



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE  
UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL EMPAQUETADO  
DE HUEVOS EN LA EMPRESA GRANPIAVE Cía. Ltda.**

**AUTORES:        MARTÍNEZ MEZA, ALEX SANTIAGO  
                      QUINCHIMBA CÓNDOR, EDWIN JAVIER**

**DIRECTOR: ING. CORTEZ, BYRON**

**SANGOLQUÍ**

**2016**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto titulado "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL EMPAQUETADO DE HUEVOS EN LA EMPRESA GRANPIAVE Cia. Ltda.", realizado por los señores **Martínez Meza Alex Santiago** y **Quinchimba Córdor Edwin Javier**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permite acreditarlo y autorizar a los señores **Alex Santiago Martínez Meza** y **Edwin Javier Quinchimba Córdor** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 18 de julio del 2016

Ing. Byron Cortez  
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros **MARTÍNEZ MEZA ALEX SANTIAGO** con cédula de identidad N° 1804633202 y **QUINCHIMBA CÓNDOR EDWIN JAVIER** con cédula de identidad N° 1718248840 declaramos que este trabajo de titulación "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL EMPAQUETADO DE HUEVOS EN LA EMPRESA GRANPIAVE Cia. Ltda." ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectuales de terceros considerándose en citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 18 de julio del 2016

Martínez Meza Alex Santiago

C.C. 1804633202

Quinchimba Cóndor Edwin Javier

C.C 1718248840



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Martínez Meza Alex Santiago** y **Quinchimba Córdor Edwin Javier**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL EMPAQUETADO DE HUEVOS EN LA EMPRESA GRANPIAVE Cia. Ltda.", cuyo contenido, ideas y criterios es de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 18 de julio del 2016

Martínez Meza Alex Santiago  
C.C 1804633202

Quinchimba Córdor Edwin Javier  
C.C. 1718248840

## **DEDICATORIA**

El siguiente trabajo y todo el esfuerzo que se utilizó para realizarlo se lo dedico a Dios y a mi familia por haberme brindado su apoyo incondicional en todo momento, también de manera especial a mis amigos y compañeros con quienes he compartido gran parte de tiempo a lo largo de la carrera universitaria.

Alex Santiago Martínez Meza

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres Ramiro y Rosa, que siempre me han apoyado y han estado a mi lado en todas mis etapas estudiantiles, con sus palabras de apoyo me han enseñado a nunca rendirme y nunca han dejado de creer en mí, gracias a ellos termino una etapa más, espero llenarles de orgullo y muchas más alegrías.

A mis hermanas, Ibeth y Gaby, que siempre me han apoyado y confiado en mí, que siempre estaré para apoyarlas a ellas.

A mis abuelitos, Antonio y Rosario, que me han brindado enseñanzas, palabras de apoyo cuando las he necesitado, mis abuelitos Ramón y Juana, que aunque ya no estén conmigo físicamente, sus enseñanzas y amor siempre los tendré presente.

A mis amigos con quienes compartí grandes momentos en la etapa universitaria que serán recordados por toda la vida.

Edwin      Javier      Quinchimba

Cóndor

## **AGRADECIMIENTOS**

Un profundo agradecimiento a la empresa GRANPIAVE Cía. Ltda. La cual mostro su interés, confianza e invirtió sus recursos para la investigación y desarrollo del proyecto, de igual forma al Ing. Byron Cortez que brindo sus conocimientos para guiar cada paso en el desarrollo del mismo, a mi compañero Javier Quinchimba por todo el esfuerzo y tiempo invertido en el desarrollo de este proyecto.

Alex Santiago Martínez Meza

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por la salud y favores recibidos. A mi familia que es lo que más amo en este mundo y el pilar fundamental en mi vida. A mis padre Ramiro que siempre me apoyado, no me ha dejado rendir, me ha aconsejado para bien, dejándome grandes enseñanzas. A mi madre Rosa nunca tendré las suficientes palabras para agradecer todo lo que ha hecho por mí durante toda mi vida, siempre ha estado a mi lado llenándome de amor y cariño. A mis hermanas que son muy importantes para mí, que siempre me han apoyado con su cariño y palabras de aliento, esperando que ellas también cumplan sus metas y yo estaré para apoyarlas.

A mi compañero de tesis y toda su familia, que me recibieron en su hogar, brindándome su apoyo, durante la ejecución del presente proyecto.

A la empresa GRANPIAVE Cía. Ltda, que confió e invirtió sus recursos en el desarrollo del presente proyecto para su buena culminación, al Ingeniero Israel Martínez gerente de la empresa por su apoyo y buenos consejos en todo momento del desarrollo del proyecto.

A mis profesores que han brindado todos sus conocimientos para llegar a cumplir una meta más. Al ingeniero Byron Cortéz que nos brindó su apoyo durante toda la ejecución del presente proyecto.

Edwin      Javier      Quinchimba

Cóndor

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xix
RESUMEN .....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Avicultura .....	3
1.2.1 Gallino cultura .....	4
1.2.2 Productoras de huevos .....	4
1.2.3 Productoras de huevo y carne (doble propósito).....	5
1.2.4 Manejo de la producción de huevos.....	6
1.3 Planteamiento del problema .....	7
1.4 Justificación, importancia y motivación .....	8
1.5 Objetivos .....	8
1.5.1 Objetivo General.....	8
1.5.2 Objetivos Específicos .....	8

1.6	Resumen.....	9
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>		<b>10</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>10</b>
2.1.	<b>BUENAS PRACTICAS DE MANUFACTURA.....</b>	<b>10</b>
2.2.	<b>MECANISMOS Y MAQUINAS.....</b>	<b>11</b>
2.3.	<b>SISTEMAS DE TRANSPORTE.....</b>	<b>11</b>
2.3.1	<b>BANDAS TRANSPORTADORAS.....</b>	<b>12</b>
2.3.2	<b>TRANSPORTADOR DE RODILLOS.....</b>	<b>12</b>
2.4.	<b>CADENAS DE RODILLOS.....</b>	<b>13</b>
2.4.1	<b>VENTAJAS DE USAR CADENAS.....</b>	<b>13</b>
2.4.2	<b>CADENAS TIPO HOLLOW PIN.....</b>	<b>14</b>
2.5.	<b>AUTOMATIZACIÓN.....</b>	<b>14</b>
2.5.1	<b>OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....</b>	<b>15</b>
2.6.	<b>SENSORES.....</b>	<b>15</b>
2.6.1	<b>SENSORES DE CONTACTO.....</b>	<b>15</b>
2.6.2	<b>SENSORES SIN CONTACTO.....</b>	<b>16</b>
2.7.	<b>CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).....</b>	<b>16</b>
2.8.	<b>SISTEMAS HMI.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>		<b>18</b>
<b>SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....</b>		<b>18</b>
3.1	<b>Consideraciones para la determinación de las especificaciones para el diseño.....</b>	<b>18</b>
3.2	<b>Desarrollo de la función de la calidad QFD.....</b>	<b>18</b>
3.2.1	<b>Beneficios que aporta el QFD.....</b>	<b>19</b>
3.3	<b>Voz del Usuario.....</b>	<b>19</b>
3.4	<b>Voz del Ingeniero.....</b>	<b>20</b>

3.5	Resultados de la matriz QFD .....	21
3.6	Conclusiones de la Casa de la Calidad.....	21
3.7	<b>ANALISIS FUNCIONAL .....</b>	<b>22</b>
3.7.1	<b>DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS.....</b>	<b>23</b>
3.7.2	<b>DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS .....</b>	<b>25</b>
3.7.3	<b>SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO .....</b>	<b>27</b>
3.7.4	<b>MÓDULO 1 .....</b>	<b>27</b>
3.7.4.1	<b>Motores.....</b>	<b>27</b>
3.7.4.1.1	Motor DC con caja reductora.....	27
3.7.4.1.2	Motor AC .....	28
3.7.4.1.3	Motor a Pasos.....	29
3.7.4.1.4	Servomotor.....	30
3.7.4.1.5	Matrices de ponderación del tipo de motor para accionar el mecanismo .....	31
3.7.4.2	<b>CINTA TRANSPORTADORA .....</b>	<b>32</b>
3.7.4.2.1	Cinta transportadora PVC P22 – 76 .....	32
3.7.4.2.2	Cinta transportadora C07JF.....	33
3.7.4.2.3	Cinta transportadora UPRO 213W .....	33
3.7.4.2.4	Matrices de ponderación de tipos de cintas transportadoras.....	34
3.7.4.3	<b>Sensores.....</b>	<b>36</b>
3.7.4.3.1	Sensores ópticos.....	36
3.7.4.3.2	Sensores Capacitivos.....	36
3.7.4.3.3	Fines de Carrera.....	37
3.7.4.3.4	Matrices de ponderación del tipo de sensor a utilizar en el módulo 1 .....	38
3.7.5	<b>MÓDULO 2 .....</b>	<b>39</b>
3.7.5.1	<b>RIELES GUIAS .....</b>	<b>39</b>
3.7.5.1.1	Acero cromado.....	39
3.7.5.1.2	Polimetilmetacrilato (Acrílico).....	40

3.7.5.1.3	Acero Inoxidable.....	40
3.7.5.1.4	Matrices de ponderación del tipo de material para la fabricación de rieles guías. ....	41
<b>3.7.6</b>	<b>MÓDULO 3 .....</b>	<b>42</b>
<b>3.7.6.1</b>	<b>Mecanismo empacador .....</b>	<b>42</b>
3.7.6.1.1	Sistema Neumático .....	42
3.7.6.1.2	Sistema de rodillos .....	44
3.7.6.1.3	Sistema de acordeón.....	45
3.7.6.1.4	Matrices de ponderación tipo de mecanismo empacador a diseñar. 46	
<b>3.7.6.2</b>	<b>Control del sistema .....</b>	<b>48</b>
3.7.6.2.1	Microcontrolador PIC .....	48
3.7.6.2.2	Arduino.....	49
3.7.6.2.3	Controlador Lógico Programable.....	50
3.7.6.2.4	Control por contactores y relés.....	51
3.7.6.2.5	Matrices de ponderación tipo de controlador a utilizar: ...	51
<b>3.7.6.3</b>	<b>Interfaz Hombre Máquina HMI .....</b>	<b>54</b>
3.7.6.3.1	Touch Panel .....	54
3.7.6.3.2	Computador o Laptop .....	55
3.7.6.3.3	Display LCD.....	56
3.7.6.3.4	Matrices de ponderación HMI a utilizar .....	57
	<b>Tabla 22 .....</b>	<b>57</b>
	<b>Matriz de especificaciones Interfaz hombre máquina .....</b>	<b>57</b>
<b>3.7.6.4</b>	<b>Sensores.....</b>	<b>58</b>
<b>3.7.6.5</b>	<b>Motores.....</b>	<b>58</b>
3.7.6.5.1	Matrices de ponderación tipo de motor a utilizar. ....	59
<b>3.7.7</b>	<b>MÓDULO 4 .....</b>	<b>60</b>
<b>3.7.7.1</b>	<b>Cinta Transportadora .....</b>	<b>60</b>
<b>3.7.7.2</b>	<b>Sensores.....</b>	<b>60</b>
<b>3.7.7.3</b>	<b>Motores.....</b>	<b>61</b>
<b>3.7.8</b>	<b>MÓDULO 5 .....</b>	<b>61</b>

<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>62</b>
<b>DISEÑO .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1 DISEÑO MECÁNICO.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.1 DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.2 DISEÑO EJE MECANISMO EMPACADOR:.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.2.1 FUERZAS GENERADAS .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.2.2 Fuerza en los soportes: .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1.2.3 Diseño a fatiga .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1.2.4 Cálculo chaveta .....</b>	<b>74</b>
<b>4.1.3 ESFUERZO EN ENGRANES RECTOS.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1.3.1 Potencia de salida del engrane .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1.3.2 Calculo de la potencia nominal del engrane basándose en la obtención de una vida infinita a la flexión.....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.3.3 Durabilidad de la superficie:.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1.4 Cálculos esfuerzo cortante perfil U .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.4.1 Fuerzas .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.5 Diseño de chaveteros y chavetas.....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.5.1 Diseño de chavetas y chaveteros del módulo 3. ....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.5.1.1 Eje motriz.....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.5.1.2 Eje conducido.....</b>	<b>86</b>
<b>4.1.5.1.3 Eje mecanismo posicionador.....</b>	<b>87</b>
<b>4.1.6 Esfuerzo en soportes.....</b>	<b>88</b>
<b>4.2 DISEÑO ELECTRÓNICO .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2.1 Calculo potencia Motor DC .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2.2 Calculo Potencia motor a pasos .....</b>	<b>94</b>
<b>4.2.3 Sensores de Contacto .....</b>	<b>97</b>
<b>4.2.4 Sensor óptico .....</b>	<b>98</b>

4.2.5	Controlador Lógico Programable (PLC).....	99
4.2.6	Interfaz Hombre – Máquina (HMI).....	100
4.2.6.1.	Programador .....	101
4.2.6.1.1	Configuración Banda Rodillos.....	102
4.2.6.1.2	Configuración Banda Cubetas.....	103
4.2.6.2.	Usuario.....	103
	<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>104</b>
	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>104</b>
5.1.	<b>PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ENSAMBLADO E IMPLEMENTADO SIN HUEVOS.....</b>	<b>105</b>
5.1.1.	Objetivo.....	105
5.1.2.	Actividades .....	105
5.1.3.	Resultados:.....	106
5.2.	<b>PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ENSAMBLADO E IMPLEMENTADO CON HUEVOS.....</b>	<b>111</b>
5.2.1	Objetivo.....	111
5.2.2	Actividades .....	111
5.2.3	Resultados:.....	112
5.3.	<b>PRUEBAS DE RENDIMIENTO. ....</b>	<b>118</b>
5.3.1	Resultados:.....	119
	<b>CAPITULO 6 .....</b>	<b>122</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>122</b>
6.1	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>122</b>
6.2	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>123</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>124</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>128</b>
	<b>A1: ANÁLISIS DE COSTOS DE FABRICACIÓN .....</b>	<b>129</b>

<b>A2: PLANOS MECÁNICOS .....</b>	<b>130</b>
<b>A3: MANUAL DE USUARIO .....</b>	<b>131</b>
<b>A4: HOJA DE PROCESOS.....</b>	<b>132</b>
<b>A5: ACTA EQUIPO ENTREGADO .....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Resultado censo ponedoras - CONAVE .....	2
<b>Figura 2</b> Razas gallinas productoras de huevos .....	5
<b>Figura 3</b> Gallinas doble propósito.....	5
<b>Figura 4</b> Recolecciones diarias en galpones automatizados .....	6
<b>Figura 5</b> Jaula de Postura Manual .....	7
<b>Figura 6</b> Área de empackado de Huevos.....	11
<b>Figura 7</b> Transportadores de rodillos .....	13
<b>Figura 8</b> Ansi single pitch hollow pin (hp) chain .....	14
<b>Figura 9</b> Ejemplo de un sistema (Fuente propia) .....	15
<b>Figura 10</b> Sistema automático con PLC .....	17
<b>Figura 11</b> Simbología Análisis Funcional .....	23
<b>Figura 12</b> Nivel 0 .....	23
<b>Figura 13</b> Nivel 1 .....	24
<b>Figura 14</b> Nivel 2.....	24
<b>Figura 15</b> Determinación de Módulos Funcionales .....	26
<b>Figura 16</b> Motor BOSCH CDP 50 W .....	28
<b>Figura 17</b> Motor Trifásico .....	29
<b>Figura 18</b> Motor Pasos y Driver XINJE .....	30
<b>Figura 19</b> Servo Motor y Driver XINJE .....	31
<b>Figura 20</b> Muestra Cinta Transportadora P22 – 76 .....	33
<b>Figura 21</b> Muestra Cinta Transportadora C07JF.....	33
<b>Figura 22</b> Muestra Cinta Transportadora UPRO 213W.....	34
<b>Figura 23</b> Sensores opto electrónicos SOEG – L – Q30 – S – 2L.....	36
<b>Figura 24</b> Sensor Capacitivo Autonics CR30-DN15.....	37
<b>Figura 25</b> Finales de carrera de precisión.....	38
<b>Figura 26</b> Brazo Robótico empackador.....	43
<b>Figura 27</b> Mecanismo empackador.....	44
<b>Figura 28</b> Sistema de Rodillo .....	45

<b>Figura 29</b> Empacado huevos sistema acordeón .....	46
<b>Figura 30</b> Mecanismo acordeón.....	46
<b>Figura 31</b> Microcontrolador PIC .....	49
<b>Figura 32</b> Arduino Uno .....	50
<b>Figura 33</b> PLC XINJE .....	51
<b>Figura 34</b> HMI XINJE .....	55
<b>Figura 35</b> Laptop Toshiba .....	56
<b>Figura 36</b> Display LCD .....	57
<b>Figura 37</b> Recomendaciones diámetro de rodillos .....	62
<b>Figura 38</b> Recomendaciones especificaciones rodillo.....	63
<b>Figura 39</b> MECANISMO EMPACADOR .....	63
<b>Figura 40</b> Diagrama de cuerpo libre.....	64
<b>Figura 41</b> Curva Característica Motor Bosch .....	64
<b>Figura 42</b> Diagrama de cuerpo libre del engrane .....	65
<b>Figura 43</b> Análisis eje - plano xy en (MD Solid).....	68
<b>Figura 44</b> Análisis eje a - plano xz en (MD Solid).....	69
<b>Figura 45</b> Factor de Seguridad obtenido mediante Software .....	74
<b>Figura 46</b> Esfuerzo Flector en el eje obtenido mediante software.....	74
<b>Figura 47</b> Chaveta de cuña.....	85
<b>Figura 48</b> Eje Motriz módulo 3 .....	86
<b>Figura 49</b> Eje conducido módulo 3.....	87
<b>Figura 50</b> Eje mecanismo posicionador .....	87
<b>Figura 51</b> Soporte estructura.....	88
<b>Figura 52</b> Área aplicación fuerza.....	89
<b>Figura 53</b> Análisis estático Solidworks .....	90
<b>Figura 54</b> CAD Banda Transportadora Módulo 1 .....	91
<b>Figura 55</b> Motor Bosch F006 WM0 310 .....	94
<b>Figura 56</b> CAD Módulo 3.....	94
<b>Figura 57</b> Motor Pasos 86BYGH 156.....	96
<b>Figura 58</b> Driver Xinje DP-508 .....	97
<b>Figura 59</b> Fin de carrera YBLXW - 5 .....	98
<b>Figura 60</b> Sensor óptico F&C DR18 - S40NC .....	98

