho el diámetro de un rodillo, entonces:

$$Longitud_{inf} = 25 [cm]$$

$$Ancho_{inf} = 8 [cm]$$

La ecuación para determinar el volumen de una pirámide truncada es:

$$V = \frac{h}{3} \times (A + A' + \sqrt{A \times A'}) \quad (\text{Ec. 3.74})$$

Donde:

$h$  = altura de la pirámide truncada

$A$  = Área de la base mayor

$A'$  = Área de la base menor

Por lo tanto se establecen el valor de la altura y las dimensiones del área superior y se verifica que el resultado obtenido cumpla con el mínimo de volumen requerido. Y los datos asumidos son:

$$h = 28 \text{ [cm]}$$

$$Longitud_{sup} = 44 \text{ [cm]}$$

$$Ancho_{sup} = 24 \text{ [cm]}$$

$$A = 44 \times 24 = 1056 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A' = 25 \times 8 = 200 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Entonces el volumen es:

$$V = \frac{28}{3} \times (1056 + 200 + \sqrt{1056 \times 200})$$

$$V = 16012 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Este valor satisface el volumen requerido y por lo tanto se definen estas medidas para la construcción de esta pieza. La tolva se construye en plancha de acero inoxidable debido a que es un elemento que está en contacto directo con el cacao, es decir un producto alimenticio y no debe contaminarse. Para soldar estas láminas se debe emplear el proceso de soldadura TIG en el cual se necesita un metal de aporte cuyo código es ER308L (S92462) de 1,6 [mm] de diámetro y con argón como gas de protección.

Una vez determinados los calculos de cada una de las piezas se procede a realizar la construcción y montaje de la máquina donde se utiliza las hojas de procesos que se encuentran desarrollados en el Anexo M y los planos de taller especificados en el Anexo L.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS**

#### **4.1. GENERALIDADES**

En este capítulo se presentan algunos diagramas y esquemas mediante los cuales se explica detalladamente cada una de las fases y procesos involucrados tanto en la construcción como en el montaje del prototipo y se indican los resultados de las pruebas realizadas. Cabe resaltar que previamente a la realización de las pruebas definitivas se realizaron unas pruebas preliminares con las cuales se corrigió algunos errores de montaje y otros que afectaban la funcionalidad del equipo.

#### **4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA**

Es muy importante tener en cuenta para realizar la construcción de la descascarilladora de cacao algunas consideraciones como es que el taller mecánico conste con todos los equipos, máquinas y herramientas adecuadas para la fabricación de cada uno de los elementos mecánicos que la conforman, además es muy indispensable la facilidad de adquisición del material y elementos que se usará en esta, por lo que se construye con materiales existentes en el mercado local para su rápido acceso. La buena capacitación en lectura de planos de taller es vital ya que esto facilitará la construcción de la máquina.

##### **4.2.1. MÁQUINAS, HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Para la fabricación de las diferentes partes que conforman la descascarilladora de cacao es necesaria la utilización de algunas máquinas herramientas como son: dobladora, fresadora, esmeril, cortadora, amoladora, rectificadora, soldadora eléctrica, taladro. Entre los instrumentos de medición a utilizar son calibrador digital, flexómetro, micrómetro y escuadras. Y finalmente las herramientas utilizadas son:

útiles de tornear, martillo, lima, llaves y copas, entenalla, brocas, sierra, playo manual, pinzas.

A continuación en la Tabla 4.1 se agrupan a cada una de las máquinas herramientas, instrumentos de medición con el fin identificar a cada una y simplificar los flujogramas de construcción de los diferentes sistemas que conforma la descascarilladora de cacao.

**Tabla 4.1.** Listado de Máquinas, herramientas e instrumentos de medición.

MAQUINA HERRAMIENTA	HERRAMIENTAS	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Torno	Útiles de tornear	Calibrador digital
Fresadora	Martillo	Flexómetro
Cortadora de plasma	Lima	Micrómetro
Esmeril	Llaves	Escuadras
Amoladora	Entenalla	Compás
Rectificadora	Brocas	Nivel
Dobladora	Sierra	
Taladro de banco	Playo	
Electrosoldadora		
Sierra de vaivén		

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

#### 4.2.2. PROCESOS TECNOLÓGICOS

En la

Tabla 4.2 se describen los procesos tecnológicos que son necesarios para la fabricación de cada parte de la máquina.

**Tabla 4.2.** Procesos tecnológicos.

PROCESOS TECNOLÓGICOS
Corte de material
Amolado
Soldado
Doblado
Taladrado
Torneado
Machuelado
Fresado
Rectificado
Pintado

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

#### 4.2.3. MATERIA PRIMA

En la Tabla 4.3 se muestran un resumen general de los materiales que se utilizan en la fabricación de la descascarilladora de cacao.

**Tabla 4.3.** Materia prima a utilizarse.

<b>MATERIA PRIMA</b>
Plancha de Acero inoxidable
Plancha de Acero A36
Tubo estructural cuadrado 50x50mm
Perfil en I 50x40x4 mm
Eje de dura aluminio de diámetro 900mm
Eje de Acero A-36
Engranés

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

#### 4.2.4. ELEMENTOS MECÁNICOS Y PIEZAS A CONSTRUIR

A continuación en la Tabla 4.4 se presentan los elementos que constituyen la descascarilladora de cacao detallando los procedimientos de fabricación.

**Tabla 4.4.** Elementos y Piezas a construir.

<b>ELEMENTO MECÁNICO</b>	<b>PROCESO DE FABRICACIÓN</b>
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> se realiza el corte del tubo estructural cuadrado de acuerdo a las especificaciones de los planos.</li> <li>• <b>Limpieza.-</b> eliminación de aristas vivas y virutas.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> se conjugan los tubos estructurales cuadrados según los planos.</li> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero A36.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> unir el elemento a los perfiles.</li> <li>• <b>Pintura.-</b> se pinta todo el elemento que consta como soporte.</li> </ul>
Guías de chumaceras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero A36.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> unir el elemento a la estructura.</li> <li>• <b>Pintura.-</b> se pinta todo el elemento.</li> </ul>

Soporte de chumaceras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero A36.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> unir el elemento a la estructura.</li> <li>• <b>Pintura.-</b> se pinta todo el elemento.</li> </ul>
Protección de chumaceras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero inoxidable.</li> <li>• <b>Doblado.-</b> doblar de acuerdo a las medidas establecidas en los planos.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> unir los diferentes elementos de la protección de las chumaceras.</li> </ul>
Tolva alimentadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero inoxidable.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones.</li> <li>• <b>Doblado.-</b> doblar de acuerdo a las medidas establecidas en los planos.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> unir los diferentes elementos de la tolva.</li> </ul>
Eje-rodillo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> se realiza el corte eje de transmisión de 100mm de acuerdo a las especificaciones de los planos.</li> <li>• <b>Maquinado.-</b> se realizan operaciones en el torno para obtener las dimensiones requeridas del eje y del rodillo, para acoplar las chumaceras, engranes, catarinas y cadenas.</li> </ul>
Tamiz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero inoxidable.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones para permitir la sujeción del tamiz con la guía de este y el juego biela-manivela.</li> <li>• <b>Doblado.-</b> doblar de acuerdo a las medidas establecidas en los planos.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> unir los diferentes elementos del tamiz para su correcto funcionamiento.</li> </ul>
Guías de tamiz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> se realiza el corte del perfil en I de acuerdo a las especificaciones de los planos.</li> <li>• <b>Limpieza.-</b> eliminación de aristas vivas y virutas.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> se sueldan las guías en la estructura según como se encuentra especificado en los planos.</li> </ul>
Engranes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Maquinado.-</b> se realizan operaciones en la fresadora, rectificadora para obtener las dimensiones requeridas de los engranes que se encuentran acoplados para el movimiento de los ejes-rodillos.</li> </ul>

Tapa del sistema de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corte.-</b> según las especificaciones de los planos se corta la placa de acero inoxidable.</li> <li>• <b>Taladrado.-</b> se realizan las respectivas perforaciones.</li> <li>• <b>Doblado.-</b> doblar de acuerdo a las medidas establecidas en los planos.</li> <li>• <b>Soldadura.-</b> soldar los diferentes elementos para la obtención de la tapa del sistema de transmisión.</li> </ul>
---------------------------------	--

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

#### 4.2.5. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN

Para la construcción de la descascarilladora de cacao es indispensable cumplir con las etapas de construcción que se rigen a una cierta secuencia.

- a) Adquisición de la materia prima.
- b) Almacenamiento de la materia prima.
- c) Trazos sobre la materia prima.
- d) Ejecución de los procesos tecnológicos de fabricación.
- e) Eliminación de virutas de los procesos tecnológicos de fabricación.
- f) Verificación de dimensiones, perpendicularidad, paralelismos y estabilidad.
- g) Pintado de superficies externas que se encuentran en contacto con el ambiente.

A continuación en la Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4, Figura 4.5, se muestra la etapa de construcción de algunos elementos de la descascarilladora de cacao.



**Figura 4.1.** Trazo de bocetos para realizar el corte.



**Figura 4.2.** Corte de la placa de Acero Inoxidable.



**Figura 4.3.** Soldadura de partes del tamiz.



**Figura 4.4.** Eliminación de rebabas.



**Figura 4.5.** Verificación de medidas en la construcción.

#### 4.2.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN

La simbología para realizar el diagrama de flujo de construcción se muestra en la Tabla 4.6 se desarrolla el diagrama de flujo de construcción.

**Tabla 4. 5.** Simbología utilizada en el diagrama de flujo.

SIMBOLO	INTERPRETACIÓN
	Operación
	Transporte
	Inspección
	Almacenamiento

Tabla 4.6. Diagrama de flujo de construcción.

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad				t (min)
			○	➡	◇	▽	
1	SOPORTE	Transportar el material		x			10
2		Corte de perfiles cuadrados	x				30
3		Corte de placa de mesa soporte	x				30
4		Eliminación de virutas de corte	x				5
5		Soldar conjugando tubos estructurales y placa soporte según los planos	x				45
6		Eliminación de escoria de soldadura	x				5
7		Taladrar respectivas perforaciones	x				30
8		Eliminación de aristas vivas y virutas	x				5
9		Inspeccionar			x		5
10	GUÍAS Y SOPORTE DE CHUMACERAS	Transportar el material		x			15
11		Cortar según las especificaciones de los planos en la placa de acero A36	x				20
12		Taladrar respectivas perforaciones	x				30
13		Soldar elementos a la mesa soporte	x				30
14		Eliminación de aristas vivas y virutas	x				5
15	PROTECCIÓN DE RODILLOS	Transportar la placa de acero inoxidable a la sección de corte		x			15
16		Cortar según las especificaciones de los planos en la placa de acero inoxidable	x				30
17		Eliminación de virutas de corte	x				5
18		Doblar de acuerdo las medidas de planos.	x				20
19		Soldar para unir cada pieza que lo conforma	x				45
20		Eliminación de aristas vivas y virutas	x				5
21	TOLVA ALIMENTADORA	Cortar según las especificaciones de los planos en la placa de acero inoxidable	x				30
22		Eliminación de virutas de corte	x				5
23		Doblar de acuerdo las medidas de planos.	x				35
24		Soldar para unir cada pieza que lo conforma	x				20
25		Eliminación de aristas vivas y escoria	x				5

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad				t (min)
							
26	EJE RODILLO	Transporte del eje de aluminio prodax al torno		x			15
27		Cortar según las especificaciones de los planos el eje del aluminio prodax.	x				30
28		Puesta a punto de cada uno de los ejes en el taladro	x				15
29		Tornear ejes	x				960
30		Maquinar el eje-rodillo hasta obtener las medidas requeridas	x				720
31	BIELA-MANIVELA	Cortar cada uno de los componentes de la biela-manivela según las medidas establecidas	x				35
32		Eliminación de virutas de corte	x				5
33		Soldar disco con ejes que conforman la biela-manivela	x				20
34		Eliminación de escoria	x				5
35	TAMIZ	Transportar la placa perforada y placa de acero inoxidable a la sección de corte		x			15
36		Cortar placa perforada según medidas especificadas	x				25
37		Eliminación de virutas de corte	x				5
38		Doblar la placa perforada según los dimensiones de planos	x				45
39		Cortar placa de acero inoxidable según medidas requeridas	x				45
40		Eliminación de virutas de corte	x				5
41		Doblar placa de acero inoxidable	x				30
42	GUÍAS DE TAMIZ	Transportar material a la sección de corte		x			15
43		Cortar placas de acero A-36	x				45
44		Eliminación de virutas de corte	x				5
45		Soldar placas según medidas establecidas en planos.	x				30
46		Eliminación de rebabas de soldadura	x				5
47		Inspeccionar soldadura			x		10

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad				t (min)
			○	→	◇	▽	
48	ENGRANES	Transportar el acero AISI1045 a la sección de corte	x				15
49		Cortar el eje según las medidas requeridas	x				20
50		Transportar el material a la fresadora		x			10
51		Puesta a punto de cada uno de los ejes	x				30
52		Fresar los engranes	x				360
53		Transportar a la rectificadora para obtener las dimensiones deseadas	x				10
54		Verificar medidas			x		10
55		TAPA DE SISTEMA MOTRIZ	Transportar la placa de acero inoxidable a la sección de corte		x		
56	Cortar según las especificaciones de los planos en la placa de acero inoxidable		x				50
57	Eliminación de virutas de corte		x				5
58	Doblar de acuerdo las medidas de planos.		x				45
59	Soldar para unir cada pieza que lo conforma		x				40
60	Eliminación de aristas vivas y escoria de soldadura		x				5

**TOTAL (min)**    3180  
**TOTAL (h)**        53  
**TOTAL (días)**    6,625

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Se establece que las horas empleadas para la construcción de la removedora de cacao es aproximadamente de 53 horas, de las cuales se trabajaran 8 horas por día, teniendo como resultado la construcción en 7 días.

