



**Diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café para el análisis de rentabilidad financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo.**

Tapuy Cacinto, Darwin Elicio

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

10 de febrero del 2023

Latacunga

# Tapuy-tesis

**1%**  
Similitudes



< 1% Texto entre comillas  
< 1% similitudes entre comillas  
< 1% idioma no reconocido

Nombre del documento: Tapuy-tesis-13 - copia.docx  
ID del documento: 2cdcc16295565a2b0cc36009402a9a0d0df24845  
Tamaño del documento original: 6,31 Mo

Depositante: WASHINGTON RODRIGO FREIRE LLERENA  
Fecha de depósito: 15/2/2023  
Tipo de carga: Interfaz  
Fecha de fin de análisis: 15/2/2023

Número de palabras: 15.189  
Número de caracteres: 95.896

Ubicación de las similitudes en el documento:

## Fuentes

### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://bibdigital.agr.edu.ec/">bibdigital.agr.edu.ec</a>   Repositorio Digital - DPN: Diseño y construcción de un prototipo de máquina despolpadora de café para el resento. Este... 3 fuentes similares	< 1%		Pa. palabras idénticas : < 1% (0/1 por palabras)
2	<a href="https://ojs.uca.ac.uk/ojs/handle/10498846">ojs.uca.ac.uk</a>   Diseño y construcción de una despolpadora de café para el resento. Este... 1 fuente similar	< 1%		Pa. palabras idénticas : < 1% (0/1 por palabras)
3	<a href="http://www.virtuolario.co/">www.virtuolario.co</a>   Tesis: Diseño y construcción de un prototipo de máquina despolpadora de café para el resento. Este... 1 fuente similar	< 1%		Pa. palabras idénticas : < 1% (0/1 por palabras)
4	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.11825/460">hdl.handle.net</a>   Optimización de los parámetros de operación de una despolpadora de café para el resento. Este... 1 fuente similar	< 1%		Pa. palabras idénticas : < 1% (0/1 por palabras)
5	Diseño de una planta para beneficio por vía húmeda para café arábigo (Coffee arabica) para el resento. Este... 1 fuente similar	< 1%		Pa. palabras idénticas : < 1% (0/1 por palabras)

**Fuente ignorada** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Tapuy-tesis-13 - copia.docx   Tapuy-tesis-13 - copia - magister El documento proviene de mi biblioteca de referencias	100%		Pa. palabras idénticas : 100% (15.189 por palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	<a href="https://www.asociacioncafe.com/cafe-y-fruto-y-grano/">https://www.asociacioncafe.com/cafe-y-fruto-y-grano/</a>
2	<a href="http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49623206015">http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49623206015</a>
3	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.11825/460">http://hdl.handle.net/20.500.11825/460</a>
4	<a href="http://www.elcomercio.com/sabores/sabores-cafe-cata-colombia-bebida.html">http://www.elcomercio.com/sabores/sabores-cafe-cata-colombia-bebida.html</a>
5	<a href="http://siilog.espol.edu.ec/montoyeitor/2015/07/01/el-arbol-cafe-y-antecedentes/">http://siilog.espol.edu.ec/montoyeitor/2015/07/01/el-arbol-cafe-y-antecedentes/</a>



WASHINGTON RODRIGO  
FREIRE LLERENA

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

C.C.: 1721980801



**Departamento de Eléctrica y Electrónica**

**Carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño y Construcción de una Máquina Separadora y Despulpadora de Café para el Análisis de Rentabilidad Financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo"** fue realizado por el señor **Tapuy Cacinto, Darwin Elicio**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Latacunga, 15 de febrero de 2023**



WASHINGTON RODRIGO  
FREIRE LLERENA

.....  
**Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo**

C.C.: 1721980801



**Departamento de Eléctrica y Electrónica**

**Carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Tapuy Cacinto, Darwin Elicio**, con cédula de ciudadanía n°1550006694, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y Construcción de una Máquina Separadora y Despulpadora de Café para el Análisis de Rentabilidad Financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 15 de febrero de 2023**

*Darwin Tapuy*  
.....

**Tapuy Cacinto, Darwin Elicio**

C.C.: 1550006694



**Departamento de Eléctrica y Electrónica**

**Carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Autorización de Publicación**

Yo **Tapuy Cacinto, Darwin Elicio**, con cédula de ciudadanía n°1550006694, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y Construcción de una Máquina Separadora y Despulpadora de Café para el Análisis de Rentabilidad Financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 15 de febrero de 2023**

*Darwin Tapuy*  
.....

**Tapuy Cacinto, Darwin Elicio**

C.C.: 1550006694

**Dedicatoria**

A mamá y papá.

## **Agradecimiento**

A todas las personas que me ayudaron a llegar aquí.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de contenido .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>13</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>14</b>
<b>Índice de ecuaciones .....</b>	<b>18</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>20</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo I: Problemática .....</b>	<b>22</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>22</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>23</b>
<b>Justificación e importancia .....</b>	<b>24</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>25</b>
<b><i>Objetivo General</i>.....</b>	<b>25</b>
<b><i>Objetivos específicos</i> .....</b>	<b>25</b>



<b>Capítulo II: Marco Teórico .....</b>	<b>26</b>
<b>Antecedentes investigativos .....</b>	<b>26</b>
<b>Fundamentación teórica .....</b>	<b>27</b>
<b><i>Cafeto .....</i></b>	<b>27</b>
<b><i>Origen.....</i></b>	<b>28</b>
<b><i>Estructura del fruto de café.....</i></b>	<b>29</b>
<b><i>Clasificación.....</i></b>	<b>31</b>
<b><i>Condiciones ambientales.....</i></b>	<b>33</b>
<b><i>Diferencias entre café Arábica y Robusta.....</i></b>	<b>34</b>
<b><i>Cosecha y Postcosecha de Café .....</i></b>	<b>35</b>
<b>Estado del cultivo de Café en Ecuador .....</b>	<b>37</b>
<b><i>Contexto nacional.....</i></b>	<b>38</b>
<b><i>Características de la producción .....</i></b>	<b>39</b>
<b><i>Rendimiento nacional y provincial .....</i></b>	<b>40</b>
<b><i>Precio a nivel del productor.....</i></b>	<b>42</b>
<b><i>Cadena de valor del café.....</i></b>	<b>43</b>
<b>Separadora de café .....</b>	<b>44</b>
<b><i>Tipos de máquinas separadoras de café .....</i></b>	<b>44</b>
<b>Despulpadora de café .....</b>	<b>47</b>
<b><i>Tipos de máquinas despulpadoras de café .....</i></b>	<b>47</b>
<b>Capítulo III: Diseño y Construcción.....</b>	<b>52</b>

<b>Análisis de factibilidad.....</b>	<b>52</b>
<i>Requerimientos.....</i>	<i>52</i>
<i>Descripción de requerimientos.....</i>	<i>52</i>
<i>Sistema de calificación.....</i>	<i>53</i>
<b>Alternativas de la procesadora.....</b>	<b>54</b>
<i>Estudio de las alternativas.....</i>	<i>54</i>
<i>Selección de la alternativa.....</i>	<i>56</i>
<b>Alternativas de la despulpadora.....</b>	<b>56</b>
<i>Estudio de las alternativas.....</i>	<i>57</i>
<i>Selección de la alternativa.....</i>	<i>58</i>
<b>Alternativas de la separadora.....</b>	<b>60</b>
<i>Estudio de las alternativas.....</i>	<i>60</i>
<i>Selección de la separadora.....</i>	<i>61</i>
<b>Diseño de la despulpadora de café.....</b>	<b>63</b>
<i>Partes de una despulpadora de tambor horizontal.....</i>	<i>63</i>
<i>Requerimientos iniciales.....</i>	<i>65</i>
<i>Parámetros del café.....</i>	<i>65</i>
<i>Diseño de la tolva.....</i>	<i>68</i>
<i>Cálculo del tambor o cilindro.....</i>	<i>71</i>
<i>Cálculo de la potencia de despulpado.....</i>	<i>73</i>
<i>Cálculo de las poleas y banda.....</i>	<i>75</i>

<i>Cálculo de los engranajes</i> .....	79
<i>Cálculo del eje cuadrado</i> .....	96
<i>Cálculo del eje principal</i> .....	97
<i>Cálculo del pechero</i> .....	107
<i>Regulación del pechero</i> .....	108
<i>Cálculo de la estructura</i> .....	109
<i>Ensamble</i> .....	110
<b>Diseño de la separadora de café</b> .....	111
<i>Partes de una separadora de café</i> .....	111
<i>Requerimientos iniciales</i> .....	112
<i>Cálculo de la bandeja principal y secundaria</i> .....	113
<i>Cálculo del soporte principal y secundario</i> .....	116
<i>Selección de las ruedas</i> .....	117
<i>Cálculo de las poleas y banda</i> .....	117
<i>Cálculo del disco o excéntrico</i> .....	120
<i>Cálculo de la biela</i> .....	121
<i>Cálculo del mecanismo biela-manivela</i> .....	121
<i>Cálculo de la potencia de desplazamiento</i> .....	123
<i>Cálculo del eje central</i> .....	127
<i>Selección del perfil de la estructura</i> .....	133
<i>Ensamble y construcción de la despulpadora y separadora</i> .....	134

<b>Capítulo IV: Costos y pruebas de funcionamiento</b> .....	<b>136</b>
<b>Costos de los materiales</b> .....	<b>136</b>
<i>Costos de la despulpadora</i> .....	<b>136</b>
<i>Costo de la separadora</i> .....	<b>138</b>
<i>Costo total</i> .....	<b>139</b>
<b>Manual de usuario</b> .....	<b>140</b>
<i>Manual de Operación</i> .....	<b>140</b>
<i>Manual de seguridad</i> .....	<b>140</b>
<b>Pruebas de funcionamiento</b> .....	<b>141</b>
<i>Prueba en vacío</i> .....	<b>141</b>
<i>Prueba con carga</i> .....	<b>142</b>
<b>Mantenimiento</b> .....	<b>142</b>
<b>Análisis de rentabilidad</b> .....	<b>144</b>
<i>Costos de operación</i> .....	<b>144</b>
<i>Utilidad</i> .....	<b>144</b>
<i>Valor presente neto (VPN)</i> .....	<b>144</b>
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>146</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>146</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>148</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>149</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>152</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Diferencias entre café Arábica y Robusta</i> .....	35
<b>Tabla 2</b> <i>Rendimiento provincial de Coffea arabica (t/ha)</i> .....	41
<b>Tabla 3</b> <i>Rendimiento provincial de Coffea arabica (t/ha)</i> .....	42
<b>Tabla 4</b> <i>Sistema de calificación</i> .....	53
<b>Tabla 5</b> <i>Alternativas de la procesadora</i> .....	54
<b>Tabla 6</b> <i>Selección de la procesadora</i> .....	56
<b>Tabla 7</b> <i>Alternativas de la despulpadora</i> .....	57
<b>Tabla 8</b> <i>Selección de la despulpadora</i> .....	59
<b>Tabla 9</b> <i>Alternativas de la separadora</i> .....	60
<b>Tabla 10</b> <i>Selección de la separadora</i> .....	62
<b>Tabla 11</b> <i>Dimensiones de la tolva</i> .....	70
<b>Tabla 12</b> <i>Costos directos de la despulpadora</i> .....	136
<b>Tabla 13</b> <i>Elementos normalizados de la despulpadora</i> .....	137
<b>Tabla 14</b> <i>Mano de obra de la despulpadora</i> .....	137
<b>Tabla 15</b> <i>Costos directos de la separadora</i> .....	138
<b>Tabla 16</b> <i>Elementos normalizados de la separadora</i> .....	138
<b>Tabla 17</b> <i>Mano de obra de la separadora</i> .....	139
<b>Tabla 18</b> <i>Costo total</i> .....	139
<b>Tabla 19</b> <i>Actividades de mantenimiento</i> .....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Cafeto</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Representación gráfica de la estructura de la cereza de café</i> .....	30
<b>Figura 3</b> <i>Representación gráfica de la estructura de la cereza de café</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Cafeto Arábica</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Cafeto Robusta</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Cafeto Libérica</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Beneficiado del café</i> .....	37
<b>Figura 8</b> <i>Ubicación geográfica de Ecuador</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Distribución geográfica por producción</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Precio de café arábico a nivel de productor(USD/Tonelada)</i> .....	43
<b>Figura 11</b> <i>Cadena de valor del café</i> .....	43
<b>Figura 12</b> <i>Separadora rotativa</i> .....	45
<b>Figura 13</b> <i>Máquina separadora vibratoria</i> .....	46
<b>Figura 14</b> <i>Máquina separadora horizontal</i> .....	47
<b>Figura 15</b> <i>Despulpadora de disco</i> .....	48
<b>Figura 16</b> <i>Despulpadora de tambor horizontal</i> .....	49
<b>Figura 17</b> <i>Despulpadora de tambor vertical</i> .....	50
<b>Figura 18</b> <i>Despulpadora de pantalla</i> .....	51
<b>Figura 19</b> <i>Partes de una despulpadora de tambor horizontal</i> .....	64
<b>Figura 20</b> <i>Dimensiones de una cereza de café</i> .....	65
<b>Figura 21</b> <i>Dimensiones ortogonales de una cereza de café</i> .....	66
<b>Figura 22</b> <i>Fuerza de desprendimiento de pulpa de café</i> .....	67
<b>Figura 23</b> <i>Valores de masa de cerezas de café</i> .....	67
<b>Figura 24</b> <i>Vista lateral y frontal de una tolva</i> .....	69
<b>Figura 25</b> <i>Diámetro del cilindro o tambor</i> .....	71

<b>Figura 26</b>	<i>Principales características de una despulpadora comercial.....</i>	72
<b>Figura 27</b>	<i>Propiedades de materiales para bandas .....</i>	75
<b>Figura 28</b>	<i>Factores de servicio sugeridos para bandas .....</i>	76
<b>Figura 29</b>	<i>Sistema de poleas y banda .....</i>	78
<b>Figura 30</b>	<i>Pasos y diámetros para engranes .....</i>	82
<b>Figura 31</b>	<i>Engranaje recto .....</i>	86
<b>Figura 32</b>	<i>Coeficiente elástico <math>C_p</math>.....</i>	87
<b>Figura 33</b>	<i>Números de calidad AGMA recomendados.....</i>	88
<b>Figura 34</b>	<i>Factor dinámico <math>K_v</math>.....</i>	88
<b>Figura 35</b>	<i>Factor de geometría <math>I</math>.....</i>	89
<b>Figura 36</b>	<i>Factor de geometría <math>J</math>.....</i>	90
<b>Figura 37</b>	<i>Factor de proporción de piñón.....</i>	91
<b>Figura 38</b>	<i>Factor de alineamiento de engranado .....</i>	91
<b>Figura 39</b>	<i>Factor de tamaño <math>K_s</math>.....</i>	92
<b>Figura 40</b>	<i>Factor de espesor .....</i>	92
<b>Figura 41</b>	<i>Factores de sobrecarga sugeridos .....</i>	93
<b>Figura 42</b>	<i>Número de esfuerzo de contacto.....</i>	95
<b>Figura 43</b>	<i>Propiedades del acero AIS 1020.....</i>	96
<b>Figura 44</b>	<i>Eje cuadrado.....</i>	97
<b>Figura 45</b>	<i>Eje principal.....</i>	97
<b>Figura 46</b>	<i>Elementos acoplados al eje principal.....</i>	97
<b>Figura 47</b>	<i>Fuerzas y reacciones sobre el eje .....</i>	100
<b>Figura 48</b>	<i>Diagrama de cuerpo libre del eje x-z .....</i>	101
<b>Figura 49</b>	<i>Fuerza cortante plano x-z.....</i>	101
<b>Figura 50</b>	<i>Momento flexionante plano x-z.....</i>	101
<b>Figura 51</b>	<i>Diagrama de cuerpo libre del eje x-z .....</i>	102

<b>Figura 52</b> <i>Fuerza cortante plano y-z</i> .....	102
<b>Figura 53</b> <i>Momento flexionante plano y-z</i> .....	102
<b>Figura 54</b> <i>Cilindro y pechero</i> .....	107
<b>Figura 55</b> <i>Pechero</i> .....	108
<b>Figura 56</b> <i>Regulador del pechero</i> .....	109
<b>Figura 57</b> <i>Castillo o cureña</i> .....	110
<b>Figura 58</b> <i>Ensamble despulpadora</i> .....	110
<b>Figura 59</b> <i>Separadora horizontal</i> .....	111
<b>Figura 60</b> <i>Dimensiones de la criba</i> .....	113
<b>Figura 61</b> <i>Distribución de cargas en la bandeja</i> .....	115
<b>Figura 62</b> <i>Bandeja secundaria</i> .....	116
<b>Figura 63</b> <i>Dimensiones del perfil en L</i> .....	117
<b>Figura 64</b> <i>Ruedas de la bandeja</i> .....	117
<b>Figura 65</b> <i>Sistema de poleas y banda</i> .....	120
<b>Figura 66</b> <i>Disco o excéntrica de vaivén</i> .....	121
<b>Figura 67</b> <i>Eje-biela</i> .....	121
<b>Figura 68</b> <i>Simulación del mecanismo biela-manivela</i> .....	122
<b>Figura 69</b> <i>Diagrama de cuerpo libre de la zaranda</i> .....	124
<b>Figura 70</b> <i>D.C.L Bandeja</i> .....	125
<b>Figura 71</b> <i>D.C.L Biela</i> .....	125
<b>Figura 72</b> <i>D.C.L Manivela</i> .....	126
<b>Figura 73</b> <i>Fuerzas sobre el eje central</i> .....	127
<b>Figura 74</b> <i>Diagrama de cuerpo libre del eje x-z</i> .....	128
<b>Figura 75</b> <i>Fuerza cortante plano x-z</i> .....	129
<b>Figura 76</b> <i>Momento flexionante plano x-z</i> .....	129
<b>Figura 77</b> <i>Diagrama de cuerpo libre del eje x-z</i> .....	129



<b>Figura 78</b> <i>Fuerza cortante plano y-z</i> .....	130
<b>Figura 79</b> <i>Momento flexionante plano y-z</i> .....	130
<b>Figura 80</b> <i>Estructura de la máquina</i> .....	134
<b>Figura 81</b> <i>Ensamble de la procesadora de café</i> .....	134
<b>Figura 82</b> <i>Construcción de la procesadora</i> .....	135
<b>Figura 83</b> <i>Prueba en vacío</i> .....	141
<b>Figura 84</b> <i>Prueba con carga</i> .....	142

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> <i>Volumen (<math>m^3</math>)</i> .....	68
<b>Ecuación 2</b> <i>Volumen de una pirámide truncada (<math>m^3</math>)</i> .....	69
<b>Ecuación 3</b> <i>Número de cerezas</i> .....	72
<b>Ecuación 4</b> <i>Velocidad angular del tambor (RPM)</i> .....	73
<b>Ecuación 5</b> <i>Fuerza de desprendimiento total (N)</i> .....	73
<b>Ecuación 6</b> <i>Velocidad tangencial (m/min) Nota. (Norton, 2011)</i> .....	74
<b>Ecuación 7</b> <i>Potencia para despulpar (kW) Nota. (Norton, 2011)</i> .....	74
<b>Ecuación 8</b> <i>Relación de transmisión Nota. (Budynas &amp; Nisbett, 2012)</i> .....	76
<b>Ecuación 9</b> <i>Intervalo de distancias nominales entre centros (pulg)</i> .....	77
<b>Ecuación 10</b> <i>Ángulo de contacto de la polea menor (rad)</i> .....	78
<b>Ecuación 11</b> <i>Ángulo de contacto de la polea mayor (rad)</i> .....	78
<b>Ecuación 12</b> <i>Longitud de banda (pulg)</i> .....	79
<b>Ecuación 13</b> <i>Relación de velocidades en engranajes</i> .....	80
<b>Ecuación 14</b> <i>Relación de velocidades en función del número de dientes</i> .....	81
<b>Ecuación 15</b> <i>Distancia entre centros en engranajes (pulg)</i> .....	82
<b>Ecuación 16</b> <i>Diámetro de paso en el piñón (pulg)</i> .....	83
<b>Ecuación 17</b> <i>Diámetro de paso en el engrane (pulg)</i> .....	84
<b>Ecuación 18</b> <i>Velocidad de la línea de paso (pies/min)</i> .....	84
<b>Ecuación 19</b> <i>Carga transmitida (lb)</i> .....	85
<b>Ecuación 20</b> <i>Intervalo de ancho de cara recomendado (pulg)</i> .....	85
<b>Ecuación 21</b> <i>Valor nominal de ancho de cara (pulg)</i> .....	85
<b>Ecuación 22</b> <i>Factor de distribución <math>K_m</math></i> .....	90
<b>Ecuación 23</b> <i>Número de esfuerzo flexionante (psi)</i> .....	93
<b>Ecuación 24</b> <i>Esfuerzo de contacto (psi)</i> .....	94
<b>Ecuación 25</b> <i>Par torsional (lb.pulg)</i> .....	98

<b>Ecuación 26</b>	Fuerza flexionante para bandas planas (lb).....	98
<b>Ecuación 27</b>	Fuerza tangencial en el piñón (lb).....	99
<b>Ecuación 28</b>	Fuerza radial en el piñón (lb) .....	99
<b>Ecuación 29</b>	<i>Resistencia modificada a la fatiga (psi)</i> .....	104
<b>Ecuación 30</b>	Diámetro de un eje (pulg) .....	104
<b>Ecuación 31</b>	<i>Área de un rectángulo (mm<sup>2</sup>)</i> .....	113
<b>Ecuación 32</b>	<i>Distribución de cargas en una plancha (kgm<sup>2</sup>)</i> .....	115
<b>Ecuación 33</b>	<i>Velocidad de un eslabón (mmseg)</i> .....	122
<b>Ecuación 34</b>	<i>Peso de un cuerpo (N)</i> .....	123

## Resumen

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café en la provincia de Napo con el objetivo de optimizar el proceso de despulpado y mejorar los ingresos económicos en la venta de café. Como primer punto se define la problemática del sector cafetero del Ecuador. A continuación se realiza la fundamentación teórica, que incluye las características, los tipos de cerezas de café que se cultivan en el país y la situación actual del comercio del café; además se investiga las máquinas disponibles para el proceso de despulpado y separado. A continuación se plantea el diseño de la máquina que se fundamenta en los requerimientos iniciales: capacidad y tamaño de la máquina. Además se escoge entre las alternativas disponibles de máquina tanto para la despulpadora como para la separadora de café. La capacidad seleccionada para la máquina es de 200 kilogramos por hora. Las alternativas escogidas son: la despulpadora de tambor de horizontal y la separadora horizontal, por ser las más adecuadas según los requerimientos de funcionalidad, costo, seguridad, tamaño, construcción, operación y mantenimiento. Respecto a la ubicación de las máquinas, se coloca primero la despulpadora y segundo la separadora. La construcción de la máquina se realiza a partir de los planos generados en el software de diseño. Finalmente se realiza un análisis de económico donde se concluye que es factible realizar la implementación de la máquina.

*Palabras clave:* despulpadora de tambor, separadora horizontal, diseño mecánico.

### **Abstract**

The present degree work deals with the design and construction of a coffee separating and pulping machine in the province of Napo with the objective of optimizing the pulping process and improving the economic income from the sale of coffee. The first point is to define the problems of the coffee sector in Ecuador. Next, the theoretical foundation is made, which includes the characteristics, the types of coffee cherries that are cultivated in the country and the current situation of the coffee trade; in addition, the available machines for the pulping and separating process are investigated. Next, the design of the machine is proposed based on the initial requirements: capacity and size of the machine. In addition, a choice is made among the available machine alternatives for both the pulping machine and the coffee separator. The capacity selected for the machine is 200 kilograms per hour. The alternatives chosen are: the horizontal drum pulper and the horizontal separator, as they are the most adequate according to the requirements of functionality, cost, safety, size, construction, operation and maintenance. Regarding the location of the machines, the pulper is placed first and the separator second. The construction of the machine is based on the drawings generated in the design software. Finally, an economic analysis is performed where it is concluded that it is feasible to implement the machine.

*Keywords:* drum pulper, horizontal separator, mechanical design.

## Capítulo I

### Problemática

#### Planteamiento del problema

En Ecuador, como en muchos países, el cultivo de productos agrícolas es una de las bases principales de la actividad económica del país. En el sector primario de la producción se puede encontrar pequeños y grandes productores agrícolas, en cualquiera de los dos casos el objetivo es el mismo, aprovechar los recursos naturales.

Los avances tecnológicos han permitido automatizar o semi-automatizar uno o varios procesos de la producción agrícola mediante el uso de maquinaria. La maquinaria agrícola es indispensable en el proceso de producción de café para obtener el máximo beneficio. Sin embargo, en el sector microempresario es común que se realicen varios o todos los procesos de forma manual, lo que conlleva a disminuir los ingresos o en el peor de los casos genera pérdidas.

Según Ponce, Orellana y Acuña (2016), las causas de la baja productividad cafetera son las siguientes:

- Falta de tecnología apropiada para el manejo del cultivo.
- Falta de desarrollar materiales genéticos mejorados.
- Alto impacto de la contaminación del grano.

En el proceso de producción de café (desde la cosecha hasta la comercialización) intervienen diferentes máquinas; el presente proyecto se enfoca en la máquina que realiza el proceso de separado y despulpado de café. A pesar de que el principal problema es la falta de una máquina despulpadora de café; complementar la solución con una separadora de café, sirve para acelerar el proceso. Estos problemas generan desventajas respecto a las microempresas o empresas cafeteras que cuentan con maquinaria especializada, ya que pueden alcanzar mejores márgenes de ganancia.

## Antecedentes

A partir de la revolución industrial, en el campo de la agricultura se consiguió aumentar la productividad mediante la implementación de máquinas que con el pasar de los años fueron cada vez más eficaces y rentables.

En la industria del café, el uso de máquinas agiliza las labores del trabajador. Algunas de las máquinas utilizadas para el procesamiento del grano de café son:

- Despedregadoras: su función es separar los granos de café cereza de objetos extraños como las piedras.
- Seleccionadora: cumple la función de separar los granos de café cereza de tomando como parámetro el tamaño.
- Separadora: se encarga de separar los granos de café verdes y maduros.
- Despulpadora: quita la corteza del café cereza.
- Lavadora: elimina el mucilago del grano despulpado
- Secadora: realiza el proceso de secado del grano
- Pulidora: pela los granos secos de café

Actualmente en Ecuador, el cultivo de café se da en 23 de las 24 provincias, siendo Cañar la única provincia donde no se reporta de manera oficial el cultivo de café.

El proyecto se basará en los fundamentos de diseño y construcción de máquinas separadoras y despulpadoras de café de uso industrial, para adaptarlo a las necesidades del usuario.

En el Ecuador para el año 2018 se registraron 45852 ha sembradas con café, con rendimiento promedio anual de 0.15 t/ha y de acuerdo a reportes del MAG el café arábigo representa alrededor del 63% producido por el 85% de agricultores dedicados a ésta actividad. En la Amazonía el café arábigo se cultiva en las zonas altas de la región, conocida como pie de cordillera, siendo las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago como las de mayor importancia para la especie con superficies sembradas de entre 1000 y 2000 ha. [3]

## Justificación e importancia

A nivel comercial existen máquinas separadoras y despulpadoras de café para pequeñas y grandes empresas, sin embargo, los estándares de dichas máquinas no se ajustan a las necesidades de todos los agricultores, algunos factores a considerar son: capacidad, tamaño y precio de la máquina. También es importante destacar que las máquinas separadoras de café y despulpadoras de café son independientes. Sin embargo, si es posible adaptarlo para que funcionen juntas.