<b>Figura 61</b> PLC XCM - 24T3 - E/C.....	100
<b>Figura 62</b> HMI XINJE TH - 465 – MT .....	101
<b>Figura 63</b> Pantalla Inicio HMI .....	101
<b>Figura 64</b> Pantalla Configuración Banda Rodillos .....	102
<b>Figura 65</b> Configuración Banda Cubetas .....	103
<b>Figura 66</b> Encendido Bandas Transportadoras.....	104
<b>Figura 67</b> Pantalla Reset y Contadores .....	104
<b>Figura 68</b> Sistema empacador ensamblado vista superior .....	106
<b>Figura 69</b> Sistema empacador ensamblado vista lateral.....	107
<b>Figura 70</b> Banda deslizándose hacia un lado .....	109
<b>Figura 71</b> Banda centrada.....	109
<b>Figura 72</b> Ajuste del templado.....	109
<b>Figura 73</b> Sensor óptico .....	110
<b>Figura 74</b> Recolector de huevos alimentando de huevos al sistema .....	112
<b>Figura 75</b> Detectores del sistema acumulador de huevos .....	113
<b>Figura 76</b> Detección de cubeta por el sensor óptico .....	114
<b>Figura 77</b> Huevos en la banda de rodillos alineados por las guías .....	115
<b>Figura 78</b> Posición óptima de rodillos .....	116
<b>Figura 79</b> Centrado de los retenedores .....	116
<b>Figura 80</b> Ventana del HMI para ingresar valores para el motor a p.....	117
<b>Figura 81</b> Cubeta con huevos siendo tomada por la banda de salida.....	118
<b>Figura 82</b> Sistema empacando 6 huevos por hilera .....	120
<b>Figura 83</b> Sistema empacando a 5 filas por hilera .....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos para matriz QFD .....	19
<b>Tabla 2.</b> Características técnicas para matriz QFD .....	20
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la matriz QFD.....	21
<b>Tabla 4</b> Matriz de especificaciones motores módulo1 .....	31
<b>Tabla 5</b> Matriz de Ponderación motores módulo 1 .....	31
<b>Tabla 6</b> Conclusión Motores módulo 1 .....	32
<b>Tabla 7</b> Matriz de especificaciones tipo de cinta transportadora .....	34
<b>Tabla 8</b> Matriz de Ponderación tipo de cinta transportadora módulo 1 .....	35
<b>Tabla 9</b> Conclusiones tipo de cinta transportadora módulo 1 .....	35
<b>Tabla 10</b> Matriz de especificaciones tipo de sensor módulo 1 .....	38
<b>Tabla 11</b> Matriz de Ponderación tipo de sensor módulo 1 .....	38
<b>Tabla 12</b> Conclusiones tipo de sensor módulo 1 .....	39
<b>Tabla 13</b> Matriz de especificaciones material para fabricación de rieles ...	41
<b>Tabla 14</b> Matriz de Ponderación material para fabricación de rieles .....	41
<b>Tabla 15</b> Conclusiones material para fabricación de rieles guías.....	42
<b>Tabla 16</b> Matriz de especificaciones tipo de mecanismo empacador:.....	46
<b>Tabla 17</b> Matriz de Ponderación tipo de mecanismo empacador: .....	47
<b>Tabla 18</b> Conclusiones tipo de mecanismo empacador .....	47
<b>Tabla 19</b> Matriz de especificaciones tipo de controlador: .....	51
<b>Tabla 20</b> Matriz de Ponderación tipo de controlador: .....	52
<b>Tabla 21</b> Conclusiones tipo de controlador a utilizar .....	53
<b>Tabla 22</b> Matriz de especificaciones Interfaz hombre máquina .....	57
<b>Tabla 23</b> Matriz de ponderación interfaz hombre máquina.....	57
<b>Tabla 24</b> Matriz de conclusiones HMI a utilizar .....	58
<b>Tabla 25</b> Matriz de especificaciones motores módulo 3: .....	59
<b>Tabla 26</b> Matriz de Ponderación motores módulo 3: .....	59
<b>Tabla 27</b> Conclusión tipo de motor módulo 3 .....	60
<b>Tabla 28</b> Notación empleada:.....	65
<b>Tabla 29</b> Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	70
<b>Tabla 30</b> Parámetros ingresados al modelo CAD.....	92

<b>Tabla 31</b>	Características motor BOSCH F006 WM0 310 .....	93
<b>Tabla 32</b>	Parámetros ingresados al modelo CAD.....	95
<b>Tabla 33</b>	Características Motor Pasos XINJE 86BYGH156 .....	96
<b>Tabla 34</b>	Características Driver DP - 508 XINJE .....	97
<b>Tabla 35</b>	Características PLC XINJE XCM-24T3-E/C .....	99
<b>Tabla 36</b>	Características HMI XINJE .....	100
<b>Tabla 37</b>	Análisis de vibración en las diferentes bandas .....	108
<b>Tabla 38</b>	Porcentaje sensibilidad.....	110
<b>Tabla 39</b>	Altura de detección.....	113
<b>Tabla 40</b>	Valores a ser ingresados de acuerdo velocidad del motor .....	114
<b>Tabla 41</b>	Velocidad Banda Salida.....	118

## **RESUMEN**

En el presente proyecto se realiza el diseño, construcción e implementación de un sistema automático de empaquetado de huevos de gallina, para optimizar tiempos de producción en el empaquetado lo que representa mayores ingresos para la empresa GRANPIAVE Cía. Ltda. La máquina será capaz de empacar huevos de gallina de manera rápida y segura sin afectar la calidad de los mismos. La estructura que tenga contacto directo con los huevos deberá cumplir normas de manufactura adecuadas. Para realizar el control de la máquina se utilizara un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual controlara los actuadores del sistema de empacado de huevos, a partir de señales de sensores conectados al mismo, se utiliza un motor a pasos como actuador principal para el empaquetado. Una vez diseñado y construido se realizaran pruebas de rendimiento, los resultados se documentarán en el presente trabajo. Para finalizar se documentará conclusiones y recomendaciones sobre los objetivos propuestos en el presente trabajo.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **SISTEMA AUTOMATIZADO**
- **EMPAQUETADO**
- **ACTUADORES**
- **SENSORES**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC**

## **ABSTRACT**

This Project develop the design and construction of an automatic packaging system of chicken eggs to optimize productions times in packaging which represents higher revenues for the company GRANPIAVE Cia. Ltda.

The machine will be able to pack chicken eggs quickly and safely without affecting the quality of them . The structure having direct contact with eggs must meet appropriate standards of manufacturing. For control of the machine used a Programmable Logic Controller (PLC ), which will control system actuators packaging of eggs, starting from signals of sensors connected to it.

Once designed and built performance tests were carried out, the results are documented in this paper. Finally conclusions and recommendations on the objectives proposed in this paper document. To finish with conclusions and recommendations about the objectives proposed in this paper document.

### **KEYWORDS:**

- **AUTOMATED SYSTEM**
- **PACKAGING**
- **ACTUATORS**
- **SENSORS**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER PLC**

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En el capítulo se redacta una breve descripción de lo que implica la avicultura y la importancia de esta actividad económica dentro del país. El empaquetado de huevos de gallina es una rama dentro de un sistema más complejo como es la avicultura en el que se destaca la cría de aves, aprovechando todos los productos derivados a partir de dicha actividad, en este caso la producción y recolección de huevos de gallina. Se plantea la motivación y justificación al problema que deseamos resolver junto con los objetivos alcanzar.

### **1.1 Antecedentes**

La automatización de procesos busca un cambio en la productividad y la optimización de tiempos de producción, hacerlos cada vez más avanzados, por lo que es un aspecto muy atractivo para la industria actual por los muchos beneficios que representa. La automatización mecatrónica se apoya en sistemas mecánicos, eléctricos y computacionales, en la búsqueda de soluciones a un problema o problemas determinados

Actualmente el proceso automatizado de empaquetamiento de huevos hace que el trabajo sea más rápido y no necesite gran cantidad de operarios más que para supervisión, lo que implica que exista beneficio económico y social. La automatización no implica despido de personal, más bien es un cambio de actividad, el personal pasa de ser un trabajador manual a ser un operario del sistema automatizado.

Según Agro editorial en su edición #213, la mejora de la productividad avícola ha sido realmente importante, la capacidad de innovación e investigación de calidad por parte del sector ha sido realmente notoria. Según últimos estudios realizados por la Universidad de North Carolina muestra la mejora de la capacidad productiva de los pollos de carne en las últimas cinco décadas. La producción de pollos y su nutrición está bajo una aplicación de requerimientos de origen sanitario, ambiental y de bienestar

animal que imponen nuevos criterios de producción para ciertas regiones. (AgroEditorial, 2015)

De acuerdo al censo avícola realizado por CONAVE en Ecuador, la población de gallinas ponedoras alcanza un total de 9'729.684, ubicando a la provincia de Tungurahua como el principal productor, además indica que la producción anual de huevos alcanza los 2500 millones de huevos, por lo que representa una importante actividad económica del país, desarrollada tanto en pequeñas granjas como a nivel industrial. (Corporación Nacional de Avicultores, CONAVE, 2006)



Figura 1. Resultado censo ponedoras - CONAVE

Fuente: (Corporación Nacional de Avicultores, CONAVE, 2006)

Como se observa en la figura 1, la cría de gallinas ponedoras, para la recolección y venta de huevos es una importante actividad económica dentro del país, concentrándose en mayor medida dentro de la provincia de Tungurahua. Granja Los Pinos GRANPIAVE Cía. Ltda., es una de las empresas ecuatorianas ubicada en el cantón Patate, provincia de Tungurahua. Debido al costo excesivo que representaría adquirir una máquina automatizada para mejorar la producción, muy pocos productores están en condiciones de modernizar procesos, por ende han empezado a modernizar su producción poco a poco por partes.

Quien invierte aumenta en producción mas no necesariamente en ventas, por lo que en ocasiones es necesario disminuir la producción debido a lo poco rentable del mercado, con un sistema automatizado se puede realizar esta operación sin variar personal, que de otra forma en época en donde la demanda es pobre se debería realizar despidos necesarios.

## **1.2 Avicultura**

La avicultura según la Real Academia Española es la cría de las aves, o un conjunto de técnicas y conocimientos relativos a la cría de aves. (Real Academia Española, 2015). En Ecuador la avicultura es parte de la cadena productiva del maíz, soya, y balanceados, que es una de las de mayor importancia dentro del sector agropecuario ecuatoriano. Esta cadena productiva lejos de ser excluyente es un motor de superación de la pobreza para decenas de miles de pequeños productores agrícolas y avícolas que son actores integrados. (Orellana Jarrín, 2014)

Las empresas avícolas del Ecuador trabajan con mayor estructura para enfocarse hacia la calidad en el servicio del cliente y aumentan la gama de servicios que ofrecen, diversificando sus líneas. Esto implica el desarrollo de importantes inversiones en personal, tecnología, red de distribuidores y la contribución de una amplia gama de procesos que ayudan a sus clientes servirse de productos inocuos. Sin embargo, el volumen de inversiones requeridas genera una barrera de entrada en el mercado y también una ventaja competitiva para aquellas empresas que están en capacidad de realizarlas. Este hecho generó que durante el año 2014 se evidencie en el sistema un cambio en la composición del mercado, debido a la salida de algunos actores (medianos y pequeños industriales), a las fusiones de otros y al incremento de las inversiones de los líderes empresariales. (AgroEditorial, 2015)

### **1.2.1 Gallino cultura**

La Gallino cultura es una rama de la avicultura que, tal como su nombre lo dice se dedica a la explotación de las gallinas. Estas aves son criadas principalmente por su carne y sus huevos, siendo uno de los animales de mayor consumo en todo el mundo. (Fundación Origen Chile - Manual Avícola, 2010)

La crianza de gallinas es una actividad económica que no requiere mayores costos de inversión, puesto que la crianza de estas aves no es un proceso difícil, crecen y se multiplican con relativa facilidad, sin embargo una mayor inversión en el cuidado, alimentación e instalaciones para la crianza garantizaran una mejor calidad en la producción de carne y huevos.

Según el manual avícola de Fundación Origen Chile, las gallinas se dividen dependiendo del objetivo que se quiere para cada una de ellas. La clasificación se divide en cinco grupos: aves para producción de huevos, para consumo, para ambos, de campo y mejoradas. (Fundación Origen Chile - Manual Avícola, 2010)

### **1.2.2 Productoras de huevos**

Son gallinas especializadas en producción de huevos, más conocidas dentro del medio como gallinas ponedoras. Debido a que deben mantener un rendimiento adecuado en la producción de huevos, requieren de un control constante en su alimentación y salud, además de que también su producción depende de la edad que tenga la gallina.

Dentro de este grupo las razas más explotadas son la Leghorn y las razas híbridas como la Lohmann, Hy Line o Shaver. Son aves pequeñas pero, sin embargo, producen huevos grandes. (Fundación Origen Chile - Manual Avícola, 2010)



Figura 2. Razas gallinas productoras de huevos

Fuente: (Biblioteca Virtual - FUNDESYRAM, 2014)

### 1.2.3 Productoras de huevo y carne (doble propósito)

Como su nombre lo indican estas gallinas se especializan en ambos aspectos, alcanzando cantidades comparables a las que son especializadas en una actividad, la principal desventaja es que su crecimiento no es tan rápido como las razas especializadas. La raza Rhode Island junto con la Plymouth Rock son conocidas dentro de esta clasificación.

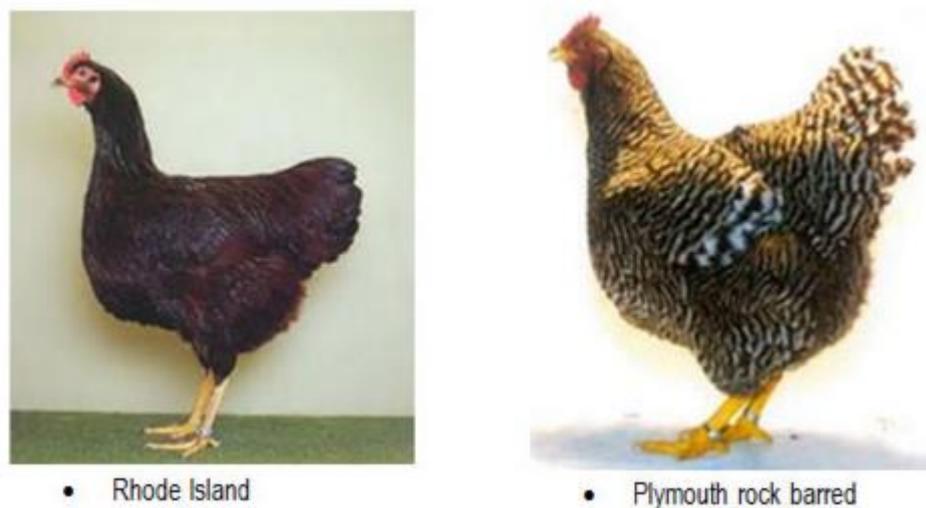


Figura 3. Gallinas doble propósito

Fuente: (Biblioteca Virtual - FUNDESYRAM, 2014)

#### 1.2.4 Manejo de la producción de huevos

Los galpones convencionales predominan en granjas de mediana y baja producción, aunque la tendencia está en implementar galpones semiautomatizados o completamente automatizados.

Según la revista AFABA en su edición de abril del 2009, la ventaja de un proceso automatizado es un importante ahorro en mano de obra, menos consumo de alimento balanceado, mayor porcentaje de puesta, uniformidad en el tamaño del huevo, pero el costo de inversión es monumental. (AFABA, 2009)

El punto clave en el manejo de huevos dentro de cualquier tipo de galpón, es la rapidez con la que son retirados, entre lo más pronto posible son retirados mejor, debido a que el medio ambiente es favorable a suciedad y contaminación de la cascara, con el fin de tener el menor número de huevos rotos y sucios.



Figura 4. Recolecciones diarias en galpones automatizados

Fuente: (El Sitio Avícola, 2011)

Se realiza una preselección de los huevos antes de su colocación en cubetas, de igual manera en empresas industriales esta selección la realiza un sistema automatizado en donde se garantiza la producción de huevo de

calidad, eliminando huevos sucios (heces, sangre, piojos) además en ese proceso se separan huevos por tamaño y peso. Granjas de baja o media producción realizan la clasificación de huevos manteniendo un estándar de acuerdo a la edad de las gallinas por galpón, manteniendo así un promedio en las cubetas. La granja GRANPIAVE produce actualmente de forma manual 800 cubetas diarias, cubetas de 30 huevos cada una.



Figura 5. Jaula de Postura Manual

Fuente: (Inaveca, 2007)

### **1.3 Planteamiento del problema**

Como ya hemos mencionado, la avicultura está en constante avance en tema de desarrollo y mejora de sus procesos de producción, sin embargo el costo de inversión es demasiado alto, por lo que el progreso avanza de una manera lenta. La robótica móvil es un tema de gran interés, la investigación desarrollada es muy extensa y mundialmente existe avances tecnológicos que hacen despejar la imaginación, dando la oportunidad a nuevas metas y creaciones.

El desarrollo de este proyecto ayudará a mejorar la calidad y tiempo de producción de un proceso específico, a un costo no tan excesivo, comparado con todo lo que implicaría importar una máquina que realice la misma

actividad. La ejecución de este proyecto deja abierto nuevos temas de investigación de desarrollo, como son la automatización de los procesos antes y después del empaquetado de huevos, incluyendo el mejoramiento del mismo proceso de empaquetado.

#### **1.4 Justificación, importancia y motivación**

Se pretende realizar un prototipo de un sistema automático de empaquetado de huevos, para optimizar tiempos de producción lo que representa mayores ingresos para la empresa GRANPIAVE Cía Ltda.