### 4.3. MONTAJE

Respecto al montaje de la máquina se establece un procedimiento esquemático el cual muestra en detalle cada uno de los pasos a seguir para ensamblar las piezas de la máquina, para este propósito se utiliza un diagrama de flujo.

#### 4.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE MONTAJE

Con la finalidad de reducir el área de desarrollo del diagrama de flujo para el montaje se establecen una corta denominación a cada proceso cuyas características se detallan en la Tabla 4. 7.

**Tabla 4. 7.** Descripción de cada proceso involucrado en el montaje.

Ítem	Montaje	Descripción de la actividad	Tipo de actividad				Tiempo [min]
			○	➡	◇	▽	
1	Puesta a punto de la estructura	Verificar que la estructura principal donde se montarán las demás piezas no tenga ningún defecto de fabricación.			X		20
2	Guías para el tamiz	Soldar las guías donde deslizará el tamiz con una inclinación de 20° preestablecida en el diseño	X				60
3	Motorreductor	Colocar el motorreductor en su posición y aplicar una precarga en los pernos	X				40
4	Catarina 1	Montaje de la catarina 1 en el eje del motorreductor	X				30
5	Catarina 2	Montaje de la catarina 2 en el eje del motorreductor	X				30
6	Chumaceras tensoras	Colocación de las chumaceras tensoras en los ejes de los rodillos	X				20
7	Chavetas	Ensamblaje de las chavetas en cada uno de los ejes de los rodillos	X				40
8	Engranés 1 y 2	Ensamble de los engranes en cada eje de los rodillos	X				40

Ítem	Montaje	Descripción de la actividad	Tipo de actividad				Tiempo [min]
							
9	Catarina 4	Colocación de la catarina en el eje conducido que transmitirá el movimiento a través de los engranes al otro eje	X				20
10	Rodillos	Ensamble del conjunto chumaceras y rodillos, colocando las chumaceras en las guías que facilitarán el desplazamiento de dos de ellas	X				20
11	Protección de las chumaceras	Colocación de pieza de acero inoxidable destinada a la protección de las chumaceras y que entra en contacto directamente con el cacao	X				30
12	Tolva	Montaje de la tolva en su posición	X				20
13	Soporte chumaceras tensoras	Ensamble del soporte para las chumaceras tensoras	X				60
14	Perillas	Colocación de las perillas destinadas a regular la posición del rodillo frontal	X				20
15	Ajuste final sistema de descascarado	Ajuste de pernos en el soporte y ajuste de prisioneros para fijar las chumaceras posteriores	X				40
16	Cadena	Colocación de la cadena en los dientes de las catarinas y unir sus extremos fijamente	X				20
17	Biela-manivela	Montaje de la pieza eje biela-manivela, que en su mayoría sale completa de la fase de fabricación, teniendo únicamente que ensamblar cada rodamiento en su alojamiento	X				40
18	Chumaceras soporte de pie	Colocación de las chumaceras soporte de pie en el eje	X				40
19	Catarina 3	Ensamble de la catarina en el eje biela manivela	X				20
20	Conjunto eje biela manivela	Consiste en montar las chumaceras en la estructura y dar una precarga a sus pernos de anclaje	X				30

Ítem	Montaje	Descripción de la actividad	Tipo de actividad				Tiempo [min]
			○	➔	◇	▽	
21	Cadena	Colocación de la cadena en los dientes de las catarinas y unir sus extremos fijamente	X				20
22	Ajuste final sistema motriz	Consiste en verificar que las cadenas estén tensadas, se ajustan todos los pernos incluyendo los que sujetan al motorreductor			X		40
23	Tapa sistema motriz	Ahora se coloca la tapa del sistema motriz para evitar accidentes con laborales debido a un contacto directo con las cadenas, catarinas o engranes	X				30
24	Tamiz	Montaje del tamiz, conjugar los rodamientos en las guías y ensamblar con la biela-manivela	X				40
25	Placa inferior al tamiz	Colocar la placa inferior del tamiz para recoger el polvo de cacao	X				30
26	Ajuste final sistema tamizado	Apretar todos los pernos del tamizador y asegurar que todas las piezas estén bien aseguradas			X		20
27	Caja de mando	Colocar la caja de mando en la estructura de la máquina	X				40
28	Cable de poder	Conectar el enchufe en el cable de poder colocando en la posición correcta cada una de las fases para asegurar el correcto giro del motor	X				30
29	Ajuste final sistema eléctrico	Verificar todas las conexiones			X		20
30	Pintura	Pintar la estructura fabricada en acero A36 con pintura anticorrosiva	X				80

**TOTAL (min)** 990  
**TOTAL (h)** 16,5  
**TOTAL (días)** 2,25

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

Se establece que las horas empleadas el montaje de la removedora de cacao es aproximadamente de 16.5 horas, de las cuales se trabajaran 8 horas por día, teniendo como resultado el montaje en 2 días.

A continuación en la Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4. 8, Figura 4.9, Figura 4.10, se muestra la etapa de montaje de algunos elementos de la descascarilladora de cacao.



**Figura 4.6.** Montaje de ejes-rodillos.



**Figura 4.7.** Montaje de tolva.



**Figura 4. 8.** Verificación de medidas en el montaje



**Figura 4.9.** Montaje del tamiz.



**Figura 4.10.** Montaje completo de la descascarilladora de cacao.

#### **4.4. PRUEBAS DE CAMPO**

Durante el proceso de construcción y más aún en el montaje se realizan pruebas preliminares en las cuales se puede verificar si todas las piezas tienen un funcionamiento satisfactorio, y aquellas que presenten fallas o errores dimensionales pueden ser corregidas, a fin de que no se vea afectada la funcionalidad de la máquina, por lo tanto al identificar estos errores a tiempo se garantiza que al momento de realizar las pruebas de campo definitivas se obtengan buenos resultados, la **Tabla 4.8** indica cuales fueron los resultados de dichas pruebas y se lo desarrolla de acuerdo al formato para Protocolo de Pruebas.

**Tabla 4.8.** Resultados de las pruebas de campo.

<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL            FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA            PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO</b>			
<b>1.- DATOS GENERALES</b>			
<b>EQUIPO:</b>	Máquina para remover cascarilla de cacao		
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:</b>	Nancy Imbaquingo Santiago Ortiz		
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Jaime Vargas		
<b>COLABORADORES:</b>	Dr. Víctor Cárdenas Ing. Jorge Escobar		
<b>LUGAR DE LA PRUEBA:</b>	Laboratorio de Máquinas Herramientas FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
<b>FECHA DE LA PRUEBA:</b>	25 de Octubre de 2011		
<b>2.- VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES GENERALES Y PESO</b>			
PARÁMETRO	RESULTADO	SE ACEPTA	NO SE ACEPTA
Alto	150 cm	X	
Largo	147 cm	X	
Ancho	60 cm	X	
Peso	90 kg	X	
<b>3.- VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD Y MONTAJE DE LAS PIEZAS</b>			
PIEZA O ELEMENTO	SE ACEPTA	NO SE ACEPTA	
Rodillos	X		
Engranés	X		
Cadenas	X		
Catarinas	X		
Eje biela-manivela	X		
Tamiz	X		
Estructura	X		
Tolva	X		
Pintura	X		
Lubricación	X		
Ajuste de pernos	X		
<b>4.- FUNCIONAMIENTO EN VACÍO</b>			
SISTEMA O CRITERIO EVALUADO	SE ACEPTA	NO SE ACEPTA	
Transmisión	X		
Descascarador	X		

Tamizador		X	
Estructural		X	
Alimentación		X	
Eléctrico		X	
<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Velocidad angular	30 RPM	X	
<b>5.- FUNCIONAMIENTO CON CARGA</b>			
<b>SISTEMA O CRITERIO EVALUADO</b>		<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Transmisión		X	
Descascarador		X	
Tamizador		X	
Estructural		X	
Alimentación		X	
Calidad del producto obtenido		X	
Nivel de vibraciones		X	
<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
Tamaño producto obtenido	> 5 mm y < 10 mm	X	
Capacidad	220 kg	X	
<b>6.- CONCLUSIÓN</b>			
<b>PROTOTIPO</b>		<b>SE ACEPTA</b>	<b>NO SE ACEPTA</b>
		X	
<b>7.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD</b>			
<b>CARGO</b>	<b>OPERADOR</b>	<b>OPERADORA</b>	<b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>
<b>NOMBRE</b>	Santiago Ortiz	Nancy Imbaquingo	Ing. Jaime Vargas
<b>FIRMA</b>			
<b>FECHA</b>			

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

#### **4.4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Cada uno de los ítems evaluados en las pruebas de campo poseen un rango de aceptación esto depende del tipo de función que cumpla la pieza o elemento, ya que mientras unas piezas exigen tolerancias dimensionales y geométricas, en otras esto no es necesario, es por eso que se debe analizar si el margen de error de las mismas ya sea en dimensión o montaje afecta al funcionamiento de la máquina, en base a este criterio se evalúa la máquina llegando a la conclusión que este prototipo pasa la prueba, es decir cada una de las partes ha sido aceptada según el debido protocolo.

Las dimensiones externas de la máquina permiten que la misma sea instalada en un lugar adecuado donde el área de trabajo de las demás operaciones no se ve interferida. Es importante señalar que en pruebas preliminares se corrigió la altura de la estructura, reduciendo su longitud a fin de garantizar ergonomía para el operador que se encarga de alimentar el cacao en la tolva.

Las piezas tanto fabricadas como seleccionadas cumplen todas las exigencias dimensionales y geométricas, cada una con diferentes tolerancias dependiendo de su funcionalidad, además se verificó que su montaje es correcto. La máquina trabaja satisfactoriamente tanto en vacío como con carga y el producto obtenido tiene buena calidad. La lubricación de la máquina es aceptable y permite alargar la vida útil de los elementos mecánicos.

Las pruebas de campo fueron realizadas en el Laboratorio de Máquinas Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica, en donde se contó con la presencia del Director del proyecto Ing. Jaime Vargas, los Colaboradores Ing. Jorge Escobar, Dr. Víctor Cárdenas y alumnos de la facultad. De estas pruebas de campo se presentan en la Figura 4.11 y la Figura 4.12.



**Figura 4.11.** Realización de pruebas de campo.



**Figura 4.12.** Presentación del funcionamiento de la removedora de cacao.

## **CAPÍTULO V**

### **5. ANÁLISIS DE COSTOS**

En este capítulo se plantea un estudio de los costos generados durante el proceso de diseño y construcción de la máquina, para esto se debe realizar una revisión total del proyecto, con esto se pretende obtener un valor concreto que permita ubicar la máquina dentro de determinados límites que dejarían claro cuánto debe ser la inversión para adquirir la máquina, cabe recalcar que en el presente proyecto se buscó en gran medida obtener una máquina accesible económicamente para un productor artesanal de semielaborados de cacao y chocolate.

Para alcanzar este objetivo se procede a identificar cada uno de los costos como directos e indirectos, es importante agregar una descripción a cada uno de ellos conjuntamente con el precio.

#### **5.1. COSTOS DIRECTOS**

Los costos directos son los gastos que se encuentran directamente involucrados con los materiales directos, elementos normalizados, fabricación y montaje de la máquina a construir.

##### **5.1.1. MATERIALES DIRECTOS**

Corresponde a todos los materiales necesarios para la fabricación de la máquina, es decir los que deben ser maquinados o soldados. Estos se presentan en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1.** Costo de materiales directos.

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>	
<b>1</b>	MESA SOPORTE	Tubo estructural cuadrado (50x50x3)	1	36,96	36,96
<b>2</b>		Tubo estructural cuadrado (70x30x3)	1	38,30	38,30
<b>3</b>		Placa (496x450x5)	1	14	14
<b>4</b>		Placa (300x70x10)	2	2,63	5,26
<b>5</b>		Placa (145x145x5)	1	1,68	1,68
<b>6</b>		Placa (55x125x20)	4	1,79	7,17
<b>7</b>		Placa (60x60x10)	4	2,24	8,96
<b>8</b>		Placa (55x285x10)	2	4,48	8,96
<b>9</b>		Eje AISI 1018 ( $\square=90$ ;L=100)	1	10,08	10,08
<b>10</b>	SISTEMA DE TAMIZADO Y ALIMENTACIÓN	Placa perforada (920x320x3)	1	7,87	7,87
<b>11</b>		Plancha de acero inoxidable(1200x2400x1,5)	2	199,36	398,72
<b>12</b>		Placa (350x30x4)	4	0,672	2,69
<b>13</b>		Eje AISI 1018 ( $\square=20$ ;L=180)	1	1,12	1,12
<b>14</b>		Disco ( $\square=125$ ;e=12)	1	2,576	2,58
<b>15</b>	SISTEMA DE MOTRIZ	Eje AISI 1045 ( $\square=4$ in;L=90)	1	11,20	11,20
<b>16</b>		Eje Aluminio PRODAX ( $\square=90$ ;L=870)	1	350,00	350,00
			<b>Subtotal1</b>	905,52	

**Fuente:** DIPAC, IVAN BOHMAN C.A.

**Elaboración:** Propia

### 5.1.2. ELEMENTOS NORMALIZADOS

El costo que se presenta a continuación abarca el total de los elementos normalizados que constituyen la máquina y se presenta en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2.**Costo de elementos normalizados.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Par chumacera de piso 28550 3/4"	1	22,5	22,5
2	Par chumacera tensora UCT 208	2	65,5	131
3	Rodamientos	6	18,9	113,4
4	Cadenas AISI 40	1	65	65
5	Cadenas AISI 60	1	68,6	68,6
6	Catarina 40 Z-28	1	80,4	80,4
7	Catarina 60 Z-12	1	49,6	49,6
8	Catarina 40 Z-14	1	50,3	50,3
9	Catarina 60 Z-24	1	62,2	62,2
10	Perno hexagonal M20x2,5x40	4	1,2	4,8
11	Perno hexagonal M16x2x30	4	0,64	2,56
12	Perno hexagonal M6x2x16	12	0,12	1,44
13	Perno hexagonal M8x1,25x16	8	0,08	0,64
14	Perno hexagonal M8x1,25x70	5	0,28	1,4
15	Perno hexagonal M16x2x75	6	0,59	3,54
16	Arandela plana SAE (20)	4	0,1	0,4
17	Arandela plana SAE (16)	10	0,06	0,6
18	Arandela plana SAE (6)	12	0,01	0,12
19	Arandela plana SAE (8)	13	0,02	0,26
20	Tuerca paso normal M20x2,5	4	0,5	2
21	Tuerca paso normal M20x2,5	10	0,56	5,6
22	Tuerca paso normal M20x2,5	12	0,02	0,24
23	Tuerca paso normal M20x2,5	13	0,05	0,65
24	Motorreductor	1	1120	1120
			<b>Subtotal 2</b>	<b>1787,25</b>

**Fuente:** Castillo Hermanos, IVAN BOHMAN C.A.

**Elaboración:** Propia

### 5.1.3. MANO DE OBRA DIRECTA

Esto es básicamente el costo de fabricación de las piezas construidas, tomando en cuenta todos los procesos involucrados, considerando el tiempo para fabricar cada pieza y el costo por unidad de tiempo. Además se debe tomar en cuenta el costo de la mano de obra durante el montaje. Los costos de la mano de obra directa se presentan en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3.**Costo de la mano de obra directa.