La implementación de una máquina separadora y despulpadora de café en el sector microempresario tiene varios beneficios, los cuales se mencionan a continuación:

- Ahorro de tiempo: La separadora de café separa eficientemente el grano verde y los granos secos duros del grano maduro, por lo que no es necesario realizar este proceso de forma manual.
- Incremento de ganancias: El precio del café despulpado es el doble del precio del café cereza. Del café cereza se puede obtener entre el 55%-60% de café despulpado.
- Visión empresarial: Con una despulpadora que facilite su labor, el microempresario puede considerar expandir las zonas de cultivo de café.
- Uso de los residuales: La cáscara residual del café puede utilizarse como abono orgánico, alimento de animales, producción de biogás y derivados del fruto.

Los beneficios descritos en el párrafo anterior pueden ser aplicados a pequeñas fincas que se dediquen a la producción del café, en ese aspecto es importante analizar el nivel de impacto económico de la implementación de una máquina separadora y despulpadora de café, por tal razón se plantea el tema: “Diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café para el análisis de rentabilidad financiera de la venta de café despulpado vs café cereza en la provincia de Napo”. Como objeto de estudio se utiliza la finca “Shigua”,



lugar donde no se cuenta con una máquina que realice el proceso de separado y despulpado de café, por lo que tradicionalmente se realiza la venta del café cereza.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Diseñar y construir una máquina separadora y despulpadora de café para optimizar el proceso de despulpado y mejorar los ingresos económicos en la venta de café despulpado.

### ***Objetivos específicos***

- Identificar los parámetros de diseño de una máquina separadora y despulpadora de café que permita que la máquina cumpla su función.
- Elegir las alternativas adecuadas de despulpadora y separadora según las necesidades.
- Diseñar los componentes de la máquina separadora y despulpadora de café mediante un software de modelado 3D de acuerdo con los requerimientos planteados.
- Simular la máquina separadora y despulpadora de café para visualizar el comportamiento de los componentes.
- Construir la máquina separadora y despulpadora de café a partir de los planos generados en el software 3D.
- Analizar la rentabilidad financiera de la venta de café despulpado vs café cereza en la provincia de Napo.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Antecedentes investigativos

En el trabajo de titulación “Diseño y construcción de una despulpadora de café para el recinto Estero del Plátano, Parroquia Galera, Cantón Muisne, Provincia Esmeraldas” (Olarte Zamora, 2016) se desarrolló el diseño y construcción de una despulpadora con el objetivo de brindar una herramienta a las trabajadoras del Recinto Estero del Plátano perteneciente a la provincia de Esmeraldas, para el proceso de despulpado de café.

El trabajo de titulación “Diseño y construcción de un prototipo de máquina despulpadora de café para el proyecto “café de Quito” impulsado por la agencia metropolitana de promoción económica (CONQUITO)” (Báez Villacís & Pupiales Brusil, 2015) trata sobre el diseño y construcción de una despulpadora de café en la ciudad de Quito para el proyecto denominado “café de Quito”. Para el diseño de la despulpadora se consideran varias alternativas, cada una con sus respectivas ventajas y desventajas. Además, se realiza una descripción detallada del proceso de construcción.

El proyecto de titulación “Diseño de una despulpadora de café” (Díaz Hernández, 2016) pretende dar soluciones a problemas de producción y defectos en los granos de café para tres fincas del Departamento de Cundinamarca perteneciente a Colombia, considerando como parámetros los problemas generados por el uso de maquinaria antigua.

El proyecto de titulación “DISEÑO DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE CAFÉ POR TAMAÑO” (Imbachi, 2019) es realizado en el Departamento del Cauca (Colombia) y tiene por objetivo brindar el diseño de una máquina clasificadora de café aplicable al Departamento del Cauca (Colombia). El diseño está normalizado con normas estandarizadas de dicha región y se presenta los planos de la máquina con una lista de materiales sugeridas para su construcción.

El proyecto de titulación “Optimización De Los Parámetros De Operación De Una Despulpadora Lamper Para Mejorar La Calidad Del Grano Despulpado De Café Lonya Grande-Utcubamaba, 2020” (Oblitas, 2020) consiste en una investigación que está orientado a aumentar la calidad de los granos despulpados de café, para lo cual se plantea la idea de implementar una zaranda a una despulpadora de tipo Lamper. Según la investigación se determinó que se pueden recuperar 6.81% de granos mordidos y 1.48% de granos sin despulpar.

### **Fundamentación teórica**

#### ***Cafeto***

La planta del café o cafeto perteneciente a la familia Rubiaceae y al género Coffee, es un árbol o arbusto que crece en todo el mundo en regiones cálidas. Por lo general, es de color verde claro y tiene venas profundas y oscuras en las hojas. La planta tiene hojas en forma de corazón y racimos de flores amarillas en sus ramas. Después de que la planta da fruto, se extrae el interior del grano duro para crear café en polvo, que luego se seca y se procesa en varias formas, como granos de café y jarabe. Las semillas de algunas variedades son amargas mientras que las de otras variedades son dulces; esto lo convierte en una interesante variedad de bebidas. (Gotteland & de Pablo, 2007)

En el género Coffee se encuentran aproximadamente 500 géneros y 6000 especies. Sin embargo, dos especies son consideradas las principales, Coffee arábica (café Arábica) y Coffee canephora (café robusta) debido a que son consumidas a nivel global. El café Arábica representa el 75-80% de la producción mundial y el 20% corresponde al café Arábica. Un grano de café crece después de aproximadamente 5 años, pero el grano tarda nueve meses en producir granos maduros. Cada año después de eso, la planta produce más semillas y se desarrollan más frijoles. En este punto, los agricultores cosechan y secan los granos antes de tostarlos. (National Coffee Association, s.f.)

**Figura 1***Cafeto*

*Nota.* Frutos de cafeto, verdes y maduros. Tomado de (AECafé, 2017)

Las partes principales del cafeto son raíz, tallo principal, yemas, ramas primarias, hojas, flores y frutos. La raíz se encarga de absorber y conducir las aguas con sales minerales a toda la planta, el 60% de la raíz se encuentra en los primeros 30 centímetros. El tallo principal da origen a las ramas primarias y transporta las aguas provenientes de la raíz. Las yemas originan los brotes de las ramas. Las ramas primarias constan de yemas de cabeza de serie que generan las ramas secundarias, y yemas seriadas que generan inflorescencias que a su vez generan yemas florales. Las hojas con un color verde claro en la parte inferior y verde oscuro y brillante en la parte superior. Las flores ubicadas en las hojas de las ramas secundarias, Los frutos con pulpa delgada y una superficie lisa y brillante, cuando los frutos maduran son de color rojo o amarillo con dos semillas en el interior. (Figuerola, Pérez, & Godínez , 2014)

***Origen***

La planta de café se originó en Etiopía. Se dice que el primer café fue descubierto por un pastor llamado Kaldi, quien notó que sus rebaños se volvían más activos después de comer unos frutos rojos que crecían en un arbusto. El café se extendió a Egipto y Arabia, y luego a Europa y América. El café se convirtió en una bebida muy popular en el siglo XVIII, y se plantó

en muchos países de América Latina, como Brasil, Colombia y México. (Gotteland & de Pablo, 2007)

### ***Estructura del fruto de café***

El fruto del cafeto cuando está maduro recibe el nombre de cereza debido a su color rojizo y similitud con el fruto de cereza. Por tal razón es común nombrarlo café cereza o cereza de café.

La estructura de la cereza del café está formada por seis capas (Vergara, 2020), del exterior al interior: pulpa o cáscara (Epicarpio), mucílago o baba (Mesocarpio), pergamino o cascarilla (Endocarpio), película plateada, grano de café y embrión.

Pulpa o cáscara (epicarpio): capa externa de la fruta de café, comienza de color verde y se va tornando rojo según la madurez.

Mucílago o baba (Mesocarpio): consiste en una de 5 mm que cubre los granos, de consistencia gelatinosa y rico en azúcares.

Pergamino o cascarilla (Endocarpio): es una capa interna que cubre a la semilla, de consistencia dura y color crema: esta capa se vuelve frágil cuando el café está seco.

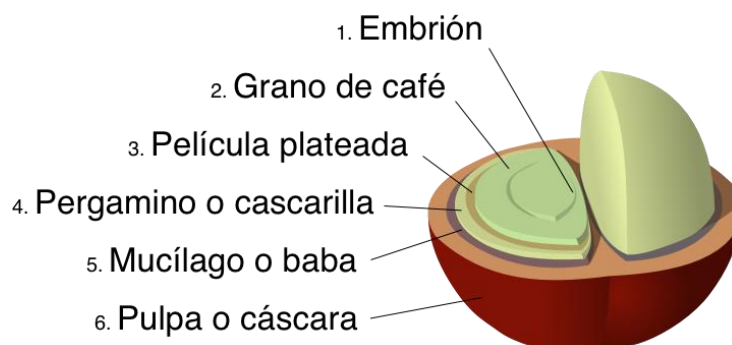
Película plateada: capa fina que envuelve la semilla.

Grano de café: cada cereza de café contiene dos semillas de color verdosa o amarillento. El grano de café es lo que se comercializa y consume.

Embrión: ubicado en la superficie de la semilla.

## Figura 2

### Capas de una cereza de café



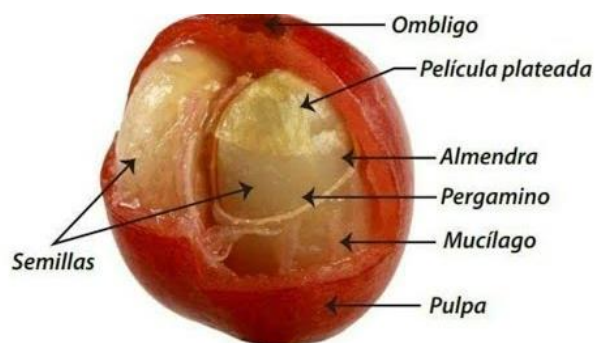
*Nota.* El gráfico muestra las capas internas de la cereza de café. Tomado de (Vergara, 2020)

En términos de porcentajes, una cereza de café (Figuroa, Pérez, & Godínez , 2014) tiene los siguientes valores:

- Pulpa: 46 %
- Mucílago: 17-18 %
- Pergamino: 18-20 %
- Película plateada: 0.2 %
- Grano de café: 17-18 %

## Figura 3

### Representación gráfica de la estructura de la cereza de café



*Nota.* El gráfico muestra las partes de un fruto de café en su etapa de madurez. Tomado de (Sánchez , 2020)

### **Clasificación**

El café se puede clasificar de muchas maneras, algunas de las formas más comunes de hacerlo son por su origen, su proceso de elaboración o su sabor.

#### **Por su especie**

Por la especie, el café se puede dividir en tres grandes grupos: Robusta, Arábica y Libérica. Sin embargo, existen aproximadamente 25 grupos principales, pero la variedad de plantas y semillas hace que sea difícil clasificarlas. Se puede encontrar especies del género *Coffea* desde arbustos pequeños hasta árboles de más de 10 m de altura. El café Robusta se caracteriza por su alta concentración de cafeína y su sabor amargo. El café Arábica, por otro lado, es más suave y aromático. Finalmente, el café Libérica es una variedad rara que tiene un sabor único e intenso. (International Coffee Organization, s.f.)

***Coffea arabica* (Café Arábica):** El café Arábica es una variedad de café que se cultiva en África, Asia, América Central y Sudamérica. El cafeto es un arbusto. Se caracteriza por su sabor dulce y aromático. El café arábico tarda en madurar entre siete y nueve meses. (International Coffee Organization, s.f.)

#### **Figura 4**

*Cafeto Arábica*



*Nota.* Planta de café Arábica o cafeto Arábica. Tomado de (AECafé, 2017)

**Coffea canephora (Café Robusta):** El café Robusta es una variedad de café que se cultiva en África, Asia y América Central. El cafeto es árbol que puede alcanzar hasta los 10 metros. Se caracteriza por su sabor intenso y amargo. Robusta es la segunda variedad de café más popular en el mundo, después del café Arábica. El café robusto puede tardar hasta 11 meses en madurar. (International Coffee Organization, s.f.)

### Figura 5

*Cafeto Robusta*



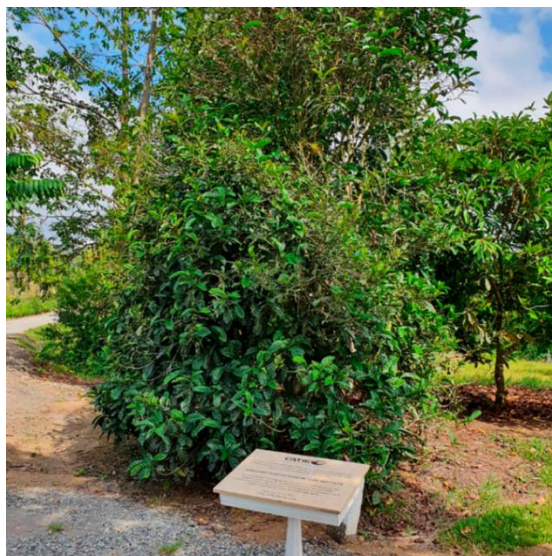
*Nota.* Planta de café Robusta o cafeto Robusta. Tomado de (ESPOL, 2015)

**Coffea Libérica (Café Libérica):** El café Libérica es una variedad de café que se cultiva en África. La demanda de café de este tipo es muy escasa en comparación con el café Robusta y café Arábica. (International Coffee Organization, s.f.)



## Figura 6

### *Cafeto Libérica*



*Nota.* Planta de café Libérica cafeto Libérica. Tomado de (Revista Fórum Café, 2020)

### **Por el proceso de elaboración**

En cuanto al proceso de elaboración, el café se puede clasificar en tres tipos principales: el café tostado, el café soluble y el café instantáneo. El café tostado es el tipo más común de café. Se hace a partir de granos de café tostados y molidos, y luego se prepara con agua hirviendo. El café soluble se hace a partir de granos de café tostado y molido que se mezclan con agua caliente para formar una bebida concentrada. El café instantáneo, por otro lado, se hace a partir de granos de café pre-tostado y molido que se mezclan con agua caliente para formar una bebida instantánea. (Cafés SABORA, 2019)

### **Por el sabor**

En cuanto al sabor, el café se puede clasificar en tres tipos principales: el café dulce, el café amargo y el café ácido. El café dulce se caracteriza por tener un sabor suave y agradable. El café amargo, por otro lado, se caracteriza por tener un sabor intenso y a veces astringente. El café ácido se caracteriza por tener un sabor fresco y cítrico. (El Comercio, 2017)

### ***Condiciones ambientales***

Temperatura: Debe estar entre 17 y 26°C. Si la temperatura es inferior a 16 grados, pueden quemarse los brotes de la planta, si la temperatura supera los 27 grados, es más probable que se deshidraten las plantas

Altura: La altura adecuada en la producción de café es entre 900 y 1600 metros por encima del nivel del mar. Los costos de producción incrementan cuando se cultiva en zonas bajas debido a que disminuye la calidad de los granos de café. En cambio, si se cultiva a mayor altura de la recomendada, la planta crece menos de lo esperado.

Viento: Es importante porque si la velocidad del viento es superior a 30 km/h, las hojas pueden caerse y en consecuencia afectar a la planta, además puede provocar la rotura de flores y frutos.

Lluvia: El agua natural absorbida por las plantas es necesaria, pero peligrosa en peligroso. Por esta razón, se requieren lluvias constantes. Para la producción de café las precipitaciones deben estar entre 1000 y 3000 ml por año. Si llueve en exceso, se producen hongos, y si llueve menos disminuye la producción.

Humedad: Está estrechamente relacionada con la lluvia. Si la humedad relativa supera el 90,0%, las plantas pueden adquirir hongos. (Figueroa, Pérez, & Godínez , 2014)

### ***Diferencias entre café Arábica y Robusta***

Visualmente no presentan diferencias los granos de café Arábica y Robusta luego de ser tostados, no obstante, existen diferencias presentadas en la Tabla 1.

**Tabla 1***Diferencias entre café Arábica y Robusta*

	Arábica	Robusta
Fecha de descripción	1753	1895
Número de cromosomas (2n)	44	22
Altura del cafeto	6-8 m	8-10 m
Tiempo que tarda desde la flor hasta la cereza madura	9 meses	10-11 meses
Floración	Después de las lluvias	Irregular
Cerezas maduras	Caen	Quedan
Producción (kg/ha)	1500-3000	2300-4000
Raíz	Profundo	Poco profundo
Temperatura óptima	15-24 °C	24-30° C
Lluvia óptima	1500-2000 mm	2000-3000 mm
Altura de cultivo óptimo	1000-2000 m	0-700 m
Forma del grano	Plano	Oval
Características del destilado	Ácido	Amargo, completo
Contenido de cafeína	1.1-1.7 %	2-4.5 %

*Nota.* Se realiza la comparación entre las dos variedades debido a que son las que predominan en el mercado.

***Cosecha y Postcosecha de Café***

La cosecha del café es el proceso de recolectar los granos de café maduros de los árboles. Esto normalmente se hace manualmente, aunque en algunos casos se puede realizar mediante máquinas. El proceso manual se realiza debido a que los granos de café maduros

tienen una cáscara fina y frágil, lo que significa que deben manipularse con cuidado para evitar dañarlos. Para cosechar el café se debe tener en cuenta los recursos económicos para los gastos fijos y variables. Además, es importante elegir el momento adecuado para la recolección, ya que los granos de café no maduros no tienen el mismo sabor y aroma que los maduros. El periodo de cosecha inicia en agosto en las zonas bajas y culmina en junio en las zonas altas. (IICA, 2019)

La recolección del café se realiza cuando los frutos están maduros alcanzando niveles óptimos de color, textura, aroma y sabor, suceso que ocurre aproximadamente 264 días después de la floración. (IICA, 2019) Durante la cosecha es común que se mezclen algunos frutos verdes con los maduros, los cuales se deben separar durante el despulpado.

La postcosecha es el proceso de transformación de la cereza de café a café oro, conocido como beneficiado del café. Dicho proceso se puede realizar por 3 métodos. (IICA, 2019)

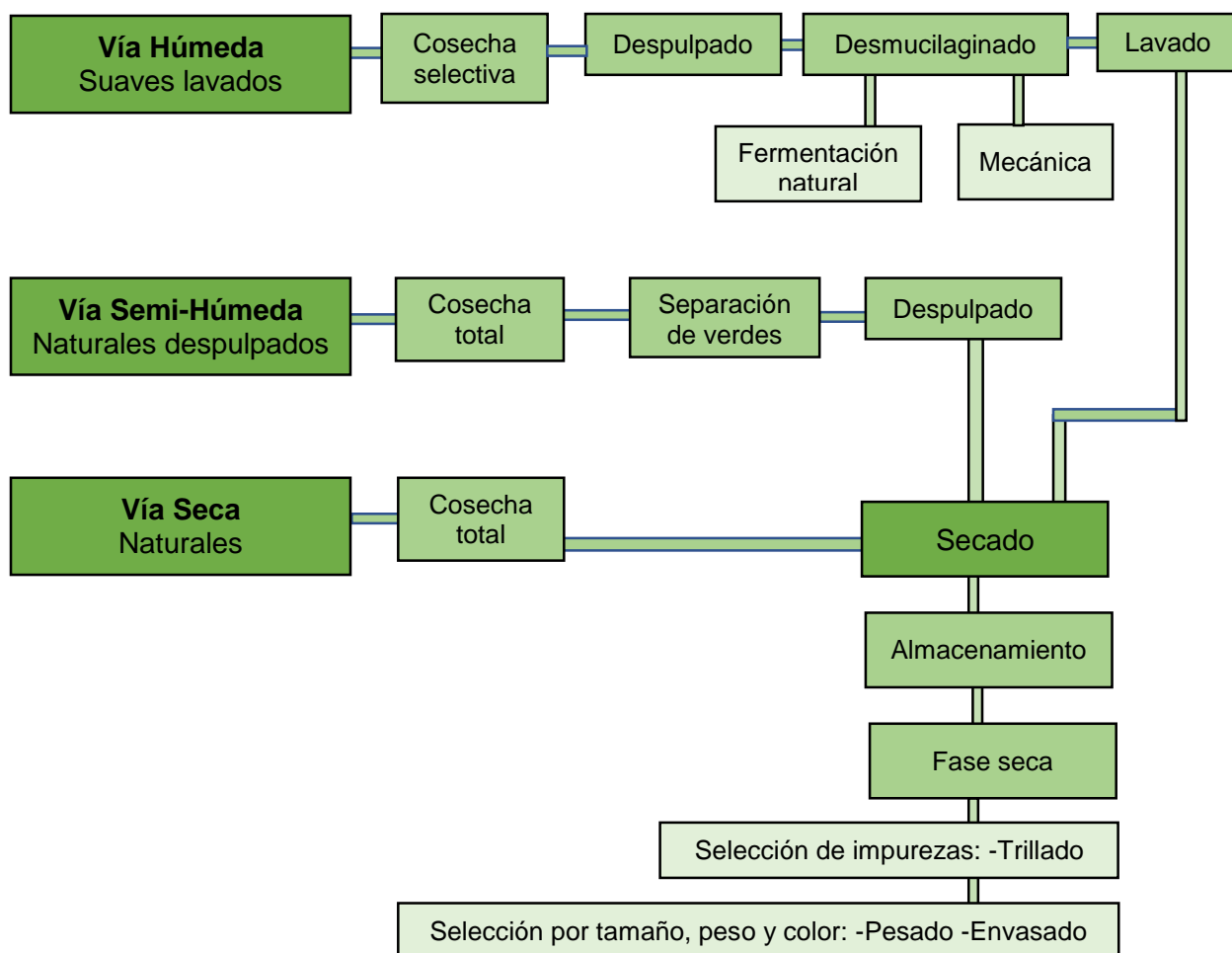
Vía Húmeda: es el proceso más común para el beneficiado del café, en el que los granos de café se sumergen en agua para su limpieza y selección. Esto permite que se eliminen impurezas y desechos, y preservar la calidad del café.

Vía Semihúmeda: se utiliza para café de alta calidad y consiste en una mezcla de procesos húmedos y secos, donde el café despulpado se seca.

Vía seca: es un método de beneficiado para café con alta concentración de azúcares, en el que los granos de café se secan al sol antes de ser limpiados y seleccionados.

Figura 7

Beneficiado del café



*Nota.* Diagrama de procesamiento de los frutos de café. Tomado de (IICA, 2019)

### Estado del cultivo de Café en Ecuador

El café llega a Ecuador en el año 1860, siendo la provincia de Manabí la primera en adquirir este producto, y expandiéndose a todo el país. Ecuador es uno de los pocos países que cultiva el café Arábica y Robusta. Las variedades de alturas permiten que se cultiven los dos tipos de café. El café Robusta se cultiva generalmente en las regiones Costa y Oriente, mientras que el café Arábica se cultiva en alturas mayores a 1000 sobre el nivel del mar, por lo que las provincias de la Sierra son adecuadas. (Hoffmann, 2014)

**Figura 8**

*Ubicación geográfica de Ecuador*



*Nota.* Planta de café Libérica cafeto Libérica. Tomado de (Hoffmann, 2014)

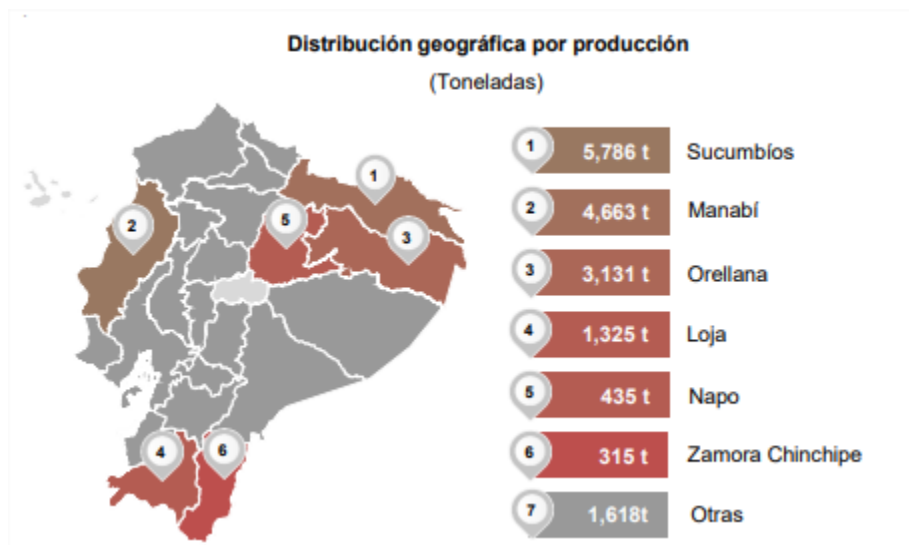
**Contexto nacional**

A nivel nacional el cultivo de café contribuyó con 1.2 % al Valor Agregado Bruto (VAB) y participó con 0.4 % en las exportaciones no petroleras.

La producción nacional correspondiente al año 2021 es de 17164 toneladas (t) con un rendimiento promedio de 0.58 toneladas por hectárea (t/ha), siendo Sucumbíos la mayor productora para dicho año con 5786 t y un rendimiento de 0.76 (t/ha). (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022)

## Figura 9

*Distribución geográfica por producción*



*Nota.* Se resalta las 6 principales provincias productoras. Tomado de (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022)

En el país el número de productores de acuerdo al tamaño de cultivo se clasifican en tres tipos:

- Menores a 5 hectáreas: 97 %
- Entre 5 y 10 hectáreas: 1 %
- Mayores a 10 hectáreas: 1 %

### **Características de la producción**

Según (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021) algunas de las características de la producción son: superficie promedio de cultivo, fuente principal de ingresos y especie/variedad.

La superficie promedio de cultivo de café es de:

- Coffee arabica: 2.20 ha
- Coffee canephora: 1.50 ha

Fuente principal de ingresos:

- Coffee arabica: 44 %

- Coffee canephora: 61 %

Especie/variedad:

- Coffea arabica: Catacui, Caturra, Sarchimor, Típica.
- Coffea canephora: Robusta, Conilón, Napo payamino, Pepón.

### ***Rendimiento nacional y provincial***

A nivel nacional, el rendimiento promedio del Coffea arabica es de 0.5 t/ha mientras que del Coffea canephora es de 0.71 t/ha, rendimientos estandarizados a grano oro. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021)

A nivel provincial, son pocas las provincias que producen las 2 especies de café, Cotopaxi, Napo, Pichincha y Bolívar. El rendimiento de las provincias que cultivan el café arábico se muestra en la Tabla 2. La Tabla 3 muestra el rendimiento de las provincias que cultivan café canephora.