Es importante la realización de este proyecto porque se integran varias asignaturas de la carrera de ingeniería Mecatrónica, en conjunto con nuevas herramientas para el desarrollo de sistemas automatizados.

La motivación que impulsa este presente proyecto es la búsqueda de nuevas alternativas que optimicen tiempos de producción mediante automatización de procesos, en donde las personas que realizaban anteriormente el trabajo manual pasan a ser operadores y supervisores del proceso automático.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para el empaquetado de huevos.

##### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Para poder cubrir el objetivo general se plantea objetivos específicos:

- Diseñar y construir la estructura mecánica.
- Implementar un sistema electrónico.
- Establecer un control óptimo que no afecte a la calidad del producto.

- Realizar pruebas de funcionalidad y rendimiento.

## **1.6 Resumen**

- La automatización de procesos busca un cambio en la productividad, optimizando tiempos de producción, facilitando trabajos complejos a los operarios. Se automatiza un proceso para tener beneficio económico y social.
- La industria ecuatoriana está en proceso de cambio, poco a poco desea modernizar sus procesos. La avicultura ha realizado una importante inversión en innovación e investigación.
- La importación de una maquina completamente automatizada que realice todo el proceso desde la recolección de huevos de los galpones es demasiado costosa, por lo tanto con la ejecución de este proyecto se automatiza una parte importante del proceso dejando abierto nuevos campos de investigación para mejorar el proceso mismo ya automatizado o aplicar la automatización a procesos anteriores o posteriores.
- El proceso de recolección y empaquetado de huevos de forma manual es tedioso, además que no permite mejorar el rendimiento de la empresa, ya que debe ocupar personal para esta actividad en lugar de destinarlo a otras operaciones que demanden mayor atención. Como ya mencionamos el manejo de huevos dentro de cualquier tipo de galpón debe realizarse con rapidez, es decir que personal debe estar permanentemente llegando directamente a los galpones para la recolección y colocación en cubetas de los huevos, actividad que se solucionara con la automatización, el personal se destinara a otras actividades además de supervisar el sistema automatizado.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

En el capítulo se detalla de forma general los conceptos más importantes para tener en consideración acerca de mecanismos automáticos, la importancia del uso de ellos enfocándose en el empaquetado de productos. Se analiza los diferentes tipos de mecanismos existentes para dar solución a diferentes aspectos del empaquetado de productos, además la cinemática que puede emplear un sistema automático para empaquetado de huevos. Se presenta la percepción que debe tener un sistema automático de empaquetado de huevos para poder operar en un entorno.

#### **2.1. BUENAS PRACTICAS DE MANUFACTURA.**

Son una herramienta básica para la obtención de productos seguros para el consumo humano, que se centralizan en la higiene y forma de manipulación. La aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura, reduce significativamente el riesgo de presentación de toxi-infecciones a la población consumidora al protegerla contra contaminaciones, contribuyendo a formar una imagen de calidad y reduce las posibilidades de pérdidas de productos al mantener un control preciso y continuo sobre edificaciones, equipos, personal, materia prima y procesos.

La inocuidad de los alimentos es una característica de calidad esencial y engloba acciones encaminadas a garantizar la máxima seguridad, abarcando toda la cadena de alimentación, desde la producción hasta el consumo.



**Figura 6 Área de empacado de Huevos.  
(AFABA, 2015)**

Dentro de las buenas prácticas de manufactura están las Buenas Prácticas avícolas implican el conocimiento y registro de todo el proceso de producción que se denomina trazabilidad de los productos, además involucra el mejoramiento de las instalaciones y equipos. (AFABA, 2015)

## **2.2. MECANISMOS Y MAQUINAS.**

Un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento según un esquema deseable y comúnmente desarrolla fuerzas de muy baja intensidad y transmite poca potencia.

Una máquina contiene por lo común mecanismos diseñados para proporcionar fuerzas significativas y transmitir potencia apreciable. (Norton, 2000)

## **2.3. SISTEMAS DE TRANSPORTE.**

En las máquinas de transporte continuo el desplazamiento de la carga se realizará a través de una ruta dada sin que se produzcan paradas para la carga y descarga del material transportado

El uso de las máquinas de transporte continuo está ampliamente difundido en nuestro ambiente, la industria actual no podría subsistir sin ellas a partir del aumento de los planes de producción, capacidades de las plantas y la demanda creciente de los habitantes del planeta.

### **2.3.1 BANDAS TRANSPORTADORAS.**

También conocida como cinta transportadora es un sistema de transporte continuo conformado por una banda que se desplaza entre dos rodillos.

Es muy común ver estos equipos desde una industria pesada como la mecánica, metalúrgica o en la extracción de minerales hasta en los supermercados o tiendas para la transportación de los productos frente al vendedor.

Los transportadores de banda son construidos generalmente de la misma forma: con un bastidor metálico, con rodillos en los extremos y una cuna de deslizamiento sobre chapa o plástico de baja fricción. En aplicaciones donde el producto es demasiado pesado, la cama metálica es sustituida por rodillos. Los rodillos permiten que los objetos sean transportados reduciendo la fricción generada sobre la banda. Los transportadores de banda pueden ser fabricados con secciones curvas. Estos sistemas de transportadores de banda son comúnmente utilizados en oficinas postales o en los aeropuertos para manejo del equipaje de pasajeros.

### **2.3.2 TRANSPORTADOR DE RODILLOS.**

Son máquinas de transporte continuo que utilizan rodillos metálicos para la transportación de la carga. Se emplean para la manipulación de materiales en bultos tales como: cajas, tarimas, llantas, tambos, paquetes, etc. dentro de una gran diversidad de procesos industriales siempre y cuando que cumplan la condición de contar con un fondo regular.

Este transportador consta en lo general de una estructura metálica y sobre ella se soportan los rodillos que son los encargados de transportar los objetos o piezas, son similares al Transportador de Banda con la diferencia que los rodillos están más cercanos uno de otros, que no utilizan banda y pueden o no contar con un sistema moto reductor.



**Figura 7 Transportadores de rodillos**

Fuente: (EcuRed, 2015)

## **2.4. CADENAS DE RODILLOS.**

Una cadena de rodillos proporciona un método eficiente y fácilmente utilizable para transmitir potencia entre ejes paralelos. Los rodillos giran alrededor de casquillos que están unidos a presión a las láminas de unión interiores. Los pasadores no pueden girar en las láminas de unión exteriores por estar montadas a presión.

### **2.4.1 VENTAJAS DE USAR CADENAS.**

- La gama de tamaño es grande por lo que se puede utilizar para gran número de potencias grandes o pequeñas.
- Pueden utilizarse para separaciones entre ejes que sean demasiado grandes para utilizar engranajes.
- Las tolerancias para una transmisión por cadena son mayores que para los engranajes.
- Instalación relativamente sencilla.

- No presenta riesgo de incendio, no lo afectan las temperaturas altas ni la presencia de aceite o grasa. (SPOTTTS, 2003).

#### **2.4.2 CADENAS TIPO HOLLOW PIN.**

La diferencia de estas cadenas de las convencionales está en su pasador que es hueco en el cual se pueden implementar accesorios para crear sistemas de transporte de carga en especial aquellos que son de rodillos.



Figura 8 Ansi single pitch hollow pin (hp) chain

(Innovation in motion TSUBAKI, 2015)

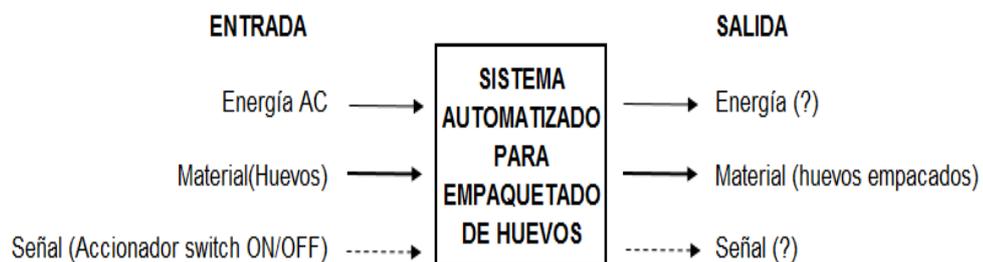
#### **2.5. AUTOMATIZACIÓN.**

.Es la acción que implica el empleo de sistemas de control capaces de sustituir total o parcialmente al hombre en determinadas tareas, ejerciendo las acciones de forma fiable y satisfactoria.

Dentro de la industria, la automatización busca mejorar el tiempo de procesos y la optimización de costos de producción hacerlos más avanzados por lo cual es un aspecto muy atractivo para la industria actual por los muchos beneficios que esta representa.

### 2.5.1 OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo. (Pidrafita Moreno, 2004)



**Figura 9 Ejemplo de un sistema (Fuente propia)**

## 2.6. SENSORES.

Son dispositivos capaces de detectar condiciones de cambio como puede ser la distancia tamaño, color, temperatura, etc... la detección puede ser analógica o digital.

### 2.6.1 SENSORES DE CONTACTO.

Son dispositivos electromecánicos que detectan cambios a través del contacto físico directo con el objeto en cuestión. Los sensores de contacto:

- Generalmente no requieren de energía eléctrica;

- pueden soportar más corriente y tolerar mejor las alteraciones de la línea eléctrica;
- Generalmente son más fáciles de entender y diagnosticar.

Los encoders, los interruptores de final de carrera y los interruptores de seguridad son sensores de contacto. (EcuRed, 2015)

### **2.6.2 SENSORES SIN CONTACTO.**

Son dispositivos electrónicos de estado sólido que crean un campo de energía o haz y reaccionan ante una alteración en ese campo. Algunas características de los sensores sin contacto son:

- No se requiere contacto físico;
- No tienen componentes móviles que puedan atascarse, desgastarse o romperse (por lo tanto, necesitan menos mantenimiento);
- Generalmente operan más rápido;
- Son más flexibles en cuanto a su aplicación.

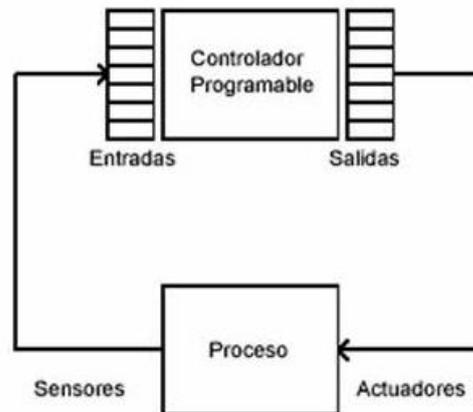
Los sensores fotoeléctricos, inductivos, capacitivos y ultrasónicos corresponden a sensores sin contacto. (EcuRed, 2015)

## **2.7. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)**

Son dispositivos electrónicos constituidos por un microcontrolador, en el cual se puede realizar las instrucciones de programación para poder controlar un proceso, cuando este varié se pueden realizar modificaciones a las instrucciones de programación.

La potencia de los PLC ha aumentado considerablemente dejando de ser "lentos elementos de control que solo pueden sustituir a los cuadros de contactares " a ejecutar complicadas aplicaciones de control con un tiempo mínimo y con una alta fiabilidad. En las gamas de PLC se han ido

incorporando toda una gama de nuevos módulos para funciones especiales como el control de ejes, el pesaje, la comunicación. (Pidrafita Moreno, 2004).



*Figura 10 Sistema automático con PLC*

(Pidrafita Moreno, 2004)

## 2.8. SISTEMAS HMI.

Las siglas HMI significan “Human Machine Interface” o “Interfaz Hombre – Máquina”. Son ampliamente utilizados en la industria para el monitoreo, supervisión, control y seguimiento de procesos.

Tradicionalmente se utilizaban HMI basados en indicadores digitales y análogos, en donde se incluían luces piloto, pulsadores, selectores, etc. En la actualidad se utilizan Paneles táctiles, teléfonos móviles, computadoras, y otros dispositivos que permitan una comunicación en red. Esta actualización ha permitido que las interfaces hombre máquina sean de conexión más sencilla y económica en procesos o máquinas.

El HMI más común utilizado en automatizaciones a nivel de campo y proceso, son pantallas Touch Screen, en donde el manejo de gráficos, valores numéricos o alfanuméricos, manejo de alarmas y otras aplicaciones se las puede realizar de manera sencilla.

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Este capítulo se centra en la selección de alternativas y especificaciones técnicas para el diseño y construcción de la empacadora de huevos. La técnica utilizada se basa en la herramienta conocida como Casa de la Calidad QFD. El objetivo principal es asegurar que en la definición del producto sean consideradas las necesidades y requerimientos de los usuarios. Para lo cual el primer paso es establecer las necesidades de usuario, para luego traducir estas necesidades a características técnicas comúnmente llamadas voz del ingeniero, posteriormente se presentan varias alternativas de solución por cada necesidad de diseño.

#### **3.1 Consideraciones para la determinación de las especificaciones para el diseño.**

Para empezar con el diseño de la empacadora de huevos, se debe realizar la selección de elementos a utilizar tanto en la parte mecánica como también en la eléctrica considerando ventajas y desventajas de los diferentes conceptos disponibles para la realización del mecanismo de empaquetado a implementar. A continuación se procederá con el desarrollo de la función de la calidad QFD o casa de la calidad.

#### **3.2 Desarrollo de la función de la calidad QFD**

El desarrollo de la función de la calidad QFD (Quality Function Deployment) especificara las características técnicas de la máquina, a partir de las principales necesidades de los clientes.

La casa de la calidad tiene como objetivo principal es asegurar que en la definición del producto sean consideradas las necesidades y requerimientos de los usuarios. Para lo cual el primer paso es establecer las necesidades de usuario, para luego traducir estas necesidades a características técnicas

comúnmente llamadas voz del ingeniero, para luego determinar una escala de importancia entre todos los requerimientos.

### 3.2.1 Beneficios que aporta el QFD

Entre los beneficios del desarrollo del QFD tenemos los siguientes a tomar en consideración:

- Define de forma muy consistente el producto.
- Acumula conocimiento respecto a productos.
- Identifica procesos que requieren mejoras.
- Genera una documentación mucho más accesible.
- Facilita los cambios rápidos.
- Aumenta la productividad. (Riba, 2002)

### 3.3 Voz del Usuario

La voz de usuario describe las demandas de los usuarios que en otras palabras son los requerimientos y deseos del cliente. (Riba, 2002)

Tabla 1.

Requerimientos para matriz QFD

N°	REQUERIMIENTOS
1	Estructura para manejo de alimentos
2	Huevos orientados correctamente para su apilación
3	Controles intuitivos
4	Sistema preciso
5	Fácil instalación
6	Bajo costo
7	Visualización de datos de producción
8	Conexión eléctrica
9	Empaquetado en bandejas estándar 5 * 6 huevos
10	Mínima intervención humana
11	Sistema confiable
12	Cuidado del operario

### 3.4 Voz del Ingeniero

La voz de ingeniero describe los requerimientos técnicos traducidos a partir de las necesidades del cliente.

Tabla 2.

Características técnicas para matriz QFD

N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Buenas Prácticas de Manufactura
2	Mecanismo posicionador
3	HMI(Interfaz hombre máquina)
4	Tipo de actuadores y control
5	Sistema Modular
6	Equipos y materiales accesibles
7	Programación registros
8	Conexión eléctrica acorde a la red nacional eléctrica 110 [V]
9	Mecanismo empacador
10	Control automático
11	Despliegue de alarmas
12	Botón paro de emergencia

### 3.5 Resultados de la matriz QFD

**Tabla 3.**  
**Resultados de la matriz QFD**

Requerimientos del cliente		Requerimientos funcionales												Requisitos de diseño								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Buenas Prácticas de manufactura	Sistema Modular	HMI (Interfaz Hombre/Máquina)	Conexión eléctrica acorde a la red nacional eléctrica	Mecanismo empacador	Equipos y materiales accesibles	Mecanismo Posicionador	Tipo de actuadores y control	Freno de emergencia	Control automático	Despliegue de alarmas	Programación registros	Producto propio	Competencia YAMASA	Competencia SANVO	Objetivos	Índice de entrega	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %
1	B	Estructura para manejo de alimentos	●			○	▽	○						1	3	4	4	4	1	4	16	5.432
2	B	Fácil instalación	○	●	○	●	○	●	○					1	4	4	5	5	1.2	4	24	8.147
3	B	Controles intuitivos		●		▽		○		▽				1	4	5	5	5	1.5	5	37.5	12.73
4	B	Conexión eléctrica			●			○						1	3	3	4	4	1.5	5	30	10.18
5	B	Empaquetado en bandejas estándar 5*6				●		○						1	5	5	5	5	1	5	25	8.487
6	O	Bajo cesto	▽			●	●	○	●	○				1	2	3	5	5	1.5	4	30	10.18
7	O	Huevos orientados para su apilación						●	▽					1	4	5	5	5	1.2	4	24	8.147
8	O	Sistema preciso		○		○	▽	▽	●		▽			1	4	4	5	5	1.5	5	37.5	12.73
9	O	Cuidado del operario	▽						●	▽				1	3	4	4	4	1.2	4	19.2	6.518
10	E	Mínima intervención humana		▽		○		▽		●				1	4	4	4	4	1	3	12	4.074
11	E	Sistema confiable		▽		○			▽		●			1	4	4	5	5	1.5	4	30	10.18
12	E	Visualización de datos de producción		○								▽	●	4	3	1	5	1.25	1.5	5	9.375	3.183
																					294.6	100
Producto propio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Competencia YAMASA		4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Competencia SANVO		4	2	1	3	4	3	3	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Incidencia		224	288	525	360	975	450	696	1050	192	180	300	84.38	5324								
Incidencia en %		4.207	5.409	9.86	6.761	18.31	8.452	13.07	19.72	3.606	3.381	5.634	1.585	100								

### 3.6 Conclusiones de la Casa de la Calidad

La casa de la calidad nos entrega como resultados una ponderación de las características técnicas que satisfacen los requerimientos o necesidades del cliente. Los requerimientos técnicos de mayor importancia son:

- Tipos de actuadores y control

El tipo de actuadores a utilizar depende la precisión y facilidad de control que nos de la máquina. Por ejemplo la utilización de servomotores industriales es una gran ventaja, aunque su costo es bastante elevado en comparación con otro tipo de motores.