Ítem	Descripción	Precio Total (USD)
1	Corte	15
2	Torneado	100
3	Fresado	65
4	Soldadura	60
	<b>Subtotal 3</b>	240

**Fuente:** TESPA<sup>49</sup>

**Elaboración:** Propia

## 5.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son los gastos que no se encuentran vinculados directamente en la fabricación de la máquina, es decir no se encuentran plasmados en el equipo, pero son necesarios para su desarrollo.

---

<sup>49</sup> Proyecto Salesiano ciudad de Quito, Solanda sector 4, José María Alemán.

### 5.2.1. MATERIALES INDIRECTOS

Son por lo general materiales consumibles que sirven para fabricar las piezas pero no se presentan en el producto terminado, la Tabla 5.4 lo resume.

**Tabla 5.4.** Costo de los materiales indirectos.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Disco de corte	2	3,47	6,94
2	Disco de desbaste	2	4,368	8,74
3	Pintura anticorrosiva	2	4,144	8,29
4	Electrodo E6011(kg)	1	2,464	2,46
5	Electrodo ER308L(kg)	0,5	19,04	9,52
<b>Subtotal 1</b>				<b>35,95</b>

**Fuente:** DIPAC

**Elaboración:** Propia

### 5.2.2. GASTOS ADICIONALES

Corresponde a las actividades principales las cuales involucran las primeras fases del diseño y también representan un costo agregado a la máquina.

En la Tabla 5.5 se detallan todos los costos adicionales que intervienen en la construcción de la máquina.

**Tabla 5.5.**Costos adicionales.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Estudios	1	100,00	100,00
2	Trabajo de campo	1	200,00	200,00
3	Diseño	1	100,00	100,00
			<b>Subtotal 2</b>	400,00

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

### 5.3. COSTO TOTAL

Finalmente se puede determinar el costo total de la máquina mediante la suma de los costos directos e indirectos, este resultado puede observarse en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6.** Costo Total.

MATERIALES DIRECTOS	905,52
ELEMENTOS NORMALIZADOS	1787,25
MANO DE OBRA DIRECTA	240
MATERIALES INDIRECTOS	35,95
GASTOS ADICIONALES	400,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>3368,72</b>

**Fuente:** Propia

**Elaboración:** Propia

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

La máquina construida permite separar la cáscara del grano de cacao del cotiledón mediante un proceso de aplastamiento de la materia prima a través de rodillos y su velocidad de procesamiento permite cumplir con la capacidad de producción preestablecida, de esta manera se observa cumplido el objetivo principal del presente proyecto de titulación.

La máquina desarrollada está dentro del alcance económico de un productor artesanal de semielaborados de cacao, ya que el costo total no es excesivo y además su inversión queda totalmente justificada por el hecho de tecnificar la cadena de producción de estos productos y aumentar la productividad de la microempresa.

Al analizar el proceso de descascarillado manual de cacao desde el punto de vista de un diagrama de operaciones, éste forma parte de la ruta crítica debido a que se generan un sinnúmero de tiempos muertos, gracias a la implementación de esta máquina en el proceso de producción se reducen los tiempos muertos, las ventajas son muchas siendo la principal la reducción de costos.

Sin duda el sector que más se beneficia con el desarrollo de esta máquina son los medianos productores de semielaborados de cacao y chocolates, de esta manera se impulsa el desarrollo del sector y se incentiva el crecimiento de la industria, afectando de manera positiva a la economía nacional. Es importante no descuidar los avances en cuanto al procesamiento del cacao y cada vez mejorar su tratamiento a fin de aumentar su valor agregado.

El diseño de este prototipo permite sobredimensionar piezas, elementos y hasta el motorreductor ya que siendo el objetivo construir una sola máquina resultaría mucho más costosa si se utilizara los resultados de los cálculos. Sin embargo hay que tomar en cuenta que para construir estas máquinas en serie se debería afinar el diseño y trabajar con factores de seguridad iguales o cercanos a los mínimos recomendados ya que estas mejoras sustanciales permitirían ahorrar mucho dinero.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Es importante que como paso previo al ingreso de la materia prima a la máquina, ésta sea debidamente clasificada por su tamaño, mediante la utilización de un proceso de tamizado ya sea manual o automático, con ello se pretende evitar atascamientos de los granos en la máquina y que el producto obtenido presente un tamaño de partícula uniforme.

Se recomienda que la máquina debe trabajar en intervalos de cuatro horas con una hora de paro entre ellos a fin de evitar un calentamiento en la máquina que pueda causar un derretimiento de la manteca de cacao, cuyo punto de fusión es un poco superior al calor corporal humano, de esta manera se aprovecharía el tiempo de descanso para limpiar cualquier eventual emplastamiento de material en las ranuras de la máquina y asegurar que la próxima puesta en marcha de la máquina permita obtener el producto procesado con un resultado óptimo.

Se debe tomar en cuenta que para regulación de los rodillos existe únicamente perillas cuya posición debe ser fijada en tres sitios distintos dependiendo del tamaño del grano, y considerando que el operador por lo general no posee un instrumento de medida, se recomienda usar un juego de tres galgas las cuales servirán para calibrar la ubicación de los rodillos.

En cuanto a la limpieza del producto final, es decir separación de: nib de cacao (cotiledón), y corteza, se recomienda usar un proceso por gravedad en el cual se deja caer el producto obtenido de la máquina descascaradora y colocar un ventilador expulse la cáscara a un área diferente a donde cae el cotiledón.

Como medidas a tomar en cuenta para darle una mejora a la máquina en cuanto a los materiales se debería implementar un estudio que revele las ventajas y desventajas de usar un tipo de aluminio en los rodillos versus otro tipo de materiales

tales como: caucho vulcanizado, resinas de alta resistencia, incluso composites o nanomateriales, y a partir de los resultados de este estudio desarrollar nuevos rodillos usando el material que presente las mejores propiedades.

En cuanto al desarrollo de nuevos prototipos o diseños en búsqueda de mayor capacidad es importante considerar en primera instancia el aumento en dimensiones del sistema descascarador, más no un aumento en las revoluciones del motorreductor ya que esto generaría un aumento en las vibraciones lo que afectaría directamente a la vida útil de la máquina, lo que demandaría la utilización de otros elementos que aumentarían el costo del equipo como: losas, plataformas y pernos de anclaje.

## BIBLIOGRAFÍA

- J.E. Shigley y C.R. Mischke, “Diseño en Ingeniería Mecánica”, McGraw Hill; 4ta y 8va ed.
- B.J. Hamrock, B. Jacobson y S.R. Schmid, “Elementos de Máquinas”, McGraw Hill 2000
- R.L. Norton, “Diseño de maquinaria”, McGraw Hill 2000.
- X. Oliver Olivella y C. Agelet de Saracibar Bosch. “Mecánica de medios continuo para ingenieros”. Ediciones UPC, Ed. Alfaomega. (2002).
- Catálogo de bandas GOODYEAR
- Catálogo de cojinetes FAG
- Catálogo de Aceros Bohler
- Catálogo de Aceros de Iván Bohman
- Ingeniero Jaime Vargas T., Folleto de Dibujo Mecánico

# **ANEXOS**

# **ANEXO A. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR**

¡Su motor  
es muy valioso!  
Proteja-lo únicamente con  
productos Siemens:



NO CUIDARLO

**Fuertes y ágiles**  
**Diseño único, con la más alta tecnología**



# motores

# TRIFASICOS



**SIEMENS**

Disponibilidad de repuestos en todo el país



Nuestro amplio conocimiento técnico, que tiene en el mundo más de 100 años de experiencia consolidada, dan como resultado un motor preparado para el futuro: diseño universal y ventajas técnicas y económicas evidentes.

La serie 1LA7 cumple con las exigentes demandas técnicas del mercado, demostrando una vez más, nuestro liderazgo a nivel mundial.

Aquí presentamos las características que identifican esta nueva serie de motores

#### Carcasa

- Diseño unificado en aletas desde el tamaño 71 hasta el tamaño 160.
- Debido a su diseño con aletas posee una mayor conductividad térmica y por lo tanto, una mejor refrigeración.
- Patas integradas, diseñadas para soportar esfuerzos mecánicos exigentes.
- Pieza intermedia integrada a la carcasa.
- Placa de características en acero inoxidable.
- Con bornes de conexión para puesta a tierra.

#### Platillos

- Con un nuevo diseño; más robustos y funcionales, que garantizan un perfecto desempeño ante exigencias mecánicas extremas.

#### Caja de terminales

- Ubicada en la parte superior.
- Entrada de cables de la acometida por dos lados.
- Con bornera de conexión, lo que facilita su manejo.
- Posibilidad de conexión de puesta a tierra.
- Amplia y cómoda, lo que permite cambios de conexión técnicamente seguros.

#### Rodamientos

- De tipo rígidos de bolas, de doble sello y con juego interno C3.
- Libres de mantenimiento.
- Con una vida útil de hasta 20.000 horas de servicio continuo.

#### Protección mecánica

- Con retenedor tipo CD ring en el platillo AS.
- El diseño de la caperuza aumenta la protección del ventilador contra contactos involuntarios.
- Protegido contra chorros de agua en cualquier dirección y contra depósitos de polvo (IP55).

#### Sistema de aislamiento tropicalizado

- Como en todos los motores Siemens, el sistema de aislamiento es apto para usarse con variadores de velocidad.
- Nuestros materiales aislantes y su comportamiento térmico nos permiten garantizar un f.s. de 1,15 para potencias normalizadas.
- Todos nuestros materiales utilizados en la fabricación de la nueva serie, son Clase F.

#### Tensiones de funcionamiento

- La línea estándar tiene tensión conmutable 220/440V, 60HZ.
- Sin embargo, estamos en capacidad de suministrar cualquier tensión requerida, bajo consulta previa.
- Disponible para arranque directo en los tamaños 71, 80, 90 y 112.
- Aptos para arranque directo o estrella-triángulo a partir del tamaño 132.

#### Disminución del nivel de ruido

- Todos los motores de la nueva serie 1LA7 disminuyen el nivel de ruido.

#### Mayor rendimiento

- Con este nuevo diseño se ofrece mayor rendimiento, ahorrando energía.

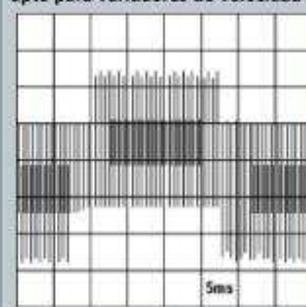
#### Alta eficiencia

A partir de:	HP	RPM
	35	3.600
	30	1.800
	25	1.200

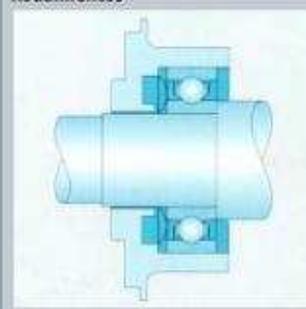
#### Ventajas adicionales

- Diseño moderno, versátil y modular.
- Motor robusto.
- Libre de mantenimiento.
- Intercambiable con las anteriores series (1LA3 y 1LA5).
- Nuestra fábrica posee el Certificado de Aseguramiento de la Calidad ISO9001:2000, según IQNET.