**Tabla 2***Rendimiento provincial de Coffea arabica (t/ha)*

Provincia	Rendimiento (t/ha)
Carchi	0.97
Zamora Chinchipe	0.70
Morona Santiago	0.59
Manabí	0.52
Loja	0.50
Imbabura	0.49
Pichincha	0.43
Azuay	0.41
El Oro	0.32
Esmeraldas	0.31
Tungurahua	0.31
Bolívar	0.30
Galápagos	0.29
Chimborazo	0.24
Pastaza	0.08
Napo	0.08
Cotopaxi	0.03

*Nota.* Rendimiento estandarizado a almendra seca. Tomado de (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021)

**Tabla 3***Rendimiento provincial de Coffea arabica (t/ha)*

Provincia	Rendimiento (t/ha)
Guayas	1.01
Orellana	0.84
Sucumbíos	0.76
Santo Domingo De Los Tsáchilas	0.73
Santa Elena	0.54
Bolívar	0.36
Pichincha	0.26
Los Ríos	0.17
Napo	0.17
Cotopaxi	0.03

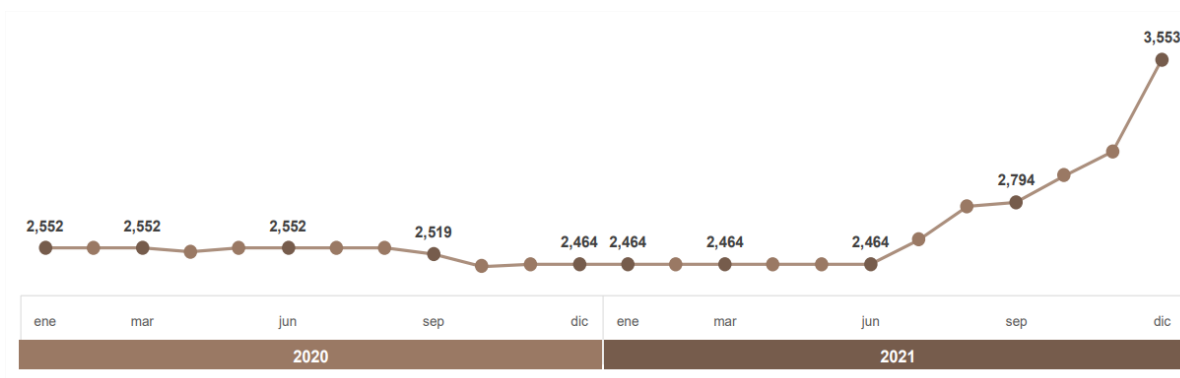
*Nota.* Rendimiento estandarizado a almendra seca. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021)

***Precio a nivel del productor***

En los últimos años, el precio de café ha incrementado a nivel del productor al igual que a nivel internacional. Entre enero del 2020 y diciembre del 2021 el precio de café arábico grano de oro aumentó de 2552 USD/Tonelada a 3553 USD/Tonelada.

**Figura 10**

*Precio de café arábico a nivel de productor(USD/Tonelada)*



*Nota.* Se muestra los precios de café arábico grano oro entre Enero-2020 y Diciembre-2021.

Tomado de (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022)

### **Cadena de valor del café**

Una cadena de valor describe todos los procesos involucrados en la creación de un producto o servicio.

La cadena de valor del café consta de una estructura clásica: Servicios de producción- producción – transformación y comercialización. (Gobierno provincial de Imbabura, 2020)

**Figura 11**

*Cadena de valor del café*



*Nota.* Se muestra la cadena de valor del café en forma general. Tomado de (Gobierno provincial de Imbabura, 2020)

Los servicios de producción están formados por los proveedores de plantas, distribuidores de insumos agrícolas y servicios especiales (organizaciones).

La producción abarca a los productores asociados y productores independientes. Respecto a los productores asociados pueden estar involucrados pequeños, medianos y grandes productores.

La comercialización puede ser realizada de dos formas: mediante asociaciones como AACRI y APCI, o mediante intermediarios locales. La comercialización mediante asociaciones es utilizada por los productores que están vinculados a las organizaciones, mientras que los intermediarios locales son utilizados por los productores independientes.

La transformación es realizada por ciertas asociaciones y por empresas especializadas en el sector cafetero.

### **Separadora de café**

Es una máquina diseñada para separar las cerezas verdes y otros granos defectuosos de las cerezas maduras. Pueden ser usadas antes o después de las despulpadoras. Si se usa antes de la despulpadora, la separadora clasifica los granos en cerezas verdes y maduras. Si se usa después de la despulpadora, la separadora clasifica en cerezas verdes y cereza despulpado. (Wintgens, 2004)

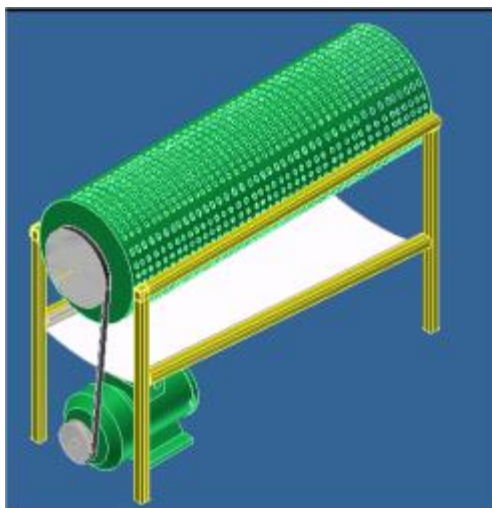
### ***Tipos de máquinas separadoras de café***

Las máquinas más comunes para separar granos de café de acuerdo al tamaño son:

- Separadora rotativa
- Separadora vibratoria
- Separadora horizontal

### **Separadora rotativa**

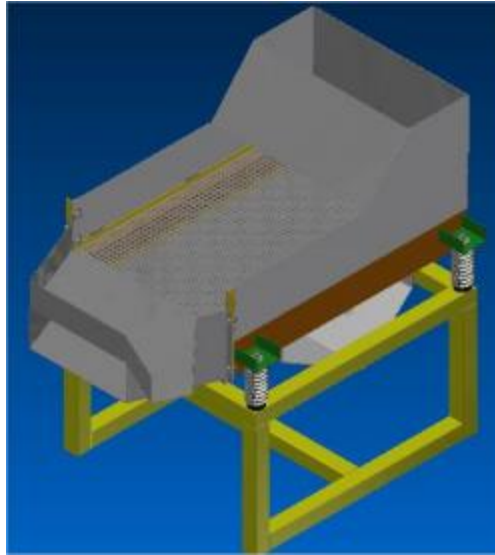
Una máquina separadora rotativa está formada por una criba en forma cilíndrica y en posición horizontal, un motor eléctrico conectado a la criba por medio de una banda, una tolva y una estructura de soporte. El funcionamiento consiste en que los granos ingresan por la entrada de la criba, el motor transmite el movimiento a la criba mediante la banda haciéndola rotar, la rotación de la criba permite separar los granos de acuerdo al tamaño. (López, 2015)

**Figura 12***Separadora rotativa*

*Nota.* Se muestra el diseño de una máquina separadora rotativa. Tomado de (López, 2015)

**Separadora vibratoria**

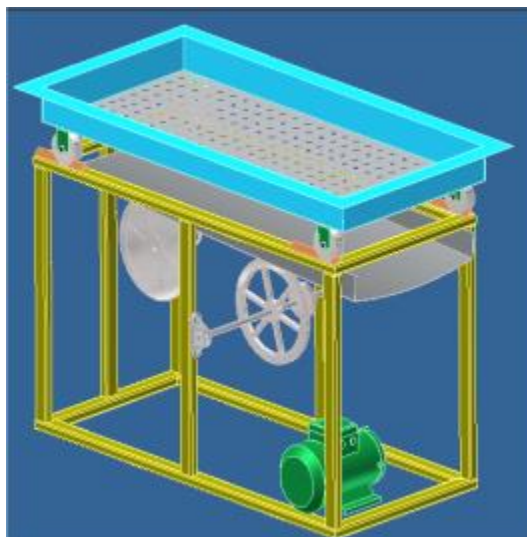
La máquina separadora consta de una criba horizontal con una bandeja en su parte inferior alojados en un bastidor, dos moto-vibradores, sistema de amortiguamiento y una estructura. Los moto-vibradores son los encargados de producir el movimiento de vibración unidireccional horizontal del bastidor, lo cual permite que los granos se muevan a través de la criba. El sistema de amortiguamiento está formado por resortes para la vibración de la criba. Los granos con los tamaños adecuados caen a la bandeja y los granos sobrantes son recolectados al final del recorrido. (López, 2015)

**Figura 13***Máquina separadora vibratoria*

*Nota.* Se muestra el diseño de una máquina separadora vibratoria. Tomado de (López, 2015)

**Separadora horizontal**

La máquina separadora horizontal está formada por un sistema biela-manivela acoplado a una mesa con una zaranda, una bandeja para recolectar los granos, una estructura como soporte y un motor para transmitir el movimiento. Los granos de diferentes tamaños son colocados en la zaranda; la clasificación se produce debido al movimiento horizontal de la zaranda generado por el sistema motriz, solo los granos que cumplen con las dimensiones pasan a la bandeja. Los granos que permanecen en la zaranda deben ser recolectados al final del proceso. (López, 2015)

**Figura 14***Máquina separadora horizontal*

*Nota.* Se muestra el diseño de una máquina separadora horizontal. Tomado de (López, 2015)

### **Despulpadora de café**

Es una máquina que se utiliza para separar la pulpa de los granos de café. El principio consiste en utilizar mecanismos de presión y fricción para extraer la cáscara del fruto y gran parte del mesocarpio. Pueden usarse tanto para café arábica como para robusta (Wintgens, 2004).

#### ***Tipos de máquinas despulpadoras de café***

El despulpado se realiza siguiendo alguno de los siguientes métodos:

- Despulpadora de disco
- Despulpadora de tambor
- Despulpadora de pantalla
- Despulpadora Raoeng

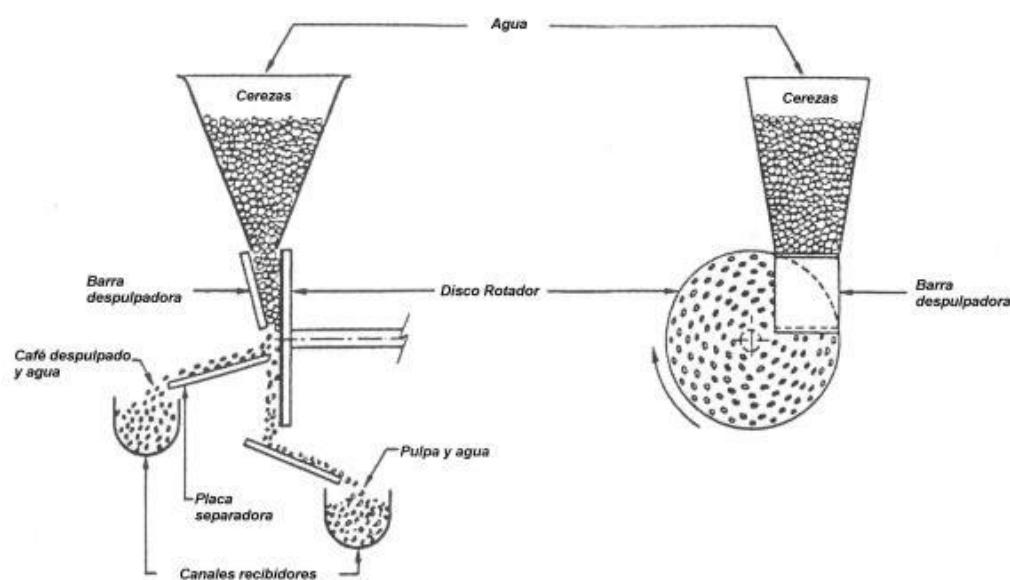
#### **Despulpadora de disco**

Consiste en un disco ensamblado a un eje rotatorio horizontal de aproximadamente 45 cm de diámetro y una barra despulpadora. La barra despulpadora aprieta las cerezas contra el

disco giratorio, eliminando la pulpa. La pulpa y el pergamino caen hasta una placa separadora con borde recto y afilado que solo permite el paso de la pulpa, mientras que el pergamino es transportado por la placa. La superficie de los discos es áspera para permitir la circulación de las cerezas. Las despulpadoras de disco pueden estar elaboradas de uno, dos, tres o cuatro discos, según los requerimientos. (Wintgens, 2004)

### Figura 15

#### Despulpadora de disco



*Nota.* La gráfica muestra una despulpadora de un disco. Tomado de (Wintgens, 2004)

#### Despulpadora de tambor

Una despulpadora de tambor puede ser horizontal o vertical, según la posición del tambor.

Despulpadora de tambor horizontal: Formado por una placa con o sin canales, un tambor rotador de entre 20-30 cm y una placa separadora. Las cerezas ingresan por la tolva hasta llegar al tambor con muescas, el tambor transporta las cerezas por la placa desulpadora; la distancia entre ambas disminuye a medida que se aproximan a la placa separadora, aumentando la presión en las cerezas y desulpándolas. La distancia entre el

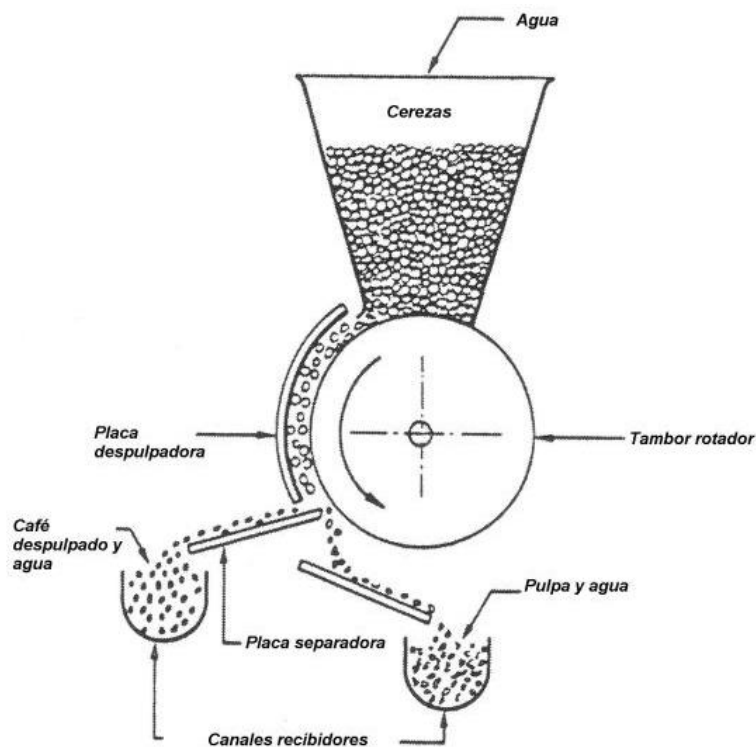


tambor y la placa despulpadora puede ser ajustada para minimizar daños a los granos.

(Wintgens, 2004)

### Figura 16

#### *Despulpadora de tambor horizontal*

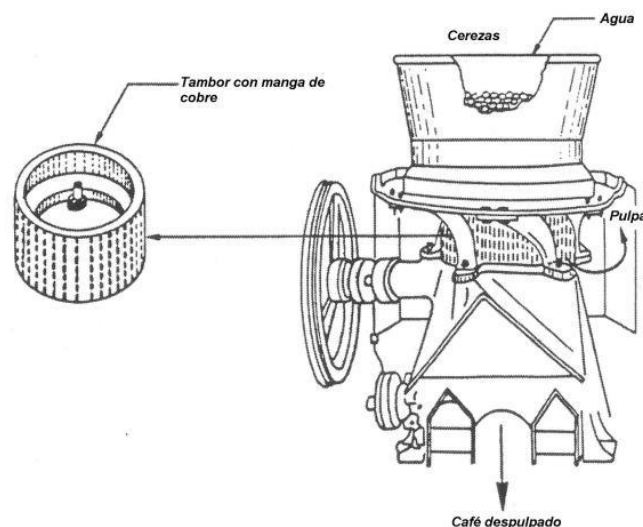


*Nota.* La gráfica muestra el principio de funcionamiento de una despulpadora de tambor horizontal. Tomado de (Wintgens, 2004)

Despulpadora de tambor vertical: Consta de un cilindro en posición vertical forrada con una capa metálica o de cobre, alrededor del cilindro se ensamblan entre tres y seis canales. Las cerezas ingresan por la parte superior y pasan por los canales que se estrechan de arriba hacia abajo, extrayendo el pergamino y desechando la pulpa fuera de los canales. Cabe mencionar que no es posible ajustar las distancias entre el tambor y los canales. (Wintgens, 2004)

## Figura 17

### Despulpadora de tambor vertical



*Nota.* La gráfica muestra el principio de funcionamiento de una despulpadora de tambor vertical. Tomado de (Wintgens, 2004)

### Despulpadora de pantalla

Cumplen dos funciones: separar las cerezas verdes y despulpar las cerezas maduras. Constan de un cilindro hueco con ranuras huecas y en su interior un rotor que presiona las cerezas contra cilindro. Las cerezas maduras son despulpadas mientras que las cerezas verdes permanecen dentro del cilindro.

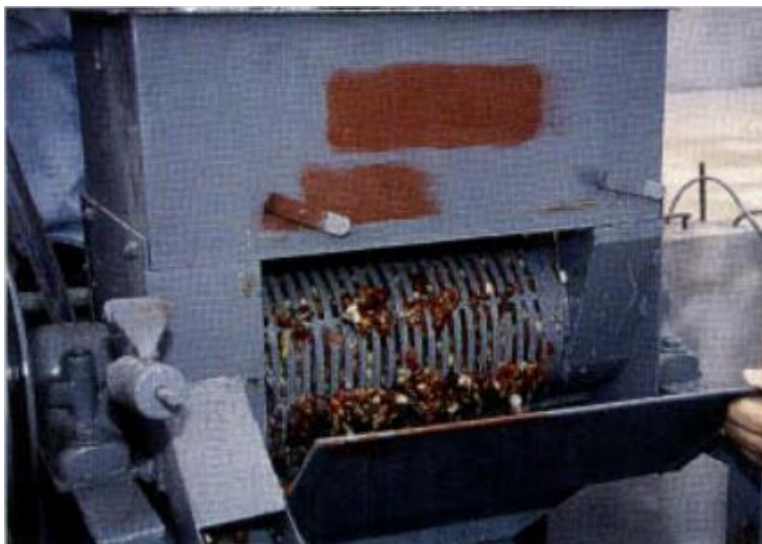
Se pueden distinguir dos líneas de despulpadoras de pantalla: de pequeña a mediana capacidad y de gran capacidad. La primera opción utiliza pantallas ranuradas cumpla función de separar las cerezas verdes, pero debe usarse a continuación una despulpadora de repaso. La segunda opción con pantalla de alambre soldado y su propio motor para uso independiente

Los despulpadores de pantalla comúnmente se colocaban después de los tanques de sifón para separar las cerezas verdes y continuar con el despulpado de las cerezas maduras. Sin embargo, en la actualidad es más probable que se ubiquen a continuación de la máquina

despulpadora, para funcionar como separador de cerezas verdes. El objetivo es ahorrar el consumo de agua mediante el uso de despulpadoras que consuman poco o nada de agua.

### **Figura 18**

*Despulpadora de pantalla*



*Nota.* La gráfica muestra el funcionamiento de una despulpadora de pantalla. Tomado de (Wintgens, 2004)

### **Despulpadora Raoeng**

Realizan el proceso de despulrado y eliminan el mucilago en una sola operación. Tiene un tambor de hierro fundido, rodeado de un cilindro de pantalla. El tambor fuerza el avance de las cerezas mediante canales. Las cerezas son despulpadas frotándose entre en ellas mismas y presionándose contra las paredes. A la salida del cilindro se coloca un contrapeso con el objetivo de controlar la presión y el tiempo del producto dentro de la máquina. El tambor tiene perforaciones para ingresar agua a presión y eliminar los restos de pulpa y mucílago del pergamino.

Aunque una despulpadora Raoeng cumple con dos funciones en un proceso, necesita grandes cantidades de agua y potencia, entre 7-10 hp para despulpar una tonelada de cereza en una hora.

## **Capítulo III**

### **Diseño y Construcción**

#### **Análisis de factibilidad**

La factibilidad de la máquina se determina con el uso de tablas de ponderación. Una tabla de ponderación contiene el valor que se asigna a un producto o característica según su nivel de importancia. En el diseño de la máquina se asigna valores a los requerimientos de diseño. Los parámetros a considerar para el uso de tablas de ponderación son:

- Características para la evaluación
- Cada característica debe tener un valor en porcentaje acorde a su importancia
- Los valores de porcentaje deben ser equilibrados

#### ***Requerimientos***

En función a las necesidades del usuario se plantea los siguientes requerimientos

- Funcionalidad
- Costo
- Seguridad
- Tamaño
- Construcción
- Operación
- Mantenimiento

#### ***Descripción de requerimientos***

##### **Funcionalidad**

Se evalúa el grado en que la máquina cumple con su propósito.

##### **Costo**

Se evalúa que el costo sea el mínimo.

**Seguridad**

Se evalúa que la manipulación de la máquina sea lo más seguro posible para el usuario.

**Tamaño**

Se evalúa que las máquinas hagan uso del menor espacio posible.

**Construcción**

Se evalúa que los componentes sean fáciles de conseguir y la construcción no requiera de mano de obra especializada.

**Operación**

Se evalúa el grado de complejidad de manipular la máquina.

**Mantenimiento**

Se evalúa los periodos de tiempo de mantenimiento y el grado de complejidad de acceder a las partes que involucran mantenimiento.

***Sistema de calificación***

9: Mayor relevancia

1: Menor relevancia

**Tabla 4*****Sistema de calificación***

Criterio de comparación	Equivalencia		
	9-7	6-4	3-1
Funcionalidad	Cumple	.....	No Cumple
Costo	Bajo	Intermedio	Alto
Seguridad	Alto	Intermedio	Baja
Tamaño	Pequeño	Intermedio	Grande
Construcción	Fácil	Intermedio	Difícil
Operación	Fácil	Intermedio	Difícil

Criterio de comparación	Equivalencia		
	9-7	6-4	3-1
Mantenimiento	Fácil	Intermedio	Difícil

### Alternativas de la procesadora

El orden de los procesos no altera el resultado final, es decir como parámetro de entrada se tiene las cerezas y como salida se espera las cerezas despulpadas o café pergamino húmedo. En tal razón, como primer paso se debe determinar el orden de las máquinas, se tiene dos alternativas:

- máquina separadora - máquina despulpadora
- máquina despulpadora – máquina separadora.

### Tabla 5

#### *Alternativas de la procesadora*

	Alternativa 1	Alternativa 2
Primer proceso	Máquina separadora	Máquina despulpadora
Segundo proceso	Máquina despulpadora	Máquina separadora

### ***Estudio de las alternativas***

#### **Funcionalidad**

Tanto la alternativa uno como la alternativa dos cumplen con su función, la variedad de modelos de separadoras y despulpadoras permite que se coloquen en cualquier orden sin afectar su funcionalidad.

#### **Costo**

Alternativa uno: Ubicar primero la separadora requiere de mayor inversión porque separar cerezas verdes y maduras es más complejo.

Alternativa dos: Ubicar la separadora después de la despulpadora permite el uso de separadoras mecánicas como la rotativa, vibratoria y vertical.

### **Seguridad**

Se espera que las dos opciones tengan el mismo nivel de seguridad.

### **Tamaño**

Las dimensiones de la despulpadora no se ven afectados por su ubicación.

Alternativa uno: Debido a que se maneja mayor volumen entre cerezas maduras y verdes, las dimensiones de la separadora deben ser mayores a comparación de la alternativa dos.

Alternativa dos: Los tres tipos de separadoras mecánicas son las más sencillas por lo que ocupan menor espacio.

### **Construcción**

Estrechamente relacionado con el tamaño. La dificultad de construcción es menor utilizando la segunda alternativa.

### **Operación**

Se espera que en los casos se utilice los mismos controles, por lo que dificultad de manipulación debe ser el mismo

### **Mantenimiento**

La complejidad de la máquina determina la dificultad de mantenimiento. En consecuencia, es más sencillo realizar el mantenimiento en la alternativa dos.

**Selección de la alternativa****Tabla 6***Selección de la procesadora*

Criterio	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Funcionalidad	20	9	20	9	20
Costo	20	6	13.33	8	17.78
Seguridad	15	8	8.33	8	8.33
Tamaño	15	5	8.33	7	11.67
Construcción	10	5	5.56	7	7.78
Operación	10	8	8.89	8	8.89
Mantenimiento	10	6	6.67	7	7.78
Sumatoria	100		71.11		82.23

Se realiza la selección de la alternativa dos que consiste en ubicar como primer proceso la máquina despulpadora y como segundo proceso la máquina separadora.

**Alternativas de la despulpadora**

En la Figura 9 se muestra el proceso de beneficiado del café que básicamente consiste en transformar el café cereza en café pergamino seco, para el cual existen tres caminos: vía húmeda, vía semihúmeda y vía seca. El presente proyecto está enfocado en el beneficiado de café por vía semihúmeda, específicamente en el proceso de separación de verdes y despulpado; por tal razón quedan descartados las alternativas de despulpadora de pantalla y despulpadora Raoeng. La despulpadora de pantalla se descarta debido a que esta máquina se usa en el caso de que se requiera primero la separación de verdes, seguido del despulpado de cerezas. La despulpadora Raoeng se descarta debido a que es de uso exclusivo del



beneficiado del café por vía húmeda. Por lo tanto, las alternativas que se deben analizar son: despulpadora de disco, despulpadora de tambor horizontal y despulpadora de tambor vertical.

**Tabla 7**

*Alternativas de la despulpadora*

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Despulpadora de disco	Despulpadora de tambor horizontal	Despulpadora de tambor vertical

### ***Estudio de las alternativas***

#### **Despulpadora de disco**

##### **Ventajas**

- Fácil diseño y construcción.
- Menor peso en comparación con la despulpadora de tambor.

##### **Desventajas**

- Dificultad de calibración debido a la forma del disco.
- Menor rendimiento.

#### **Despulpadora de tambor horizontal**

##### **Ventajas**

- Son las más utilizadas, por lo que los caficultores están familiarizados con el producto.
- Fácil manipulación y mantenimiento.
- No necesita agua.
- Fácil calibración.

##### **Desventajas**

- Elevado peso por lo que es una máquina estacionaria.

- Complejo diseño del pechero.
- Elevados costos de mantenimiento.

### **Despulpadora de tambor vertical**

#### **Ventajas**

- Es la adecuada para el sector industrial debido a que tiene la capacidad de procesar hasta 10 ton/h.
- Alto rendimiento, hasta 98 %.
- No necesita agua.

#### **Desventajas**

- Tambor en posición vertical por lo que resulta difícil su mantenimiento y construcción.
- La fuerza centrífuga puede expulsar los granos fuera de la máquina.

### ***Selección de la alternativa***

#### **Funcionalidad**

Los tres tipos de despulpadoras cumplen con su función, no obstante, se evalúa el rendimiento de las máquinas. Las despulpadoras de tambor tanto horizontal como vertical tienen mayor rendimiento que la despulpadora de pantalla.

#### **Costo**

El material es el mismo por lo que los costos no varían en los tres tipos.

#### **Seguridad**

El nivel de seguridad es el mismo debido a que ninguna despulpadora tiene partes que puedan considerarse peligrosas.

#### **Tamaño**

Generalmente la despulpadora de pantalla vertical se utiliza para grandes capacidades por lo que sus dimensiones son mayores a la despulpadora horizontal y despulpadora de disco.

### Construcción

Las partes de las despulpadoras son parecidas, por lo tanto, su dificultad de construcción es similar.

### Operación

Los controles deben ser los mismos en los tres casos.

### Mantenimiento

Realizar la limpieza de los residuos en la despulpadora de disco resulta más compleja por la dificultad de acceder a las partes internas.

**Tabla 8**

*Selección de la despulpadora*

Criterio	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Despulpadora de disco		Despulpadora de tambor horizontal		Despulpadora de tambor vertical	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Funcionalidad	20	6	13.33	8	17.78	8	17.78
Costo	20	7	15.56	7	15.56	7	15.56
Seguridad	15	8	13.33	8	13.33	8	13.33
Tamaño	15	8	13.33	8	13.33	5	8.33
Construcción	10	7	7.78	7	7.78	7	7.78
Operación	10	9	10	9	10	9	10
Mantenimiento	10	6	6.67	8	8.88	7	7.78
Sumatoria	100		80		86.66		80.56

De acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 8, se selecciona la despulpadora de tambor horizontal.