- Mecanismo empacador  
Se investigó cuatro tipos de mecanismos de empaquetamiento, todos tienen sus ventajas y desventajas, la característica común que ofrecen es que todos llegan al objetivo primordial y con la misma calidad.
- Mecanismo posicionador  
Este mecanismo se encarga de colocar al huevo en posición vertical, no es un mecanismo complejo, aunque es de vital importancia antes de ingresar al módulo de empaquetado.
- HMI (Interfaz Hombre – Máquina)  
Una interfaz amigable a través de un Touch – Panel, además de visualizar ventanas y mensajes que permitan un control intuitivo de la máquina.
- Equipos y materiales accesibles  
Se realizara una selección de materiales tomando en cuenta el costo y características más óptimas para el correcto desempeño de la máquina, proporcionando una lista de proveedores para todo lo que se va utilizar.

### **3.7 ANALISIS FUNCIONAL**

El análisis funcional y la elaboración de la estructura funcional de un producto es el primer paso para poder establecer una estructura modular, se parte de combinar las diversas funciones en módulos de forma que se consigan dos objetivos (Riba, 2002):

- Concentrar las funciones en módulos.
- Constituir interfaces apropiadas entre módulos.

El análisis funcional se lleva a cabo mediante la creación de diagramas de flujo, para lo cual se dispone de simbología adecuada:

- Funciones: Se colocan dentro de un rectángulo de línea continua.
  - Flujo de material: Se representa con una flecha de doble línea continua.
  - Flujo de energía: Se representa con una flecha de línea continua.
  - Flujo de señal: Se representa con una flecha de línea discontinua.
- (Riba, 2002)

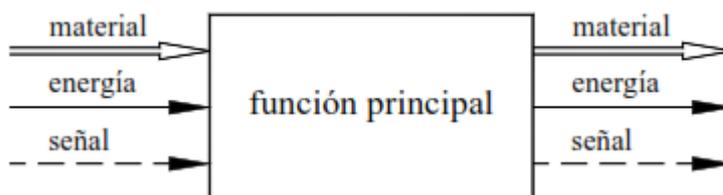


Figura 11 Simbología Análisis Funcional

Fuente: (Riba, 2002)

Se realiza una descomposición por niveles en el que se representara el funcionamiento de todo el proceso, empezando con el nivel 0 o función global y dependiendo de la complejidad del proceso se tendrá los niveles que se considere conveniente.

### 3.7.1 DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS.

En primer lugar se presenta una función global, para nuestro caso la función principal es: “Empaquetado de huevos mediante un sistema automatizado”, el nivel 0 en nuestro caso es el siguiente:

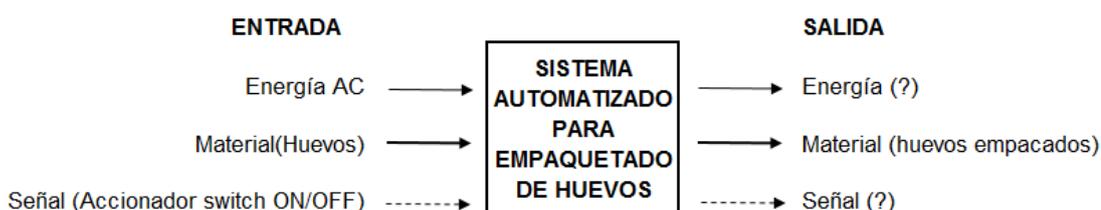
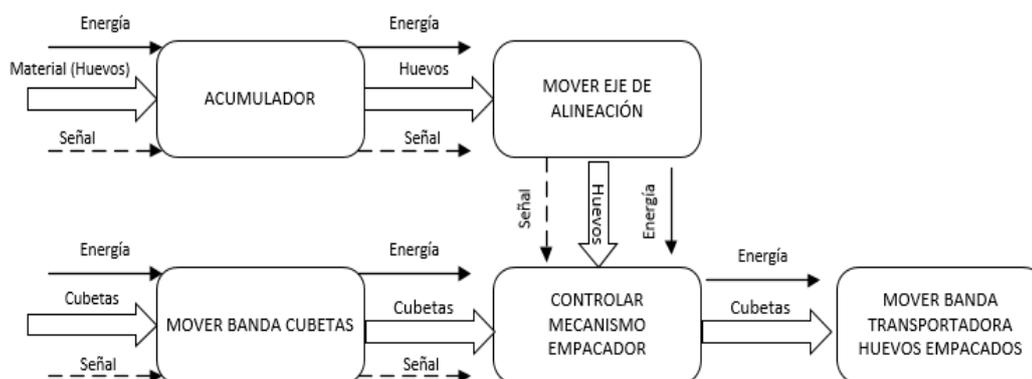


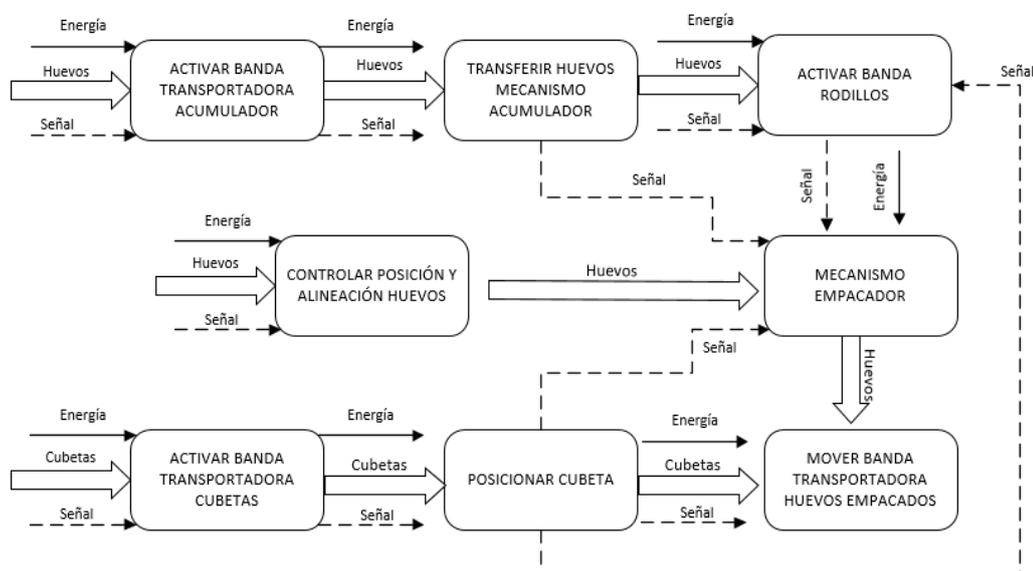
Figura 12 Nivel 0

El nivel 1, representara una descripción un poco más detalla del proceso, en el que se observa flujo de material, energía y señales más detallada de las diferentes funciones a realizar.



**Figura 13 Nivel 1**

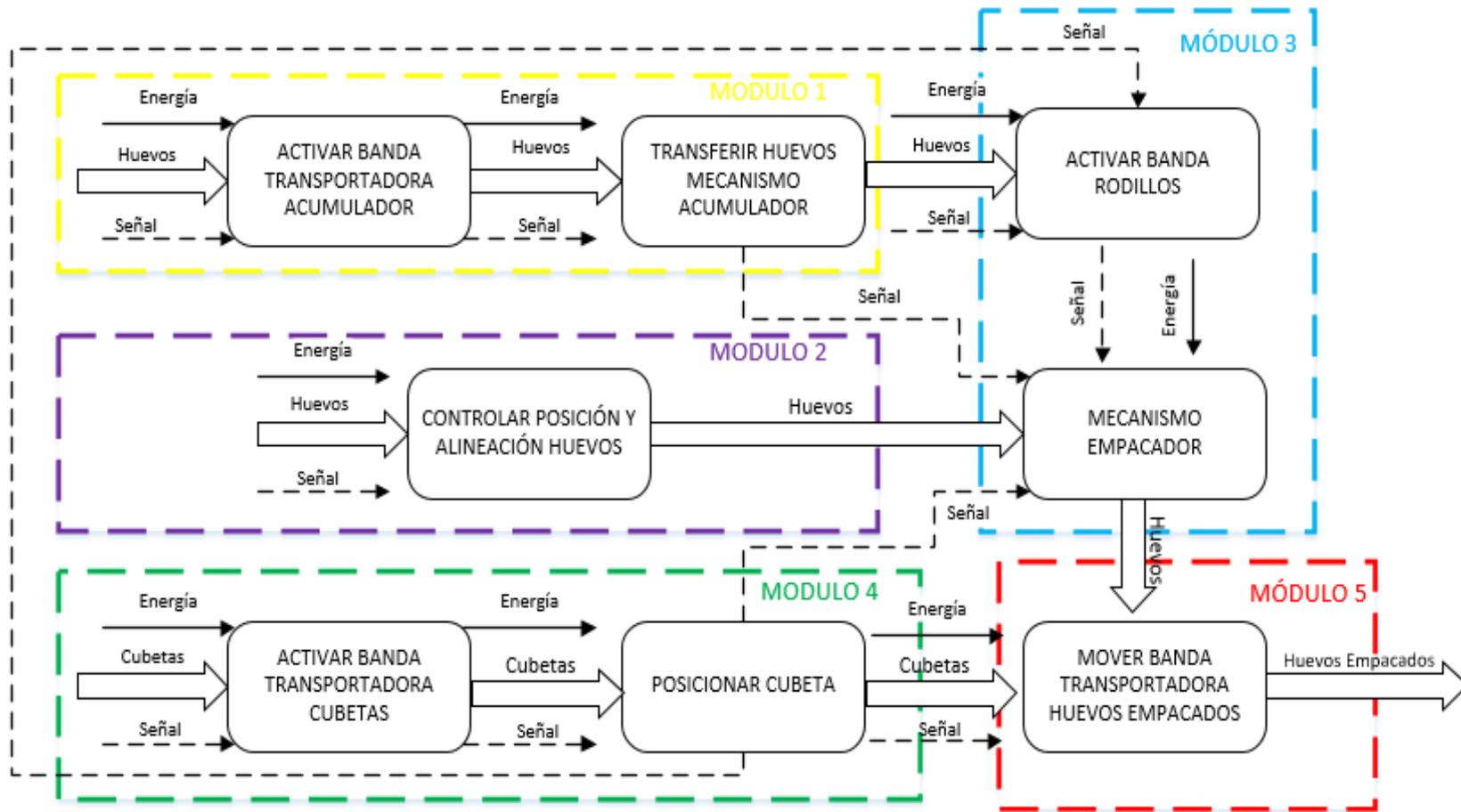
En el nivel 2 determina algunas acciones que el anterior nivel se consideró implícitas, este nivel ya me permite una mejor observación de las funciones, a partir de aquí se determinara una modularidad por bloques.



**Figura 14 Nivel 2**

### **3.7.2 DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS**

La modularidad aporta varios beneficios pues procura que el funcionamiento del producto sea más claro para el diseñador. No se recomienda subdividir en exceso, ya que se incrementara el número de interfaces y elementos. Se deberá tratar de dividir las funciones por módulos de modo que no se tenga funciones excesivamente complejas. Al observar el nivel 2 (Figura 24), se determinó cinco módulos dependiendo de las funciones e interacciones a realizarse.



**Figura 15** Determinación de Módulos Funcionales

### **3.7.3 SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO**

En esta sección se propone varias alternativas de solución para cada módulo con sus ventajas y desventajas, para luego realizar una selección o combinación de entre todas las soluciones propuestas.

#### **3.7.4 MÓDULO 1**

Este módulo cumple la función de acumular huevos mediante una banda transportadora, se dará varias alternativas en cuanto al diseño de las partes que constituirán el acumulador.

##### **3.7.4.1 Motores**

Se muestra varias opciones de motores a utilizar con la banda transportadora.

###### **3.7.4.1.1 Motor DC con caja reductora**

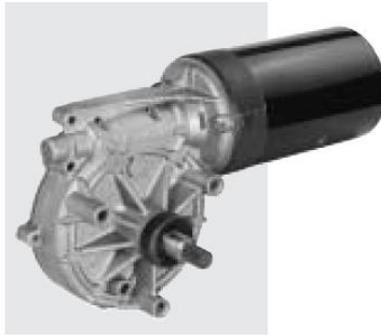
El motor de corriente continua presenta facilidad de control, la velocidad de giro es proporcional al voltaje de alimentación, son eficientes para girar con poco par, desventaja superada gracias a la colocación de una caja reductora.

##### Ventajas

- Velocidad de giro es proporcional al voltaje de alimentación.
- Fácil control de velocidad.
- Tamaño y peso reducido.

##### Desventajas

- No pueden ser posicionados o enclavados a menos que se utilicen sensores.
- Pares pequeños.
- Necesidad de un módulo para el acople de control y potencia



**Figura 16** Motor BOSCH CDP 50 W

Fuente: (BOSCH, 2011)

#### **3.7.4.1.2 Motor AC**

Este motor puede ser alimentado directamente a una toma corriente de 110 [V] si se trata de un motor monofásico de corriente AC, el problema radica en el control de velocidad, ya que es necesario un variador de frecuencia para realizarlo.

##### Ventajas

- Tienen un par de giro elevado.
- Con la utilización de variadores de frecuencia es sencillo el control de velocidad.
- Buen control en el arranque y paro con utilización de un variador de frecuencia.
- No presenta mayores problemas de mantenimiento.

##### Desventajas

- Mayor dificultad de control que los motores DC
- Necesidad de variadores de frecuencia para variación de velocidad.
- Costo en la implementación.



**Figura 17 Motor Trifásico**

(WEG, 2016)

#### **3.7.4.1.3 Motor a Pasos**

Este motor es un dispositivo electromecánico, que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamiento angular

##### Ventajas

- Asegura un posicionamiento simple y exacto.
- Pueden girar de forma continua con velocidad variable
- Motores fáciles de controlar fiables y muy ligeros.

##### Desventajas

- Límite de tamaño que pueden alcanzar.
- Tendencia a calentarse cuando trabajan a bajas velocidades.
- Requieren circuitos de control y potencia más complejos.



Figura 18 Motor Pasos y Driver XINJE  
(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

#### 3.7.4.1.4 Servomotor

Este motor es de fácil utilización, sin embargo su costo es superior a los mencionados anteriormente. Su costo varía de acuerdo al torque que puede entregar, al igual que su tamaño, mayor torque mayor tamaño y peso.

##### Ventajas

- Asegura un posicionamiento exacto.
- Buen torque.
- Fácil control de velocidad.

##### Desventajas

- Costo de adquisición.
- Necesidad de utilizar un servo drive.
- Aumento de tamaño según el torque, mayor torque – mayor tamaño.



Figura 19 Servo Motor y Driver XINJE  
(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

### 3.7.4.1.5 Matrices de ponderación del tipo de motor para accionar el mecanismo

Tabla 4

Matriz de especificaciones motores módulo1:

	Costo	Facilidad control	Potencia	Precision Movimientos	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Costo		5	2.5	2.5	11	0.379	1
Facilidad control	0		0	5	6	0.207	3
Potencia	2.5	5		2.5	8.5	0.293	2
Precision Movimientos	2.5	0	2.5		3.5	0.121	4
				Sumatoria	29	1.000	

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones será el costo que es requerimiento del cliente, también se tomará en cuenta la potencia (HP) que puedan ofrecer los diferentes actuadores para un correcto funcionamiento del sistema en el primer módulo.

Tabla 5

Matriz de Ponderación motores módulo 1:

Costo	DC	AC	Pasos	Servo motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
DC		5	5	5	16	0.471	1
AC	0		2.5	2.5	6	0.176	3
Pasos	0	2.5		5	8.5	0.250	2
Servo motor	0	2.5	0		3.5	0.103	4
				Sumatoria	34	1.000	

Facilidad control	DC	AC	Pasos	Servo motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
DC		5	5	5	16	0.471	1
AC	0		0	0	1	0.029	4
Pasos	0	5		2.5	8.5	0.250	2
Servo motor	0	5	2.5		8.5	0.250	3
				Sumatoria	34	1.000	

Potencia	DC	AC	Pasos	Servo motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
DC		0	0	0	1	0.029	4
AC	5		5	5	16	0.471	1
Pasos	5	0		0	6	0.176	3
Servo motor	5	0	5		11	0.324	2
				Sumatoria	34	1.000	

Precision Movimientos	DC	AC	Pasos	Servo motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
DC		5	0	0	6	0.176	3
AC	0		0	0	1	0.029	2
Pasos	5	5		2.5	13.5	0.397	1
Servo motor	5	5	2.5		13.5	0.397	1
				Sumatoria	34	1.000	

Tabla 6

### Conclusión Motores módulo 1

	Costo	Facilidad control	Potencia	Precision Movimientos	$\Sigma$	Prioridad
DC	0.178	0.097363083	0.00862069	0.021298174	0.306	1
AC	0.067	0.006085193	0.137931034	0.003549696	0.215	4
Pasos	0.095	0.051724138	0.051724138	0.047920892	0.246	2
Servo motor	0.039	0.051724138	0.094827586	0.047920892	0.234	3

El tipo de motor que cumple con las especificaciones de diseño para el primer módulo es un motor de corriente continua DC.

### 3.7.4.2 CINTA TRANSPORTADORA

La cinta transportadora debe ser elegida de acuerdo al material pues se la utilizara en contacto con alimentos y disponibilidad en el mercado.

#### 3.7.4.2.1 Cinta transportadora PVC P22 – 76

La cinta transportadora P 22 – 76, puede ser adquirida en el mercado local, además que se utiliza en el manejo de alimentos.

#### Ventajas

- Disponible en el mercado local

#### Desventajas

- Tela rígida



Figura 20 Muestra Cinta Transportadora P22 – 76

Fuente propia

#### **3.7.4.2.2 Cinta transportadora C07JF**

La cinta transportadora para alimentos C07JF tiene propiedades idóneas para el transporte de huevos, así como también es de fácil limpieza.

##### Ventajas

- Cubierta superior de fieltro (fibras de lana).
- Impermeabilidad.
- Resistencia al desgarro.