#### Sistema de aislamiento apto para variadores de velocidad



#### Rodamientos



## Motores para cada necesidad

### Datos técnicos nominales

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC	Potencia		F.S.	In		Eficiencia $\eta$	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cto. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m <sup>2</sup>	Peso kg
			HP	KW		220V A	440V A								
25000001108	1LA7 070-4YC60	71M	0,4	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
25000001109	1LA7 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
25000001110	1LA7 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6
25000001111	1LA7 073-4YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
25000001113	1LA7 080-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1
25000001114	1LA7 081-4YA60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1675	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
25000001115	1LA7 083-4YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	72	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0018	9,3
25000001117	1LA7 090-4YA60	90S/L	2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
25000001118	1LA7 094-4YA60	90S/L	2,4	1,79	1,05	7,40	3,70	77	0,86	1690	10,12	2	4,5	0,0035	14,9
25000001119	1LA7 096-4YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
25000001120	1LA7 111-4YA60	112M	4	2,98	1,15	13,00	6,50	76,3	0,79	1750	16,28	2,2	5,6	0,0048	27,1
25000001121	1LA7 112-4YA60	112M	5	3,73	1,15	15,80	7,90	80,5	0,78	1740	20,47	2,3	6,5	0,0058	28,7
25000001122	1LA7 113-4YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,60	9,80	78	0,83	1740	27,02	2	6	0,011	31
25000001123	1LA7 114-4YA60	112M	7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	5,6	0,011	32,7
25000001124	1LA7 131-4YA70	132S/M	10	7,46	1,15	28,80	14,40	81	0,84	1750	40,71	2,3	6	0,018	46,5
25000001125	1LA7 133-4YA70	132S/M	12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	6,6	0,024	49
25000001126	1LA7 134-4YA70	132S/M	15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1750	61,95	1,8	5	0,024	62
25000001127	1LA5 164-4YB70	160 MIL	20	14,92	1,15	53	26,50	85	0,85	1760	80,95	1,8	6,3	0,04	77,5
25000001128	1LA5 167-4YC70	160 MIL	25	18,65	1,15	64	32,00	89	0,87	1755	101,48	1,8	5,4	0,052	85,5
25000001129	1LA4 183-4YA80	180M	30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,83	1755	121,77	2	4,9	0,13	170
25000001130	1LA4 186-4YA80	180L	36	26,86	1,05	93	46,50	91,3	0,83	1760	145,71	2,8	6,8	0,15	190
25000001131	1LA4 187-4YA80	180L	40	29,84	1,05	104	52,00	91,3	0,83	1750	162,83	2	5,6	0,15	190
25000001132	1LA4 207-4YC80	200L	50	37,30	1,15	126	63,00	91,3	0,84	1760	202,38	2,7	6,8	0,24	250
25000001133	1LA6 220-4YA80	225S	60	44,76	1,15	148	74,00	96,2	0,86	1765	242,37	2,7	6,6	0,44	314
25000001134	1LA6 224-4YC80	225M	75	55,95	1,15	188	94,00	92,7	0,86	1780	300,16	2	5,1	0,52	321
26697 <sup>1)</sup>	1LG4 253-4AA60	250M	100	75,00	1,00		120,00	93,3	0,85	1780	355	2,5	6,3	0,69	390
26698 <sup>1)</sup>	1LG4 260-4AA60	280S	125	93,00	1,00		145,00	94,2	0,85	1785	482	2,5	7,4	1,29	520
26699 <sup>1)</sup>	1LG4 283-4AA60	280M	150	111,90	1,00		177,50	94,6	0,86	1785	579	2,5	7,4	1,47	565
26700 <sup>1M)</sup>	1LG4 310-4AA60	315S	200	150	1,00		240,00	94,5	0,84	1783	707	2,6	6,5	2	700
26701 <sup>1M)</sup>	1LG4 313-4AA60	315M	225	168	1,00		265,20	94,8	0,85	1783	848	2,8	6,9	2,46	775
26702 <sup>1M)</sup>	1LG4 316-4AA90-2	315L	275	205	1,10		323,10	95,4	0,86	1783	1.028	2,8	6,9	3,01	955
26703 <sup>1M)</sup>	1LG4 317-4AA90-2	315L	350	261	1,10		409,50	95,7	0,88	1785	1.285	2,8	7	3,91	1050

1) Para tensión de servicio a 220V, favor consultar.

2) Motores de fabricación bajo pedido.

3) Consultar tiempo de entrega.



# **ANEXO B. ESPECIFICACIONES DEL REDUCTOR**

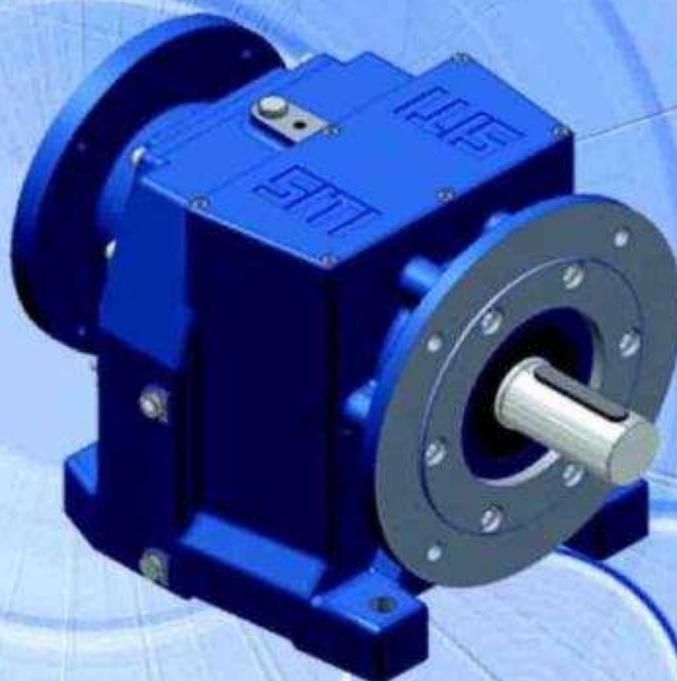
# SITI

SPA

SOCIETÀ ITALIANA TRASMISSIONI INDUSTRIALI



NHL - MNHL



CATALOGO TECNICO - COMMERCIALE



TECHNICAL & COMMERCIAL CATALOGUE



TECHNISCHER HANDELSKATALOG

Sistemas Mecanicos



07/2007

# SITI

## DATI TECNICI GENERALI

### VERSIONI DISPONIBILI

I riduttori della serie NHL vengono costruiti in tre versioni:

- versione con albero in entrata maschio;
- versione motorizzata compatta ad eccezione delle grandezze 90 e 100;
- versione predisposta per attacco motore B5 (PAM).

La versione motorizzata compatta viene realizzata, al momento, soltanto fino alla grandezza 132: pertanto, nelle pagine relative alle motorizzazioni disponibili, si deve intendere che tutte le motorizzazioni indicate per ogni grandezza e rapporto di riduzione sono possibili nella versione PAM B5, ma sono disponibili come compatti solo fino ai motori di grandezza 132.

## GENERAL TECHNICAL DATA

### VERSIONS AVAILABLE

The helical gearboxes of the series NHL are manufactured, at the moment, in three versions:

- gearbox with solid input shaft;
- compact geared motor with the exception of sizes 90 and 100;
- PAM arranged (B5) geared motor.

The compact geared motors are carried out only up to the size 132: therefore, in the pages relating to the available motor sizes, it must be intended that for each size and ratio all the versions indicated are possible as PAM B5, while the compact gear units can be supplied only up to motor size 132 included.

## VERFÜGBARE AUSFÜHRUNGEN

### ALLGEMEINE TECHNISCHE DATEN

Stirnradgetriebe der NHL - Baureihe werden in drei Ausführungen hergestellt:

- mit freier Eingangswelle;
- Kompakte, motorisierte Ausführung mit Ausnahme der Baugrößen 90 und 100;
- zum IEC (B5) Motoranbau geeignete Getriebe.

Die kompakt motorisierten Ausführungen werden momentan nur bis Größe 132 hergestellt; das ist der Grund weil, in den Seiten die sich auf den einstellbaren Motorgroessen beziehen, muss man in Betrachtung halten dass alle Ausführungen fuer jede Groesse und Uebersetzung als IEC (B5) Motoranbau geeigneten Loesungen moeglich sind, waehrend die kompakt motorisierten Getriebe nur bis Groesse 132 geliefert sein koennen.

### PESO DEI RIDUTTORI

### GEARBOXES WEIGHT

### GEWICHT DER UNTERSETZUNGSGETRIEBE

RIDUTTORE GEARBOX UNTERSETZUNGS- GETRIEBE	PESO Kg WEIGHT Kg GEWICHT Kg
NHL 20/2	4,5
NHL 25/2	15,5
NHL 30/2	26
NHL 35/2	28
NHL 40/2	35
NHL 50/2	52
NHL 60/2	104,5
NHL 70/2	160
NHL 90/2	205
NHL 100/2	380
NHL 25/3	14,5
NHL 30/3	25,5
NHL 35/3	27,5
NHL 40/3	34
NHL 50/3	59,5
NHL 60/3	110
NHL 70/3	185
NHL 90/3	230
NHL 100/3	400

## SITI

MNHL 30/2												
n1 (min-1)	l	n2 (min-1)	M2 (N.m)	kW1	HP1	RD	sf	P.A.M.				
2600	2,25	1244,4	56	7,5	10	0,97	1,04			90	100	112
	3,08	909,1	76	7,5	10	0,97	1,04			90	100	112
	3,63	771,3	90	7,5	10	0,97	1,02			90	100	112
	4,72	593,2	86	5,5	8	0,97	1,28			90	100	112
	5,43	515,7	99	5,5	7,5	0,97	1,44			90*	100*	112*
	6,34	441,6	115	5,5	7,5	0,97	1,37			90*	100*	112*
	7,43	376,9	135	5,5	7,5	0,97	1,41			90*	100*	112*
	8,76	319,6	159	5,5	7,5	0,97	1,36			90*	100*	112*
	9,97	280,8	181	5,5	7,5	0,97	1,36			90*	100*	112*
	11,43	245,0	208	5,5	7,5	0,97	1,19			90*	100*	112*
	13,21	212,0	240	5,5	7,5	0,97	1,03			90*	100*	112*
	15,43	181,5	204	4	5,5	0,97	1,21			90*	100*	
	18,29	153,1	133	2,2	3	0,97	1,86		80*	90*		
	20,69	135,3	151	2,2	3	0,97	1,64		80*	90*		
	23,66	118,3	172	2,2	3	0,97	1,44		80*	90*		
	27,43	102,1	200	2,2	3	0,97	1,24	71*	80*	90*		
	32,35	86,6	235	2,2	3	0,97	1,05	71*	80*	90*		
	38,65	72,4	141	1,1	1,5	0,97	1,76	71*	80*			
	43,43	64,5	158	1,1	1,5	0,97	1,57	71*	80*			
	48,76	57,4	177	1,1	1,5	0,97	1,39	71*	80*			
1400	2,25	622,2	60	4	5,5	0,97	1,31			90	100	112
	3,08	454,5	82	4	5,5	0,97	1,30			90	100	112
	3,63	385,7	96	4	5,5	0,97	1,28			90	100	112
	4,72	296,6	125	4	5,5	0,97	1,18			90	100	112
	5,43	257,8	144	4	5,5	0,97	1,32			90*	100*	112*
	6,34	220,8	168	4	5,5	0,97	1,25			90*	100*	112*
	7,43	188,4	197	4	5,5	0,97	1,30			90*	100*	112*
	8,76	159,8	232	4	5,5	0,97	1,25			90*	100*	112*
	9,97	140,4	264	4	5,5	0,97	1,25			90*	100*	112*
	11,43	122,5	303	4	5,5	0,97	1,09			90*	100*	112*
	13,21	106,0	350	4	5,5	0,97	0,94			90*	100*	112*
	15,43	90,7	306	3	4	0,97	1,08			90*	100*	
	18,29	76,5	266	2,2	3	0,97	1,24		80*	90*	100*	
	20,69	67,7	301	2,2	3	0,97	1,09		80*	90*	100*	
	23,66	59,2	344	2,2	3	0,97	0,96		80*	90*	100*	
	27,43	51,0	327	1,8	2,5	0,97	1,01	71*	80*	90*		
	32,35	43,3	385	1,8	2,5	0,97	0,86	71*	80*	90*		
	38,65	36,2	281	1,1	1,5	0,97	1,17	71*	80*	90*		
	43,43	32,2	316	1,1	1,5	0,97	1,04	71*	80*	90*		
	48,76	28,7	355	1,1	1,5	0,97	0,92	71*	80*	90*		
900	2,25	400,0	51	2,2	3	0,97	1,68			90	100	112
	3,08	292,2	70	2,2	3	0,97	1,67			90	100	112
	3,63	247,9	82	2,2	3	0,97	1,64			90	100	112
	4,72	190,7	107	2,2	3	0,97	1,51			90	100	112
	5,43	165,7	123	2,2	3	0,97	1,70			90*	100*	112*
	6,34	142,0	144	2,2	3	0,97	1,61			90*	100*	112*
	7,43	121,1	168	2,2	3	0,97	1,67			90*	100*	112*
	8,76	102,7	198	2,2	3	0,97	1,61			90*	100*	112*
	9,97	90,3	226	2,2	3	0,97	1,61			90*	100*	112*
	11,43	78,7	259	2,2	3	0,97	1,40			90*	100*	112*
	13,21	68,1	299	2,2	3	0,97	1,21			90*	100*	112*
	15,43	58,3	349	2,2	3	0,97	1,04			90*	100*	
	18,29	49,2	207	1,1	1,5	0,97	1,75		80*	90*		
	20,69	43,5	234	1,1	1,5	0,97	1,55		80*	90*		
	23,66	38,0	268	1,1	1,5	0,97	1,36		80*	90*		
	27,43	32,8	311	1,1	1,5	0,97	1,17	71*	80*	90*		
	32,35	27,8	250	0,75	1	0,97	1,45	71*	80*	90*		
	38,65	23,3	219	0,55	0,75	0,97	1,66	71*	80*			
	43,43	20,7	246	0,55	0,75	0,97	1,48	71*	80*			
	48,76	18,5	276	0,55	0,75	0,97	1,32	71*	80*			

(\*) PAM disponibile anche in B14; per eventuali informazioni sugli ingombri, rivolgersi al nostro ufficio tecnico.