### **Alternativas de la separadora**

**Tabla 9**

*Alternativas de la separadora*

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Separadora rotativa	Separadora vibratoria	Separadora horizontal

### ***Estudio de las alternativas***

#### **Separadora rotativa**

##### **Ventajas**

- Trabajo continuo.
- Gran capacidad de procesamiento.
- Montaje sencillo.

##### **Desventajas**

- Necesita una criba con forma de cilindro.
- Sistema robusto.
- Difícil acceso al producto

#### **Separadora vibratoria**

##### **Ventajas**

- Tiene sistema de amortiguamiento por lo que se reduce el desgaste
- Es posible regular la vibración
- Fácil operación

##### **Desventajas**

- Mecanismo complejo

- Altura limitada
- Costo elevado

### **Separadora horizontal**

#### **Ventajas**

- Bajo costo de fabricación
- Mantenimiento simple
- Fácil recolección de los granos separados
- Puede adaptarse al espacio disponible
- Necesita soportes de sujeción

#### **Desventajas**

- Ruido durante el funcionamiento
- Necesita inclinación la bandeja
- Necesita de un mecanismo biela-manivela.

### ***Selección de la separadora***

#### **Funcionalidad**

Los tres tipos de máquinas separan adecuadamente los granos de café si usan las dimensiones correctas de la criba.

#### **Costo**

La separadora rotativa involucra mayores costos, seguido de la separadora vibratoria y por último la separadora horizontal.

#### **Seguridad**

Por la geometría, la separadora rotativa resulta menos segura a comparación de las restantes.

#### **Tamaño**

La separadora rotativa requiere de mayor espacio.

### Construcción

La separadora rotativa tiene mayor dificultad de construcción debido a que necesita la forma de cilindro en la criba, seguido de la separadora vibratoria debido a que se necesita de motores vibratorios, seguido de la separadora horizontal.

### Operación

Las tres máquinas poseen el mismo de nivel de dificultad de manipulación.

### Mantenimiento

Los componentes de la separadora vibratoria son de difícil acceso; la limpieza de la criba en la separadora rotativa es más compleja que en la separadora horizontal.

**Tabla 10**

*Selección de la separadora*

Criterio	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2			Alternativa 3		
		Separadora rotativa		Separadora vibratoria			Separadora horizontal		
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada		
Funcionalidad	20	9	20	9	20	9	20		
Costo	20	6	13.33	7	15.56	8	18.78		
Seguridad	15	7	11.67	8	13.33	8	13.33		
Tamaño	15	7	11.67	9	15	9	15		
Construcción	10	5	5.56	6	6.67	7	7.78		
Operación	10	9	10	9	10	9	10		
Mantenimiento	10	7	7.78	7	7.78	8	8.89		
Sumatoria	100		80		88.34		93.78		

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 10, se selecciona la Separadora horizontal.

### **Diseño de la despulpadora de café**

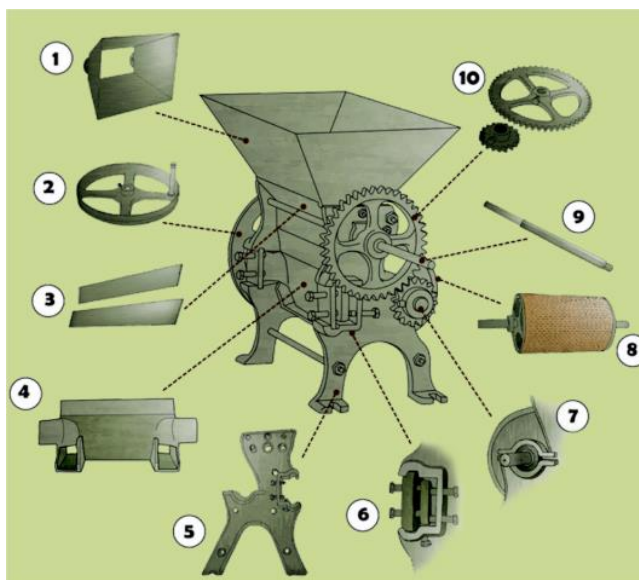
#### ***Partes de una despulpadora de tambor horizontal***

En la Figura 18 se muestran las partes de una despulpadora de tambor horizontal, las cuales son:

- 1- Tolva
- 2- Polea
- 3- Cubierta
- 4- Pechero
- 5- Castillo
- 6- Regulador de pechero
- 7- Rodaje del eje del tambor y chumacera
- 8- Cilindro o tambor con cubierta de cobre y su eje
- 9- Regulador de cerezo
- 10- Engranaje

## Figura 19

Partes de una despulpadora de tambor horizontal



*Nota.* Tomado de (Junta Nacional de café, 2008)

**Tolva:** permite el ingreso de los granos de café cereza, tiene forma de una pirámide truncada invertida.

**Polea:** sirve para transmitir el movimiento al tambor.

**Cubierta:** se utiliza para cubrir los espacios vacíos entre la tolva y el cilindro.

**Pechero:** es la parte principal de una despulpadora debido a que separa la pulpa del grano de café.

**Castillo:** sirve como soporte de la estructura y se ubica uno a cada lado.

**Regulador de pechero:** permite ajustar la distancia entre el pechero y el cilindro con el objetivo de calibrar la despulpadora, de esta manera es posible despulpar cerezas de distinto tamaño.

**Rodaje del eje del tambor y chumacera:** sostienen los ejes y permiten la rotación del cilindro.



**Cilindro o tambor con cubierta de cobre:** el cilindro debe tener una cubierta de cobre, el cilindro transporta las cerezas a través del pechero, la forma de la cubierta del cobre sirve para despulpar las cerezas al contacto con el pechero.

**Regulador de cerezo:** permite el paso de las cerezas de la tolva hacia el cilindro-

**Engranaje:** permiten transmitir el movimiento y al mismo tiempo reducir la velocidad, consta de un engrane conductor y un engrane conducido.

### **Requerimientos iniciales**

Capacidad de la tolva: 25 kg

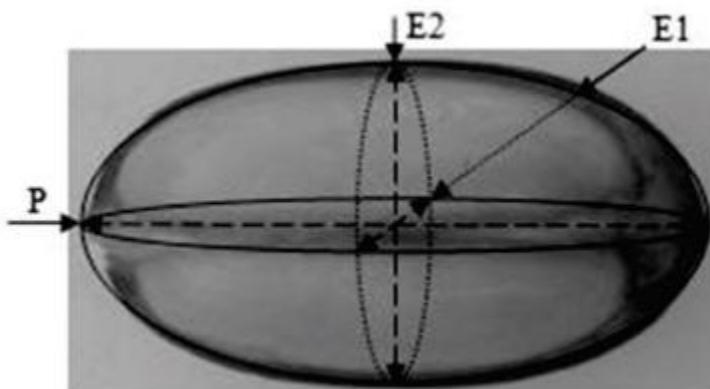
Capacidad de procesamiento: 200 kg/h

### **Parámetros del café**

Para el desarrollo de la despulpadora es necesario conocer sus propiedades físicas tales como sus dimensiones (alto, ancho y profundidad) así como la fuerza necesaria para desprender la pulpa en los estados de maduración de la cereza. La Figura 20 muestra las dimensiones de una cereza de café, E1 ancho, E2 alto y P profundidad. (Carvajal, Aristizábal, & Oliveros, 2012)

### **Figura 20**

*Dimensiones de una cereza de café*



*Nota.* Tomado de (Carvajal, Aristizábal, & Oliveros, 2012)

La Figura 21 muestra el promedio de las dimensiones ortogonales de 100 cerezas para cada día de desarrollo de la fruta (DDA). Se utiliza el diámetro característico (Dc) debido a que es el promedio entre las longitudes E1, E2 y P. De la Figura 21 se utiliza el valor DDA=224 debido a que el fruto ya no se encuentra estado inmaduro (Figura 22) con Dc=14.1 mm.

### Figura 21

#### *Dimensiones ortogonales de una cereza de café*

DDA	E1	CV (%)	E2	CV (%)	P	CV (%)	Dc	CV (%)				
182	11,39 <sup>a*</sup>	ab**	4,76	12,68 <sup>b</sup>	ab	3,88	15,49 <sup>c</sup>	abc	5,73	13,13 <sup>d</sup>	ab	3,55
189	11,22 <sup>a</sup>	a	4,73	12,56 <sup>b</sup>	a	4,63	15,32 <sup>c</sup>	a	7,69	12,98 <sup>d</sup>	a	3,83
196	11,47 <sup>a</sup>	b	4,73	12,74 <sup>b</sup>	ab	3,73	15,73 <sup>c</sup>	cd	6,65	13,25 <sup>d</sup>	b	3,54
203	11,41 <sup>a</sup>	ab	4,00	12,65 <sup>b</sup>	ab	3,73	15,64 <sup>c</sup>	abc	6,04	13,17 <sup>d</sup>	b	3,34
210	11,51 <sup>a</sup>	b	4,78	12,85 <sup>b</sup>	b	4,35	15,69 <sup>c</sup>	bcd	6,72	13,29 <sup>d</sup>	b	3,79
217	11,96 <sup>a</sup>	c	6,14	13,30 <sup>b</sup>	c	5,82	15,36 <sup>c</sup>	ab	6,95	13,50 <sup>b</sup>	c	4,97
224	12,46 <sup>a</sup>	d	4,87	14,37 <sup>b</sup>	d	6,28	15,57 <sup>c</sup>	abc	6,48	14,10 <sup>d</sup>	d	4,88
231	12,81 <sup>a</sup>	e	6,36	14,84 <sup>b</sup>	e	6,63	16,53 <sup>c</sup>	e	8,68	14,68 <sup>b</sup>	e	6,55
238	12,79 <sup>a</sup>	e	6,43	14,53 <sup>b</sup>	d	6,34	15,98 <sup>c</sup>	d	6,76	14,40 <sup>b</sup>	f	5,67

*Nota.* Valores ortogonales Dc en mm. Tomado de (Carvajal, Aristizábal, & Oliveros, 2012)

La fuerza para despulpar una cereza de café se visualiza en la Figura 22. Para DDH=224 (fruto pintón) corresponde una tonalidad de verde-amarillo-naranja-rojiza con Ft= 10.48 N.

**Figura 22***Fuerza de desprendimiento de pulpa de café*

DDA	Estado	Tonalidad	Ft (N)	CV (%)
182	Inmaduro	Verde	10,55	b*
189	Inmaduro	Verde	11,27	bc
196	Inmaduro	Verde	12,00	cd
203	Inmaduro	Verde	12,62	de
210	Inmaduro	Verde	13,45	e
217	Inmaduro	Verde-amarillo	13,07	e
224	Pintón	verde-amarillo-naranja-rojiza	10,48	b
231	Maduro	Rojo	10,77	b
238	Sobremaduro	Rojo-violeta	6,33	a

*Nota.* Valores ortogonales  $D_c$  en mm. Tomado de (Carvajal, Aristizábal, & Oliveros, 2012)

La Figura 23 muestra los valores promedio de masa fresca y seca según los días de desarrollo de la fruta. Se selecciona el valor de 1.72 g

**Figura 23***Valores de masa de cerezas de café*

DDA	M (g)	CV (%)	Ms (g)	CV (%)	Mc (%)	CV (%)			
182	1,32	a*	11,85	0,40	a	14,34	69,63	d	2,35
189	1,30	a	9,99	0,40	a	14,74	69,28	cd	1,30
196	1,37	ab	11,98	0,44	b	15,31	67,62	ab	0,85
203	1,37	ab	10,77	0,46	b	13,32	66,50	a	0,50
210	1,40	b	12,53	0,46	b	14,33	66,82	a	0,46
217	1,48	c	14,49	0,50	c	16,36	66,47	a	1,10
224	1,72	d	16,05	0,54	d	19,91	68,23	bc	2,44
231	1,94	f	19,96	0,58	e	19,19	70,34	d	0,93
238	1,80	e	18,07	0,61	f	18,83	66,33	a	2,09

*Nota.* Tomado de (Carvajal, Aristizábal, & Oliveros, 2012)

Datos finales

$$D_c = 14.1 \text{ mm}$$

$$F_t = 10.48 \text{ N}$$

$$m = 1.72 \text{ g}$$

Donde:

$D_c$ : diámetro característico

$F_t$ : Fuerza de tracción o desprendimiento

$m$ : masa de una cereza de café

### **Diseño de la tolva**

La base de una tolva debe ser rectangular para acoplarse a las dimensiones del tambor que realiza el despulpado. El diseño de la tolva se realiza para una capacidad de 25 kg.

Es necesario conocer el volumen que ocupan las cerezas de café.

$$\text{Masa que ingresa a la tolva} = 25 \text{ kg}$$

$$\text{Densidad} = 965 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

**Ecuación 1**

Volumen ( $\text{m}^3$ )

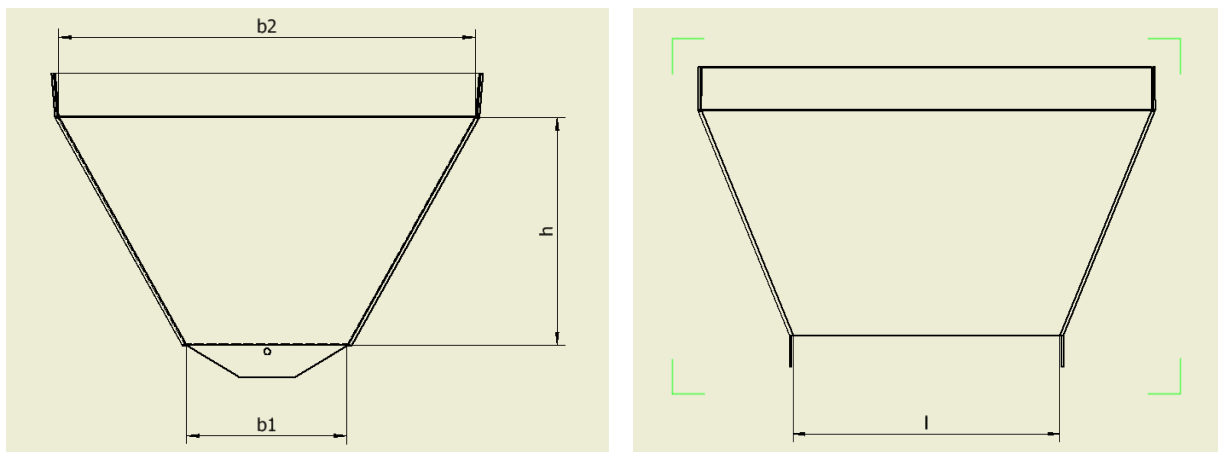
$$v = \frac{25 \text{ kg}}{965 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$v = 0.02604 \text{ m}^3$$

A continuación, se calcula las dimensiones de la tolva.

**Figura 24**

Vista lateral y frontal de una tolva.



*Nota.* La Figura a la izquierda muestra la vista lateral y a la derecha la vista frontal.

La Figura 18 muestra las dimensiones de la tolva, donde “b1” es la base inferior, “b2” es la base superior, “h” es la altura y “l” es la longitud. Como parámetro de entrada se tiene “b1” y “l”. El volumen deseado se obtiene variando la longitud de la base superior y el ángulo de inclinación entre “b1” y “b2”. El ángulo adecuado para que las cerezas resbalen por la tolva debe ser por lo menos de 60°.

El volumen de una tolva está definido por el volumen de un tronco de pirámide. El volumen se obtiene por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B * A_b})$$

**Ecuación 2**

Volumen de una pirámide truncada (m<sup>3</sup>)

Donde:

*V: Volumen*

*h: altura*

$A_B$ : Área de la base inferior

$A_b$ : Área de la base superior

$b_1 = 0.1 \text{ m}$

$l = 0.3 \text{ m}$

Con los datos anteriores y utilizando la Ecuación 2 se realiza iteraciones para encontrar las dimensiones restantes de la tolva.

**Tabla 11**

*Dimensiones de la tolva*

Iteración	b1(m)	b2(m)	l(m)	$\Theta$ (°)	h(m)	V. Calculado(m <sup>3</sup> )	V. Requerido(m <sup>3</sup> )
1	0.1	0.3	0.3	60	0.17321	0.00993	0.02604
2	0.1	0.35	0.3	60	0.21651	0.01379	0.02604
3	0.1	0.4	0.3	60	0.25981	0.01819	0.02604
4	0.1	0.3	0.3	65	0.21445	0.01229	0.02604
5	0.1	0.35	0.3	65	0.26806	0.01708	0.02604
6	0.1	0.4	0.3	65	0.32168	0.02252	0.02604
7	0.1	0.3	0.3	70	0.27475	0.01575	0.02604
8	0.1	0.35	0.3	70	0.34343	0.02188	0.02604
9	0.1	0.4	0.3	70	0.41212	0.02885	0.02604

La Tabla 11 muestra las iteraciones para determinar las dimensiones de la tolva para valores constantes de  $b_1$  y  $l$ . Como resultado se obtuvo que en la novena iteración se alcanzó el volumen mínimo requerido. Las dimensiones finales de la tolva son  $b_1 = 0.1 \text{ m}$ ,  $b_2 = 0.4 \text{ m}$ ,  $l = 0.3 \text{ m}$ ,  $\Theta = 70^\circ$ ,  $h = 0.41 \text{ m}$ .

### **Cálculo del tambor o cilindro**

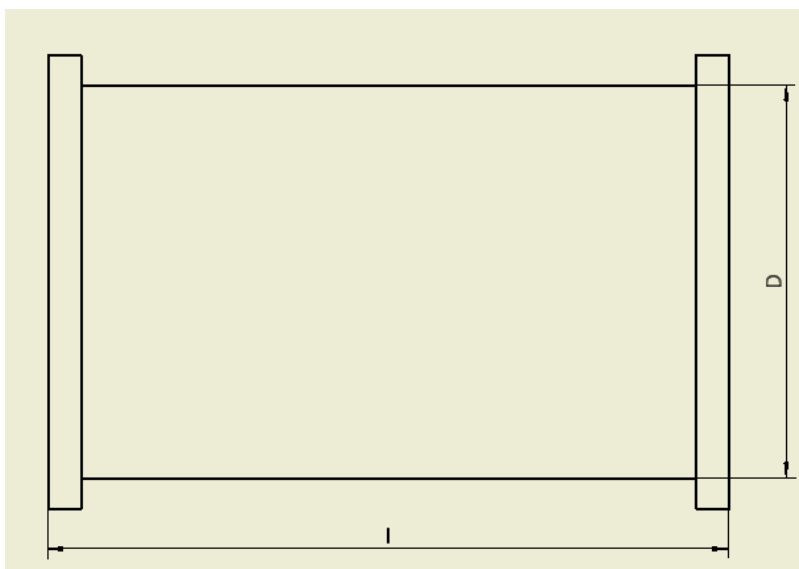
Se tiene de referencia el diámetro de tambor de diferentes fabricantes. El diámetro del tambor no afecta la capacidad de la máquina, pero la longitud del tambor si influye en la capacidad. El diámetro del tambor influye en la calidad de despulpado, y está estrechamente relacionado con las dimensiones del pechero, a mayor diámetro, las cerezas tienen más recorrido por el pechero para ser despulpadas.

Dado que se tendría que realizar experimentos físicos con diferentes diámetros de cilindros para determinar cuál produce mayor porcentaje de café despulpado, se opta por utilizar valores comerciales.

La Figura 25 exhibe la forma de un tambor de diámetro “D” y longitud “l”. En el diámetro del tambor se está considerando el espesor de la camisa de acople que es la encargada de despulpar junto con el pechero.

### **Figura 25**

Diámetro del cilindro o tambor



*Nota.* El diámetro “D” resulta de la suma del diámetro del tambor más el espesor del acople.

De acuerdo con la Figura 26, el diámetro recomendado para una capacidad de 200 kg/h, el diámetro de tambor recomendado es 6.3 pulgadas = 160 mm.

**Figura 26**

*Principales características de una despulpadora comercial*

Modelo ESTRELLA	N° 2	N° 2 ½	N° 2 ¾	N° 3	N° 3 ½	N° 4 ½	N° 5	N° 5 ¾
Capacidad en Kg/h	200	300	400	450	600   700	900	1.200	1.800
Potencia requerida	1/3 HP	½ HP	½ HP	¾ HP	¾ HP	1 HP	1 HP	1½ HP
Cantidad de Chorros	2	2	2   3	3	2   3	3	2	3
Diámetro Volante	17"	17"	17"	17"	17"	17"	24"	24"
Diámetro Cilindro	6.3"	7.5"	8.5"   6.3"	7.5"	10"   8.5"	10"	14"	14"
Polea del motor	2"	2"	2"	2"	2"	2"	2.5"	2.5"

*Nota.* Valores estandarizados de acuerdo a la capacidad de una despulpadora. Tomado de (JM ESTRADA, 2021)

Para el cálculo de la velocidad de rotación se utiliza la capacidad de la máquina

$$C_m = \frac{200 \text{ kg}}{h} * \frac{1 h}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ cereza}}{0.00172 \text{ kg}} = 1938 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}$$

Se realiza el cálculo de número de cerezas que ingresan simultáneamente al cilindro.

De las dimensiones de la tolva se sabe que la longitud del cilindro debe ser igual o menor que la longitud de la tolva. En consecuencia, la longitud del cilindro es  $l=0.3 \text{ m}$

A continuación, se calcula el número de cerezas que alcanzan en 0.3m de longitud mediante la Ecuación 3:

$$N_c = \frac{l}{D_c}$$

**Ecuación 3**

*Número de cerezas*

Donde:

$N_c$ : número de cerezas que caben en la longitud horizontal del tambor

$l$ : longitud del tambor

$D_c$ : diámetro característico de una cereza de café

$$N_c = \frac{300 \text{ mm}}{14.1 \text{ mm}}$$



$$N_c = 14.277 \text{ cerezas} \approx 15 \text{ cerezas}$$

A continuación, se calcula la velocidad angular del cilindro con la Ecuación 4

$$n = \frac{C_m}{N_c}$$

#### Ecuación 4

*Velocidad angular del tambor (RPM)*

$$n = \frac{1938 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}}{15 \text{ cerezas}}$$

$$n = 129.2 \text{ RPM}$$

La velocidad del tambor debe ser al menos de 129.2 RPM. Se escoge el valor de 200 RPM.

Como acople de tambor se utiliza una cubierta de cobre con muescas con calibre entre 0.6 y 0.7 mm

#### **Cálculo de la potencia de despulpado**

La fuerza de desprendimiento total es:

$$F_T = F_t * N_c$$

#### Ecuación 5

*Fuerza de desprendimiento total (N)*

Donde:

$F_T$ : Fuerza total de desprendimiento

$F_t$ : Fuerza de desprendimiento

$N_c$ : número de cerezas que ingresan al tambor

$$F_T = 10.48 \text{ N} * 15$$

$$F_T = 157.2 \text{ N} = 16.02 \text{ kgf}$$

La velocidad tangencial está definida por:

$$v = \frac{\pi * n * D}{1000}$$

**Ecuación 6***Velocidad tangencial (m/min)**Nota. (Norton, 2011)*

Donde:

*v = velocidad tangencial**n = velocidad angular en RPM**D = Diametro del tambor*

Mediante la Ecuación 6 se obtiene la velocidad lineal del tambor

$$v = \frac{\pi * 200 \text{ RPM} * 160 \text{ mm}}{1000}$$

$$v = 100.53 \frac{m}{min}$$

La potencia está definida por:

$$N = \frac{F_T * v}{60 * 102}$$

**Ecuación 7***Potencia para despulpar (kW)**Nota. (Norton, 2011)*

Donde:

*N: Potencia para despulpar**F<sub>T</sub>: Fuerza total de despulpado**v: velocidad tangencial del tambor*

Aplicando la Ecuación 7:

$$N = \frac{16.02 \text{ kgf} * 100.53 \frac{m}{min}}{60 * 102}$$

$$N = 0,263 \text{ kW} = 0.35 \text{ HP}$$

Se selecciona un motor de 0.5 HP a 1800 rpm

### **Cálculo de las poleas y banda**

Existen cuatro tipos de bandas: plana, redonda, tipo v y de sincronización. Se utiliza una banda plana debido a que su eficiencia es mayor (98 %) en comparación de bandas tipo V (70 %). Además, las bandas planas se utilizan para transmitir grandes cantidades de potencia en distancias entre sus centros, en contraparte las bandas en V se utilizan con distancias cortas y con poleas similares. (Budynas & Nisbett, 2012)

Se selecciona la polea de acuerdo a la velocidad de rotación del tambor:

$$v = 100.53 \frac{m}{min} = 329.82 \frac{pie}{min}$$

Para velocidades menores a  $600 \frac{pie}{min}$  se utiliza las características ilustradas en la Figura 27. Según la Figura 26 se recomienda una polea de 2 pulg y según la Figura 27 se recomienda una polea de 3 pulg. Se escoge el valor de 2 pulg.

### **Figura 27**

#### *Propiedades de materiales para bandas*

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg <sup>3</sup>	Coefficiente de fricción
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{64}$	3	30	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{13}{64}$	$3\frac{1}{2}$	33		
	2 capas	$t = \frac{18}{64}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{20}{64}$	6 <sup>a</sup>	50	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{23}{64}$	9 <sup>a</sup>	60	0.035-0.045	0.4
Poliamida <sup>b</sup>	F-0 <sup>c</sup>	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5
	F-1 <sup>c</sup>	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5
	F-2 <sup>c</sup>	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5
	A-2 <sup>c</sup>	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8
	A-3 <sup>c</sup>	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8
	A-4 <sup>c</sup>	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8
	A-5 <sup>c</sup>	$t = 0.25$	13.5	275	0.039	0.8
Uretano <sup>d</sup>	w = 0.50	$t = 0.062$	Ve a la tabla 17-3	5.2 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$t = 0.078$		9.8 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$t = 0.090$		18.9 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
	Redonda	$d = \frac{1}{4}$	Ve a la tabla 17-3	8.3 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		18.6 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{2}$		33.0 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		74.3 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7

*Nota.* Datos aplicables para bandas planas y redondas. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Según la Figura 28 el factor de servicio para maquinaria de impacto uniforme y par de torsión normal varía entre 1.1 y 1.2, se escoge el factor de servicio de 1.2.

### Figura 28

*Factores de servicio sugeridos para bandas*

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

*Nota.* Factores de servicio aplicables a bandas en V y bandas planas. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

La relación de transmisión se calcula con la ecuación:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

### Ecuación 8

*Relación de transmisión*

*Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

*i*: relación de transmisión

*n*<sub>1</sub>: velocidad de rotación de la polea motriz

*n*<sub>2</sub>: velocidad de rotación de la polea conducida

*D*<sub>1</sub>: diámetro de la polea motriz

*D*<sub>2</sub>: diámetro de la polea conducida

Entonces la relación de transmisión es:

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$i = 9$$

La relación de transmisión indica que la velocidad se reduce 9 veces.