##### Desventajas

- Rígida

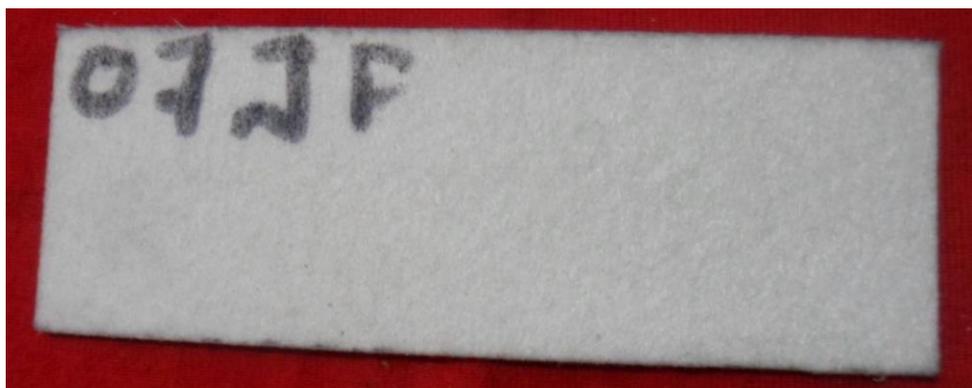


Figura 21 Muestra Cinta Transportadora C07JF

Fuente Propia

#### **3.7.4.2.3 Cinta transportadora UPRO 213W**

Cinta transportadora para alimentos de aspecto blando, aunque de difícil limpieza.

### Ventajas

- Acabado de fibras flexibles.
- Disponibilidad en el mercado.

### Desventajas

- Difícil limpieza.
- Costo de adquisición elevado.



Figura 22 Muestra Cinta Transportadora UPRO 213W

Fuente propia

#### 3.7.4.2.4 Matrices de ponderación de tipos de cintas transportadoras

Tabla 7

Matriz de especificaciones tipo de cinta transportadora módulo 1:

	Facil Limpieza	Manipulación suave y segura	Resistencia Desgaste	Revestimientos antimicrobianos	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Facil Limpieza		5	0	5	11	0.324	2
Manipulación suave y segura	0		0	0	1	0.029	4
Resistencia Desgaste	5	5		5	16	0.471	1
Revestimientos antimicrobianos	0	5	0		6	0.176	3
				Sumatoria	34	1.000	

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones la resistencia al desgaste y facilidad de limpieza que tenga la cinta.

Tabla 8

## Matriz de Ponderación tipo de cinta transportadora módulo 1:

Facil Limpieza	Goma Natural P22-76	C07JF	SIR Silicone rubber UPRO 213W	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Goma Natural P22-76		2.5	2.5	6	0.333	2
C07JF	2.5		5	8.5	0.472	1
SIR Silicone rubber UPRO 213W	2.5	0		3.5	0.194	3
			Sumatoria	18	1.000	

Manipulación suave y segura	Goma Natural P22-76	C07JF	SIR Silicone rubber UPRO 213W	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Goma Natural P22-76		0	5	6	0.333	2
C07JF	5		2.5	8.5	0.472	1
SIR Silicone rubber UPRO 213W	0	2.5		3.5	0.194	3
			Sumatoria	18	1.000	

Resistencia Desgaste	Goma Natural P22-76	C07JF	SIR Silicone rubber UPRO 213W	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Goma Natural P22-76		0	0	1	0.056	3
C07JF	5		5	11	0.611	1
SIR Silicone rubber UPRO 213W	5	0		6	0.333	2
			Sumatoria	18	1.000	

Revestimientos antimicrobianos	Goma Natural P22-76	C07JF	SIR Silicone rubber UPRO 213W	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Goma Natural P22-76		0	2.5	3.5	0.194	3
C07JF	5		2.5	8.5	0.472	1
SIR Silicone rubber UPRO 213W	2.5	2.5		6	0.333	2
			Sumatoria	18	1.000	

Tabla 9

## Conclusiones tipo de cinta transportadora módulo 1

	Facil Limpieza	Manipulación suave y segura	Resistencia Desgaste	Revestimientos antimicrobianos	$\Sigma$	Prioridad
Goma Natural P22-76	0.108	0.009803922	0.026143791	0.034313725	0.178	3
C07JF	0.153	0.013888889	0.287581699	0.083333333	0.538	1
SIR Silicone rubber UPRO 213W	0.063	0.005718954	0.156862745	0.058823529	0.284	2

El tipo de cinta transportadora que cumple las especificaciones de diseño es la denominada C07JF, cinta disponible en el mercado y es utilizada en la manipulación de alimentos.

### 3.7.4.3 Sensores

En el módulo 1 se debe garantizar la presencia de huevos antes de pasar al módulo 2 y 3, por tal razón se utilizara sensores, a continuación se describe algunas posibles soluciones.

#### 3.7.4.3.1 Sensores ópticos

Sensores ópticos son sensores de distancias, me permiten la detección de la presencia de objetos a distancias regulables, la marca Festo me ofrece gran variedad de este tipo de sensores.

##### Ventajas

- Emisor y receptor en un solo dispositivo.
- Ajuste de distancia mediante potenciómetro.
- Confiabilidad
- Sensor de fibra óptica

##### Desventajas

- Alcance limitado.
- Costo



Figura 23 Sensores opto electrónicos SOEG – L – Q30 – S – 2L

Fuente: (FESTO, 2015)

#### 3.7.4.3.2 Sensores Capacitivos

Los sensores de proximidad capacitivos detectan la mayoría de objetos, cuya constante dieléctrica sea superior a la del aire, entre más alta la constante, es más fácil de detectar.

### Ventajas

- Cilindro roscado que permite montarlo fácilmente.
- Detección en ambientes agresivos.
- Alta sensibilidad y resolución.
- Indicador led de funcionamiento.

### Desventajas

- Alcance limitado.
- A mayor diámetro del sensor, mayor será su alcance.



Figura 24 Sensor Capacitivo Autonics CR30-DN15

Fuente: (Control e Instrumentación Industrial S.A de C.V, 2015)

#### 3.7.4.3.3 Fines de Carrera

Los interruptores de final de carrera o sensores de contacto, tienen diferentes presentaciones, pequeños y compactos que facilitan su colocación o montaje, además de una gran precisión.

### Ventajas

- Gran precisión.
- Gran variedad de modelos y tamaños.
- Facilidad de instalación y montaje.
- Amplio rango de voltaje de operación.

### Desventajas

- Posibles rebote en los contactos.



Figura 25 Finales de carrera de precisión  
(Rockwell Automation - Allen Bradley, 2015)

#### 3.7.4.3.4 Matrices de ponderación del tipo de sensor a utilizar en el módulo 1

Tabla 10

Matriz de especificaciones tipo de sensor módulo 1:

	Costo	Facilidad Implementación	Resolucion	Facilidad adquisicion	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Costo		5	5	2.5	13.5	0.529	1
Facilidad Implementación	0		5	2.5	8.5	0.333	2
Resolucion.	0	0		2.5	3.5	0.137	3
Facilidad adquisicion	2.5	2.5	2.5		8.5	0.333	2
				Sumatoria	25.5	1.000	

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones es el costo, facilidad de adquisición e implementación.

Tabla 11

Matriz de Ponderación tipo de sensor módulo 1:

Costo	Ópticos	Capacitivos	Fines de carrera	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Ópticos		5	0	6	0.333	2
Capacitivos	0		0	1	0.056	3
Fines de carrera	5	5		11	0.611	1
			Sumatoria	18	1.000	

Facilidad Implementación	Ópticos	Capacitivos	Fines de carrera	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Ópticos		2.5	0	3.5	0.194	2
Capacitivos	2.5		0	3.5	0.194	2
Fines de carrera	5	5		11	0.611	1
			Sumatoria	18	1.000	

Resolución	Ópticos	Capacitivos	Fines de carrera	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Ópticos		5	0	6	0.333	2
Capacitivos	0		0	1	0.056	3
Fines de carrera	5	5		11	0.611	1
			Sumatoria	18	1.000	

Facilidad adquisición	Ópticos	Capacitivos	Fines de carrera	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Ópticos		2.5	0	3.5	0.194	2
Capacitivos	2.5		0	3.5	0.194	2
Fines de carrera	5	5		11	0.611	1
			Sumatoria	18	1.000	

Tabla 12

## Conclusiones tipo de sensor módulo 1

	Costo	Facilidad Implementación	Resolución	Facilidad adquisición	$\Sigma$	Prioridad
Ópticos	0.176	0.064814815	0.045751634	0.0648148	0.352	2
Capacitivos	0.029	0.064814815	0.007625272	0.0648148	0.167	3
Fines de carrera	0.324	0.203703704	0.083877996	0.2037037	0.815	1

Los sensores a utilizar en este módulo serán fines de carrera, los cuales cumplen con todas las especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento en el acumulador.

### 3.7.5 MÓDULO 2

Este módulo cumple la función de orientar y guiar los huevos para su empacado, mediante guías posicionadas adecuadamente, se dará varias alternativas en cuanto al diseño de las guías.

#### 3.7.5.1 RIELES GUIAS

Los rieles guías deben ser elegidos de acuerdo al material, pues estará en contacto con alimentos y disponibilidad en el mercado.

##### 3.7.5.1.1 Acero cromado

El cromado es un recubrimiento que se puede dar a un objeto de metal, presenta muchas ventajas y es ampliamente utilizado en varios sectores como la industria automotriz, Sanitaria y doméstica, industria alimenticia, etc. (Cruz, s.f.)

#### Ventajas

- Fácil limpieza.
- Recubrimiento por capas.

#### Desventajas

- Medición de calidad y espesor costoso.

#### **3.7.5.1.2 Polimetilmetacrilato (Acrílico)**

Es un plástico de ingeniería que se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo que es un derivado del petróleo.

#### Ventajas

- Bajo coste de instalación, gran facilidad de mecanización y moldeo.
- Fácil limpieza, presenta resistencia al ataque de compuestos químicos.
- Alta resistencia al impacto.
- Si se inflama no produce gases tóxicos.
- Su comercialización se realiza en planchas.

#### Desventajas

- Se raya muy fácilmente con objetos metálicos.

#### **3.7.5.1.3 Acero Inoxidable**

Acero de elevada resistencia a la corrosión ya que contiene aleaciones con otros metales como el cromo, molibdeno, níquel, etc.

#### Ventajas

- Se lo encuentra en diferentes presentaciones como planchas, varillas, ejes, perfiles, etc.

#### Desventajas

- Costoso.
- Algunos tipos de ácidos lo pueden oxidar.
- Su densidad es mayor que los plásticos por lo que es más pesado.

### 3.7.5.1.4 Matrices de ponderación del tipo de material para la fabricación de rieles guías.

Tabla 13

Matriz de especificaciones material para fabricación de rieles guías:

	Costo	Facil Limpieza	Vida util	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Costo		5	5	11	0.611	1
Facil Limpieza	0		2.5	3.5	0.194	2
Vida util	0	2.5		3.5	0.194	3
			Sumatoria	18	1.000	

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones son el costo, facilidad de limpieza y vida útil.

Tabla 14

Matriz de Ponderación material para fabricación de rieles guías:

Costo	Acero Cromado	Polimetilmetacrilato (Acrílico)	Acero Inoxidable	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Acero Cromado		2.5	5	8.5	0.472	1
Polimetilmetacrilato (Acrílico)	2.5		5	8.5	0.472	2
Acero Inoxidable	0	0		1	0.056	3
			Sumatoria	18	1.000	

Facil Limpieza	Acero Cromado	Polimetilmetacrilato (Acrílico)	Acero Inoxidable	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Acero Cromado		2.5	2.5	6	0.333	1
Polimetilmetacrilato (Acrílico)	2.5		2.5	6	0.333	2
Acero Inoxidable	2.5	2.5		6	0.333	3
			Sumatoria	18	1.000	

Vida util	Acero Cromado	Polimetilmetacrilato (Acrílico)	Acero Inoxidable	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Acero Cromado		5	2.5	8.5	0.472	1
Polimetilmetacrilato (Acrílico)	0		2.5	3.5	0.194	3
Acero Inoxidable	2.5	2.5		6	0.333	2
			Sumatoria	18	1.000	

Tabla 15

## Conclusión material para fabricación de rieles guías

	Costo	Facil Limpieza	Vida util	$\Sigma$	Prioridad
Acero Cromado	0.289	0.064814815	0.091820988	0.445	1
Polimetilmetacrilato (Acrílico)	0.289	0.065	0.037808642	0.391	2
Acero Inoxidable	0.034	0.065	0.064814815	0.164	3
			Sumatoria	1.000	

Se utilizara platina de acero para la fabricación de las guías, posteriormente se realizara el recubrimiento en cromo para su utilización en contacto con alimentos.

### 3.7.6 MÓDULO 3

Este módulo cumple la función principal “empaquetado de huevos”, por lo cual se tomara en consideración diversos mecanismos de empaquetado observados para este fin, además de otros materiales necesarios.

#### 3.7.6.1 Mecanismo empacador

Para empezar con el diseño de la empacadora de huevos hemos definido tres tipos de sistemas que pueden cumplir este objetivo:

- Sistema Neumático
- Sistema de rodillos
- Sistema de acordeón

##### 3.7.6.1.1 Sistema Neumático

El sistema neumático nos permite una regulación de velocidades y fuerzas de manera continua, aunque mucho depende de la potencia del compresor o bomba de vacío. El sistema neumático cabe destacar la limpieza en el mismo, cuando se producen fugas de aire, no representa un mayor grado de contaminación para el sistema. En nuestra aplicación

es necesario la construcción de un brazo robótico en el cual acoplar una matriz que será la encargada de levantamiento y colocación de los huevos en la cubeta.

#### Ventajas

- Limpieza
- Facilidad de almacenaje
- El aire utilizado es fácil de desechar.

#### Desventajas

- El diseño es complejo.
- Costo elevado de implementación.
- Mayor cantidad de mantenimiento en sus componentes.

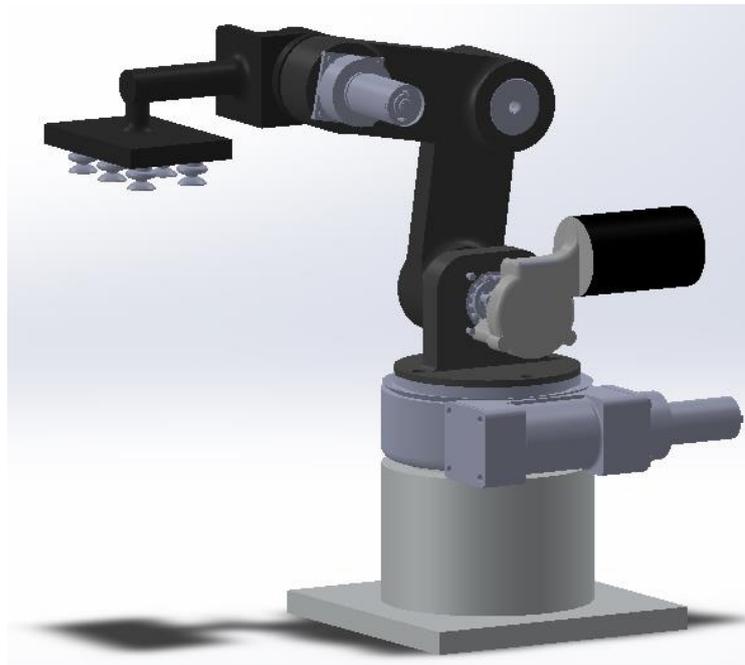


Figura 26 Brazo Robótico empacador



Figura 27 Mecanismo empacador

### 3.7.6.1.2 Sistema de rodillos

Este sistema de rodillos me permite un control de empaquetado preciso y sencillo, con ajuste de velocidad.

#### Ventajas

- Control preciso.
- Sistema sencillo de implementar.
- Buen control en el arranque y paro.
- No presenta mayores problemas de mantenimiento.

#### Desventajas

- Necesidad de utilizar un actuador preciso en el arranque y paro además de buen torque.
- Necesidad de precisión mecánica en el mecanismo para evitar problemas en el empaquetado.

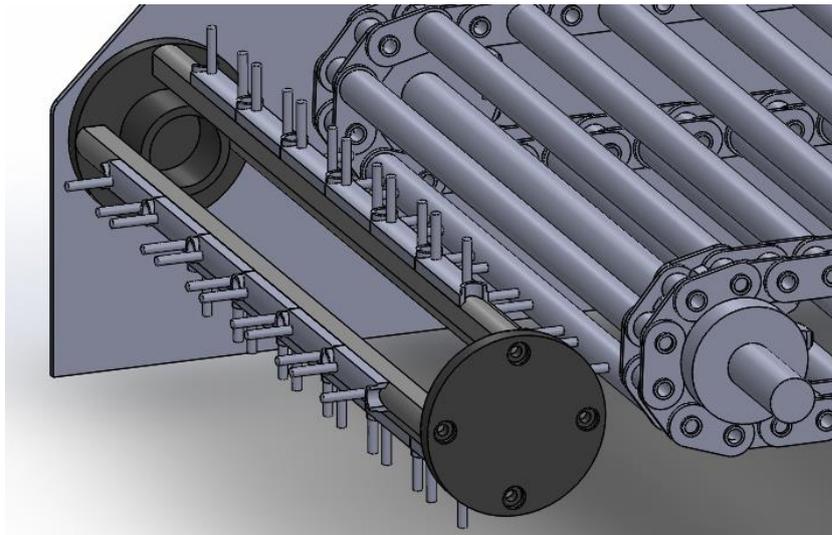


Figura 28 Sistema de Rodillo

(Fuente Propia)

#### 3.7.6.1.3 Sistema de acordeón

Este sistema permite un empaclado de huevos con la punta hacia abajo al utilizar un flujo natural y la fuerza de gravedad para mover directamente los huevos hacia el sistema de empaclado. (SANOVO TECHNOLOGY GROUP, 2015)

##### Ventajas

- Empacado exacto.
- Empacado continuo y gran rendimiento.

##### Desventajas

- Gran cantidad de piezas móviles.
- Complejidad del sistema
- Costo en la implementación.