(\*) Available also in PAM B14; further information on the outline can be required to our technical department.

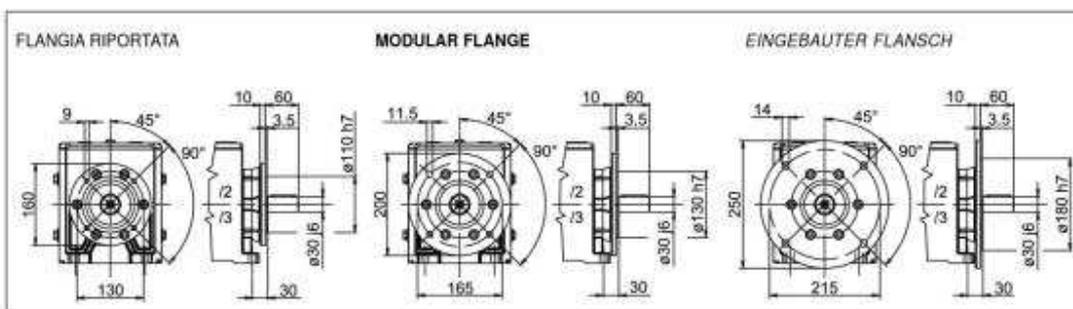
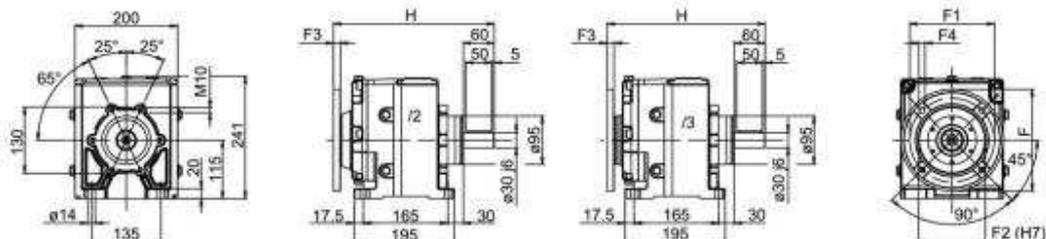
(\*) Bereit auch mit PAM B14; für Informationen über Abmessungen, bitte, wenden Sie sich an unsere Technisch Abteilung.

# SITI

MNHL 30 PAM - MOTORIDUTTORE P.A.M.

MNHL 30 PAM - ARRANGED GEARED MOTORS

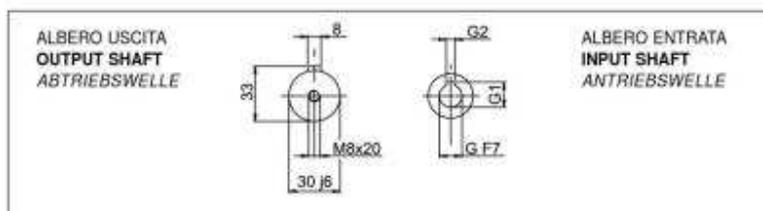
MNHL 30 PAM - GETRIEBE ZUM I.E.C. MOTORANBAU



Nota: Disponibile anche con albero uscita  $\varnothing 28 \text{ j6 mm}$ .

Note: Even available with 28 j6 mm shaft.

Bemerkung: Verfügbar auch mit 28 j6 mm welle.

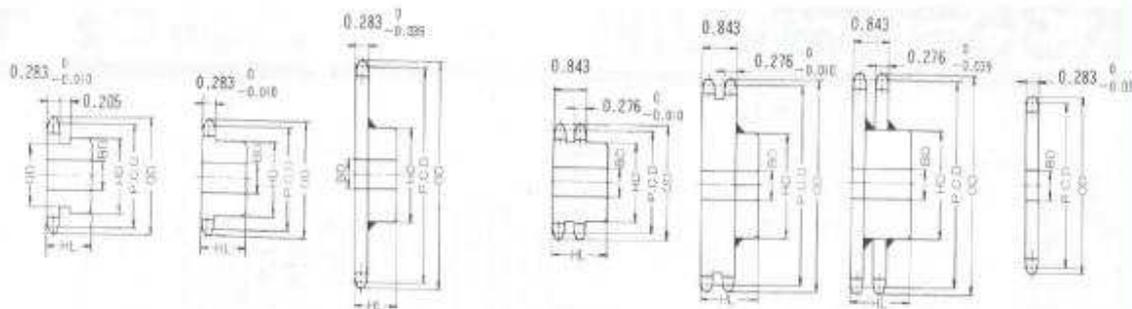


30/2 - 30/3	G	G1	G2	F	F1	F2	F3	F4	H
/2 ... 71 B5	14	16,3	5	160	130	110	10	9	317
/2F ... 71 B5									
/2 ... 80 B5	19	21,8	6	200	165	130	11	11	311
/2F ... 80 B5									
/2 ... 90 B5	24	27,3	8	200	165	130	11	11	311
/2F ... 90 B5									
/2 ... 100-112 B5	28	31,3	8	250	215	180	13	13	311
/2F ... 100-112 B5									
/3 ... 56 B5	9	10,4	3	120	100	80	8	7	318
/3F ... 56 B5									
/3 ... 63 B5	11	12,8	4	140	115	95	12	9	317
/3F ... 63 B5									
/3 ... 71 B5	14	16,3	5	160	130	110	10,5	9	316
/3F ... 71 B5									
/3 ... 80 B5	19	21,8	6	200	165	130	10,5	11	300
/3F ... 80 B5									

# **ANEXO C. ESPECIFICACIONES DE CATARINAS**



# NK 40 ANSI(ASA) STANDAR SPORCKETS



No. of Teeth	Pitch Dia. (P.C.D.)	Outside Dia. (O.D.)	SINGLE B TYPE				SINGLE B TYPE				SINGLE A TYPE			No. of Teeth	
			Bore (OD) Stock	Bore (OD) Max.	Hub HD	Hub HL	Bore (OD) Stock	Bore (OD) Max.	Hub HD	Hub HL	Bore (OD) Stock	Approx. Weight (kg)	Mate-rials		
9	1.462	1.67	0.35	0.63	*1.102	0.866	0.11	0.51	0.63	1.102	1.378	0.28	0.35	0.05	9
10	1.618	1.84	0.39	0.71	*1.260	0.866	0.14	0.55	0.63	1.181	1.378	0.30	0.39	0.05	10
11	1.775	2.00	0.43	0.79	*1.417	0.866	0.19	0.55	0.79	1.378	1.378	0.34	0.43	0.09	11
12	1.932	2.17	0.43	0.87	*1.575	0.866	0.22	0.55	0.87	1.535	1.378	0.40	0.43	0.10	12
13	2.089	2.33	0.55	0.79	1.457	0.866	0.23	0.55	0.98	1.693	1.378	0.47	0.55	0.12	13
14	2.247	2.49	0.55	0.98	1.654	0.866	0.28	0.55	1.10	1.850	1.378	0.55	0.55	0.14	14
15	2.405	2.65	0.55	1.10	1.811	0.866	0.34	0.55	1.18	1.969	1.378	0.65	0.55	0.16	15
16	2.563	2.81	0.55	1.18	1.969	0.866	0.40	0.55	1.26	2.126	1.378	0.75	0.55	0.20	16
17	2.721	2.98	0.55	1.26	2.126	0.866	0.46	0.55	1.50	2.323	1.378	0.85	0.55	0.23	17
18	2.879	3.14	0.55	1.38	2.244	0.866	0.51	0.55	1.65	2.480	1.378	0.98	0.55	0.26	18
19	3.036	3.30	0.55	1.57	2.441	0.866	0.59	0.55	1.77	2.638	1.575	1.30	0.59	0.29	19
20	3.196	3.46	0.59	1.77	2.638	0.984	0.76	0.55	1.77	2.677	1.575	1.30	0.59	0.29	20
21	3.355	3.62	0.59	1.89	2.795	0.984	0.85	0.55	1.89	2.835	1.575	1.50	0.59	0.30	21
22	3.513	3.78	0.59	2.01	2.953	0.984	0.95	0.55	2.01	3.031	1.575	1.60	0.59	0.38	22
23	3.672	3.94	0.59	2.01	3.031	0.984	1.00	0.55	2.17	3.150	1.575	1.80	0.59	0.40	23
24	3.831	4.10	0.59	1.65	2.480	0.984	0.84	0.71	2.24	3.307	1.575	2.00	0.59	0.45	24
25	3.989	4.26	0.59	1.65	2.480	0.984	0.88	0.71	2.36	3.465	1.575	2.20	0.59	0.49	25
26	4.148	4.42	0.59	1.65	2.480	0.984	0.92	0.71	2.36	3.622	1.575	2.30	0.59	0.50	26
27	4.307	4.57	0.59	1.65	2.480	0.984	0.96	0.71	2.60	3.780	1.575	2.50	0.59	0.56	27
28	4.466	4.74	0.59	1.65	2.480	0.984	1.00	0.71	2.60	3.937	1.575	2.80	0.59	0.60	28
29	4.624	4.88	0.59	1.65	2.480	0.984	1.00	0.71	2.60	3.937	1.575	2.80	0.59	0.60	29
30	4.783	5.05	0.59	1.65	2.480	0.984	1.10	0.91	2.60	3.937	1.969	3.05	0.59	0.65	30
31	4.942	5.20	0.59	1.77	2.677	1.102	1.20	0.91	2.60	3.937	1.969	3.10	0.59	0.70	31
32	5.101	5.36	0.59	1.77	2.677	1.102	1.30	0.91	2.60	3.937	1.969	3.50	0.59	0.75	32
33	5.260	5.51	0.59	1.77	2.677	1.102	1.30	0.91	2.60	3.937	1.969	3.80	0.59	0.80	33
34	5.419	5.67	0.59	1.77	2.677	1.102	1.30	0.91	2.60	3.937	1.969	3.80	0.59	0.80	34
35	5.578	5.86	0.59	1.77	2.677	1.102	1.40	0.91	2.60	3.937	1.969	3.80	0.59	0.85	35
36	5.737	6.02	0.87	1.77	2.677	1.102	1.50	0.91	2.60	3.937	1.969	3.30	0.71	0.90	36
37	5.896	6.18	0.87	1.77	2.677	1.102	1.55	0.91	2.60	3.937	1.969	3.50	0.71	0.99	37
38	6.055	6.34	0.87	1.77	2.677	1.102	1.60	0.91	2.60	3.937	1.969	3.50	0.71	1.00	38
39	6.214	6.50	0.87	1.77	2.677	1.102	1.65	0.91	2.60	3.937	1.969	3.80	0.71	1.15	39
40	6.373	6.65	0.87	1.77	2.677	1.102	1.70	0.91	2.60	3.937	1.969	3.80	0.71	1.20	40
41	6.532	6.81	0.71	1.89	2.874	1.260	2.00	0.91	2.48	3.661	1.969	4.00	0.71	1.20	41
42	6.691	6.97	0.71	1.89	2.874	1.260	2.05	0.91	2.48	3.661	1.969	4.00	0.71	1.25	42
43	6.850	7.13	0.71	1.89	2.874	1.260	2.10	0.91	2.48	3.661	1.969	4.00	0.71	1.30	43
44	7.009	7.28	0.71	1.89	2.874	1.260	2.17	0.91	2.48	3.661	1.969	4.00	0.71	1.35	44
45	7.168	7.45	0.71	1.89	2.874	1.260	2.25	0.91	2.48	3.661	1.969	4.00	0.71	1.40	45
46	7.645	7.93	0.71	1.89	2.874	1.260	2.45	0.91	2.48	3.661	1.969	5.00	0.71	1.63	46
50	7.963	8.23	0.71	1.89	2.874	1.260	2.60	0.91	2.48	3.661	1.969	5.50	0.71	1.80	50
54	6.599	8.09	0.71	1.89	2.874	1.260	2.80	0.91	2.48	3.661	1.969	5.80	0.71	2.00	54
60	9.554	8.84	0.71	1.89	2.874	1.260	3.40	0.91	2.48	3.661	1.969	6.70	0.71	2.60	60
65	10.349	10.63	0.79	2.17	3.268	1.260	4.10	0.91	2.48	3.661	1.969	10020	0.79	3.00	65
70	11.145	11.43	0.79	2.17	3.268	1.260	4.57	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	3.50	70
72	11.463	11.75	0.79	2.17	3.268	1.260	4.80	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	3.70	72
75	11.940	12.24	0.79	2.17	3.268	1.260	5.10	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	4.00	75
80	12.736	13.03	0.79	2.36	3.465	1.378	5.90	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	4.60	80
84	13.372	13.67	0.79	2.36	3.465	1.378	6.40	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	5.10	84
85	13.531	13.82	0.79	2.36	3.465	1.378	6.50	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	5.20	85
90	14.327	14.61	0.79	2.36	3.465	1.378	7.15	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	5.80	90
92	14.845	14.92	0.79	2.36	3.465	1.378	7.40	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	6.10	92
95	15.122	15.44	0.79	2.36	3.465	1.378	7.80	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	6.50	95
96	15.282	15.52	0.79	2.36	3.465	1.378	8.00	0.91	2.48	3.661	1.969	11.50	0.79	6.60	96



# **ANEXO D. ESPECIFICACIONES PARA CÁLCULO DE CADENAS**

**Table 17-15**

Suggested Service  
Factors  $K_S$  for V-Belt  
Drives

Driven Machinery	Source of Power	
	Normal Torque Characteristic	High or Nonuniform Torque
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.1 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.2 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.3 to 1.5	1.5 to 1.8

**Table 17-20**

Rated Horsepower  
Capacity of Single-  
Strand Single-Pitch Roller  
Chain for a  
17-Tooth Sprocket

Source: Compiled from ANSI  
B29.1-1975 information  
only section, and from  
B29.9-1958.