Con la Ecuación 8 se calcula el diámetro de la polea conducida:

$$D_2 = \frac{D_1 * n_1}{n_2}$$

$$D_2 = \frac{2 \text{ pulg} * 1800 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$D_2 = 18 \text{ pulg} = 457.2 \text{ mm}$$

La distancia entre centros debe ser ubicada dentro de un intervalo. Se debe considerar el espacio disponible y la aplicación. Se debe considerar el aumento de distancias entre centros para permitir el tensado inicial. También, el ángulo de contacto de la banda debe ser mayor a 120°. (Mott, 2006)

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$$

### **Ecuación 9**

*Intervalo de distancias nominales entre centros (pulg)*

*Nota. (Mott, 2006)*

Donde:

*D<sub>1</sub>: diámetro de polea menor*

*D<sub>2</sub>: diámetro de polea mayor*

*C: distancia entre centros*

Aplicando la Ecuación 9

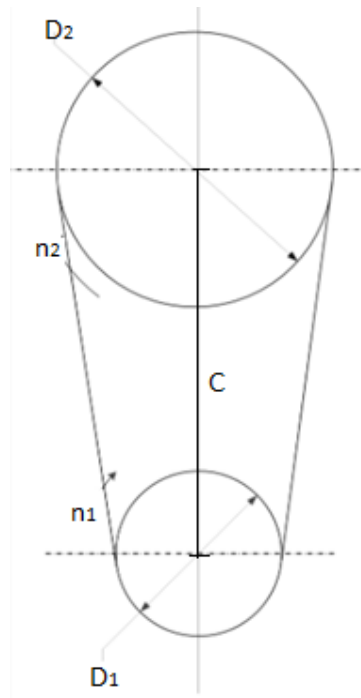
$$18 \text{ pulg} < C < 3(18 \text{ pulg} + 2 \text{ pulg})$$

$$18 \text{ pulg} < C < 60 \text{ pulg}$$

Se selecciona el valor de  $C=30 \text{ pulg} = 760 \text{ mm}$ , con el objetivo de ubicar la polea motriz y polea conducida en posición vertical.

**Figura 29**

*Sistema de poleas y banda*



*Nota.* Se muestran los datos de las Ecuaciones 8 y 9.

Con la distancia entre centros y los diámetros se puede calcular los ángulos de contacto

$$\theta_{D1} = \theta_d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

**Ecuación 10**

*Ángulo de contacto de la polea menor (rad)*

*Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\theta_{D2} = \theta_D = \pi + 2 \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

**Ecuación 11**

*Ángulo de contacto de la polea mayor (rad)*

*Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

*D: diámetro de polea mayor*

$d$ : diámetro de polea menor

$C$ : distancia entre centros de las poleas

$\theta$ : ángulo de contacto

El ángulo de contacto de la polea menor según la Ecuación 10 es

$$\theta_d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{18 \text{ pulg} - 2 \text{ pulg}}{2 * 30 \text{ pulg}}\right)$$

$$\theta_d = 2.6017 \text{ rad}$$

$$\theta_d = 149.07^\circ$$

El ángulo de contacto de la polea menor mediante la Ecuación 11 es

$$\theta_D = \pi + 2 \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{18 \text{ pulg} - 2 \text{ pulg}}{2 * 30 \text{ pulg}}\right)$$

$$\theta_D = 3.6815 \text{ rad}$$

$$\theta_D = 210.93^\circ$$

La longitud de la banda se determina de acuerdo con la Ecuación 12

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d)$$

### **Ecuación 12**

*Longitud de banda (pulg)*

*Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

$$L = [4(30 \text{ pulg})^2 - (18 \text{ pulg} - 2 \text{ pulg})^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(18 \text{ pulg} * 3.68 \text{ rad} + 2 \text{ pulg} * 2.6 \text{ rad})$$

$$L = 67.97 \text{ pulg}$$

### **Cálculo de los engranajes**

El sistema de engrane cumple con la función de transmitir el movimiento del eje principal al eje cuadrado. Según el diámetro característico de una cereza, el diámetro del eje debe ser mayor a 14.1 mm y según las dimensiones de la tolva debe ser menor a 100mm. Se selecciona el diámetro de 25.4 mm o 1 pulg como valor normalizado.

El cálculo de los engranajes se realiza sabiendo que la distancia entre centros debe ser mayor que el radio del tambor sumado al radio del eje cuadrado para evitar interferencias. Adicionalmente se suma el diámetro característico de una cereza para permitir el paso de las cerezas.

$$C_E > R_e + R_t + D_c$$

Donde:

$C_E$ : distancia entre centros de los engranajes

$R_e$ : radio del eje cuadrado

$R_t$ : radio del tambor

$D_c$ : diámetro característico

$$C_E > 12.7 \text{ mm} + 80 \text{ mm} + 14.1 \text{ mm}$$

$$C_E > 106.8 \text{ mm} = 4.2 \text{ pulg}$$

Adicionalmente es necesario conocer la velocidad de rotación del eje cuadrado. Para el desplazamiento de las cerezas se recomienda una velocidad de entre 60-80 rpm. Se escoge el valor de 70 rpm.

La relación de velocidades es:

$$V_R = \frac{n_P}{n_G}$$

### **Ecuación 13**

Relación de velocidades en engranajes

*Nota.* (Mott, 2006)

Donde:

$V_R$ : Relación de velocidades en engranajes

$n_P$ : velocidad de rotación de piñon

$n_G$ : velocidad de rotación del engrane



Usando la Ecuación 13

$$V_R = \frac{200 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$V_R = 2.86$$

Respecto al número de dientes del piñón se recomienda entre 17 y 20 en un principio (Mott, 2006) (Mott, 2006). Se selecciona 18 dientes.

El número de diente del engrane se calcula con la Ecuación 14.

$$N_G = N_P * V_R$$

#### **Ecuación 14**

Relación de velocidades en función del número de dientes.

*Nota.* (Mott, 2006)

Donde:

$N_G$ : número de dientes del engrane

$N_P$ : número de dientes del piñón

$V_R$ : relación de velocidad del engrane

$$N_G = N_P * V_R$$

$$N_G = 18 \text{ dientes} * 2.86$$

$$N_G = 51.48 \text{ dientes} \approx 52 \text{dientes}$$

La relación de velocidad real es:

$$V_R = \frac{N_G}{N_P}$$

$$V_R = \frac{52 \text{ dientes}}{18 \text{ dientes}}$$

$$V_R = 2.89$$

La velocidad de salida real es:

$$V_G = n_P * \frac{N_P}{N_G}$$

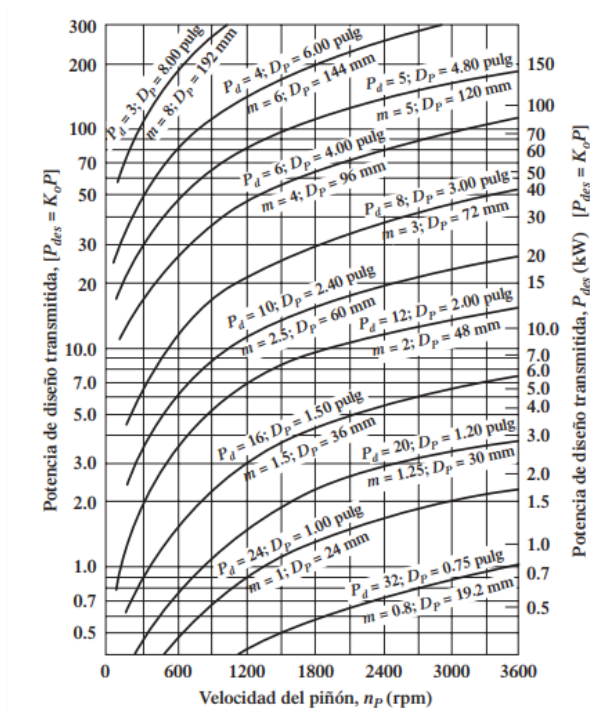
$$n_G = 200 \text{ rpm} * \frac{18 \text{ dientes}}{52 \text{ dientes}}$$

$$n_G = 69.23 \text{ rpm}$$

El paso diametral se selecciona según la Figura 30. Para 200 rpm y 0.5 Hp, el paso diametral es 16.

**Figura 30**

*Pasos y diámetros para engranes*



*Nota.* Datos para ángulo de presión a 20°. Tomado de (Mott, 2006).

La distancia entre centros está definida por la Ecuación 15:

$$C = \frac{(N_P + N_G)}{2P_d}$$

**Ecuación 15**

*Distancia entre centros en engranajes (pulg)*

*Nota.* (Mott, 2006).

Donde:

$C$ : distancia entre centros en engranajes

$N_G$ : número de dientes del engrane

$N_P$ : número de dientes del piñón

$P_d$ : Paso diametral

$$C = \frac{(18 \text{ dientes} + 52 \text{ dientes})}{2(16 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}})}$$

$$C = 2.1875 \text{ pulg}$$

Sin embargo, para que la distancia entre centros sea mayor a 4.2 pulg, se debe modificar el paso diametral.

$$P_d = \frac{(N_P + N_G)}{2C}$$

$$P_d = \frac{(18 \text{ dientes} + 52 \text{ dientes})}{2 * 4.2 \text{ pulg}}$$

$$P_d = 8.33 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}} = 8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}$$

Se obtiene  $P_D = 8$  como valor estandarizado.

La distancia real entre centros es:

$$C = \frac{(18 \text{ dientes} + 52 \text{ dientes})}{2(8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}})}$$

$$C = 4.375 \text{ pulg}$$

La distancia entre centros calculada cumple con la condición requerida.

El diámetro de paso se calcula con la Ecuación 16 y 17:

$$D_P = \frac{N_P}{P_d}$$

**Ecuación 16**

*Diámetro de paso en el piñón (pulg)*

Nota. (Mott, 2006)

$$D_P = \frac{N_G}{P_d}$$

### Ecuación 17

Diámetro de paso en el engrane (pulg)

Nota. (Mott, 2006).

Diámetro de paso del piñón:

$$D_P = \frac{18 \text{ dientes}}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$D_P = 2.25 \text{ pulg}$$

Diámetro de paso en el engrane:

$$D_G = \frac{52 \text{ dientes}}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$D_G = 6.5 \text{ pulg}$$

Velocidad de la línea de paso (Ecuación 18):

$$v_t = \frac{\pi D_P * n_P}{12}$$

### Ecuación 18

Velocidad de la línea de paso (pies/min)

Nota. (Mott, 2006).

Donde:

$v_t$ : velocidad de la línea de paso

$$v_t = \frac{\pi * 2.35 \text{ pulg} * 200 \text{ rpm}}{12}$$

$$v_t = 123.05 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

Carga transmitida:

$$W_t = \frac{33000 * P}{v_t}$$

**Ecuación 19**

Carga transmitida (lb)

*Nota.* (Mott, 2006).

Donde:

$W_t$ : carga transmitida

$P$ : potencia transmitida

$$W_t = \frac{33000 * 0.5 \text{ HP}}{123.05 \frac{\text{pies}}{\text{min}}}$$

$$W_t = 134 \text{ lb}$$

Ancho de cara recomendado según la Ecuación 20:

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d}$$

**Ecuación 20**

*Intervalo de ancho de cara recomendado (pulg)*

*Nota.* (Mott, 2006).

Donde:

$F$ : ancho de cara

$P_d$ : paso diametral

$$F = \frac{12}{P_d}$$

**Ecuación 21**

Valor nominal de ancho de cara (pulg)

*Nota.* (Mott, 2006).

Límite inferior:

$$F = \frac{8}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$F = 1 \text{ pulg}$$

Límite superior:

$$F = \frac{16}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$F = 2 \text{ pulg}$$

Valor nominal:

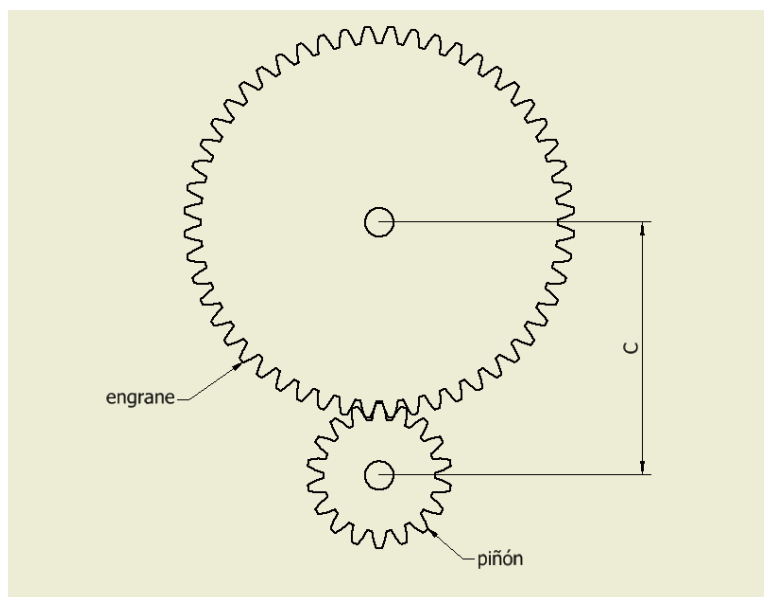
$$F = \frac{12}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{in}}}$$

$$F = 1.5 \text{ pulg}$$

La Figura 31 muestra la distancia entre centros del piñón y engrane.

**Figura 31**

Engranaje recto



### Coeficiente elástico Cp

El material para los engranes y el coeficiente elástico se determinan a partir de la Figura 32. Se selecciona el Acero tanto para el engrane como para el piñón con  $C_p=2300$ .

### Figura 32

Coeficiente elástico  $C_p$

Material del piñón	Módulo de elasticidad, $E_p$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa)	Material y módulo de elasticidad $E_g$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa), del engrane					
		Acero $30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	Hierro maleable $25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro nodular $24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro colado $22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	Bronce de aluminio $17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	Bronce de estaño $16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )
Acero	$30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	2300	2180	2160	2100	1950	1900
Hierro maleable	$25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2180	2090	2070	2020	1900	1850
Hierro nodular	$24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2160	2070	2050	2000	1880	1830
Hierro colado	$22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	2100	2020	2000	1960	1850	1800
Bronce de aluminio	$17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	1950	1900	1880	1850	1750	1700
Bronce de estaño	$16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )	1900	1850	1830	1800	1700	1650

Nota. Tomado de (Mott, 2006).

### Número de calidad AGMA

El número de calidad AGMA se identifica en la Figura 33. Se utiliza  $Q_v=5$  para accionamientos de tambor.

**Figura 33**

Números de calidad AGMA recomendados

Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14

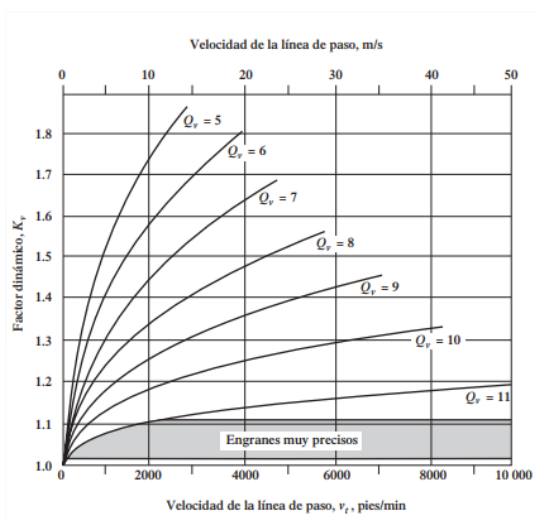
Nota. Tomado de (Mott, 2006).

### Factor dinámico Kv

Con el número de calidad se selecciona el factor dinámico Kv. Para  $v_t = 123.05 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$  se selecciona Kv=1.1 como se muestra en la Figura 34.

**Figura 34**

Factor dinámico Kv



Nota. Tomado de (Mott, 2006).

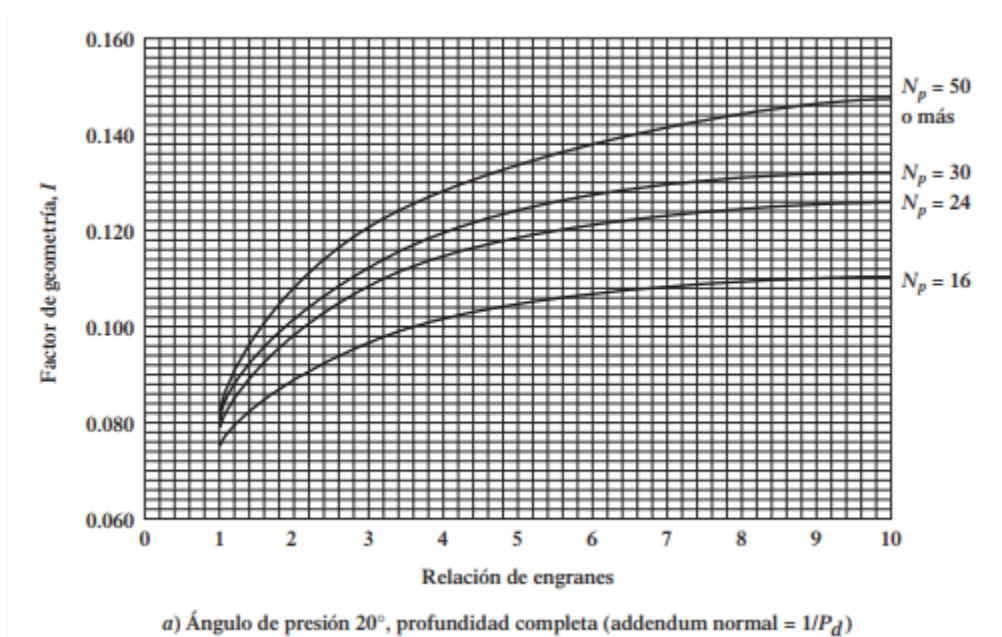


### Factor de geometría I

Se utiliza un ángulo de presión de  $20^\circ$ . Para la relación de engranes=2.89 y  $N_p=17$ , corresponde  $I= 0.09$  según la Figura 35.

### Figura 35

Factor de geometría I



Nota. Tomado de (Mott, 2006).

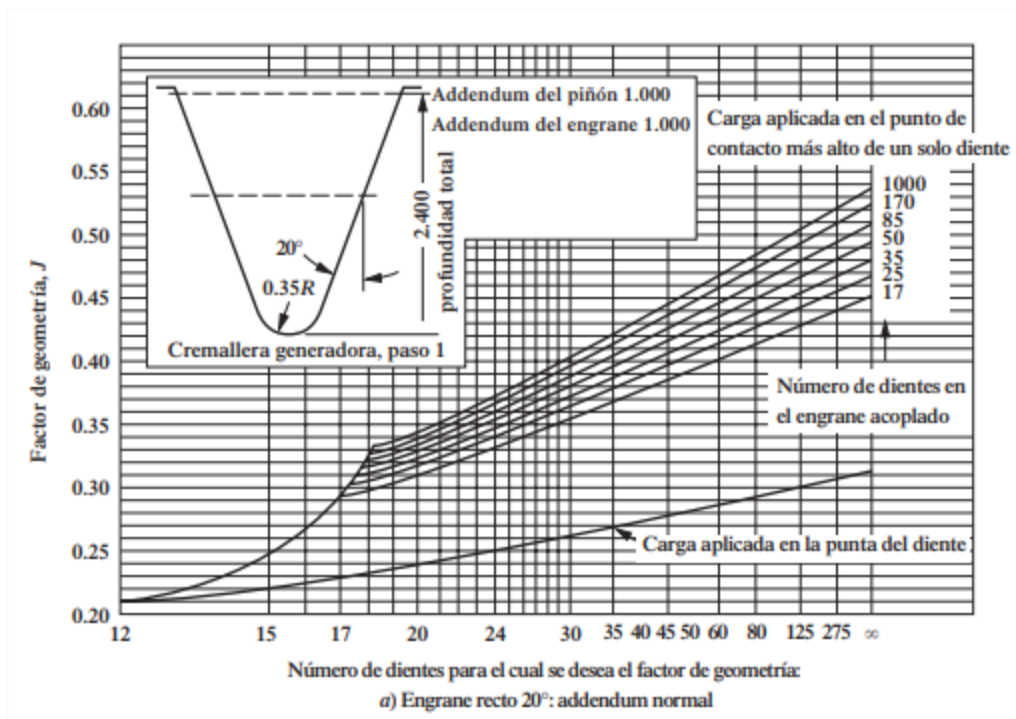
### Factor de geometría J

Se calcula J tanto para el piñón como para el engrane según la Figura 36.

$$J_p = 0.29$$

$$J_G = 0.38$$

Figura 36

Factor de geometría  $J$ 

Nota. Tomado de (Mott, 2006).

### Factor de distribución de carga $K_m$

$$K_m = 1.0 + C_{pf} + C_{ma}$$

### Ecuación 22

Factor de distribución  $K_m$

Nota. (Mott, 2006).

Donde:

$K_m$ : factor de distribución de carga

$C_{pf}$ : factor de proporción del piñón

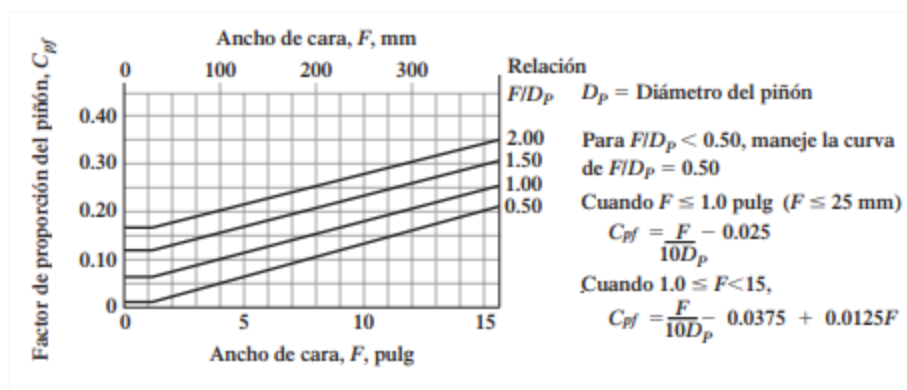
$C_{ma}$ : Factor por alineamiento de engranado

El factor de proporción de piñón se identifica en la Figura 37:

$$C_{pf} = 0.01$$

Figura 37

Factor de proporción de piñón



Nota. Tomado de (Mott, 2006).

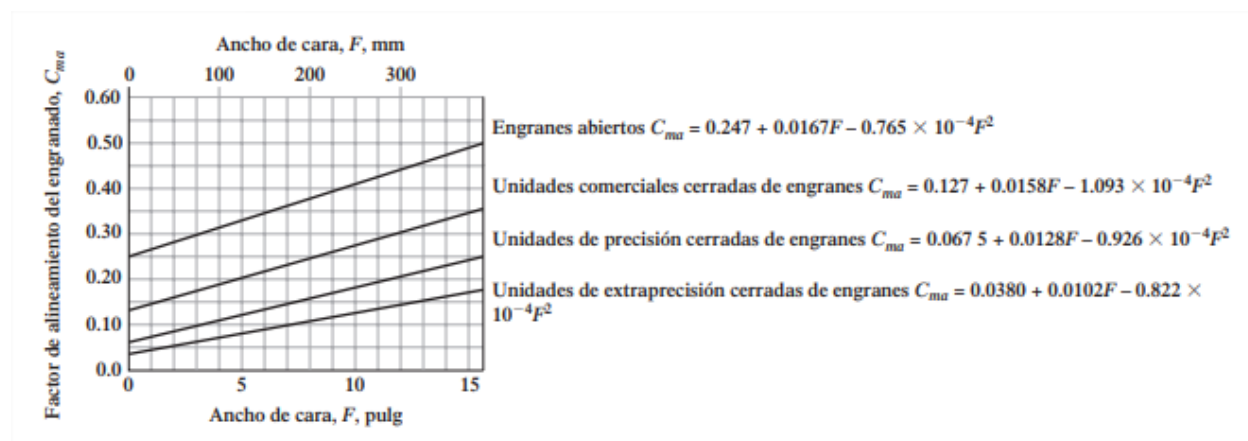
**Factor de alineamiento de engranado**

En la Figura 38 se identifica el factor de alineamiento del engranado en función del ancho de cara. Se utiliza engranajes abiertos.

$$C_{ma} = 0.27$$

Figura 38

Factor de alineamiento de engranado



Nota. Tomado de (Mott, 2006).

Entonces, el factor de distribución de carga es:

$$K_m = 1.0 + 0.01 + 0.27$$

$$K_m = 1.28$$

### Factor de tamaño $K_s$

De la Figura 39 se selecciona  $K_s=1$ .

### Figura 39

Factor de tamaño  $K_s$

**TABLA 9-6** Factores de tamaño sugeridos,  $K_s$

Paso diametral, $P_d$	Módulo métrico, $m$	Factor de tamaño, $K_s$
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

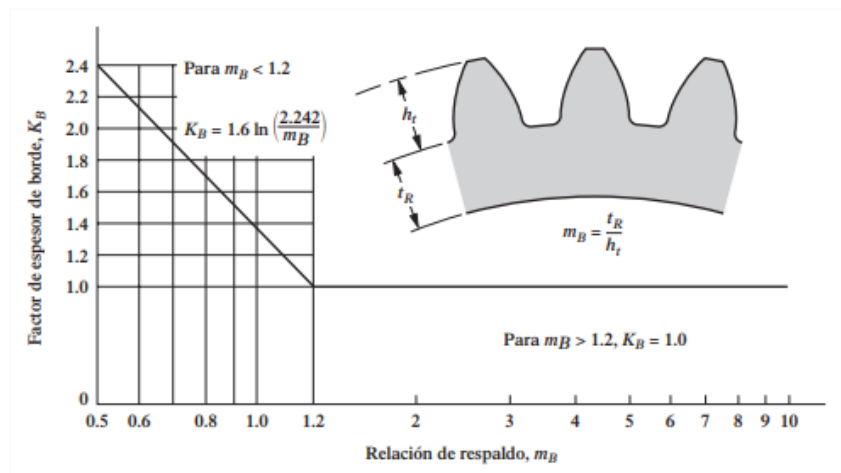
Nota. Tomado de (Mott, 2006).

### Factor de espesor $K_B$

En la Figura 40 se muestra el factor de espesor. Para un modelo sólido de engrane se recomienda  $K_B = 1$ .

### Figura 40

Factor de espesor



Nota. Tomado de (Mott, 2006).

### Factor de sobrecarga $K_o$

La Figura 41 muestra los factores de sobrecarga sugeridos en función de la fuente de potencia.

#### Figura 41

*Factores de sobrecarga sugeridos*

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

*Nota.* Tomado de (Mott, 2006).

### Esfuerzo flexionante esperado en el piñón y en el engrane

$$S_t = \frac{W_t * P_d}{F * J} * K_o * K_s * K_m * K_B * K_v$$

#### Ecuación 23

*Número de esfuerzo flexionante (psi)*

*Nota.* (Mott, 2006).