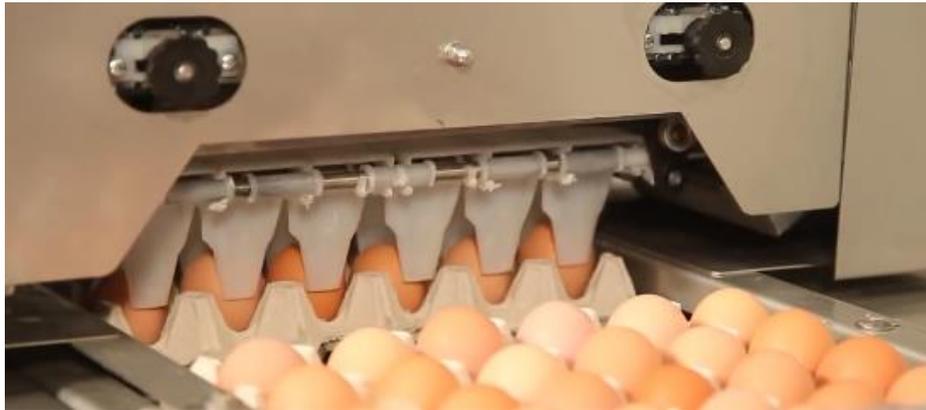


Figura 29 Empacado huevos sistema acordeón  
Fuente: (SANOVO TECHNOLOGY GROUP, 2015)



Figura 30 Mecanismo acordeón  
Fuente: (SANOVO TECHNOLOGY GROUP, 2015)

#### 3.7.6.1.4 Matrices de ponderación tipo de mecanismo empacador a diseñar.

Tabla 16

Matriz de especificaciones tipo de mecanismo empacador:

	Costo	Complejidad del sistema	Mantenimiento	Rapidez de empaquetado	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Costo		5	5	5	16	0.471	1
Complejidad del sistema	0		5	0	6	0.176	3
Mantenimiento	0	0		0	1	0.029	4
Rapidez de empaquetado	0	5	5		11	0.324	2
				Sumatoria	34	1.000	

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones es el costo, rapidez de empaquetado, complejidad del sistema y mantenimiento.

Tabla 17

Matriz de Ponderación tipo de mecanismo empacador:

Costo	Sistema Neumático	Sistema de rodillos	Sistema tipo acordeón	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Sistema Neumático		0	0	1	0.039	3
Sistema de rodillos	5		5	16	0.627	1
Sistema tipo acordeón	5	0		8.5	0.333	2
			Sumatoria	25.5	1.000	

Complejidad Sistema	Sistema Neumático	Sistema de rodillos	Sistema tipo acordeón	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Sistema Neumático		0	0	1	0.049	3
Sistema de rodillos	5		5	13.5	0.659	1
Sistema tipo acordeón	5	0		6	0.293	2
			Sumatoria	20.5	1.000	

Matenimiento	Sistema Neumático	Sistema de rodillos	Sistema tipo acordeón	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Sistema Neumático		0	0	1	0.039	3
Sistema de rodillos	5		5	16	0.627	1
Sistema tipo acordeón	5	0		8.5	0.333	2
			Sumatoria	25.5	1.000	

Rapidez de empaquetado	Sistema Neumático	Sistema de rodillos	Sistema tipo acordeón	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Sistema Neumático		5	5	16	0.485	1
Sistema de rodillos	0		2.5	8.5	0.258	2
Sistema tipo acordeón	0	2.5		8.5	0.258	3
			Sumatoria	33	1.000	

Tabla 18

Conclusiones tipo de mecanismo empacador

	Costo	Complejidad Sistema	Matenimiento	Rapidez de Empaquetado	$\Sigma$	Prioridad
Sistema Neumático	0.018	0.008608321	0.001153403	0.156862745	0.185	3
Sistema de rodillos	0.295	0.116212339	0.018454441	0.083333333	0.513	1
Sistema tipo acordeón	0.157	0.051649928	0.009803922	0.083333333	0.302	2

El mecanismo empacador a diseñar, de acuerdo a varios factores y requerimientos del cliente será el sistema de rodillos.

### 3.7.6.2 Control del sistema

El control del sistema debe ser realizado por un controlador de procesos secuenciales, además debe ser robusto en trabajo industrial, se tiene varias opciones de control como lógica de contactores o también llamada control electromecánico, microcontroladores y PLC siendo estos últimos utilizados con mayor frecuencia en la industria. Las opciones analizar son las siguientes.

- Microcontrolador PIC
- Arduino
- Controlador Lógico Programable
- Control electromecánico

#### 3.7.6.2.1 Microcontrolador PIC

Los microcontrolador son circuitos integrados programables, con una memoria interna capaz ejecutar órdenes previamente grabadas, presenta un bloque de entradas y salidas digitales y analógicas, de tecnología CMOS y voltajes de operación de 2.5 [V] hasta 6 [V].

#### Ventajas

- Costo de adquisición bajo
- Empaquetado desde 8 pines hasta 68 pines.
- Voltajes de operación en rangos lógicos.

#### Desventajas

- Sensible ante perturbaciones.
- Necesidad de implementar circuitos adicionales para su buen funcionamiento.
- No recomendable para uso industrial.
- Difícil comunicación con otros dispositivos.

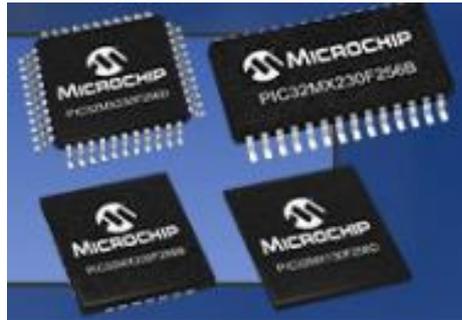


Figura 31 Microcontrolador PIC  
(MICROCHIP, 2016)

### 3.7.6.2.2 Arduino

Arduino es una placa con un microcontrolador y un entorno desarrollado, de cómoda utilización en donde se identifica claramente entradas y salidas, permite la adaptación de diferentes tipos de módulos extra como Bluetooth, GSM, etc.

#### Ventajas

- Bajo costo de adquisición.
- Diferentes tipos de módulos.
- Fácil programación.

#### Desventajas

- No recomendable para procesos industriales.
- Utilizado más con fines educativos.



Figura 32 Arduino Uno  
(ARDUINO, 2016)

### 3.7.6.2.3 Controlador Lógico Programable

Un controlador Lógico programable es un dispositivo utilizado para la automatización de procesos industriales, más conocido como PLC. Es de diseño robusto, diseñado para trabajos más complejos, de fácil comunicación con varios dispositivos externos, con salidas a transistor o relé, aunque para garantizar la vida útil de las salidas del PLC en el control de cargas inductivas o resistivas se debe utilizar un relé de control.

#### Ventajas

- Gran capacidad de memoria para el control de diversos procesos.
- Utilización en la automatización de procesos.
- Fácil comunicación con diversos dispositivos.

#### Desventajas

- Costo elevado.
- Necesidad de conocimientos de programación.



Figura 33 PLC XINJE

#### 3.7.6.2.4 Control por contactores y relés

El control por relés maneja una lógica de contactores, en donde se puede utilizar elementos de mando y maniobra utilizando circuitos de control y potencia definidos previamente.

##### Ventajas

- Contactores y relés de fácil adquisición.

##### Desventajas

- Necesidad de gran cantidad de contactores y relés.
- Complejidad del sistema.
- Costo en la implementación.

#### 3.7.6.2.5 Matrices de ponderación tipo de controlador a utilizar:

Tabla 19

Matriz de especificaciones tipo de controlador:

	Costo	Facilidad de implementación	Ambiente industrial	Compatibilidad con otros equipos	$\Sigma+1$	Ponderacion
Costo		0	0	0	1	0.029
Facilidad de implementación	5		0	0	6	0.176
Ambiente industrial	5	5		2.5	13.5	0.397
Compatibilidad con otros equipos	5	5	2.5		13.5	0.397
				Sumatoria	34	1.000

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones es la compatibilidad con otros equipos y útil en un ambiente industrial.

Tabla 20

Matriz de Ponderación tipo de controlador:

Costo	Microcontrolador PIC	Arduino	Controlador Lógico Programable	Control por contactores y relés	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Microcontrolador PIC		5	5	5	16	0.471	1
Arduino	0		5	5	11	0.324	2
Controlador Lógico Programable	0	0		5	6	0.176	3
Control por contactores y relés	0	0	0		1	0.029	4
				Sumatoria	34	1.000	

Facilidad de implementación	Microcontrolador PIC	Arduino	Controlador Lógico Programable	Control por contactores y relés	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Microcontrolador PIC		0	0	2.5	3.5	0.103	4
Arduino	5		0	2.5	8.5	0.250	2
Controlador Lógico Programable	5	5		5	16	0.471	1
Control por contactores y relés	2.5	2.5	0		6	0.176	3
				Sumatoria	34	1.000	

Ambiente industrial	Microcontrolador PIC	Arduino	Controlador Lógico Programable	Control por contactores y relés	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Microcontrolador PIC		2.5	0	0	3.5	0.103	3
Arduino	2.5		0	0	3.5	0.103	3
Controlador Lógico Programable	5	5		5	16	0.471	1
Control por contactores y relés	5	5	0		11	0.324	2
				Sumatoria	34	1.000	

Compatibilidad con otros equipos	Microcontrolador PIC	Arduino	Controlador Lógico Programable	Control por contactores y relés	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Microcontrolador PIC		2.5	0	5	8.5	0.250	3
Arduino	2.5		0	5	8.5	0.250	2
Controlador Lógico Programable	5	5		5	16	0.471	1
Control por contactores y relés	0	0	0		1	0.029	4
				Sumatoria	34	1.000	

Tabla 21

## Conclusiones tipo de controlador a utilizar

	Costo	Facilidad de implementación	Ambiente industrial	Compatibilidad con otros equipos	$\Sigma$	Prioridad
Microcontrolador PIC	0.014	0.01816609	0.040873702	0.099264706	0.172	3
Arduino	0.010	0.044117647	0.040873702	0.099264706	0.194	2
Controlador Lógico Programable	0.005	0.083044983	0.186851211	0.186851211	0.462	1
Control por contactores y relés	0.001	0.031141869	0.128460208	0.011678201	0.172	4

Se decide utilizar un controlador lógico programable PLC, posteriormente se decidirá que PLC podemos encontrar disponible en el mercado nacional y sus especificaciones para nuestras necesidades.

### **3.7.6.3 Interfaz Hombre Máquina HMI**

Se necesita un Interfaz hombre máquina con un acceso agradable para el usuario, de compatibilidad con el controlador a utilizar y de tamaño ergonómico para su fácil montaje, para lo cual se toma en consideración las siguientes alternativas:

- Touch Panel
- Computador o Laptop
- Display

#### **3.7.6.3.1 Touch Panel**

Un papel táctil o Touch panel, es la interfaz más utilizado en procesos de automatización, pues permite una flexibilidad, facilidad de comunicación con diversos procesos en tiempo real, su tamaño ergonómico permite un montaje rápido y fácil.

##### Ventajas

- Fácil Programación
- Versatilidad de comunicación.
- Robusto.
- Memoria interna.
- Pantalla a color, agradable para el usuario.

##### Desventajas

- Alto costo de adquisición.



Figura 34 HMI XINJE

(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

### 3.7.6.3.2 Computador o Laptop

La utilización de computadoras como HMI, se da generalmente en sistemas SCADA, para el manejo de base de datos y dispositivos de campo, permite una comunicación a través de diversos protocolos de comunicación entre diversos dispositivos.

#### Ventajas

- Fácil Programación
- Versatilidad de comunicación.
- Robusto.
- Gran capacidad de memoria

#### Desventajas

- Costo de adquisición elevado.



Figura 35 Laptop Toshiba  
(Toshiba Leading Innovation, 2016)

### 3.7.6.3.3 Display LCD

Un display LCD es una pantalla plana y delgada utilizada en dispositivos electrónicos de bajo consumo de energía. Es un dispositivo de poca resolución, no permite la visualización de gráficos, además su tiempo de respuesta suelen ser más lentos que otros dispositivos.

#### Ventajas

- Bajo costo de adquisición.
- Fácil programación.

#### Desventajas

- Poco robusto, tienden a ser más frágiles.
- Tiempo de respuesta más lenta.
- Baja resolución.
- Interfaz poco agradable al usuario.



Figura 36 Display LCD  
(HW Kitchen, 2015)

### 3.7.6.3.4 Matrices de ponderación HMI a utilizar

**Tabla 22**

**Matriz de especificaciones Interfaz hombre máquina**

	Costo	Compatibilidad	Tamaño ergonómico	Interfaz agradable al usuario	$\Sigma+1$	Ponderacion
Costo		0	0	0	1	0.029
Compatibilidad	5		2.5	0	8.5	0.250
Tamaño ergonómico	5	2.5		0	8.5	0.250
Interfaz agradable al usuario	5	5	5		16	0.471
				Sumatoria	34	1.000

**Tabla 23**

Matriz de ponderación interfaz hombre máquina

Costo	Touch Panel	Computador o Laptop	Display LCD	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Touch Panel		5	0	6	0.333	3
Computador o Laptop	0		0	1	0.056	1
Display LCD	5	5		11	0.611	2
				18	1.000	

Compatibilidad	Touch Panel	Computador o Laptop	Display LCD	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Touch Panel		2.5	5	8.5	0.472	1
Computador o Laptop	2.5		5	8.5	0.472	2
Display LCD	0	0		1	0.056	3
				18	1.000	

Tamaño ergonómico	Touch Panel	Computador o Laptop	Display LCD	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Touch Panel		5	5	11	0.611	1
Computador o Laptop	0		0	1	0.056	3
Display LCD	0	5		6	0.333	2
				18	1.000	

Compatibilidad con otros equipos	Touch Panel	Computador o Laptop	Display LCD	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Touch Panel		2.5	5	8.5	0.472	1
Computador o Laptop	2.5		5	8.5	0.472	2
Display LCD	0	0		1	0.056	3
				18	1.000	

**Tabla 24**

Matriz de conclusiones HMI a utilizar

	Costo	Compatibilidad	Tamaño ergonómico	Interfaz agradable al usuario	$\Sigma$	Prioridad
Touch Panel	0.010	0.118055556	0.152777778	0.222222222	0.503	1
Computador o Laptop	0.002	0.118055556	0.013888889	0.222222222	0.356	2
Display LCD	0.018	0.013888889	0.083333333	0.026143791	0.141	3

Se utilizará un Touch panel que cumple con las especificaciones necesarias para nuestra aplicación, además existen diferentes modelos, las especificaciones se determinaran en el diseño electrónico posterior.

#### 3.7.6.4 Sensores

En el módulo 3 utilizaremos sensores para garantizar el posicionamiento y presencia de huevos antes de ingresar al mecanismo de empacado. Los posibles sensores a utilizar son los mismos especificados en el módulo 1, por lo que se decidió utilizar un sensor óptico después de analizar sus ventajas y desventajas.

#### 3.7.6.5 Motores

De igual manera en este módulo se utilizara un motor especificado en el módulo 1, tomando en cuenta ciertas especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento del mecanismo empacador, por ejemplo el costo, precisión de movimientos, facilidad de control y tipo de alimentación.

### 3.7.6.5.1 Matrices de ponderación tipo de motor a utilizar.

**Tabla 25**

Matriz de especificaciones motores módulo 3:

	Costo	Control	Potencia	Precisión	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
Costo		5	0	0	6	0.190	3
Control	0		0	0	1	0.032	4
Potencia	5	0		2.5	8.5	0.270	2
Precisión	5	5	5		16	0.508	1
				Sumatoria	31.5	1.000	

Las principales prioridades para realizar las ponderaciones son la precisión y potencia que tenga el motor, luego se valorará el costo y facilidad de control que tengan las opciones disponibles.

**Tabla 26**

Matriz de Ponderación motores módulo 3:

Costo	AC	DC	Pasos	Servo Motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
AC		0	0	5	6	0.176	3
DC	5		5	5	16	0.471	1
Pasos	5	0		5	11	0.324	2
Servo Motor	0	0	0		1	0.029	4
				Sumatoria	34	1.000	

Control	AC	DC	Pasos	Servo Motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
AC		0	0	0	1	0.029	4
DC	5		0	0	6	0.176	3
Pasos	5	5		2.5	13.5	0.397	1
Servo Motor	5	5	2.5		13.5	0.397	2
				Sumatoria	34	1.000	

Potencia	AC	DC	Pasos	Servo Motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
AC		5	5	5	16	0.471	13
DC	0		0	0	1	0.029	4
Pasos	0	5		2.5	8.5	0.250	2
Servo Motor	0	5	2.5		8.5	0.250	3
				Sumatoria	34	1.000	

Precisión	AC	DC	Pasos	Servo Motor	$\Sigma+1$	Ponderacion	Prioridad
AC		0	0	0	1	0.029	4
DC	5		0	0	6	0.176	3
Pasos	5	5		2.5	13.5	0.397	1
Servo Motor	5	5	2.5		13.5	0.397	2
				Sumatoria	34	1.000	

**Tabla 27**

Conclusión tipo de motor módulo 3

	Costo	Control	Potencia	Precisión	$\Sigma$	Prioridad
AC	0.034	0.000933707	0.126984127	0.014939309	0.176	4
DC	0.090	0.005602241	0.007936508	0.089635854	0.193	3
Pasos	0.062	0.012605042	0.067460317	0.201680672	0.343	1
Servo Motor	0.006	0.012605042	0.067460317	0.201680672	0.287	2

El motor a pasos será el que se va utilizar de acuerdo a los requerimientos de precisión y potencia que son los más significativos para la elección, teniendo en cuenta el costo como un parámetro también importante.

### 3.7.7 MÓDULO 4

Este módulo cumple la función de movilizar las cubetas de cartón mediante una banda transportadora en la cual se colocarán los huevos, para dicho propósito será necesario una cinta transportadora, motores y sensores.

#### 3.7.7.1 Cinta Transportadora

La cinta transportadora para el transporte de las cubetas debe ser resistente aunque en esta ocasión tenemos más opciones pues esta no tendrá contacto directo con huevos. En el módulo 1 se especificó varias opciones, de las cuales seleccionaremos de acuerdo a las necesidades del cliente la cinta transportadora UPRO 213W.