Sprocket Speed, rev/min	ANSI Chain Number					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30*	1.01*	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44*	1.46*	3.45*	1.90*	6.72*	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56*	1.89*	4.48*	2.46*	8.71*	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1000	0.68*	2.31*	5.48	3.01	10.7	18.3
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1400	0.93*	3.13*	7.41	2.61	14.4	18.1
1600	1.05*	3.53*	8.36	2.14	12.8	14.8
1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2000	1.27*	4.32*	7.72*	1.52*	9.23*	10.6
2500	1.56	5.28	5.51*	1.10*	6.58*	7.57
3000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76
	<b>Type A</b>		<b>Type B</b>		<b>Type C</b>	

\*Estimated from ANSI tables by linear interpolation.

Note: Type A—manual or dip lubrication; type B—bath or disk lubrication; type C—oil-stream lubrication.

**Table 17-22**Tooth Correction  
Factors,  $K_1$ 

Number of Teeth on Driving Sprocket	$K_1$ Pre-extreme Horsepower	$K_1$ Post-extreme Horsepower
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
$N$	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

**Table 17-23**Multiple-Strand  
Factors  $K_2$ 

Number of Strands	$K_2$
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0

**Table 17-19**

Dimensions of American  
Standard Roller  
Chains—Single Strand

Source: Compiled from ANSI  
B29.1-1975.

ANSI Chain Number	Pitch, in (mm)	Width, in (mm)	Minimum Tensile Strength, lbf (N)	Average Weight, lbf/ft (N/m)	Roller Diameter, in (mm)	Multiple-Strand Spacing, in (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

## **ANEXO E. MATERIALES**

## 760=ASI 1045

### Acero al carbono para maquinaria



**GENERALIDADES:** Acero al carbono sin alea de esmerada manufactura, con buena tenacidad.

Característica es su alta uniformidad rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido.

Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB

#### ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S
760	0.50	0.30	0.60	--	0.04
AISI 1045	0.43-0.50	--	0.60-0.90	0.040	0.050

#### EQUIVALENCIAS:

<b>AISI</b>	1045
<b>SAE</b>	C1045
<b>W.Nr</b>	1.1820

<b>DIN</b>	CK45
<b>UDDEHOLM</b>	UHB11

#### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Resistencia a la Tracción	65kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de cedencia	32kg/mm <sup>2</sup>
Elongación, A5	min 10%
Reducción de area	40%
Dureza	220-235

#### APLICACIONES:

Componentes sencillos, como por ej:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

#### TRATAMIENTO TÉRMICO:

800-1050 °C
830-850 °C
770-810 °C
790-830 °C
100-300 °C
550-650 °C

Forjado  
Normalizado  
Temple (agua)  
Temple (aceite)  
Revenido(herramientas de corte)  
Revenido de bonificación

#### MEDIDAS EN STOCK

#### REDONDO

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
100	4	61.7
115	4 1/2	81.5
125	5	96.3
150	6	139.0
170	6 11/16	178.0
180	7 1/8	199.0
190	7 1/2	222.3
200	7 7/8	250.1
230	9	326.4
250	9 7/8	383.1
305	12 1/64	576.0
350	13 25/32	756.0

Nota: Laminado en caliente

#### CUADRADO

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
6x6	1/4x1/4	0.3
8x8	5/16x5/16	0.5
10x10	3/8x3/8	0.8
12x12	1/2x1/2	1.2
16x16	5/8x5/8	2.1
20x20	25/32x25/32	3.2
25x25	1x1	5.0
30x30	1 3/16x1 3/16	7.2
35x35	1 3/8x1 3/8	9.8
40x40	1 9/16x1 9/16	12.6
45x45	1 3/4x1 3/4	15.9
50x50	2x2	19.6
60x60	2 3/8x2 3/8	28.3
70x70	2 3/4x2 3/4	39.0
80x80	3 5/32x3 5/32	50.2
90x90	3 9/16x3 9/16	63.6

Nota: 6x6 ⇨ 12x12 Laminado en frío  
Resto: Laminado en caliente

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
10x40	3/8x1 9/16	3.2
10x150	3/8x6	11.8
12x40	15/32x1 9/16	3.9
12x60	1/2x2 3/8	5.7
15x100	19/32x3 15/16	11.9
15x150	19/32x6	18.5
20x50	25/32x1 31/32	8.0
20x70	25/32x2 3/4	11.0
20x80	25/32x3 35/32	12.6
20x100	25/32x3 15/16	15.8
20x120	25/32x4 3/4	18.8
20x150	25/32x6 1/6	23.6
25x50	1x1 31/32	9.9
25x80	1x3 5/32	15.7
25x250	1x9 27/32	49.1
30x50	13/16 x 2	11.8
30x70	1 3/16x2 3/4	16.6
30x80	1 3/16x3 5/32	18.8
30x90	1 3/16x3 17/32	21.3
60x100	2 3/8x3 15/16	47.5

Nota: Laminado en caliente

## REDONDO

APROX. PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
5/8	1.6
3/4	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/4	6.2
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3	35.8
3 1/2	48.7

Nota: Tolerancia h9 - h11

**Eje de transmisión - Tolerancia h10-h11**

**GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.

**ANÁLISIS TÍPICO %**

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Propiedad	Laminado en Frío
Esfuerzo de cedencia, kg/mm <sup>2</sup>	mín. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm <sup>2</sup>	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	52%
Dureza	163HB

**APLICACIONES**

Donde se requiere aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de maquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

**MEDIDAS EN STOCK****REDONDO**

PULGADAS	MM APROX.
1/4	0.28
5/16	0.4
3/8	0.6
1/2	1.0
3/4	1.6
5/8	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/4	5.0
1 1/8	6.2
1 3/8	7.5
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3 1/4	35.8
3 1/2	42.0
3 3/4	48.7
4 1/2	55.9
5 1/2	63.6
3	80.5
4	99.4
5	120.2
6	143.1
7	197.0
8	255.0
9	397.0
10	328.5

# UHB•Prodax

## ASSAB Prodax



### Aluminio de Alta Resistencia

#### General

*PRODAX* es una aleación de aluminio de alta resistencia, laminado en caliente, que se entrega en placas tratadas térmicamente. Las mismas son sometidas a una operación especial de estiramiento en frío para el máximo alivio de tensiones. Dado su alta resistencia y buena estabilidad, *PRODAX* se ha convertido en un material ampliamente utilizado en la industria de moldes y matrices. Condición de entrega: Tratado térmicamente a 164–168 Brinell.

*PRODAX* posee las siguientes características, que lo hacen apropiado para distintos tipos de herramientas, especialmente moldes para plásticos:

- **Excelente mecanizado**

Altas velocidades de corte, tiempos de mecanizado reducidos, menos costo de herramental, entregas más rápidas.

- **Bajo Peso**

Su bajo peso (aproximadamente la tercera parte del peso del acero), hace el manejo del herramental más fácil y sencillo. Su baja inercia hace posible acelerar el tiempo de cierre y apertura de los moldes.

- **Alta Conductividad térmica**

Se reduce el tiempo de los ciclos y se pueden utilizar sistemas de enfriamiento menos complicados.

- **Buena estabilidad**

La operación especial de alivio de tensiones garantiza una deformación mínima durante y luego del mecanizado.

- **Buena resistencia a la corrosión**

Buena resistencia contra todos los plásticos utilizados habitualmente.

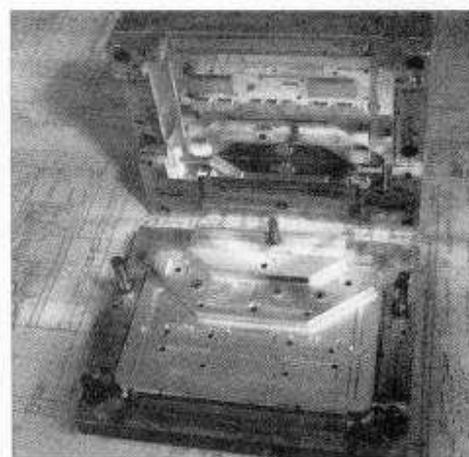
- **Apropiado para tratamientos superficiales**

*PRODAX* es adecuado para realizar anodizado duro, cromado duro o níquelado, para incrementar su dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión.

#### Areas de aplicación

Las propiedades y características que ofrece *PRODAX* lo hacen un material ideal para prototipos y para el moldeo de series cortas o medianas que estén expuestas a presiones altas o plásticos abrasivos. La considerable reducción en los tiempos de preparación de un molde, el menor costo de herramental y los ciclos más cortos, significan valiosos ahorros tanto para el fabricante del molde, como para el usuario final, cuando se utiliza *PRODAX*.

Categoría del herramental	Proto- tipos	Series Cortas	Series Medianas	Series Largas
Moldes de soplado	X	X	X	X
Formado al Vacío	X	X	X	X
Moldeado de espuma	X	X	X	(X)
Moldes	X	X	X	(X)
Moldes de inyección de termoplásticos	X	X	(X)	
Moldeo de goma	X	X		
Placas contenedoras y de apoyo, guías y sujetadores				



## Propiedades Físicas

Valores a temperatura ambiente, salvo donde se indique específicamente lo contrario.		
Densidad	kg/m <sup>3</sup> lbs/pulg <sup>3</sup>	2.830 0.102
Módulo de elasticidad	N/mm <sup>2</sup> p.s.i.	71.500 10.3 x 10 <sup>6</sup>
Coefficiente de expansión térmica, por °C, de 20°C a 100°C por °F (68-212°F)		23 x 10 <sup>-6</sup> 12,8 x 10 <sup>-6</sup>
Conductividad térmica	W/m·C Btu pulg/(pie·h·°F)	165 1.144
Calor específico	J/kg·°C Btu/lb·°F	890 0.20

## Propiedades Mecánicas

### Resistencia a la tracción

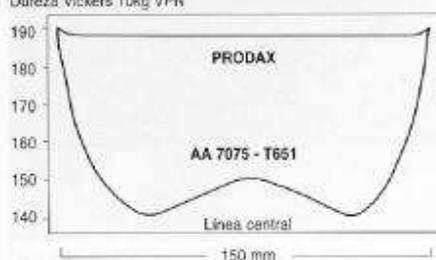
Los valores de resistencia a la tracción, los que por motivos prácticos se pueden comparar con los valores de resistencia a la compresión, deben tomarse como típicos.

Valores a temperatura ambiente para distintos espesores de placa.		
Placas (espesor) mm	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>
>10-50	590	550
>50-100	570	520
>100-150	550	500
>150-200	535	485
>200-300	430	365
Barras redondas (diámetro) mm		
40	680	630
100	880	820
200	670	610

Debe hacerse notar que las placas han sido testeadas transversalmente, mientras que las barras redondas lo han sido en forma longitudinal.

## Distribución de dureza en sección transversal de placa

Dureza Vickers 10kg VPN



## Mecanizado

Los datos de corte indicados a continuación deben considerarse como valores de guía, y deberán ser adaptados a las condiciones locales existentes.

### Torneado

	Torneado grueso con metal duro	Torneado fino con metal duro	Torneado fino con PCD <sup>1</sup>	Torneado con acero rápido
Velocidad de corte (v <sub>c</sub> ) m/min a.p.m.	600-1200 1980-3960	1200-2500 3960-8250	600-1500 1980-4950	250-300 825-990
Avance (a) mm/r i.p.r.	0.3-1.0 0.012-0.04	-0.3 -0.012	-0.3 -0.012	-0.3 -0.012
Profundidad de corte (a <sub>p</sub> ) mm pulgadas	2-6 0.08-0.24	-2 -0.08	-3 -0.12	-3 -0.12
Designación del metal duro ISO	K20	K10	-	-

<sup>1</sup> Diamante policristalino

### Fresado

Fresado frontal y de escuadrado				
	Fresado grueso con metal duro	Fresado fino con metal duro	Fresado fino con PCD <sup>1</sup>	Fresado con acero rápido
Velocidad de corte (v <sub>c</sub> ) m/min a.p.m.	600-1000 1980-3300	1000-3000 3300-9900	800-4000 2650-13200	250-400 825-1320
Avance (f) mm/diente pulg./diente	0.2-0.6 0.008-0.024	0.1-0.2 0.004-0.008	0.05-0.2 0.002-0.008	-0.4 -0.016
Profundidad de corte (a <sub>p</sub> ) mm pulgadas	2-8 0.08-0.32	-2 -0.08	-2 -0.08	-8 -0.32
Designación del metal duro ISO	K20	K10	-	-

<sup>1</sup> Diamante policristalino

Fresado de acabado			
	Placa sólida de metal duro	Inserto indexable de metal duro	Acero rápido
Velocidad de corte (v <sub>c</sub> ) m/min a.p.m.	300-500 990-1650	300-500 990-1650	120-250 400-825
Avance (f) mm/diente pulg./diente	0.03-0.20 <sup>1</sup> 0.001-0.008 <sup>1</sup>	0.06-0.20 <sup>1</sup> 0.003-0.008 <sup>1</sup>	0.05-0.35 <sup>1</sup> 0.002-0.014 <sup>1</sup>
Designación del metal duro ISO	K20	K20	-