Donde:

$W_t$  = carga transmitida

$J$ : factor de geometría

$K_o$ : factor de sobrecarga para resistencia flexionante

$K_s$ : factor de tamaño para la resistencia flexionante

$K_m$ : factor de distribución de carga para la resistencia flexionante

$K_B$ : factor de espesor de orilla

$K_v$ : factor dinámico para la resistencia flexionante

$F$ : ancho de cara

Factor del esfuerzo del piñón:

$$S_{tP} = \frac{134 \text{ lb} * 8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}{1.5 \text{ pulg} * 0.29} * 1 * 1 * 1,28 * 1 * 1.1$$

$$S_{tP} = 3469.82 \text{ psi}$$

Factor de esfuerzo del engrane

$$S_{tG} = S_{tP} * \frac{J_P}{J_G}$$

$$S_{tG} = 3469.82 \text{ psi} * \left(\frac{0.29}{0.38}\right)$$

$$S_{tG} = 2648.03 \text{ psi}$$

### **Esfuerzo de contacto esperado en el piñón y en el engrane**

El esfuerzo de contacto es el mismo para el piñón y engrane.

$$S_c = C_p * \sqrt{\frac{W_t * K_o * K_s * K_m * K_v}{F * D_p * I}}$$

### **Ecuación 24**

*Esfuerzo de contacto (psi)*

*Nota. (Mott, 2006).*

Donde:

$C_p$  = *coeficiente elástico*

$W_t$  = *carga transmitida*

$I$ : *factor de geometría*

$D_p$ : *diámetro de paso del piñón*

$K_o$ : *factor de sobrecarga para resistencia flexionante*

$K_s$ : *factor de tamaño para la resistencia flexionante*

$K_m$ : *factor de distribución de carga para la resistencia flexionante*

$K_v$ : *factor dinámico para la resistencia flexionante*

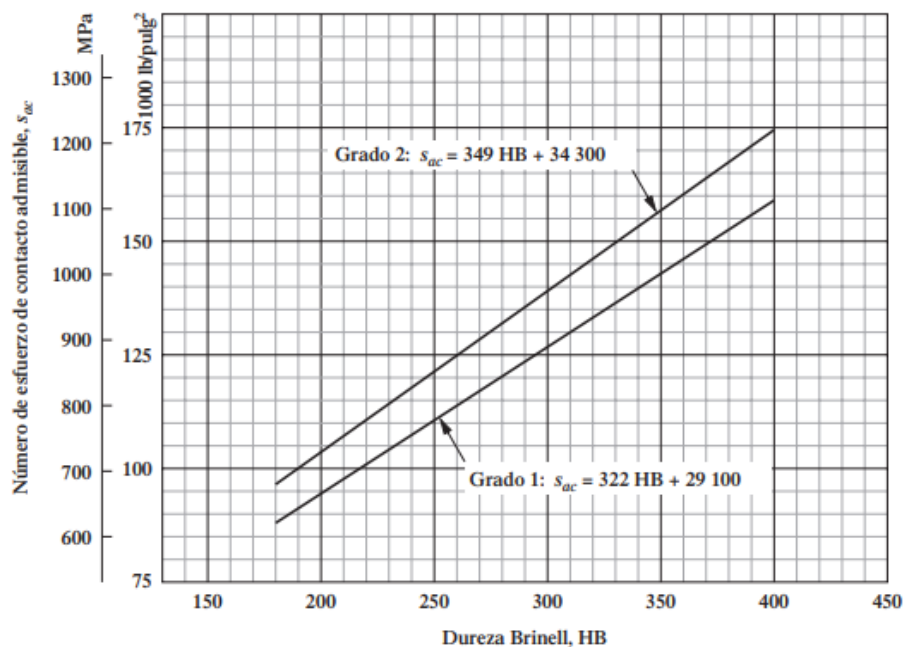
$$S_c = 2300 * \sqrt{\frac{134 \text{ lb} * 1 * 1 * 1.28 * 1.1}{1 \text{ pulg} * 2.25 \text{ pulg} * 0.09}}$$

$$S_c = 70205.2 \text{ psi}$$

De acuerdo con la Figura 42 se selecciona el acero templado totalmente de HB 130

## Figura 42

Número de esfuerzo de contacto

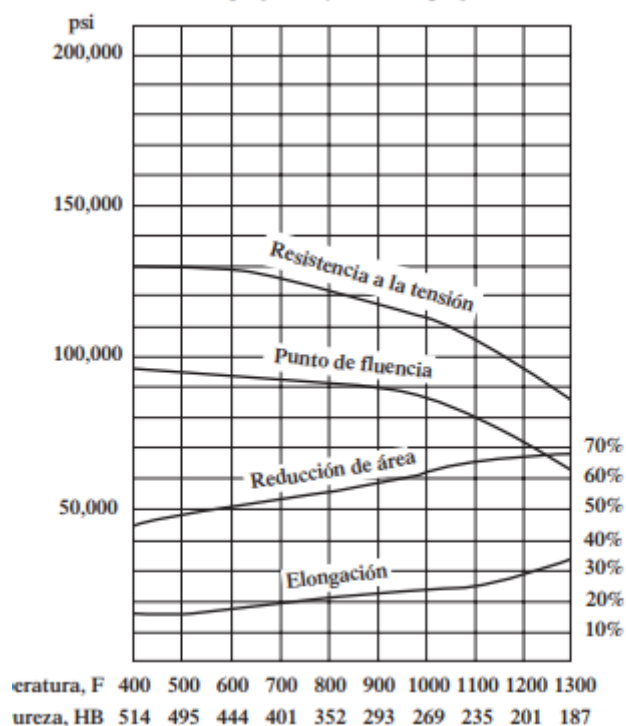


Nota. Tomado de (Mott, 2006).

A partir del esfuerzo de contacto  $S_c = 70205.2 \text{ psi}$  y la dureza HB 269, se selecciona el material que corresponde al acero AISI 1040 OQT1000 como se visualiza en la Figura 43.

**Figura 43**

*Propiedades del acero AIS 1020*

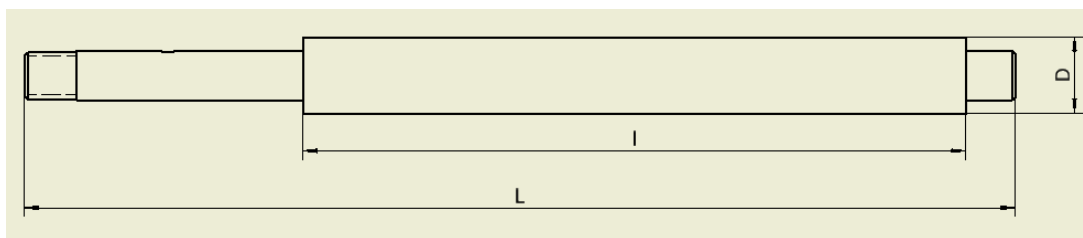


*Nota.* Tomado de (Mott, 2006).

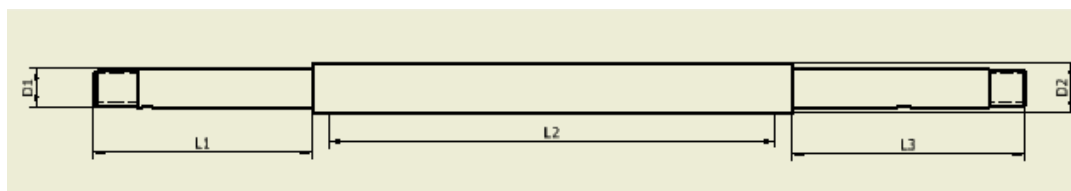
### **Cálculo del eje cuadrado**

El eje cuadrado o secundario se utiliza para transportar las cerezas al tambor por lo su diámetro depende de la cantidad de cerezas que se transportan y del ancho de la base inferior de la tolva. El diámetro "D" es de 25.4 mm o 1 pulg como valor normalizado. La longitud "I" corresponde al largo del eje cuadrado. La longitud "L" corresponde al largo total del eje. Los datos mencionados se visualizan en la Figura 44.

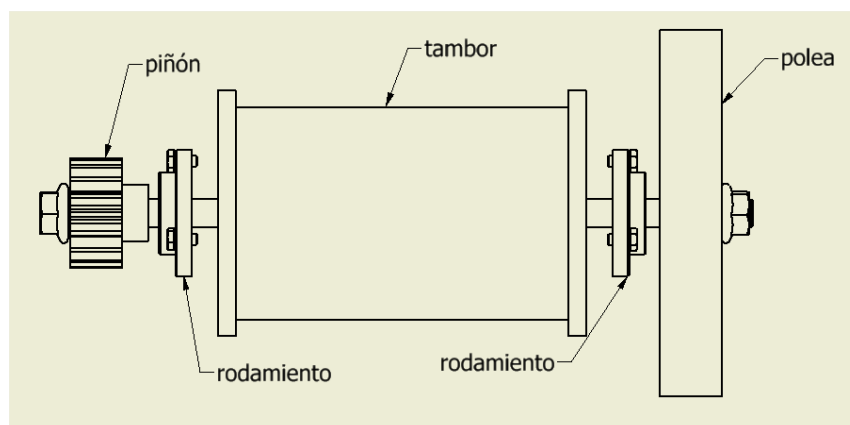


**Figura 44***Eje cuadrado***Cálculo del eje principal**

El eje principal contiene al tambor y es el encargado de frotar las cerezas contra el pechero. La Figura 45 especifica las longitudes del eje.  $L_1$  es la longitud correspondiente al piñón,  $L_2$  para el tambor y  $L_3$  para la polea. Respecto al diámetro, "D1" corresponde al piñón y "D2" al tambor.

**Figura 45***Eje principal*

La Figura 46 muestra los elementos acoplados al eje.

**Figura 46***Elementos acoplados al eje principal*

**Par torsional en el eje**

$$T = \frac{63000 * P}{n}$$

**Ecuación 25**

Par torsional (lb.pulg)

*Nota.* (Mott, 2006)

Donde:

*T: par torsional**P: potencia**n: velocidad angular*

$$T = \frac{63000 * 0.5 \text{ HP}}{200 \text{ rpm}}$$

$$T = 157.5 \text{ lb. pulg}$$

**Fuerza sobre la Polea**

$$F_p = \frac{2T}{\frac{D_p}{2}}$$

**Ecuación 26**

Fuera flexionante para bandas planas (lb)

*Nota.* (Mott, 2006)

Donde:

*F<sub>p</sub>: fuerza flexionante en la polea**T: par torsional**D<sub>p</sub>: diámetro de la polea*

$$F_p = \frac{2T}{\frac{D_p}{2}}$$

$$F_p = \frac{2 * 157.5 \text{ lb. pulg}}{\frac{18 \text{ pulg}}{2}}$$

$$F_p = 35 \text{ lb}$$

### Fuerza sobre el tambor

En el tambor se presenta una fuerza distribuida ejercida por el pechero (calculada anteriormente).

$$F_D = 157.2 \text{ N} = 35.34 \text{ lb} = 16.02 \text{ kgf}$$

### Fuerzas sobre el piñón

$$W_{tA} = \frac{T_A}{\frac{D_A}{2}}$$

#### Ecuación 27

Fuerza tangencial en el piñón (lb)

*Nota.* (Mott, 2006)

Donde:

$W_{tA}$ : Fuerza tangencial

$T_A$ : torque en el eje

$D_A$ : diámetro de paso en el piñón

$$W_{rA} = W_{tA} * \tan \theta$$

#### Ecuación 28

Fuerza radial en el piñón (lb)

*Nota.* (Mott, 2006)

Donde:

$W_{rA}$ : Fuerza radial

$\theta$ : ángulo de presión

Aplicando la Ecuación 26 y 27:

$$W_{tA} = \frac{157.5 \text{ lb.pulg}}{\frac{2.5 \text{ pulg}}{2}}$$

$$W_{tA} = 126 \text{ lb}$$

$$W_{rA} = 126 \text{ lb} * \tan 20^\circ$$

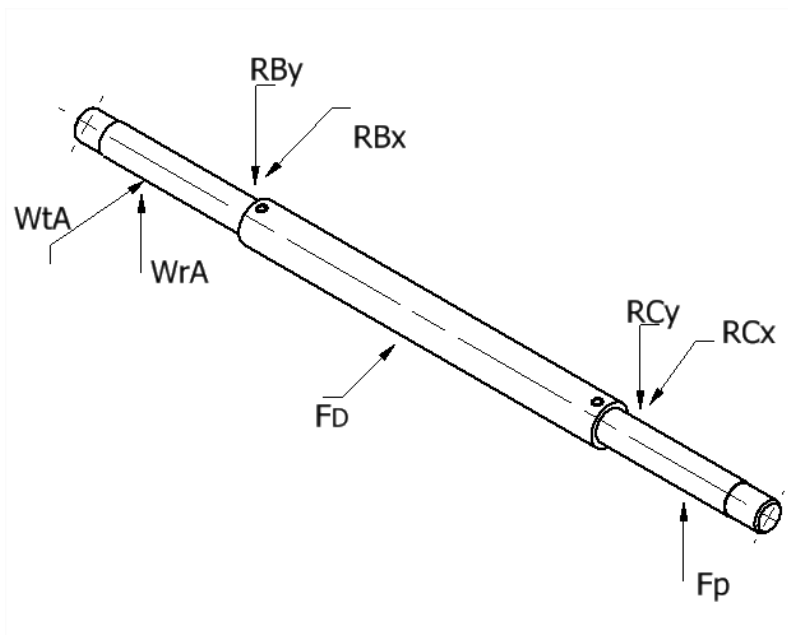
$$W_{rA} = 45.86 \text{ lb}$$

### Reacciones en el eje principal

Las fuerzas y reacciones se representan en la Figura 47

#### Figura 47

*Fuerzas y reacciones sobre el eje*



Las Figuras 48 y 51 muestran las fuerzas y reacciones a lo largo del eje. Las distancias se obtienen de cálculos anteriores.

Distancia A-B: 2 pulg.

Distancia B-D: 6 pulg

Distancia D-C. 6 pulg.

Distancia C-P: 2 pulg.

Figura 48

Diagrama de cuerpo libre del eje x-z

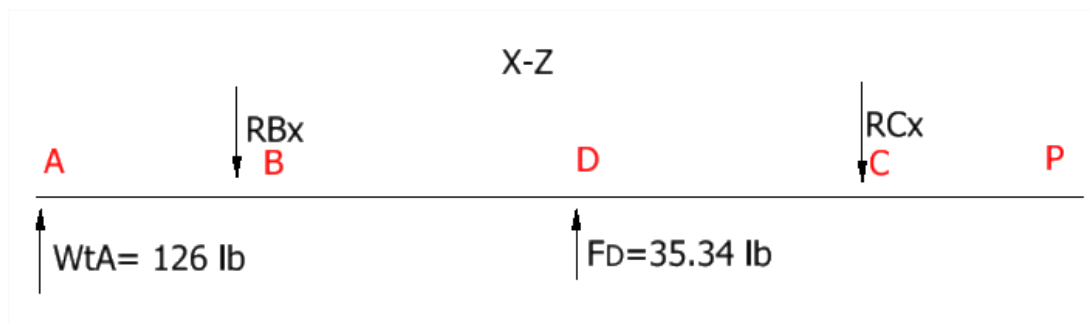


Figura 49

Fuerza cortante plano x-z



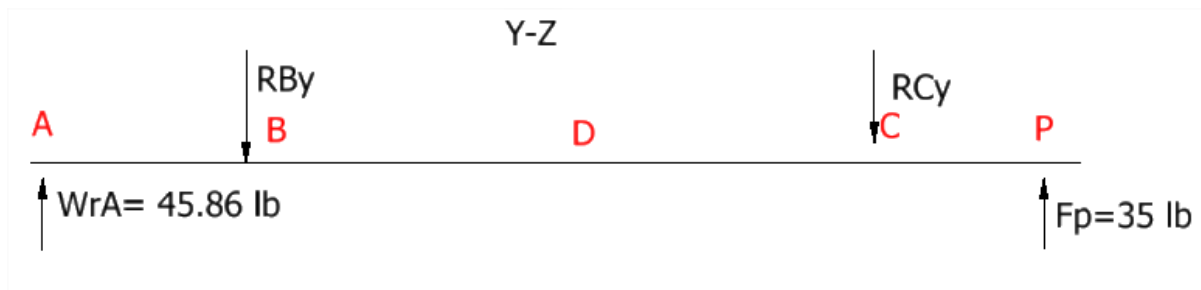
Figura 50

Momento flexionante plano x-z

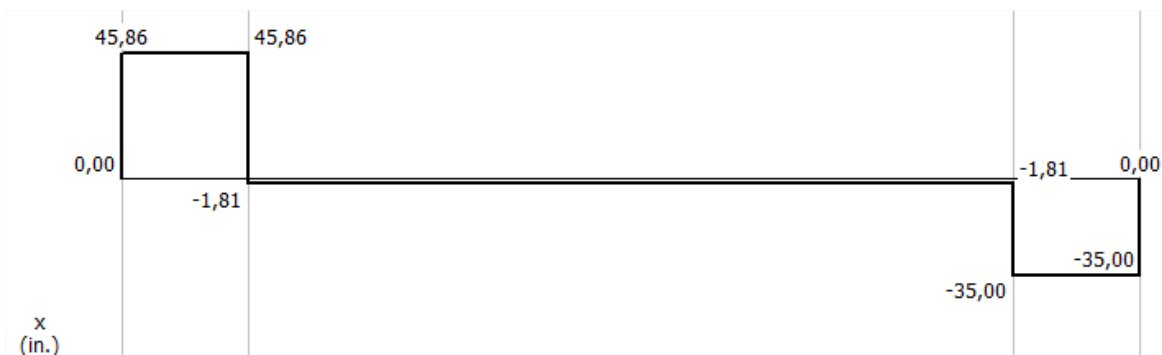


**Figura 51**

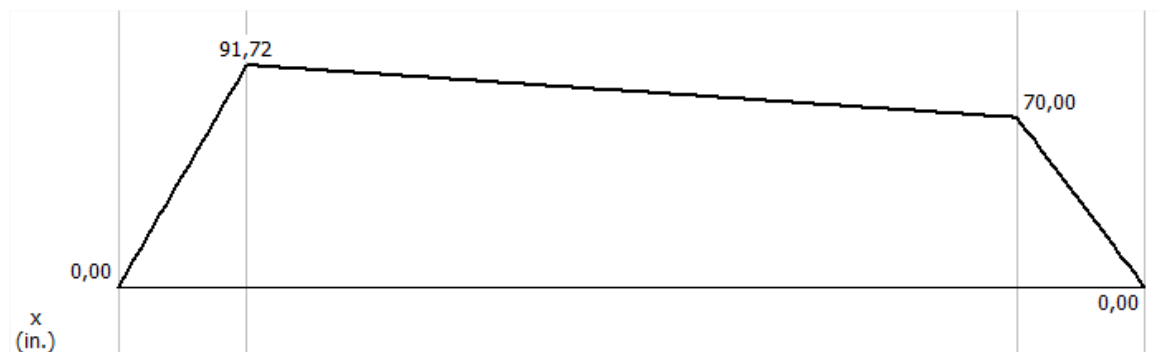
Diagrama de cuerpo libre del eje x-z

**Figura 52**

Fuerza cortante plano y-z

**Figura 53**

Momento flexionante plano y-z



Reacciones resultantes:

$$R_{Bx} = 148.47 \text{ lb}$$

$$R_{Cx} = 29,53 \text{ lb}$$

$$R_{By} = 47,67 \text{ lb}$$

$$R_{Cy} = 33,19 \text{ lb}$$

Momentos resultantes:

$$M_B = \sqrt{M_{Bxz}^2 + M_{Byz}^2}$$

$$M_B = \sqrt{252^2 + 91.72^2}$$

$$M_B = 268.17 \text{ lb.pulg}$$

$$M_C = \sqrt{M_{Cxz}^2 + M_{Cyz}^2}$$

$$M_C = \sqrt{0^2 + 70^2}$$

$$M_C = 70 \text{ lb.pulg}$$

### Propiedades del material

Como material se selecciona AISI 1144 OQT 1000 maquinado en frío. (Anexo A)

Resistencia a la tensión

$$S_u = 118000 \text{ psi}$$

Resistencia a la fluencia:

$$S_y = 83000 \text{ psi}$$

Resistencia a la fatiga (Anexo B):

$$S_n = 42000 \text{ psi}$$

Factor de tamaño (Anexo C):

$$C_s = 0.8$$

Factor de confiabilidad (Anexo D)

$$Confiabilidad = 0.99$$

$$C_R = 0.81$$

Resistencia modificada a la fatiga:

$$S'_n = S_n * C_s * C_s$$

### Ecuación 29

Resistencia modificada a la fatiga (psi)

Nota. (Mott, 2006)

Donde:

$S'_n$ : resistencia modificada a la fatiga

$S_n$ : resistencia a la fatiga

$C_s$  = factor de tamaño

$C_R$  = factor de confiabilidad

$$S'_n = 42000 \text{ psi} * 0.8 * 0.81$$

$$S'_n = 42000 \text{ psi} * 0.8 * 0.81$$

$$S'_n = 27216 \text{ psi}$$

### Diseño del eje

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{K_t * M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

### Ecuación 30

Diámetro de un eje (pulg)

Nota. (Mott, 2006)

Donde:

$D$ : diámetro del eje

$N$ : factor de diseño



$K_t$ : factor de concentración de esfuerzos

$M$ : momento flexionante

$T$ : par torsional

$S'_n$ : resistencia modificada a la fatiga

$S_y$ : resistencia a la fluencia

Se recomienda factores de diseño "N=2" para todos los diámetros

Punto P:

$$M = 0$$

$$K_t = 1.6 \text{ (ranura de trineo)}$$

$$T = 157.5 \text{ lb.pulg}$$

$$D_P = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 0}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{157.5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_P = 0.33 \text{ pulg}$$

Punto C:

A la izquierda

$$M = 70 \text{ lb.pulg.}$$

$$K_t = 1.5 \text{ (chaflán bien redondeado)}$$

$$T = 157.5 \text{ lb.pulg}$$

$$D_C = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.5 * 70}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{157.5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_C = 0.44 \text{ pulg}$$

A la derecha

$$M = 70 \text{ lb.pulg.}$$

$$K_t = 2.5 \text{ (chaflán agudo)}$$

$$T = 157.5 \text{ lb. pulg}$$

$$D_C = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{2.5 * 70}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{157.5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_C = 0.51 \text{ pulg}$$

Punto B:

A la derecha

$$M = 268.17 \text{ lb. pulg.}$$

$$K_t = 2.5 \text{ (chaflán agudo)}$$

$$T = 157.5 \text{ lb. pulg}$$

$$D_B = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{2.5 * 268.17}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{157.5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 0.79 \text{ pulg}$$

A la izquierda

$$M = 268.17 \text{ lb. pulg.}$$

$$K_t = 1.5 \text{ (chaflán redondeado)}$$

$$T = 157.5 \text{ lb. pulg}$$

$$D_B = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.5 * 268.17}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{157.5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 0.67 \text{ pulg}$$

Punto A:

$$M = 0$$

$$K_t = 1.6 \text{ (ranura de trineo)}$$

$$T = 157.5 \text{ lb. pulg}$$

$$D_P = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 0}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{157.5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_A = 0.32 \text{ pulg}$$

### **Cálculo del pechero**

Las dimensiones del pechero dependen de la longitud de la tolva y del diámetro del cilindro.

$$\text{Longitud total} = 300 \text{ mm} = 11.81 \text{ pulg}$$

$$\text{Diámetro inicial del pechero} = 6.3 \text{ pulg} = 160 \text{ mm}$$

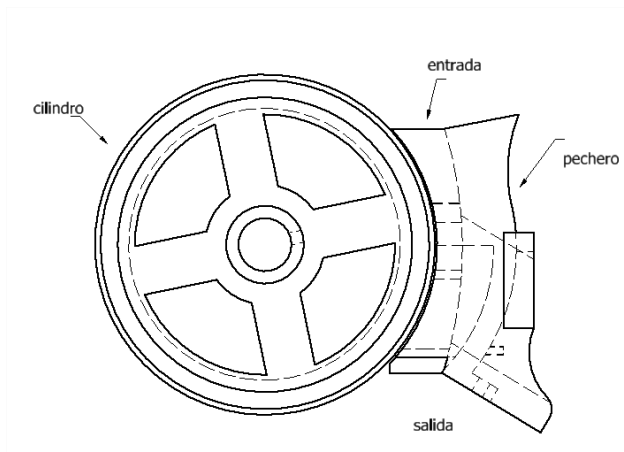
En la entrada, la despulpadora debe permitir el ingreso de las cerezas más grandes con un diámetro de 14.1 mm. Se selecciona como separación en la entrada 15 mm = 0.59 in, a la salida la separación es la misma

La separación mínima ocurre en el centro del pechero con 2 mm = 0.078 pulg. La distancia de separación puede ser configurada con el regulador del pechero según se requiera a la salida del pechero. Respecto al material se recomienda hierro colado y debe ser del mismo material que la estructura debido a que están en la exterior y son más propensos a la corrosión

En la Figura 54 se presenta la ubicación del cilindro y el pechero.

### **Figura 54**

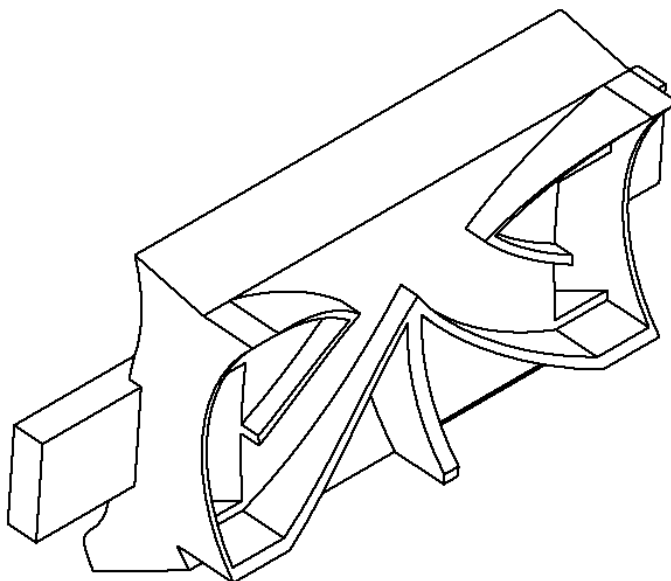
*Cilindro y pechero*



La Figura 55 muestra el aspecto de un pechero, como se observa en la misma, la distancia entre el pechero y el cilindro disminuye a medida que las cerezas son transportadas, siendo el centro del pechero el punto máximo de compresión.

### **Figura 55**

*Pechero*



### **Regulación del pechero**

El pechero consta de un regulador para ajustar la distancia entre el pechero y el cilindro. El pechero tiene como objetivo despulpar la mayor cantidad de cerezas. Si la distancia entre el pechero y el cilindro sobrepasa las dimensiones de una cereza despulpada, entonces aumenta la cantidad de cerezas sin despulpar. Por el contrario, si la distancia de separación es menor que el diámetro de las cerezas, entonces se afecta la calidad del grano.

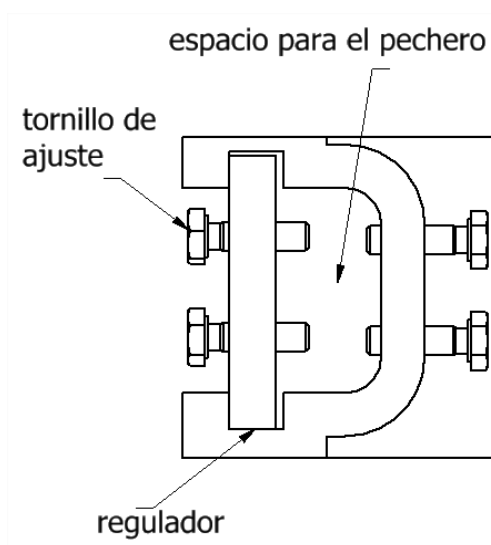
La distancia por defecto en el centro del pechero es de 5mm, que puede desplazarse  $\frac{1}{2}$  pulgada o 12.7 mm.

Dado que no todas las cerezas son de las mismas dimensiones, se debe calibrar el regulador a la distancia que arroje mayor porcentaje de cerezas despulpadas.

El regulador es una tapa rectangular que consta de cuatro tornillos de ajuste para el desplazamiento horizontal del pechero como se visualiza en la Figura 56. La despulpadora tiene dos reguladores, uno a cada lado del castillo.