#### 3.7.7.2 Sensores

En el módulo 4 es necesario detectar la presencia de las cubetas para su posterior utilización, por tal razón se utilizaran sensores de presencia, las mismas opciones a tomar en cuenta son las ya descritas en el módulo 1, tomando en consideración en esta ocasión que el material a censar será cartón, para lo cual se decide utilizar un sensor óptico.

### **3.7.7.3 Motores**

Se utilizara un motor, tomando en cuenta ciertas especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento de la banda transportadora que llevara las cubetas vacías hasta el mecanismo empacador, la función es similar al motor utilizado en el módulo 1, no implica la necesidad de un gran torque por lo cual se selecciona un motor DC con caja reductora.

### **3.7.8 MÓDULO 5**

Este módulo cumple la función de movilizar las cubetas con los huevos ya empacados para lo cual será utilizará una banda transportadora, con características similares a las anteriores descritas, por lo tanto se utilizara un motor DC con caja reductora como actuador, el material de la cinta transportadora igual al utilizado en el módulo 4, no hay necesidad del uso de sensores en esta módulo.

## CAPITULO 4

### DISEÑO

En el capítulo se detalla el diseño mecánico, eléctrico, cálculos sobre elementos que influyen con mayor carga estática y dinámica en el empaquetamiento de huevos. Los cálculos de algunos elementos son omitidos debido a que soportan cargas menores que los mencionados en el capítulo.

#### 4.1 DISEÑO MECÁNICO

Una vez realizado un diseño CAD de la máquina, se realiza un diseño en detalle de los materiales a utilizar, para posteriormente realizar los cambios respectivos si son necesarios y proceder a la construcción de la máquina.

##### 4.1.1 DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA

Con ayuda de un catálogo de elementos de bandas transportadoras se determina el diámetro de los rodillos motriz y conducido, además el catálogo ofrece otras medidas importantes como es el eje de los rodillos.

Rotrans S.A. trabaja bajo Normas DIN 17100 e ISO 1129 en la fabricación de sus rodillos.

<b>Recomendación de diámetro de rodillos por ancho de banda</b>											
											<b>Tabla J</b>
BANDA Ø Rodillo	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
63,5	x	x	x								
70		x	x	x							
76		x	x	x	x						
89		x	x	x	x						
102			x	x	x	x					
108			x	x	x	x	x				
127				x	x	x	x	x			
133				x	x	x	x	x			
152,4						x	x	x	x		
159						x	x	x	x		
193,7									x	x	x

Figura 37: Recomendaciones diámetro de rodillos

(ROTRANS S.A., 2016)

		RODAMIENTO 6204 EJE Ø20										
Serie M / S-20	DIÁMETRO RODILLO (mm)	D	63,5	70	76	89	102	108	127	133	152	159
	ESPESOR DE TUBO (mm)	e	3	3	3	3	3,8	3,8	4	4	4,5	5
	CONSTANTE PESO RODILLO	T	1	1,1	1,2	1,3	1,8	1,8	2	2,2	2,4	3
	CONSTANTE PESO P. MÓVILES	T1	1	1,2	1,2	1,4	2	2,3	2,8	2,9	3,3	4

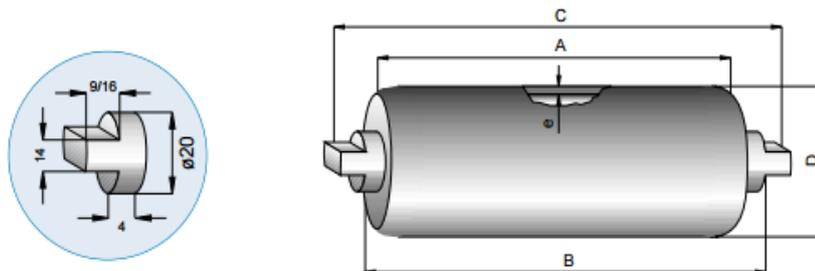


Figura 38: Recomendaciones especificaciones rodillo

(ROTRANS S.A., 2016)

El catálogo nos recomienda un rodillo de diámetro 63.5 mm, sin embargo la utilización de estos rodillos es para materiales abrasivos, y por cuestiones de disponibilidad en el mercado nacional de rodillos de esa especificación decidimos por un rodillo de 2 pulgadas, sin embargo el diámetro del eje especificado se mantendrá.

#### 4.1.2 DISEÑO EJE MECANISMO EMPACADOR:

Las fórmulas y su numeración utilizadas en el diseño del eje corresponden a las dadas en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley”. (Budynas & Keith, 2012)

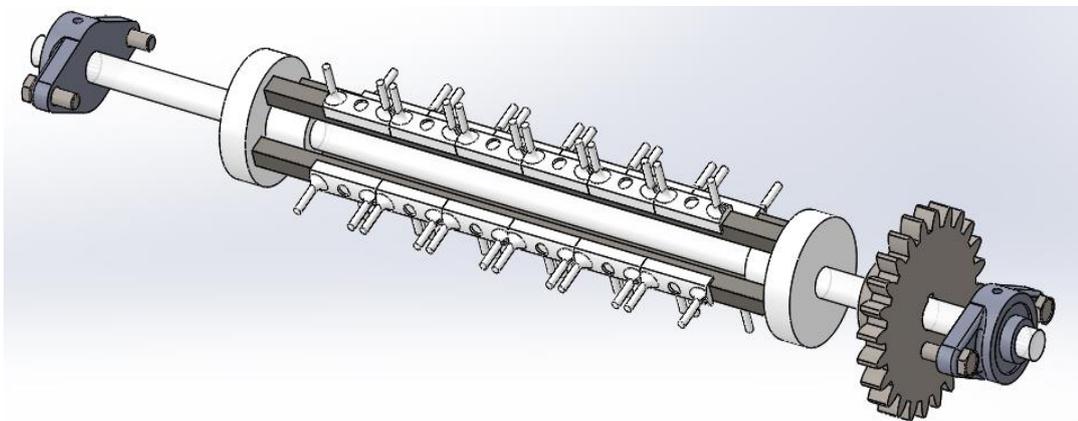


Figura 39 MECANISMO EMPACADOR

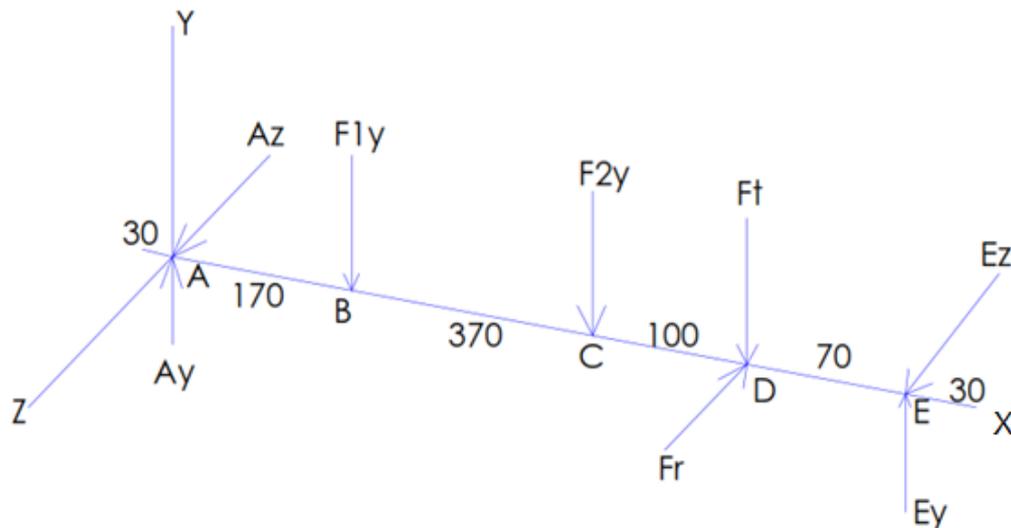


Figura 40 Diagrama de cuerpo libre

Velocidad angular tomada de la curva característica del Motor Bosch a utilizar.

$$\omega = 60 \text{ RPM} = 6.283 \text{ rad/s}$$

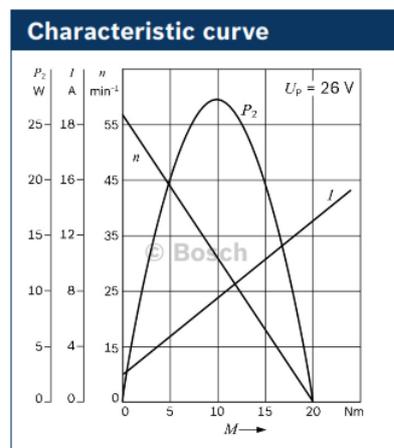


Figura 41 Curva Característica Motor Bosch

(BOSCH, 2011)

#### 4.1.2.1 FUERZAS GENERADAS

Antes de iniciar el análisis de fuerzas, es necesario el cálculo de fuerzas generadas en el engrane recto. Las fórmulas y su numeración utilizadas en esta sección corresponden a las dadas en el libro "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley". (Budynas & Keith, 2012),

**Tabla 28**

Notación empleada:

Descripción	Símbolo	Unidad
Potencia transmitida	$H$	kw
Par de torsión	$T$	N.m
Velocidad angular	$w$	$\frac{rad}{s}$
Carga transmitida	$W_t$	kN
Fuerza componente radial	$F^r$	kN
Fuerza componente tangencial	$F^t$	kN
Resistencia a la tensión	$S_{ut}$	MPa (Kpsi)
Resistencia a la fluencia	$S_y$	MPa (Kpsi)
Fuerza tangencial del engrane 2 sobre el engrane 3	$F_{23}^t$	kN

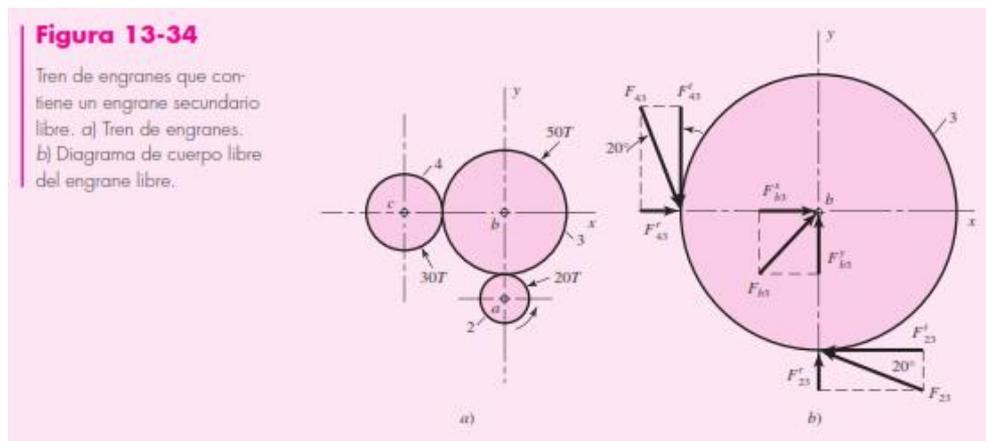
**Engranes 2, 3**

Figura 42 Diagrama de cuerpo libre del engrane

(Budynas &amp; Keith, 2012)

$$H = T * w$$

$$H = 10 \text{ N.m} * \left( 6.283 \frac{rad}{s} \right) = 0.06283 \text{ Kw}$$

$$W_t = \frac{60000 \cdot H}{\pi \cdot d \cdot n} \quad \text{Carga Transmitida} \quad (13-36)$$

$$W_{t2} = \frac{60000 \cdot 0.06283}{\pi \cdot 120 \cdot 60} = 0.1667 \text{ KN} \quad (13-36)$$

$$W_{t2} = F_{23}^t \quad (13-32a)$$

$$W_{t2} = F_{23}^t = 0.198 \text{ KN} \leftarrow \quad (13-32a)$$

$$F_{32}^t = 0.198 \text{ KN} \rightarrow$$

$$F^r = F^t \cdot \tan \phi \quad (\text{fig.13-34b})$$

$$\text{Si } \phi = 20^\circ$$

$$F_{23}^r = F_{23}^t \cdot \tan 20^\circ = 0.061 \text{ KN} \downarrow \quad (\text{fig.13-34b})$$

$$F_{32}^r = F_{32}^t \cdot \tan 20^\circ = 0.061 \text{ KN} \uparrow$$

Con un acero AISI 1080

$$S_{ut} = 440 \text{ MPa} (64 \text{ Kpsi})$$

$$S_y = 370 \text{ MPa} (54 \text{ Kpsi})$$

#### 4.1.2.2 Fuerza en los soportes:

Masa del soporte Rodillos: 0,8969 kg + Peso 5 Huevos = 0.8969 kg + 0.333 kg

$$F_{1,2y} = 1.2299 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 0.01205 \text{ kN}$$

$$T = F \cdot \frac{d}{2} = 0.01205 \text{ kN} \cdot \frac{65 \text{ mm}}{2} = 0.3916 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

### 4.1.2.3 Diseño a fatiga

El software que se utilizó para determinar las reacciones y momentos máximos fue (MD Solid).

Eje

De acuerdo a la “Figura 40. Diagrama de cuerpo libre”, las fuerzas que se ejercen en el plano X – Y se calcularon anteriormente en la sección “4.1.2.1 Fuerzas generadas y 4.1.2.2 Fuerza en los soportes”, y son las que se ingresarán al software para obtener los momentos máximos ejercidos.

Plano XY:

$$F_{1y} = P1 = 0.01205 \text{ kN}$$

$$F_{2y} = P2 = 0.01205 \text{ kN}$$

$$W_{t2} = F^t = P3 = 0.1667 \text{ kN}$$

Las fuerzas P1, P2 y P3 son colocadas en las posiciones indicadas de acuerdo a la “Figura 40. Diagrama de cuerpo libre”.

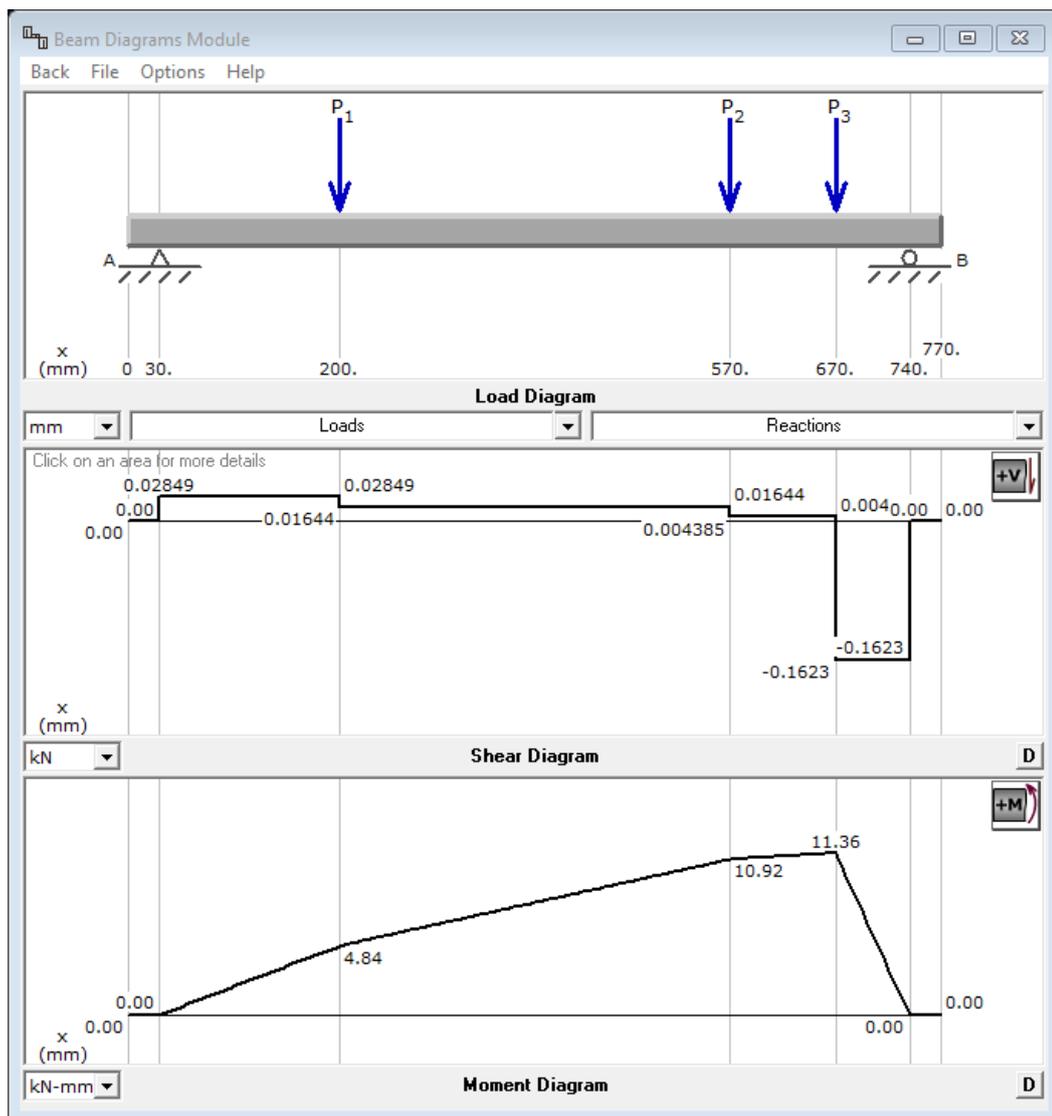
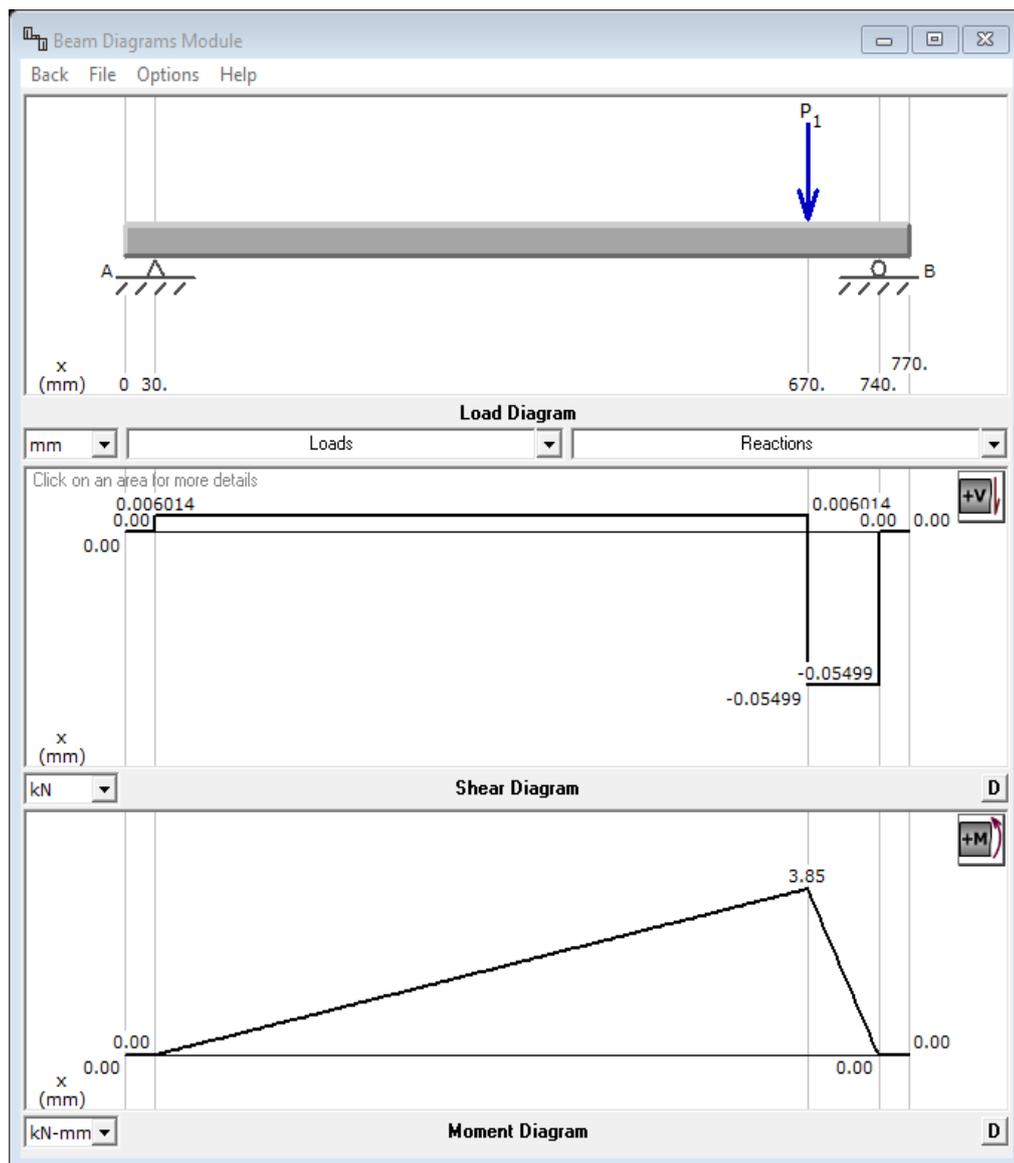