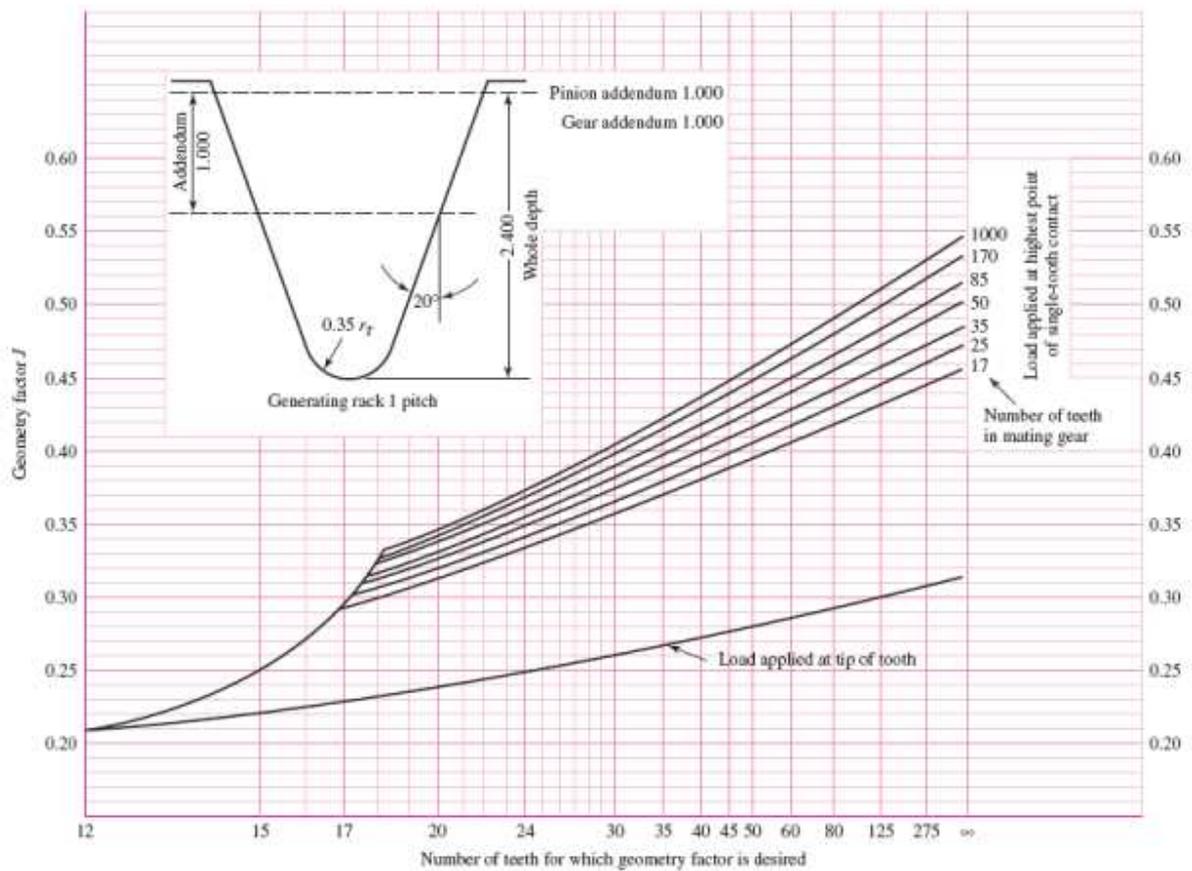
<sup>1</sup> Dependiendo de la profundidad de corte radial y del diámetro del corte.

**ANEXO F. TABLAS Y CURVAS PARA EL  
CÁLCULO DE ENGRANES**

**Table 14-2**

Values of the Lewis Form Factor  $Y$  (These Values Are for a Normal Pressure Angle of  $20^\circ$ , Full-Depth Teeth, and a Diametral Pitch of Unity in the Plane of Rotation)

Number of Teeth	$Y$	Number of Teeth	$Y$
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Rack	0.485



**Figure 14-6**

Spurgear geometry factors  $J$ . Source: The graph is from AGMA 218.01, which is consistent with tabular data from the current AGMA 908-B89. The graph is convenient for design purposes.

## Factores de tamaño para dientes de engranes

Paso $P$	Factor $k_s$	Paso $P$	Factor $k_s$
2	0.832	6	0.925
$2\frac{1}{2}$	0.850	7	0.939
3	0.865	8	0.951
4	0.890	10	0.972
5	0.909	12	0.990

**Table 6-5**

Reliability Factors  $k_e$   
Corresponding to  
8 Percent Standard  
Deviation of the  
Endurance Limit

Reliability, %	Transformation Variate $z_e$	Reliability Factor $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

## Factor de corrección por sobrecarga

Driven Machine			
Power source	Uniform	Moderate shock	Heavy shock
Uniform	1.00	1.25	1.75
Light shock	1.25	1.50	2.00
Medium shock	1.50	1.75	2.25

Factores de distribución de carga  $C_m$  y  $K_m$  para engranes rectos

Características de montaje	Ancho de cara, pulg			
	0-2	6	9	16 o más
Exacto, con pequeña holgura en cojinetes, flexión mínima del eje, engranes de precisión	1.2	1.3	1.4	1.7
Menos rígido, engranes menos exactos, contacto a través de toda la cara	1.5	1.6	1.7	2.0
Exactitud y montaje tales que existe un contacto menor que el largo de cara completa	más de 2.0			

*Fuente: Darle W. Dudley (dir. ed), Gear Handbook, McGraw-Hill Nueva York, 1962, pp. 13-23.*

## Factores de modificación de vida y confiabilidad

Ciclos de vida	Factor de vida $C_L$	Confiabilidad $R$	Factor de confiabilidad $C_R$
$10^4$	1.5	Hasta 0.99	0.80
$10^5$	1.3	0.99 a 0.999	1.00
$10^6$	1.1	0.999 o más	1.25 o más
$10^8$ o más	1.0		

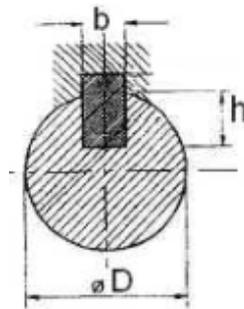
## Coeficiente Elástico para engranes rectos y helicoidales

Pinion Material	Pinion Modulus of Elasticity $E_p$ , psi (MPa)*	Gear Material and Modulus of Elasticity $E_G$ , lbf/in <sup>2</sup> (MPa)*				
		Steel $30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	Malleable Iron $25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Nodular Iron $24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Cast Iron $22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	Aluminum Bronze $17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )
Steel	$30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	2300 [191]	2180 [181]	2160 [179]	2100 [174]	1950 [162]
Malleable iron	$25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2180 [181]	2090 [174]	2070 [172]	2020 [168]	1900 [158]
Nodular iron	$24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2160 [179]	2070 [172]	2050 [170]	2000 [166]	1880 [156]
Cast iron	$22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	2100 [174]	2020 [168]	2000 [166]	1960 [163]	1850 [154]
Aluminum bronze	$17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	1950 [162]	1900 [158]	1880 [156]	1850 [154]	1750 [145]

**ANEXO G. TABLAS Y CURVAS PARA  
EL CÁLCULO DE EJES**

### Deducción de las fórmulas de esfuerzo cortante y esfuerzo axial

De acuerdo al esquema indicado se define como “a” la distancia desde la parte superior de la circunferencia (eje) hasta la línea secante del agujero para la chaveta; “b” es el ancho de la chaveta y “h” la profundidad del agujero en un eje de diámetro “D”.



- **Determinación del centro de gravedad:**

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A}$$

$$\sum \bar{y}A = \bar{y}_{(\text{círculo})} * A + \bar{y}_{(\text{rectángulo})} * A$$

$$\sum \bar{y}A = \left(\frac{d}{2} - \frac{h}{2} - a\right) * b * h$$

$$\bar{y} = \frac{\left(\frac{d}{2} - \frac{h}{2} - a\right) * b * h}{\frac{\pi * d^2}{4} - b * h}$$

- **Determinación del momento de inercia y momento polar de inercia:**

$$I_{total} = I_{círculo} - I_{rectángulo}$$

$$I_{círculo} = \frac{\pi * d^2}{64}$$

$$I_{rectángulo} = I_{rectángulo} + A * d^2 = \left[ \frac{b * h^3}{12} + b * h \left( \frac{d}{2} - \frac{h}{2} - a \right)^2 \right]$$

$$I_{total} = \left( \frac{\pi * d^2}{64} \right) - \left[ \frac{b * h^3}{12} + b * h \left( \frac{d}{2} - \frac{h}{2} - a \right)^2 \right]$$

Se asume que  $a \approx 0$ , entonces:

$$I_{total} = \left( \frac{\pi * d^2}{64} \right) - \left[ \frac{b * h^3}{12} + b * h \left( \frac{d}{2} - \frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

$$J_{total} = \left( \frac{\pi * d^2}{32} \right) - \left[ \frac{b * h^3}{12} + b * h \left( \frac{d}{2} - \frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

- **Deducción de las fórmulas de esfuerzo cortante y esfuerzo axial:**

$$\sigma = \frac{M * c}{I} ; \quad c = d/2$$

$$\sigma = \frac{M * d/2}{\left\{ \pi * d^4 / 64 - \left[ \frac{b * h^3}{12} + b * h \left( \frac{d}{2} - \frac{h}{2} \right)^2 \right] \right\}}$$

$$\tau = \frac{T * c}{J} ; \quad c = d/2$$

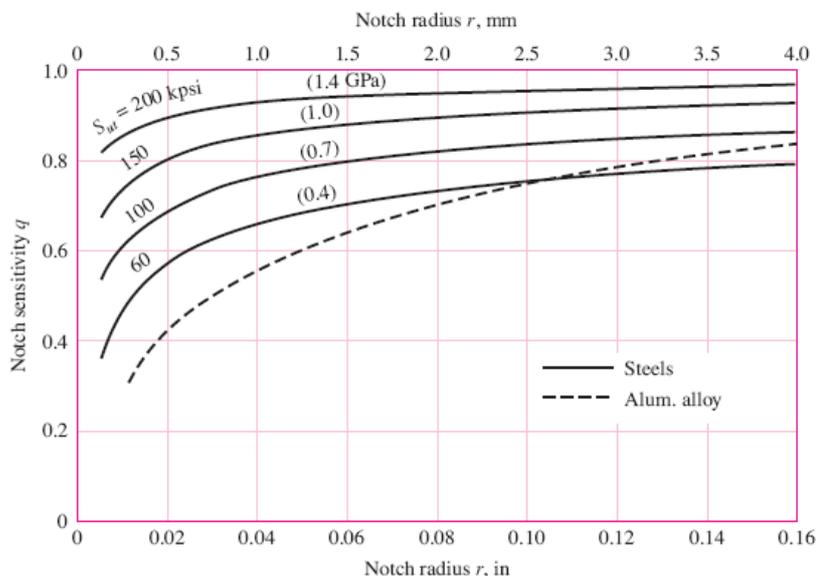
$$\tau = \frac{T * d/2}{\left\{ \pi * d^4 / 32 - \left[ b * h^3 / 12 + b * h (d/2 - h/2)^2 \right] \right\}}$$

Tabla de dimensiones en pulgadas para algunas aplicaciones de chavetas rectangulares y cuadradas estándar. [Tomado de Joseph E. Shigley, 2004]

<b>Shaft Diameter</b>		<b>Key Size</b>		<b>Keyway Depth</b>
<b>Over</b>	<b>To (Incl.)</b>	<b>w</b>	<b>h</b>	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

**Figure 6-20**

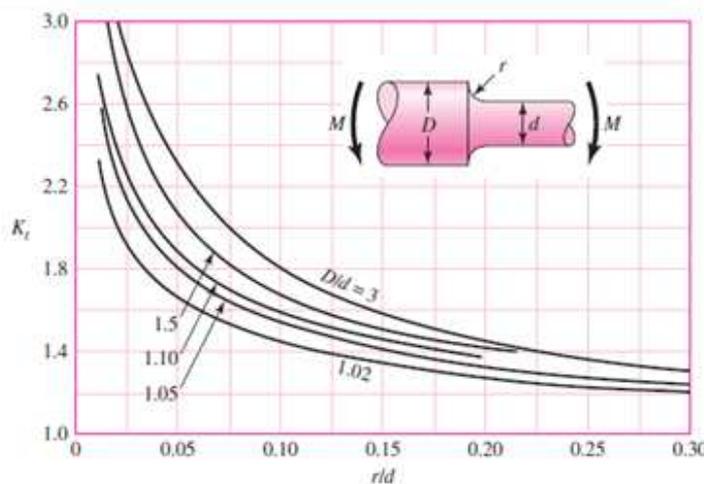
Notch-sensitivity charts for steels and UNS A92024-T wrought aluminum alloys subjected to reversed bending or reversed axial loads. For larger notch radii, use the values of  $q$  corresponding to the  $r = 0.16$ -in (4-mm) ordinate. (From George Sines and J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1969 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.)



Diagramas para factores teóricos de concentración de esfuerzo  $K_t$ .

**Figura A6**

Round shaft with shoulder fillet in bending.  $\sigma_0 = Mc/l$ , where  $c = d/2$  and  $I = \pi d^4/64$ .