### Figura 56

*Regulador del pechero*

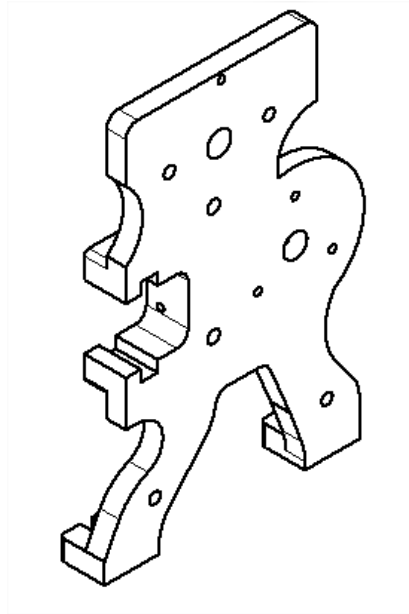


### **Cálculo de la estructura**

La estructura de la máquina, también conocida como “castillo” es la encargada de soportar el peso de todas las partes. La estructura se calcula considerando una carga máxima de 80 kg, incluyendo la capacidad de almacenamiento de la tolva. La forma del castillo depende de los elementos y su ubicación. Respecto al material se recomienda hierro colado debido a su resistencia a la corrosión. El espesor debe ser entre 0.5 y 1 pulg para evitar colisiones con otros componentes (Figura 57)

**Figura 57**

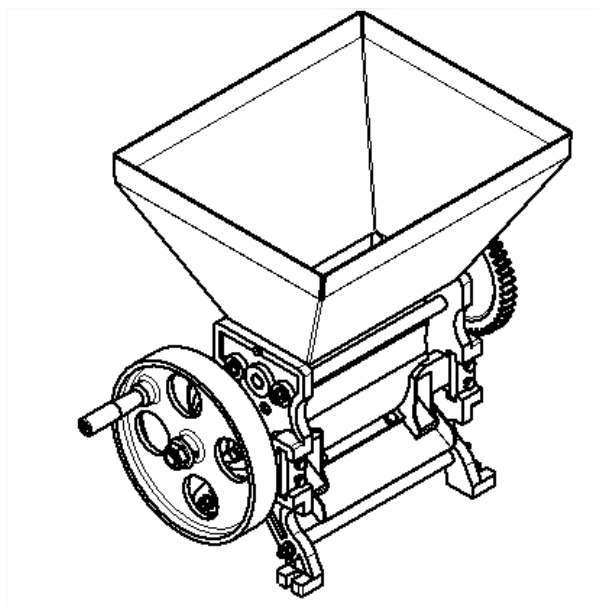
*Castillo o cureña*

***Ensamble***

La Figura 58 muestra el ensamble de la despulpadora, el movimiento se transfiere por la fuerza humana o mediante un motor.

**Figura 58**

*Ensamble despulpadora*



## Diseño de la separadora de café

### *Partes de una separadora de café*

Una separadora horizontal también conocida como zaranda de vaivén consta de las siguientes partes (Figura 59):

- 1- Motor eléctrico
- 2- Recolector
- 3- Meza deslizante
- 4- Zaranda
- 5- Mecanismo polea-banda
- 6- Mecanismo biela-manivela
- 7- Estructura

### **Figura 59**

#### *Separadora horizontal*



Tomado de. (PM Maquinarias, s.f.)

**Motor eléctrico:** proporciona la potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina.

**Recolector:** consta de dos recolectores, uno para la salida de los granos de café y otro para los desperdicios.

**Meza deslizante:** permite el desplazamiento de ida y vuelta en una dirección para que los granos de café puedan desplazarse en la zaranda.

**Zaranda:** es una plancha con pequeños agujeros dimensionados acorde a los granos de café.

**Mecanismo polea-banda:** transfieren el movimiento del motor al eje central.

**Mecanismo biela-manivela:** transfieren el movimiento del eje central hacia la mesa deslizante.

**Estructura:** encargada de soportar el peso de los componentes de la máquina.

### ***Requerimientos iniciales***

La separadora debe estar diseñada para soportar el peso de la despulpadora y de la zaranda.

Respecto a las dimensiones: largo, ancho y alto. El largo y el ancho debe formar un área que permita separar la cantidad de café despulpado de los residuos que son: granos sin despulpar, granos mordidos y granos con restos de pulpa. El alto debe permitir que una persona pueda colocar cerezas a la altura de la tolva.

Como ancho mínimo se toma de referencia la longitud del eje de la despulpadora. Como largo se utiliza un valor que permita formar una figura rectangular. En la altura se considera que la suma de la altura de la estructura y que la despulpadora no sobrepase la altura de una persona promedio en Ecuador.

Ancho mínimo: 16 pulg = 40.64 cm

Ancho: 45 cm

Largo: 80 cm



Alto: 80 cm = 31.5 pulg

### ***Cálculo de la bandeja principal y secundaria***

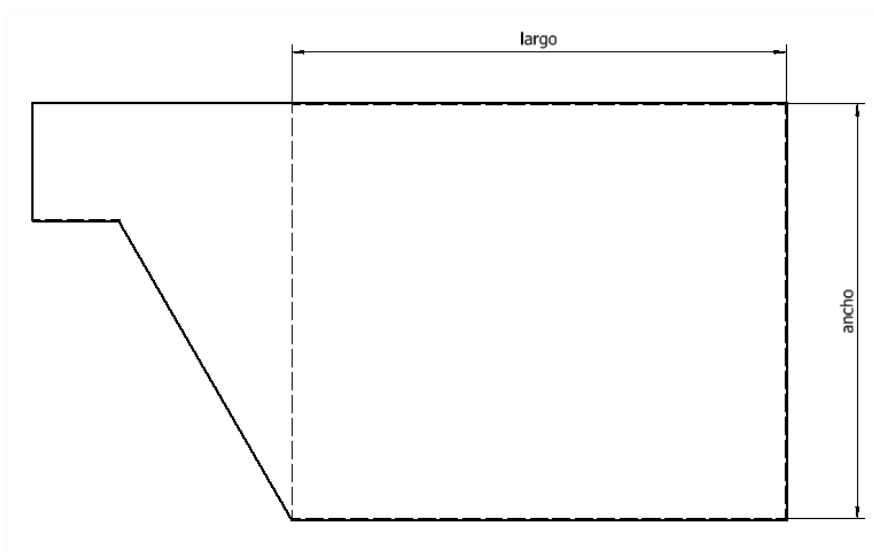
La bandeja principal denominada criba ya que se encarga de cernir los granos de café. La bandeja secundaria transporta los granos de café. Para permitir el paso del café, los orificios son de 7mm de ancho y 15 mm de largo (Castaño & Miranda, 2015) De acuerdo a la norma INEN 1515 para la abertura de 8 mm se recomienda el espesor de 2 mm, (Anexo E). El material recomendado para cribas es acero inoxidable.

La criba es la encargada de clasificar el café por lo que la capacidad de la separadora depende de sus dimensiones. Respecto al ángulo de inclinación, una zaranda industrial tiene el ángulo de inclinación que varía de 15 a 30 grados. Se selecciona el ángulo de 15 grados.

Se considera para el ancho 420 mm. Para el largo se considera 500 mm. Los datos son presentados en la Figura 60.

### **Figura 60**

Dimensiones de la criba



$$A_{criba} = l * a$$

**Ecuación 31**

*Área de un rectángulo (mm<sup>2</sup>)*

Donde:

$A_{criba}$  : área de la criba

$l$ : largo

$a$ : ancho

$$A = 420 \text{ mm} * 500 \text{ mm}$$

$$A = 210000 \text{ mm}^2 = 0.21 \text{ m}^2$$

Aproximadamente el 45 % de la cereza es pulpa, mientras el 55 % corresponde al grano despulpado. El cálculo de la capacidad se realiza considerando un peso extra de pulpa del 15 %. Entonces a la criba pasa el 70 % del café que ingresa a la tolva.

Capacidad de la criba:

$$C_{Criba} = C_{tolva} * 70\%$$

$$C_{Criba} = 25 \text{ kg} * 70\%$$

$$C_{Criba} = 17.5 \text{ kg}$$

Volumen de cerezas en la criba:

$$V_{Criba} = V_{tolva} * 70\%$$

$$V_{Criba} = 0.02604 \text{ m}^3 * 70\%$$

$$V_{Criba} = 0.018228 \text{ m}^3$$

Altura de bandeja máxima:

$$h_{bandeja} = \frac{0.018228 \text{ m}^3}{0.21 \text{ m}^2}$$

$$h_{bandeja} = 0.0868 \text{ m} = 86.8 \text{ mm}$$

Se selecciona la altura de 0.1 m =100 mm.

Tanto la bandeja principal y secundaria (Figura 61) utilizan el acero ASTM A36 debido a la facilidad de cortar, dar forma y maquinar.

Propiedades del material:

$$\text{Límite de fluencia: } 24 \frac{kg}{mm^2}$$

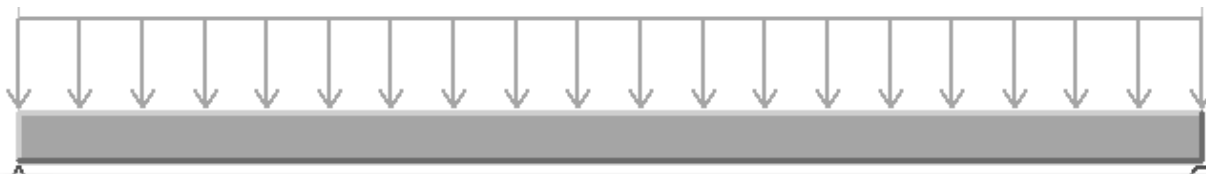
$$\text{Resistencia a la tracción: } 41 \frac{kg}{mm^2}$$

Alargamiento en 50 mm: 18 %

Cargas en la bandeja

### Figura 61

*Distribución de cargas en la bandeja*



La distribución de cargas se calcula mediante la Ecuación 32:

$$q = \frac{m}{A}$$

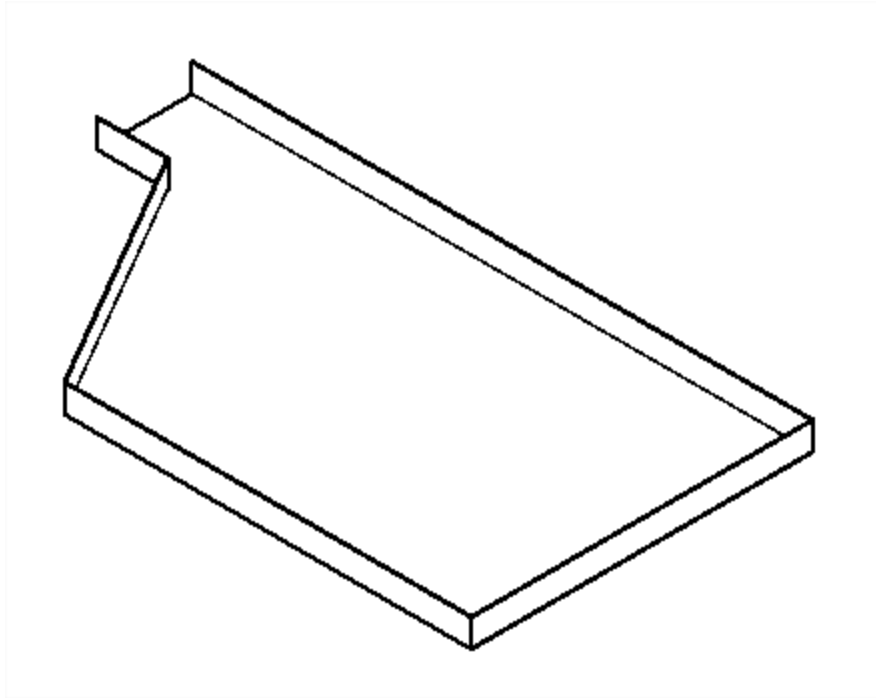
### Ecuación 32

*Distribución de cargas en una plancha ( $\frac{kg}{m^2}$ )*

$$q = \frac{17 \text{ kg}}{0.21 \text{ m}^2}$$

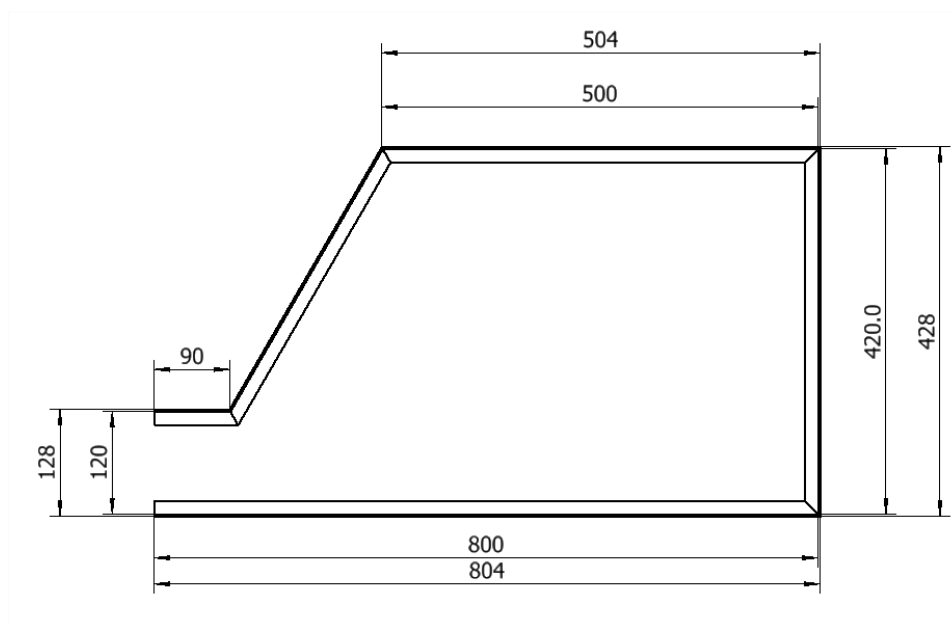
$$q = 80.95 \frac{kg}{m^2} = 0.0008095 \frac{kg}{mm^2}$$

La bandeja secundaria es la encargada de recibir el café separado de los desechos y los transporta fuera de la zaranda. Las dimensiones son las mismas. (Figura 62)

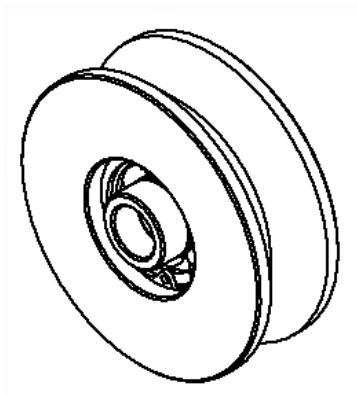
**Figura 62***Bandeja secundaria****Cálculo del soporte principal y secundario***

Se utiliza perfiles tipo L dado que los soportes principal y secundario mantienen fijo las bandejas y mantienen la distancia de separación entre ellas. Debido a que deben soportar el peso de la bandeja y el peso de los granos de café, se selecciona un ángulo L doblado 30x30x4 ASTM A36.

Las dimensiones de los perfiles considerando el ancho y largo de la bandeja se muestran en la Figura 63.

**Figura 63***Dimensiones del perfil en L****Selección de las ruedas***

Se selecciona Garrucha Rueda Doble Fija 3x75mm de diámetro con capacidad máxima de 200 kg. La bandeja ocupa cuatro ruedas de las mismas dimensiones (Figura 64).

**Figura 64***Ruedas de la bandeja****Cálculo de las poleas y banda***

De acuerdo con las velocidades obtenidas en la despulpadora, se utiliza la velocidad angular del eje cuadrado (70 rpm). El diámetro del eje plano es 1 pulg = 25.4 mm.

$$v = \frac{\pi * 70 \text{ RPM} * 25.4 \text{ mm}}{1000}$$

$$v = 5.59 \frac{m}{min}$$

Se selecciona la polea de acuerdo a la velocidad:

$$v = 5.59 \frac{m}{min} = 18.34 \frac{pie}{min}$$

Para velocidades menores a  $600 \frac{pie}{min}$  se utiliza las características ilustradas en la Figura

27. Se escoge el valor de 5 pulg de diámetro para la polea del motor con espesor de  $\frac{11}{64}$  pulg.

Según la Figura 28 el factor de servicio para maquinaria uniforme y par de torsión normal varía entre 1.1 y 1.2, se escoge el factor de servicio de 1.2.

La relación de transmisión es “uno” dado que la zaranda está en capacidad de funcionar a la misma velocidad del eje cuadrado. Mediante la Ecuación 8:

$$i = \frac{n_2}{n_1}$$

$$i = \frac{70 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$i = 1$$

Con la Ecuación 8 se calcula el diámetro de la polea conducida:

$$D_2 = \frac{D_1 * n_1}{n_2}$$

$$D_2 = \frac{5 \text{ pulg} * 70 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$D_2 = 5 \text{ pulg.}$$

La distancia entre centros debe ser seleccionada acorde al espacio disponible, debe ser mayor a la suma de los engranajes y la altura de la bandeja.

$$H_p + H_s + H_r + H_e < C$$

Donde:

$H_p$  : altura de la bandeja principal

$H_s$  : altura de la bandeja secundaria

$H_r$  : altura de las ruedas

$H_e$  : altura del eje cuadrado

$$100 \text{ mm} + 100 \text{ mm} + 75 \text{ mm} + 300 \text{ mm} < C$$

$$575 \text{ mm} = 22.64 \text{ in} < C$$

Aplicando la Ecuación 9:

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$$

Donde:

$D_1$ : diámetro de polea menor

$D_2$ : diámetro de polea mayor

$C$ : distancia entre centros

$$5 \text{ pulg} < C < 3(5 \text{ pulg} + 5 \text{ pulg})$$

$$5 \text{ pulg} < C < 30 \text{ pulg}$$

La distancia real entre centros es:

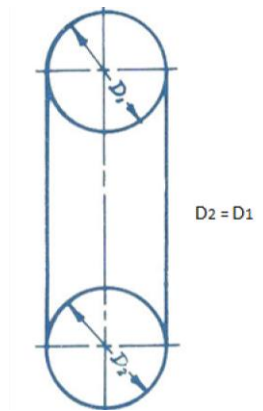
$$22.64 \text{ in} < C < 30 \text{ pulg}$$

Se selecciona el valor de  $C=25 \text{ pulg} = 635 \text{ mm}$ .

La Figura 65 muestra el sistema de poleas y banda.

**Figura 65**

Sistema de poleas y banda



Con la distancia entre centros y los diámetros se puede calcular los ángulos de contacto de la polea menor y mayor. Mediante la ecuación 10:

$$\theta_{D1} = \theta_d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

$$\theta_d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{5 \text{ pulg} - 5 \text{ pulg}}{2 * 25 \text{ pulg}}\right)$$

$$\theta_d = \pi \text{ rad}$$

$$\theta_d = 180^\circ$$

$$\theta_D = \theta_d = 180 \text{ rad}$$

La longitud de la banda se determina de acuerdo a la Ecuación 12:

$$L = [4C^2 - (D-d)^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d)$$

$$L = [4(25 \text{ pulg})^2 - (5 \text{ pulg} - 5 \text{ pulg})^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(5 \text{ pulg} * \pi \text{ rad} + 5 \text{ pulg} * \pi \text{ rad})$$

$$L = 65.71 \text{ pulg}$$

**Cálculo del disco o excéntrico**

El diámetro del disco determina la distancia que recorre la bandeja. Como parámetro se considera el diámetro de las ruedas.

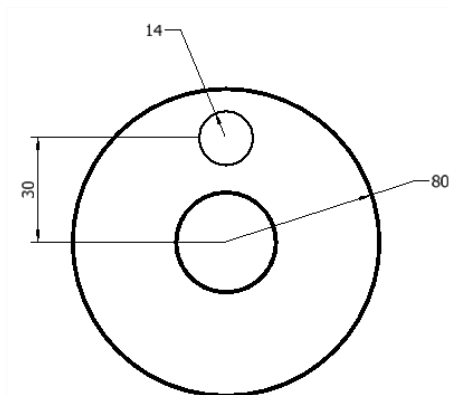
$$D_{\text{disco}} = 80 \text{ mm}$$



El eje excéntrico no se coloca en el extremo de la biela por lo que se debe tomar en cuenta su diámetro y la separación entre centros. Se considera el valor de 14 mm de diámetro y 30 mm de separación entre centros como lo muestra la Figura 66.

### Figura 66

Disco o excéntrica de vaivén



### Cálculo de la biela

La longitud de la biela es la distancia de separación entre el disco y la bandeja. Se utiliza el valor de 200 mm. La biela está formada por un espárrago de doble rosca y dos rótulas acopladas a sus extremos.

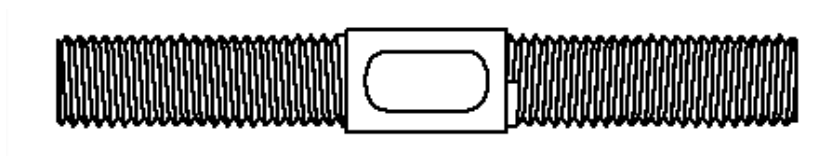
La rótula tiene un diámetro interno de 14 mm y 75 mm de longitud. Anexo F

El espárrago (Figura 67) es M14 x 150 mm. Anexo G.

El disco y la biela están conectadas mediante un tornillo de sujeción de diámetro 14.

### Figura 67

Eje-biela



### Cálculo del mecanismo biela-manivela

Como datos de entrada se conoce la velocidad de rotación del eje central, el radio de la manivela y la longitud de la biela (Figura 68). La distancia entre mínima entre el disco y la

bandeja debe ser 150 mm para que la bandeja no colisione con el disco. El punto de referencia inicial es cuando la bandeja está en lo más alto de la estructura. (Anexo I)

Donde:

$r_2 = \text{radio del disco}$

$r_3 = \text{longitud de la biela}$

$w_2 = \text{velocidad angular del disco}$

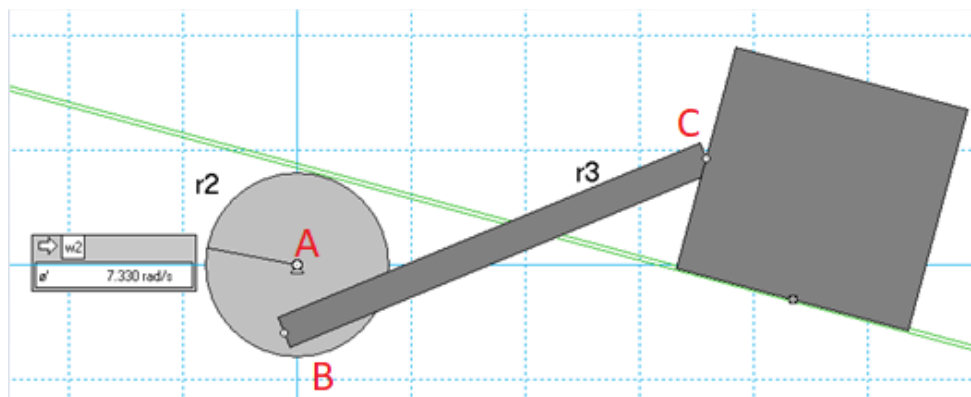
$$r_2 = 30 \text{ mm}$$

$$r_3 = 200 \text{ mm}$$

$$w_2 = 70 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 7.33 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \text{ en sentido antihorario}$$

**Figura 68**

*Simulación del mecanismo biela-manivela*



La velocidad en la manivela está definida por:

$$V_B = (AB)W_{AB}$$

### **Ecuación 33**

Velocidad de un eslabón ( $\frac{\text{mm}}{\text{seg}}$ )

Nota. (Myszka, 2012)

Donde:

$V_B$ : velocidad de la manivela

$AB$ : distancia del centro de la manivela a la biela

$W_{AB}$ : velocidad angular de la manivela

$$V_B = (30 \text{ mm})\left(7.33 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right)$$

$$V_B = 219.9 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

La velocidad en la bandeja no es constante, por lo que se utiliza el software “working model” para hallar el rango de posiciones y velocidades.

La velocidad máxima de la bandeja es:

$$V_{bmax} = 0.220 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 220 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

$$\theta = 270^\circ$$

La velocidad mínima es cero y sucede en el desplazamiento máximo y mínimo de la bandeja.

El desplazamiento máximo es el diámetro del disco:

$$D_{bmax} = 60 \text{ mm}$$

### **Cálculo de la potencia de desplazamiento**

El peso por desplazar es la bandeja principal y secundaria con los soportes principal y secundario. El valor de las masas se obtiene de la simulación. Se utiliza el coeficiente de fricción estándar para rieles  $u = 0.02$

$$W = W_{bp} + W_{bs} + W_{sp} + W_{ss} + W_r$$

### **Ecuación 34**

*Peso de un cuerpo (N)*

Donde:

$W$  = peso total

$W_{bp}$ : peso de la bandeja principal

$W_{bs}$ : peso de la bandeja secundaria

$W_{sp}$ : peso del soporte principal

$W_{ss}$ : peso del soporte secundario

$W_r$ : peso ruedas

$W_c$ : peso café

$$W = (6.478 \text{ kg} + 6.512 \text{ kg} + 3.252 \text{ kg} + 4.202 \text{ kg} + (0.29)(4) + 17.5 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

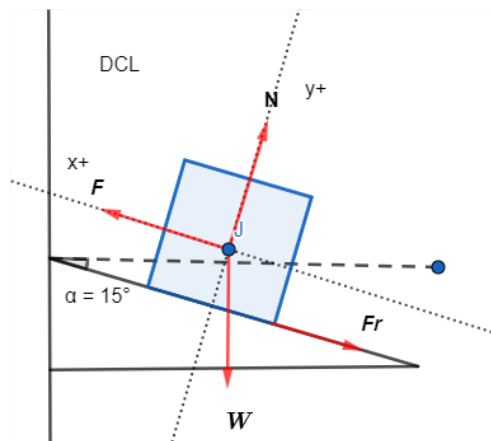
$$W = (39.104)(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W = 383.61 \text{ N}$$

La Figura 69 expone las fuerzas presentes en la bandeja durante el retorno. Se utiliza el retorno dado que, durante la ida, la fuerza para desplazar la bandeja es menor.

### Figura 69

Diagrama de cuerpo libre de la zaranda



$$\sum F_y = 0$$

$$F_N - W_y = 0$$

$$F_N = W_y$$

$$F_N = 383.61 \text{ N} * \cos(15)$$

$$F_N = 370.54 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F - W_x - F_r = 0$$

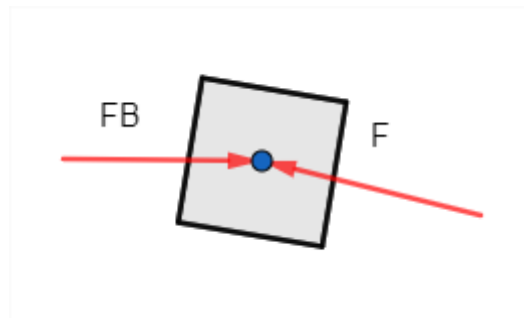
$$F = W_x + F_r$$

$$F = 383.61 \text{ N} * \text{sen}(15^\circ) + 0.02 * 370.54 \text{ N}$$

$$F = 106.7 \text{ N}$$

**Figura 70**

D.C.L. Bandeja



$$\sum F_x = 0$$

$$F_B - F \cos(15^\circ) = 0$$

$$F_B = (106.7 \text{ N})(\cos 15^\circ)$$

$$F_B = 103.06 \text{ N}$$

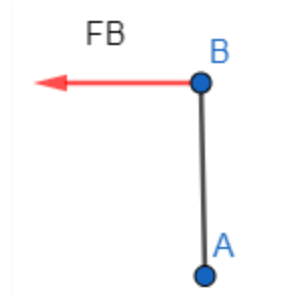
**Figura 71**

D.C.L. Biela



**Figura 72**

D.C.L. Manivela



$$F_B = 103.06 \text{ N} = 10.51 \text{ kgf}$$

$$\sum MA = 0$$

$$M_A - F_B * AB = 0$$

$$M_A = (103.06 \text{ N})(0.04 \text{ m})$$

$$M_A = 4.12 \text{ N.m} = 36.47 \text{ lb.pulg}$$

Mediante la Ecuación 6 se obtiene la velocidad lineal:

$$v = \frac{\pi * 70 \text{ RPM} * 80 \text{ mm}}{1000}$$

$$v = 17.59 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

La potencia se calcula mediante la Ecuación 7:

$$N = \frac{10.51 \text{ kgf} * 17.59 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60 * 102}$$

$$N = 0,0302 \text{ kW} = 0.04 \text{ HP}$$

Considerando un factor de servicio de 1.5

$$P_{motor} = 0.04 \text{ HP} * 1.5$$

$$P_{motor} = 0.06 \text{ HP}$$

Se selecciona un motor de  $\frac{1}{4}$  HP.