**ANEXO H. SELECCIÓN DE  
RODAMIENTOS Y CHUMACERAS**

Factor de velocidad  $f_n$  para rodamientos de bolas

n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$
r. p. m.		r. p. m.		r. p. m.	
10	1,494	100	0,693	450	0,420
12	1,406	106	0,682	460	0,417
14	1,336	110	0,672	470	0,414
16	1,277	116	0,662	480	0,411
18	1,228	120	0,652	490	0,408
20	1,186	125	0,644	500	0,406
22	1,148	130	0,635	520	0,400
24	1,116	136	0,627	540	0,395
26	1,086	140	0,620	560	0,390
28	1,060	145	0,613	580	0,386
30	1,036	150	0,606	600	0,382
32	1,014	155	0,599	620	0,378
34	0,994	160	0,593	640	0,374
36	0,975	165	0,586	660	0,370
38	0,958	170	0,581	680	0,366
40	0,941	175	0,575	700	0,363
42	0,926	180	0,570	720	0,359
44	0,912	185	0,565	740	0,356
46	0,898	190	0,560	760	0,353
48	0,885	195	0,555	780	0,350
50	0,874	200	0,550	800	0,347
52	0,863	210	0,541	820	0,344
54	0,851	220	0,533	840	0,341
56	0,841	230	0,525	860	0,339
58	0,831	240	0,518	880	0,336
60	0,822	250	0,511	900	0,333
62	0,813	260	0,504	920	0,331
64	0,805	270	0,498	940	0,329
66	0,797	280	0,492	960	0,326
68	0,788	290	0,487	980	0,324
70	0,781	300	0,481	1 000	0,322
72	0,774	310	0,476	1 050	0,317
74	0,767	320	0,471	1 100	0,312
76	0,760	330	0,466	1 150	0,307
78	0,753	340	0,461	1 200	0,303
80	0,747	350	0,457	1 300	0,295
82	0,741	360	0,453	1 400	0,288
84	0,735	370	0,448	1 500	0,281
86	0,729	380	0,444	1 600	0,275
88	0,724	390	0,441	1 700	0,270
90	0,718	400	0,437	1 800	0,265
92	0,713	410	0,433	1 850	0,262
94	0,708	420	0,430	1 900	0,260
96	0,703	430	0,426	1 950	0,258
98	0,698	440	0,423	2 000	0,255

**Factor de esfuerzos dinámicos. Factor de desgaste. Determinación de las condiciones de servicio**

Lugar de montaje	$f_L$	$f_V$	campos característicos para las condiciones de servicio
<b>Engranajes</b>		los valores menores valen para engranajes de marcha rápida, así como para ruedas dentadas helicoidales. Para ruedas de engranajes rectos puede tomarse el valor superior	
Engranajes universales pequeños	2,5-3,5	3-8	e-g
Engranajes universales de tipo medio	3,0-4,0	3-8	d-e
Grandes engranajes para barcos	2,6-4,0	5-10	c-d
Engranajes para vehículos sobre carriles	3,5-4,5	3-6	c-d
Engranajes para laminadores	3,0-5,0	6-12	e-d
<b>Vehículos</b>			
Motocicletas	1,4-1,9		
Coches ligeros	1,6-2,1		
Coches pesados	1,7-2,2		
Camiones ligeros	1,7-2,2		
Camiones pesados	2,0-2,6		
Autobuses	2,0-2,6		
Tractores	1,6-2,2		
Vehículos a orugas	2,1-2,7		
Ruedas delanteras		4-8 El desgaste puede compensarse mediante resorte	f-i
Cajas de cambio		5-10 Los valores menores son válidos para exigencias de una marcha silenciosa	i-k
Eje de transmisión		3-6	i-k
<b>Motores eléctricos</b>			
Motores para aparatos electrodomésticos	1,5-2,0	3-5 caso de tener regulación automática de juego	i-k
Motores pequeños de serie	2,5-3,5	3-5 caso de tener regulación automática de juego	e-g
Motores de tipo medio de serie	3,0-4,0	3-5 el valor menor vale para rodamientos libres en motores verticales	d-e
Grandes motores estacionarios	3,5-4,5	3-5 el valor menor vale para rodamientos libres en motores verticales	e-d
Motores eléctricos de tracción	3,0-4,0	4-6	d-e
<b>Cajas de grasa</b>			
Vagonetas	3,0-4,0	12-15	f-h
Tranvías	4,5-5,5	8-12	e-f
Coches de viajeros	4,0-5,0	8-12	c-d
Vagones de mercancías	3,5-4,0	8-12	c-d
Vagones de descombro	3,5-4,0	8-12	c-d
Automotores	4,0-5,0	6-10	d-e
Locomotoras (rodamientos exteriores)	4,0-5,5	6-10	d-e
Locomotoras (rodamientos interiores)	4,5-5,5	6-10	d-e

Lugar de montaje	$f_L$	$f_V$	campos característicos para las condi- ciones de servicio
<b>Maquinaria en general</b>			
Trenes de laminación	2,0-2,5	6-10	e-f
Rodamientos de empuja para barcos	2,9-3,6	6-10	e-f
Rodamientos de ejes propulsores de hélices de barcos	> 6,0 (condición constructiva)	15-20	e-f
Ventiladores pequeños	2,5-3,5	5-8 ajustados por medio de muelles	f-h
Ventiladores de tipo medio	3,0-4,5	3-5	d-f
Ventiladores grandes	4,5-5,5	3-5	c-d
Bombas centrífugas	2,5-4,5	3-5 según el n° de revoluciones	d-f
Centrifugadoras	3,0-4,0	2-4	d-e
Poleas para cables de extracción	4,5-5,0	8-12	c-d
Rodillos para cinta transportadora	3,0-4,5	10-30 según la velocidad de la cinta	h-k
Tambores para cinta transportadora	4,5-5,5	10-15	e-f
Draga de rueda de paletas, rueda de paletas y elevador	> 6,0 (condición constructiva)	12-15	e-g
Machacadoras de piedra	3,0-3,5	8-12	f-g
Molinos batidores	3,5-4,5	4-6	c-d
Cribas vibratorias	2,5-2,8	4-6	e-f
Grandes apisonadoras vibratorias	1,6-2,0	3-4	g-i
Excitadores excéntricos, Aparatos vibratorios	1,0-1,5	3-4	g-i
Prensas para briquetas	4,5-5,0	8-12	e-g
Grandes batidoras	3,5-4,0	8-15	g-h
Molinos de tubos	> 6,0 (condición constructiva)	12-18	f-g
Rodillos para hornos giratorios	4,5-5,0	12-18	f-g
Tornos, fresadoras y taladradoras	2,7-4,5	0,6-1,5	a-b
Rectificadoras, lapeadoras y pulidoras	2,7-4,5	hasta 0,5	c-d
Volantes	3,4-4,0	3-8	d-f
Maquinaria de imprenta	4,0-4,5	3-4	a-b
<b>Máquinas para la fabricación de papel</b>			
parte húmeda	5,0-6,0	7-10	b-c
parte de secado	5,0-6,0	10-15	a-b
refino	4,6-5,0	5-8	b-c
calandria	4,0-4,5	4-8	a-b
<b>Máquinas para trabajar la madera</b>			
Husillos de "tupia" y árboles portacuchillos	3,0-4,0	1,5-3	e-f
Sietras de bastidor	2,8-3,3	3-4	e-g
Máquinas para trabajar madera y plásticos	3,0-4,0	3-5	e-f
Maquinaria textil	3,6-4,7	2-8	a-e
Máquinas para fundición centrifugada	3,4-4,0	8-12	e-f

# **ANEXO I. ESPECIFICACIONES DE PERNOS**

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso fino y de paso basto.

Nominal Major Diameter $d$ mm	Coarse-Pitch Series			Fine-Pitch Series		
	Pitch $p$ mm	Tensile- Stress Area $A_t$ mm <sup>2</sup>	Minor- Diameter Area $A_r$ mm <sup>2</sup>	Pitch $p$ mm	Tensile- Stress Area $A_t$ mm <sup>2</sup>	Minor- Diameter Area $A_r$ mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

## Especificaciones para pernos y tornillos

SAE Grade No.	Size Range Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Low or medium carbon	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Medium carbon, cold-drawn	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Medium carbon, Q&T	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Low-carbon martensite, Q&T	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Medium-carbon alloy, Q&T	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Medium-carbon alloy, Q&T	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Low-carbon martensite, Q&T	

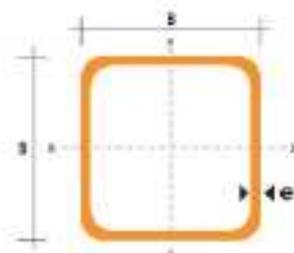
**ANEXO J. ESPECIFICACIONES DEL  
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO**


**TUBO ESTRUCTURAL  
 CUADRADO**
**Especificaciones Generales**

<b>Norma:</b>	ASME A-500
<b>Acabado:</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal:</b>	6.00m
<b>Otros largos:</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones:</b>	Desde 20.00mm a 100.00mm
<b>Espesor:</b>	Desde 2.00mm a 3.00mm



DIMENSIONES			AREA	EJEDES X-X y Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,2	0,72	0,99	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,10	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,09	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,31	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,08	1,39	1,91	1,28	1,10
30	1,5	1,35	1,83	2,19	1,48	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,89	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,40	2,74	1,26
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,40	1,24
40	3,0	3,34	4,44	10,20	5,10	1,22
50	1,6	2,29	2,95	11,90	4,42	1,07
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,85	1,04
50	3,0	4,43	5,61	21,20	8,48	1,01
60	2,0	3,60	3,74	21,20	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,90	11,99	2,24
75	2,0	4,52	5,74	60,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,34	19,08	2,92
75	4,0	8,99	10,99	89,99	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,65	3,99
100	3,0	9,17	11,41	175,95	35,39	3,84
100	4,0	12,13	14,95	225,99	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



**ANEXO K. ESPECIFICACIONES DE LOS  
ELECTRODOS E-6011 Y ER308L**



# OK 22.65P

## Aceros al Carbono – Pipeweld

### Electrodo Revestido AWS E6011

Soldadura en corriente alterna CA y corriente continua CC de aceros normales utilizados en estructuras metálicas, tanques, recipientes a presión, vehículos, implementos agrícolas, tuberías en general. Electrodo de gran penetración y arco muy estable, fue diseñado para mantener la estabilidad del arco y características operacionales cuando se aplica con equipos de alto voltaje en vacío bajo altas corrientes. Es indicado principalmente para soldadura de aceros sucios y oxidados en astilleros, talleres de reparación y mantenimiento donde se requiere una gran cantidad de soldadura.

**Tipo de Revestimiento**  
Celulósico

**Metal Depositado**  
C - Si - Mn

**Polaridad**  
CC+ / CA

**Mínimo AC OCV:**  
CA ≥ 60 V

<b>Posiciones de Soldadura</b>	
--------------------------------	--

Normas Aplicables	Homologaciones Específicas
AWS A 5.1: E6011	

Composición Química Típica del Metal Depositado (%)		
C	Si	Mn
0.09	0.15	0.35

Propiedades Mecánicas	Limite de Ruptura (Mpa)	Elongación (%)	Impacto (Charpy V)	
			(°C)	(Joule)
Resultados Típicos como Material Soldado	480 - 510	28 - 33	-29	35 - 65

Observaciones : Tipo de Junta: AWS

Dimensiones, Presentación y Datos Técnicos				
Dimensiones Diám. x Largo (mm)	Rango de Corriente (Amperios)	Tensión de Arco (Voltios)	Presentación Estándar	Otras Formas de Presentación
2.50 X 350	40 - 75	23 - 35	Lata metálica de 20 Kg	Caja de Cartón 20 Kg
3.25 X 350	60 - 125	23 - 35	Lata metálica de 20 Kg	Caja de Cartón 20 Kg
4.00 X 350	80 - 180	23 - 35	Lata metálica de 20 Kg	Caja de Cartón 20 Kg
5.00 X 350	120 - 230	23 - 35	Lata metálica de 20 Kg	Caja de Cartón 20 Kg



## OK 61.30 Acero Inoxidable Cr-Ni

### Electrodo Revestido AWS E308L

El OK 61.30 es un electrodo con revestimiento extra bajo en carbono, para soldar aceros del tipo 19%Cr-10%Ni, adecuado también para aceros estabilizados de composición similar, excepto cuando, además, hay que satisfacer la resistencia a la fluencia del material base. El OK 61.30 produce cordones de soldadura de excelente aspecto y escoria auto desprendible.

**Tipo de Revestimiento**  
Rutilico

**Metal Depositado**  
C - Si - Mn - Cr - Ni

**Polaridad**  
CC+ \ CA

**Mínimo AC OCV:**  
CA ≥ 50V

<b>Posiciones de Soldadura</b>	
--------------------------------	--

<b>Normas Aplicables</b>	<b>Homologaciones Especificas</b>
AWS A5.4: E308L-17	
AWS A5.4: E308-17	

Composición Química Típica del Metal Depositado (%)				
C	Si	Mn	Cr	Ni
0.03	0.80	0.80	19.60	9.90

Propiedades Mecánicas	Limite de Ruptura (Mpa)	Elongación (%)	Impacto (Charpy V)	
			(oC)	(Joule)
Resultados Típicos como Material Soldado	560 - 600	38 - 42		
Observaciones: Tipo de Junta: AWS				

Dimensiones, Presentación y Datos Técnicos				
Dimensiones Diám. x Largo (mm)	Rango de Corriente (Amperios)	Tensión de Arco (Voltios)	Presentación Estándar	Otras Formas de Presentación
1.60 x 300	35 - 50	27 - 33	Lata metálica de 8 Kg con 4 latas de 2 Kg cada una.	
2.00 x 300	45 - 65	27 - 33		
2.50 X 300	60 - 90	27 - 33		
3.25 X 350	80 - 120	27 - 33		
4.00 X 350	120 - 170	27 - 33		
5.00 X 350	150 - 240	27 - 33		

## **ANEXO L. HOJAS DE PROCESOS**

## **ANEXO M. PLANOS DE TALLER**