### **Cálculo del eje central**

El eje central transmite el movimiento de la polea al mecanismo biela-manivela para el desplazamiento de la bandeja. En la Figura 73 se muestra las fuerzas que actúan sobre el eje.

Donde:

$R_A$  = Reacciones en la chumacera A

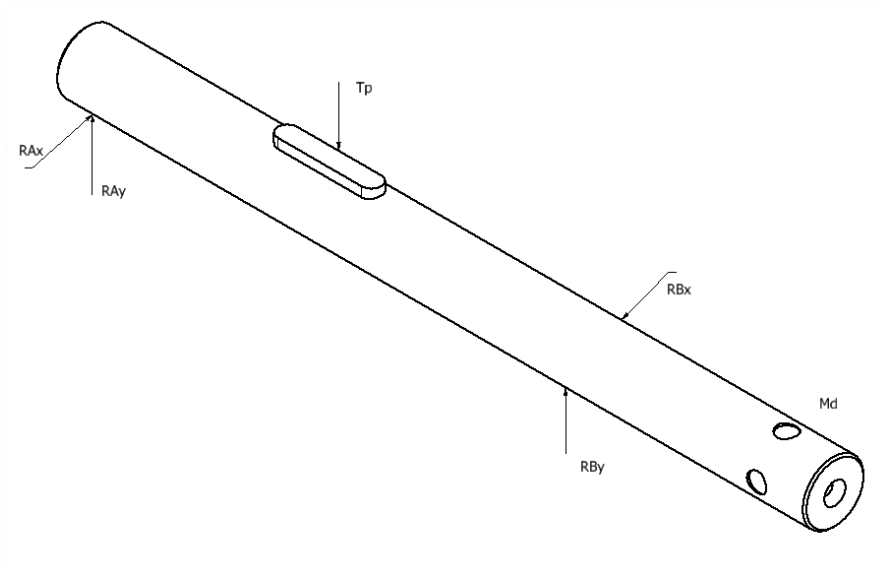
$T_p$  = tensión en la polea conducida

$R_B$  = Reacciones en la chumacera B

$M_d$  = Momento del disco

**Figura 73**

*Fuerzas sobre el eje central*



### **Par torsional en el eje**

Mediante la Ecuación 25:

$$T = \frac{63000 * P}{n}$$

$$T = \frac{63000 * 0.5 \text{ HP}}{70 \text{ rpm}}$$

$$T = 450 \text{ lb.pulg}$$

### Fuerza sobre la Polea

Aplicando la Ecuación 26:

$$F_P = \frac{2T}{\frac{D_P}{2}}$$

$$F_P = \frac{2 * 450 \text{ lb.pulg}}{\frac{5 \text{ pulg}}{2}}$$

$$F_P = 360 \text{ lb}$$

Las distancias son:

Distancia A-T: 2 pulg = 50.8 mm.

Distancia T-B: 5.7 pulg = 145 mm.

Distancia B-M. 2 pulg = 50.8 mm

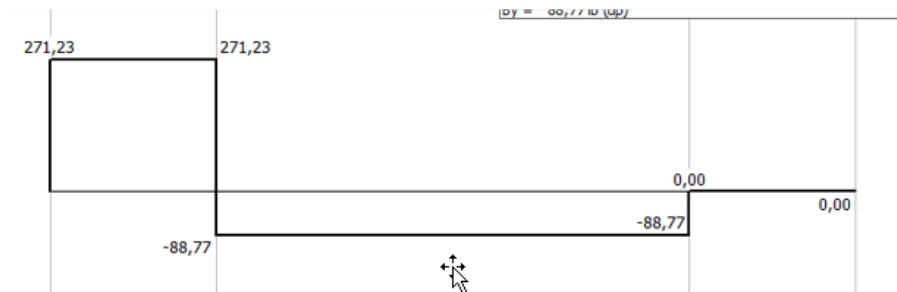
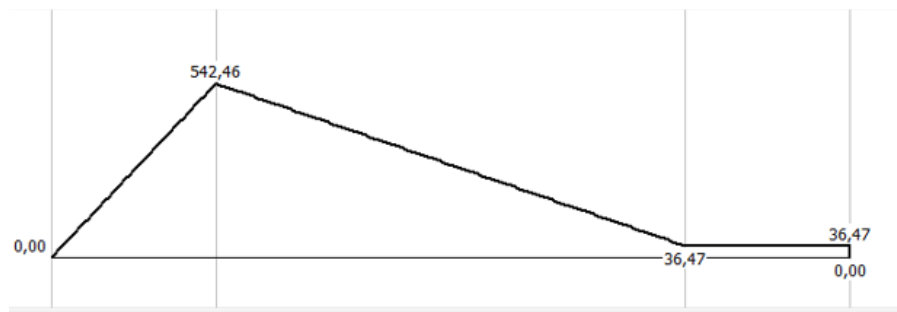
### Figura 74

Diagrama de cuerpo libre del eje x-z





**Figura 75***Fuerza cortante plano x-z***Figura 76***Momento flexionante plano x-z***Figura 77***Diagrama de cuerpo libre del eje x-z*

**Figura 78***Fuerza cortante plano y-z***Figura 79***Momento flexionante plano y-z*

Reacciones resultantes:

$$R_{Ax} = 4.74 \text{ lb}$$

$$R_{Bx} = 4.74 \text{ lb}$$

$$R_{Ay} = 271.23 \text{ lb}$$

$$R_{By} = 88.77 \text{ lb}$$

Momentos resultantes:

$$M_P = \sqrt{M_{Pxz}^2 + M_{Pyz}^2}$$

$$M_P = \sqrt{0^2 + 542.46^2}$$

$$M_P = 542.46 \text{ lb. pulg}$$

$$M_B = \sqrt{M_{Bxz}^2 + M_{Byz}^2}$$

$$M_B = \sqrt{36.47^2 + 36.47^2}$$

$$M_B = 51.58 \text{ lb. pulg}$$

$$M_D = \sqrt{M_{Dxz}^2 + M_{Dyz}^2}$$

$$M_D = \sqrt{36.47^2 + 36.47^2}$$

$$M_D = 51.58 \text{ lb. pulg}$$

### Propiedades del material

Como material se selecciona AISI 1144 OQT 1000 maquinado en frío. (Anexo A)

Resistencia a la tensión

$$S_u = 118000 \text{ psi}$$

Resistencia a la fluencia:

$$S_y = 83000 \text{ psi}$$

Resistencia a la fatiga (Anexo B):

$$S_n = 42000 \text{ psi}$$

Factor de tamaño (Anexo C):

$$C_s = 0.8$$

Factor de confiabilidad (Anexo D)

$$\text{Confiabilidad} = 0.99$$

$$C_R = 0.81$$

Resistencia modificada a la fatiga:

$$S'_n = S_n * C_s * C_R$$

$$S'_n = 42000 \text{ psi} * 0.8 * 0.81$$

$$S'_n = 42000 \text{ psi} * 0.8 * 0.81$$

$$S'_n = 27216 \text{ psi}$$

### Diseño del eje

Mediante la Ecuación 30:

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{K_t * M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Se recomienda factores de diseño “N=2” para todos los diámetros.

Punto P:

$$M = 542 \text{ lb.pulg}$$

$$K_t = 1.6 \text{ (ranura de trineo)}$$

$$T = 450 \text{ lb.pulg}$$

$$D_P = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 542}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{450}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_P = 0.87 \text{ pulg}$$

Punto A:

$$M = 0 \text{ lb.pulg.}$$

$$K_t = 2.5 \text{ (chaflán agudo)}$$

$$T = 450 \text{ lb.pulg}$$

$$D_A = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{2.5 * 0}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{450}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_A = 0.46 \text{ pulg}$$

Punto B:

A la izquierda

$$M = 51.58 \text{ lb.pulg.}$$

$$K_t = 2.5 \text{ (chaflán agudo)}$$

$$T = 450 \text{ lb.pulg}$$

$$D_B = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{2.5 * 51.58}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{450}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 0.51 \text{ pulg}$$

A la derecha

$$M = 51.58 \text{ lb. pulg.}$$

$$K_t = 1.5 \text{ (chaflán redondeado)}$$

$$T = 450 \text{ lb. pulg}$$

$$D_B = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.5 * 51.58}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{450}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 0.48 \text{ pulg}$$

Punto D:

$$M = 51.58 \text{ pulg}$$

$$K_t = 1.6 \text{ (ranura de trineo)}$$

$$T = 450 \text{ lb. pulg}$$

$$D_D = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 51.58}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[ \frac{450}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

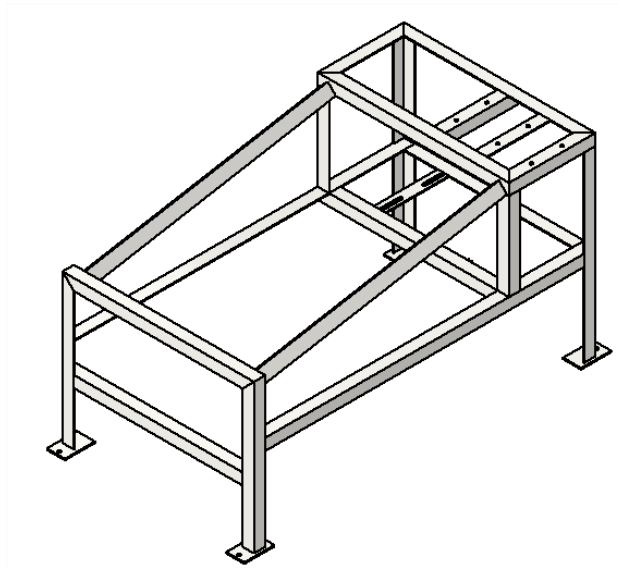
$$D_D = 0.49 \text{ pulg}$$

### **Selección del perfil de la estructura**

El diseño de la estructura se realiza considerando las dimensiones de los elementos involucrados y el peso que soporta. Se utiliza el ángulo de acero L2X2X1/8 pulg (Anexo J).

**Figura 80**

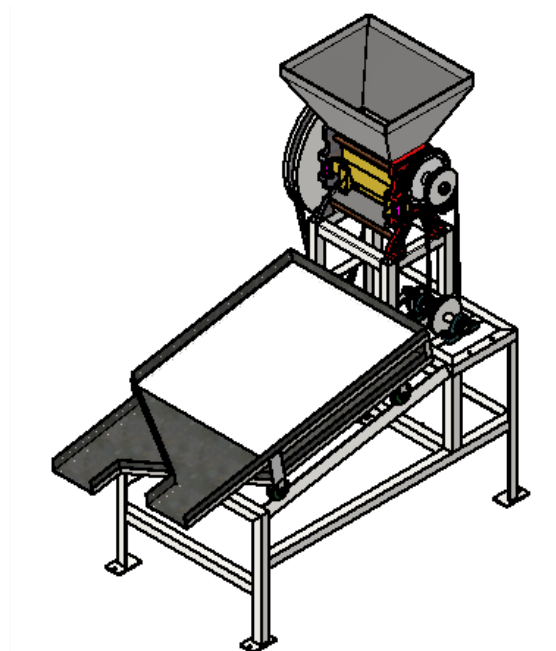
*Estructura de la máquina*

***Ensamble y construcción de la despulpadora y separadora***

Con el diseño de todas las piezas de la procesadora (despulpadora y separadora) se realiza el ensamble de la máquina tal como se visualiza en la Figura 81.

**Figura 81**

*Ensamble de la procesadora de café*



En la Figura 82 se muestra de la construcción de la despulpadora y separadora de café

**Figura 82**

*Construcción de la procesadora*



## Capítulo IV

### Costos y pruebas de funcionamiento

#### Costos de los materiales

#### *Costos de la despulpadora*

#### Costos directos

**Tabla 12**

*Costos directos de la despulpadora*

Elemento	Cantidad	Costo unitario (usd)	Costo total (usd)
Lámina de acero inoxidable AISI304 1000x1000x1 mm	1	19.50	19.50
Eje principal Acero AISI 1144, Ø1pulg ,L=16 pulg	1	40	40
Eje cuadrado Acero AISI 1144, Ø1pulg ,L=16 pulg	1	40	40
Eje de acero inoxidable AISI 1144, Ø1/8pulg, L=16 pulg	4	8	32
Polea 2 pulg	1	3.50	3.50
Polea 16 pulg	1	17.50	17.50
Banda A-63	1	9.5	9.5
Engranaje 52 dientes en acero AISI 1144	1	41	39
Piñón 18 dientes en acero AISI 1144	1	16	16
Maquinado del tambor	1	30	30
Camisa de cobre	1	30	30
Maquinado del pechero	1	45	45



Elemento	Cantidad	Costo unitario (usd)	Costo total (usd)
Maquinado del castillo	2	35	70
			392

### Costo de elementos normalizados

**Tabla 13**

*Elementos normalizados de la despulpadora*

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Motor monofásico ¾ HP	1	150	150
Chumacera rodamiento eje principal 1 pulg.	2	7.50	7.50
Chumacera rodamiento eje cuadrado 1 pulg.	2	7.50	7.50
Pernos, turcas, rodela	8	0.85	6.80
			171.80

### Costo de mano de obra

**Tabla 14**

*Mano de obra de la despulpadora*

Máquina	Costo total
Torno	12
Dobladora	5
Taladro	5
Pintura	2.50
Montaje	10
	34.50

**Costo de la separadora****Costos directos****Tabla 15***Costos directos de la separadora*

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Perfil estructural ángulo 40x3 mm	2	14.75	29.50
Eje de Acero AISI 1144, Ø1 pulg ,L=12 pulg	1	42	42
Eje de Acero AISI 1144, Ø1/2 pulg, L=9 pulg	1	31.50	31.50
Platina de acero ASTM A36 2500x51 mm	2	6.50	13
Plancha de acero ASTM A36 1000x 600 x 2 mm	1	9.50	9.5
Malla perforada 1000x600 mm	1	55	55
Polea 5 pulg	2	5	10
Banda A-51	1	6	6
Disco Ø80 mm	1	21	21
			217.50

**Costo de elementos normalizados****Tabla 16***Elementos normalizados de la separadora*

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Chumacera eje central 1 pulg.	2	7.50	15
Ruedas	4	1.50	6
Suelda TIG	1	10	10
Pernos, tuercas, arandelas	20	0.85	17
Breaker 110-220V,40A	1	8.75	8.75
			56.75

### Costo de mano de obra

**Tabla 17**

*Mano de obra de la separadora*

Máquina	Costo total
Torno	6
Dobladora	5
Taladro	5
Pintura	5
Montaje	10
	31

### **Costo total**

**Tabla 18**

*Costo total*

Denominación	Tipo de Costo	Valor USD
C1	Costos directos de la despulpadora	392
C2	Costos elementos normalizados de la despulpadora	171.80
C3	Costo mano de obra de la despulpadora	34.50
C4	Costos directos de la separadora	217.50
C5	Costos elementos normalizados de la separadora	56.75
C6	Costo mano de obra de la separadora	31
CT	Costo total	903.55 \$

## **Manual de usuario**

### ***Manual de Operación***

Con el objetivo de dar cumplimiento a las necesidades del usuario respecto a una operación sencilla, se utiliza un interruptor on/off con el que se ejecuta el encendido y apagado del motor.

El funcionamiento de la máquina comienza con las cerezas de café ingresando a la tolva, se recomienda colocar las cerezas hasta el 90 % de la capacidad de la tolva. A continuación, se enciende la máquina mediante el interruptor, el eje cuadrado rota en sentido contrario al eje principal, el eje cuadrado permite el ingreso de las cerezas al tambor mientras que el tambor presiona las cerezas contra el pechero separando la pulpa de los granos. Los granos de café pasan por las dos salidas del pechero y la pulpa cae por la parte inferior del cilindro. Los granos caen en la criba que tiene un desplazamiento horizontal mediante un mecanismo biela-manivela. Los granos caen a la bandeja secundaria mientras que la pulpa es transportada por la criba a la salida.

### ***Manual de seguridad***

Hace referencia a mantener la integridad física del usuario. Se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- No arrojar objetos a la máquina en funcionamiento.
- Realizar ajustes del pechero con la máquina detenida.
- Ingresar las cerezas de café únicamente por la tolva (evite ingresar cerezas en la bandeja).
- Utilizar guantes de seguridad para la manipulación de la máquina.
- No alterar los componentes internos de la máquina.
- Evite tocar la máquina en funcionamiento. Únicamente acercarse a la tolva para ingresar el café cereza.

- Utilizar las herramientas sugeridas para el mantenimiento.
- Verificar que la conexión de alimentación no presente deterioro.

### **Pruebas de funcionamiento**

#### ***Prueba en vacío***

Consiste en el funcionamiento de la máquina sin granos de café. Ésta prueba se realiza con la finalidad de verificar que no exista fallas de construcción que impidan que la máquina funcione. En caso de ser necesario se realiza ajustes o pequeños cambios.

Los parámetros que debe cumplir son:

- Equilibrio en la base de la estructura
- Que no presente ruidos molestos
- Bandas ajustadas
- Altura adecuada
- Capacidad adecuada del motor

### **Figura 83**

#### ***Prueba en vacío***



### ***Prueba con carga***

Consiste en el funcionamiento de la máquina con las cerezas de café. Se realiza para determinar si la máquina cumple con su propósito, es decir despulpar y separar los granos de café de la pulpa.

Los parámetros por evaluar son:

- Granos sin presencia de mordeduras
- Que no exista cerezas maduras sin despulpar
- Separado de los granos de café y pulpa
- Que no exista sobrepeso en la criba

### **Figura 84**

*Prueba con carga*



### **Mantenimiento**

La máquina necesita mantenimiento preventivo cada determinado tiempo. El mantenimiento consta de los procesos de inspección, limpieza, ajustes y calibración.

Inspección: verificar que cada componente funcione con normalidad.

Limpieza: retirar los residuos que se mantienen en la máquina posterior a su uso.

Ajustes: calibrar la máquina según los requerimientos, verificar que los tornillos estén ajustados y verificar que las bandas estén tensadas.

Lubricación: reducir la fricción entre componentes sometidos a rozamiento.

En caso de no usar continuamente la máquina, se recomienda realizar una limpieza trimestral de todos los componentes de la máquina.

**Tabla 19**

*Actividades de mantenimiento*

Elemento	Actividad	Frecuencia
Tolva	Limpieza	Después de cada uso
Eje cuadrado	Limpieza	Después de cada uso
Cilindro	Limpieza	Después de cada uso
	Inspección	
Engranajes	Inspección	Mensual
	Lubricación	
Pechero	Ajuste	Antes de cada uso
	Inspección	
Rodamientos	Inspección	Trimestral
	Lubricación	
Poleas y bandas	Inspección	Mensual
	Ajuste	
Criba	Limpieza	Después de cada uso
Bandeja	Limpieza	Después de cada uso

## Análisis de rentabilidad

### Costos de operación

Respecto a los costos de operación, se incluye el mantenimiento, el operador de la máquina, la materia prima y el costo de los servicios básicos

Elemento	Unidad	Costo individual \$	Costo total anual \$
Operador	Mensual	25	300
Mantenimiento	Trimestral	30	120
Materia prima (1600kg)	Mensual	1056	12672
Servicios básicos	Mensual	50	600
			13692 \$

### Utilidad

La utilidad se calcula asumiendo que la despulpadora de café funcionará ocho horas mensuales durante un año. El costo anual es 25344 considerando el peso total de las cerezas; sin el peso de la pulpa, el peso de los granos de café es del 58 %.

Elemento	Unidad	Costo individual \$	Costo total anual \$
Despulpadora y separadora	Mensual	2112	14699

### Valor presente neto (VPN)

VPN presenta el flujo de efectivos proyectados descontados al presente. Se utiliza para evaluar la rentabilidad del proyecto.



Se realiza una inversión inicial de 905 \$ con una tasa de descuento de 15%. El proyecto se realiza para un tiempo de evaluación de cinco años. Se estima los mismos ingresos durante los cinco años: 1007.52 \$.

$$\text{Año 1: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-1} = 876.10$$

$$\text{Año 2: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-2} = 761.83$$

$$\text{Año 3: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-3} = 662.46$$

$$\text{Año 4: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-4} = 576.05$$

$$\text{Año 5: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-5} = 500.92$$

$$VPN = 876.10 + 761.83 + 662.46 + 576.05 + 500.92 - 903.55$$

$$VPN = 2473.81 \$$$

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se realizó el diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café que sirve para optimizar el proceso manual de despulpado. La procesadora permite al agricultor comercializar el café despulpado.
- De las alternativas presentadas para la despulpadora y separadora se eligen las más adecuadas según parámetros definidos, así como la ubicación de las mismas. Se selecciona la despulpadora de tambor horizontal y separadora horizontal.
- En los requerimientos iniciales se considera la capacidad de la máquina, el tamaño, el espacio disponible y los costos de construcción. Con los parámetros definidos y mediante cálculos para el dimensionamiento de los componentes, se realiza el diseño de la máquina mediante el software Autodesk Inventor.
- Mediante la simulación se tiene una visualización del resultado final de la procesadora. La simulación permite identificar fallas y realizar cambios antes de construir la máquina.
- La construcción se realiza guiándose en los planos generados por la simulación. Los planos contribuyen a agilizar los tiempos de armado de la máquina. La construcción también involucra identificar las piezas que necesitan mantenimiento para extender su tiempo de vida útil.
- La rentabilidad de la máquina separadora y despulpadora depende de las hectáreas de cultivo de café y del precio en el mercado. Otro factor para considerar es la zona del cultivo, dado que en Ecuador el rendimiento del café es diferente para cada provincia. Según los cálculos realizados es factible

implementar la procesadora de café para cultivos superiores a una hectárea en café en la provincia de Napo. El período de recuperación de la inversión se estima en cinco años.

## Recomendaciones

- Se recomienda realizar la simulación de las tres alternativas presentadas tanto de la despulpadora y separadora para su respectiva comparación.
- Se recomienda implementar un regulador de criba que permita ajustar sus dimensiones a diferentes tamaños de café, similar al regulador del pechero.
- Se recomienda realizar el diseño usando materiales de menor peso sin afectar el costo de la procesadora.
- Se recomienda utilizar materiales disponibles en el mercado local. En caso de ser necesario se puede utilizar materiales con características similares dado que el diseño general posee un factor de diseño de dos.
- Se recomienda realizar un estudio de la rentabilidad posterior a la construcción de la máquina en intervalos de un año.

## Bibliografía

- AECafé. (2017). *Cafero, fruto y grano*. Obtenido de <https://www.asociacioncafe.com/cafeto-fruto-y-grano/>
- Báez Villacís, J., & Pupiales Brusil, L. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina despulpadora de café para el proyecto “café de Quito” impulsado por la agencia metropolitana de promoción económica (CONQUITO)*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11772>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*.
- Cafés SABORA. (2019). *PROCESO DEL CAFÉ: CÓMO SE PROCESA EL CAFÉ QUE LLEGA A TU TAZA*. Obtenido de <https://cafesabora.com/es/proceso-del-caf%C3%A9-c%C3%B3mo-se-procesa-el-caf%C3%A9-que-llega-tu-taza>
- Carvajal, J., Aristizábal, I., & Oliveros, C. (2012). *EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL FRUTO DE CAFÉ (Coffea arabica L. var. Colombia) DURANTE SU DESARROLLO Y MADURACIÓN*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49623206015>
- Castaño, M., & Miranda, G. (2015). *DISEÑO DE UNA PROCESADORA DE CAFÉ PARA EL SECTOR CAFETERO DEL PAÍS*.
- Díaz Hernández, D. (2016). *Diseño de una despulpadora de café*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/469>
- El Comercio. (2017). *¿Qué sabores se encuentran en el café?* Obtenido de <https://www.elcomercio.com/sabores/sabores-cafe-cata-colombia-bebida.html>
- ESPOL. (2015). *El Árbol Cafeto: Antecedente. – Café pa'l pueblo*. Obtenido de <http://blog.espol.edu.ec/montoyeitor/2015/07/01/el-arbol-cafeto-antecedente/>
- Figueroa, E., Pérez, F., & Godínez, L. (2014). *La producción y el consumo del café*.

- Gobierno provincial de Imbabura. (2020). *Cadena de valor del café*. Obtenido de <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/agenda-productiva/estrategias-fortalecimiento-cadenas-valor-priorizadas/cadena-cafe/2-cadena-de-valor-cafe.pdf>
- Gotteland, M., & de Pablo, S. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115.
- Hoffmann, J. (2014). *THE WORLD ATLAS OF COFFEE*.
- IICA. (2019). *Manual de producción sostenible de café*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>
- Imbachi, D. (2019). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE CAFÉ POR TAMAÑO*. Obtenido de <https://unividaup.edu.co/repositorio/items/show/992>
- International Coffee Organization. (s.f.). *Aspectos botánicos*. Obtenido de [https://www.ico.org/es/botanical\\_c.asp](https://www.ico.org/es/botanical_c.asp)
- JM ESTRADA. (2021). *JM ESTRADA*. Obtenido de [jmestrada.com/categoria-producto/cafe/despulpadoras/](http://jmestrada.com/categoria-producto/cafe/despulpadoras/)
- Junta Nacional de café. (2008). *Mantenimiento de una despulpadora de café*.
- López, V. (2015). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7518>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Informe de Rendimientos de Café grano oro*. Obtenido de [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cafe/resultados\\_rendimiento\\_cafe\\_2021.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cafe/resultados_rendimiento_cafe_2021.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *BOLETÍN SITUACIONAL CULTIVO DE CAFE*. Obtenido de [http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2021/boletin\\_situacional\\_cafe\\_2021.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2021/boletin_situacional_cafe_2021.pdf)

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *Sistema de información Pública Agropecuaria*.

Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-economicas>

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (Cuarta Edición ed.).

Myszka, D. (2012). *MÁQUINAS Y MECANISMOS* (Cuarta Edición ed.).

National Coffee Association. (s.f.). *What is Coffee?* Obtenido de <https://www.ncausa.org/About-Coffee/What-is-Coffee>

Norton, R. (2011). *DISEÑO DE MÁQUINAS* (Cuarta edición ed.).

Oblitas. (2020). *Optimización De Los Parámetros De Operación De Una Despulpadora Lamper Para Mejorar La Calidad Del Grano Despulpado De Café Lonya Grande-Utcubamaba, 2020*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61450>

Olarte Zamora, A. (2016). *Diseño y construcción de una despulpadora de café para el recinto Estero del Plátano, Parroquia Galera, Cantón Muisne, Provincia Esmeraldas*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11996>

PM Maquinarias. (s.f.). *PM Maquinarias*. Obtenido de <https://pm-maquinarias.yolasite.com/zaranda-clasificadora.php>

Revista Fórum Café. (2020). *Coffea Liberica*. Obtenido de <https://www.revistaforumcafe.com/coffee-liberica>

Sánchez, S. (2020). Partes de la cereza del café bien explicado. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=FgBEKF0vgMU>

Vergara, S. (2020). *Estructura del fruto del café*. Obtenido de <https://www.inceptioncoffee.com/partes-del-fruto-de-cafe/>

Wintgens, J. (2004). *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*.

**Anexos**