Figura 43 Análisis eje - plano xy en (MD Solid)

Plano XZ:

$$F^r = P_1 = 0.061 \text{ KN}$$



**Figura 44 Análisis eje a - plano xz en (MD Solid)**

**Momento máximo:** Se toma los momentos máximos para el diseño pues es donde se ejerce la mayor concentración de esfuerzos, luego se procede a combinarlos y obtener un momento total.

$$M_{xy1} = 11.36 \text{ KN. mm}$$

$$M_{xz1} = 3.85 \text{ KN. mm}$$

$$M_{m\acute{a}x1} = \sqrt{M_{xy1}^2 + M_{xz1}^2}$$

$$M_{m\acute{a}x1} = \sqrt{(11.36)^2 + (3.85)^2}$$

$$M_{m\acute{a}x1} = 12 \text{ KN}\cdot\text{mm}$$

### Torsi3n

$$T = \frac{d \cdot W^t}{2} \quad (13-$$

32b)

$$T = \frac{120 \cdot 0.1667}{2} \quad (13-$$

32b)

$$T = 10 \text{ kN}\cdot\text{mm}$$

### EJES

#### Tabla 29

Factores que modifican el l3mite de resistencia a la fatiga

Descripci3n	S3mbolo
Factor de superficie	$k_a$
Factor de tama3o	$k_b$
Factor de carga	$k_c$
Factor de temperatura	$k_d$
Factor de confiabilidad	$k_e$
Factor de efectos varios	$k_f$
L3mite de resistencia a la fatiga	$S_e$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (6-18)$$

$$Se' = 0.5S_{ut} \quad (6-8)$$

$$Se' = 0.5 * 440 \quad (6-8)$$

$$Se' = 220 \text{ MPa}$$

Factores modificadores

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (6-19)$$

De la tabla 6-2 tomamos los valores de a y b para un acabado superficial maquinado o laminado en frio.

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$k_a = 4.51 * 440^{-0.265} \quad (6-19)$$

$$k_a = 0.899$$

Se considera para el diseño

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \quad (6-20)$$

$$k_b = 0.9 \quad (6-20)$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

$$Se = k_a k_b k_c k_d k_e k_f Se' \quad (6-18)$$

$$Se = 0.883 * 0.9 * 1 * 1 * 1 * 1 * 220 \quad (6-18)$$

$$Se = 178 \text{ MPa} \quad (6-18)$$

### **Diámetro**

Suponiendo eje de diámetro uniforme

$$n = 2$$

Usamos el criterio de ED-Goodman, pero como  $M_m = T_a = 0$ , la ecuación se reduce a:

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

(7-8)

De la tabla 7-1

Le estimación se realiza para Filete de hombro: bien redondeado

$$k_t = 1.7$$

$$k_{ts} = 1.5$$

$$k_t = k_f$$

$$k_{ts} = k_{fs}$$

$$d = \left\{ \frac{16 \cdot 2}{\pi} \left( \frac{2 \cdot (1.7 \cdot (12 \cdot 1000))}{178} + \frac{[3(1.5 \cdot (10 \cdot 1000))^2]^{1/2}}{440} \right) \right\}^{1/3} \quad (7-8)$$

$$d = 14.31 \text{ mm} \approx 0.56 \text{ plg}$$

$$d = \frac{3}{4} \text{ plg}$$

**Factor de seguridad:** El factor de seguridad está determinado por la relación entre el esfuerzo normal permisible dado por el material y el esfuerzo calculado en el diseño.

$$M_{m\acute{a}x} = 12 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_x = \frac{M_D \cdot y}{I} = \frac{M_D \cdot r}{\frac{\pi \cdot r^4}{4}} = \frac{12 \cdot 9.525}{\frac{\pi \cdot 9.525^4}{4}}$$

$$\sigma_x = 0.0177 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T * \rho}{J} = \frac{10 * 9.525}{\frac{\pi * 9.525^4}{4}}$$

$$\tau_{xy} = 0.01473 \frac{kN}{mm^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_1 = 26 MPa$$

$$\sigma_2 = 8.33 MPa$$

$$\tau_{Max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = 8.835 MPa$$

Se utilizó la teoría del esfuerzo cortante máximo debido a que el eje esta hecho de una acero dúctil, para el cálculo del factor de seguridad:

$$n = \frac{0.5 * S_y}{\tau_{Max}} = \frac{0.5 * 370}{8.835} = 20.94$$

Como se puede observar el factor de seguridad es alto, por lo que el diámetro del eje se acepta en el diseño.

Mediante software se realizara una simulación para poder comprobar los resultados obtenidos, las siguientes figuras representan el eje de la Figura 39. Mecanismo empacador, sometido al par de torsión máximo calculado  $M_{máx} = 12 N.m$ :

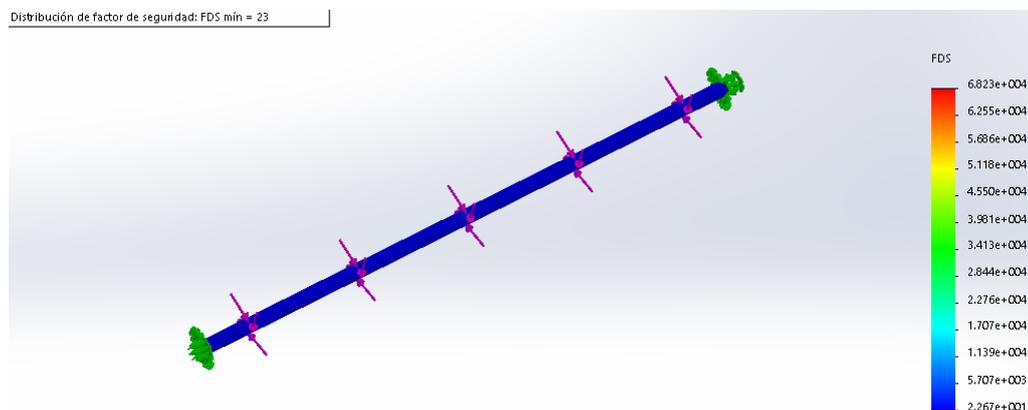


Figura 45 Factor de Seguridad obtenido mediante Software

El factor de seguridad obtenido analíticamente es muy similar al observado en el software, lo cual nos garantiza que el elemento está correctamente diseñado.

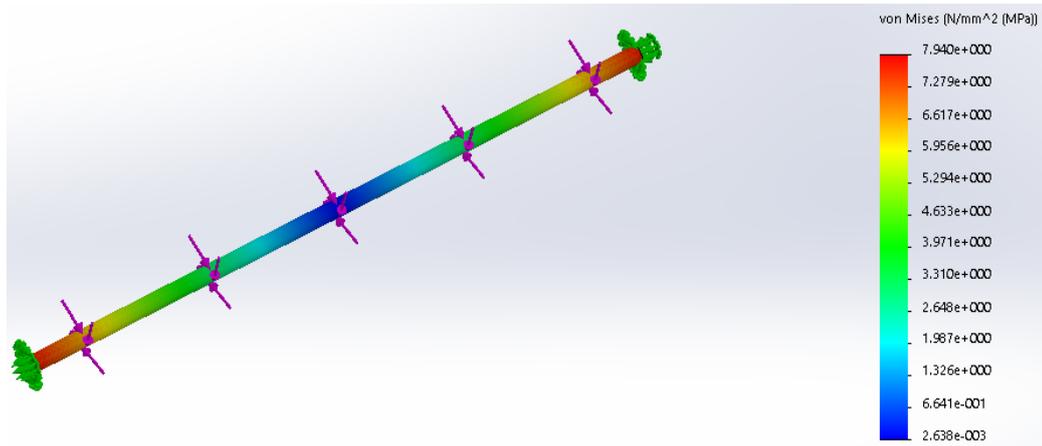


Figura 46 Esfuerzo Flector en el eje obtenido mediante software

El esfuerzo flector en el eje obtenido analíticamente es de 8.835 MPa y con el software es de 7.94 MPa.

#### 4.1.2.4 Cálculo chaveta

$$n = \frac{\tau_{fl}}{\tau_{Max}}$$

$$P = T * \omega$$

$$F = \frac{T}{r} = 1000N$$

ACERO SAE 1018

$$\sigma_{fl} = 483 MPa$$

$$\tau_{fl} = 0.5 * \sigma_{fl}$$

$$n = \frac{\tau_{fl}}{\tau_{Max}}$$

$$2 = \frac{241.5 \frac{N}{mm^2}}{\frac{1000 N}{a * 23 mm}}$$

$$a = 3.6 \text{ mm}$$

Se elige una chaveta de 4 mm de lado.

#### 4.1.3 ESFUERZO EN ENGRANES RECTOS

En la presente sección se realizara el cálculo de la potencia y esfuerzos transmitidos por el engrane que en teoría sufrirá la mayor carga transmitida desde su eje.

Especificaciones engrane:

- Numero de dientes:  $N = 50$
- Ancho de cara:  $F = 20 \text{ mm} = 0.787 \text{ plg}$
- Paso diametral:  $P = 8 \text{ dientes / pulg}$
- Diámetro de paso:  $d = 144 \text{ mm}$
- Modulo:  $m = 3$
- Material: Nylon 6

Especificación material:

$$S_y = 82,7 \text{ MPa (12 kpsi)}$$

$$S_u = 110 \text{ MPa (16 kpsi)}$$

Modulo elástico:  $E_p = 3.45 \text{ GPa (500 kpsi)}$

Relación de Poisson: 0.28

##### 4.1.3.1 Potencia de salida del engrane

Diámetro de paso:  $d = \frac{N}{P}$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$d = 3(50) = 150 \text{ mm}$$

Paso diametral:

$$P = \frac{N}{d} = \frac{50 \text{ dientes}}{5.91 \text{ plg}} = 8.46 \frac{\text{dientes}}{\text{plg}}$$

Factor de diseño:  $n = 2$

Esfuerzo de flexión permisible:

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{n} = \frac{12 \text{ kpsi}}{2} = 6 \text{ kpsi}$$

Velocidad en la línea de paso:

$$V = \frac{\pi * d * n}{12}$$

$d = \text{Diámetro de paso [plg]}$

$n = \text{Velocidad [rpm]}$

$$V = \frac{\pi * 5.91 * 60}{12} = 92.83 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Factor de velocidad:

$$K_v = \frac{1200 + V}{1200} = \frac{1200 + 92.83}{1200} = 1.07$$

Factor de forma:  $Y=0.409$  para 50 dientes.

Carga transmitida:

$$W^t = \frac{F * Y * \sigma_{perm}}{K_v * P}$$

$$W^t = \frac{0.787 * 0.409 * 6000}{1.08 * 8.46} = 211.38 \text{ lbf}$$

Potencia que puede transmitir el engrane:

$$hp = \frac{W^t * V}{33000}$$

$$hp = \frac{211.38 * 92.83}{33000} = 0.5946 \text{ hp}$$

#### 4.1.3.2 Cálculo de la potencia nominal del engrane basándose en la obtención de una vida infinita a la flexión.

Límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e' = 0.5S_{ut}$$

$$S_e' = 0.5(16) = 8 \text{ kpsi}$$

Factor de Marín de acabado superficial  $k_a$ , para una superficie maquinada

$$k_a = a * S_{ut}^b = 2.7 (16)^{-0.265} = 1.295$$

Factor de tamaño  $k_b$

$$l = \frac{1}{P} + \frac{1.25}{P}$$

$$l = \frac{1}{8.46} + \frac{1.25}{8.46} = 0.266 \text{ plg}$$

Espesor del diente:

$$t = (4 * l * x)^{1/2}$$

Donde:

$$x = \frac{3Y}{2P}$$

$$x = \frac{3(0.409)}{2(8.46)} = 0.0725 \text{ plg}$$

Entonces:

$$t = (4 * l * x)^{1/2}$$

$$t = (4 * 0.266 * 0.0725)^{1/2} = 0.277 \text{ plg}$$

Se considera al diente del engrane como una viga en voladizo de sección transversal rectangular ya que corresponde a un engrane recto y se procederá a obtener el diámetro equivalente de la viga rotatoria:

$$d_e = 0.808(h * b)^{1/2}$$

$$d_e = 0.808(F * t)^{1/2}$$

$$d_e = 0.808(0.787 * 0.277)^{1/2} = 0.377 \text{ plg}$$

$$k_b = \left(\frac{d_e}{0.3}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = \left(\frac{0.377}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.976$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

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

$$S_e = 1.295 * 0.976 * 1 * 1 * 1 * 1.66 * 8 = 16.78 \text{ kpsi}$$

Radio de la raíz del entalle del diente:

$$r_f = \frac{0.3}{P}$$

$$r_f = \frac{0.3}{8.47} = 0.0354 \text{ plg}$$

$$\frac{r}{d} = \frac{r_f}{t} = \frac{0.0353}{0.277} = 0.128$$

Factor de concentración del esfuerzo a la fatiga

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

$$K_f = 1 + 0.62(1.68 - 1) = 1.42$$

Factor de diseño:  $n_d = 2$

Esfuerzo de flexión permisible:

$$\sigma_{max} = K_f * \sigma_{perm} = \frac{S_e}{n_d}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{S_e}{K_f * n_d}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{16.78}{1.42 * 2} = 5.9 \text{ kpsi}$$

Carga transmitida:

$$W^t = \frac{F * Y * \sigma_{perm}}{K_v * P}$$

$$W^t = \frac{0.787 * 0.409 * 5900}{1.07 * 8.46} = 209.795 \text{ lbf}$$

Potencia que puede transmitir el engrane:

$$hp = \frac{W^t * V}{33000}$$

$$hp = \frac{209.55 * 92.83}{33000} = 0.59 \text{ hp}$$

#### 4.1.3.3 Durabilidad de la superficie:

AGMA define Coeficiente elástico

$$C_p = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{1 - \nu_p^2}{E_p} + \frac{1 - \nu_G^2}{E_G} \right)} \right]^{1/2}$$

Relación de Poisson:  $\nu = 0.28$

Modulo elástico:  $E = 8300 \frac{N}{mm^2} = 1203.81 \text{ kpsi}$

$$C_p = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{1 - 0.28^2}{1203813.223} + \frac{1 - 0.28^2}{1203813.223} \right)} \right]^{1/2} = 455.95$$

Radios de curvatura en los puntos de paso:

$$d_p = 5.67 \text{ plg}$$

$$d_G = \frac{60}{8.47} = 7.08 \text{ plg}$$

$$r_1 = \frac{d_p * \sin 20^\circ}{2}$$

$$r_1 = \frac{5.67 * \sin 20^\circ}{2} = 0.969 \text{ plg}$$

$$r_2 = \frac{d_G * \sin 20^\circ}{2}$$

$$r_2 = \frac{7.08 * \sin 20^\circ}{2} = 1.21 \text{ plg}$$

Esfuerzo de contacto:

$$\sigma_c = -455.95 \left[ \left( \frac{1.07 * 213.1}{0.787 * \cos 20} \right) \left( \frac{1}{0.969} + \frac{1}{1.21} \right) \right]^{1/2}$$

$$\sigma_c = -10914.27 \text{ psi}$$

Esfuerzo a la fatiga en la superficie:

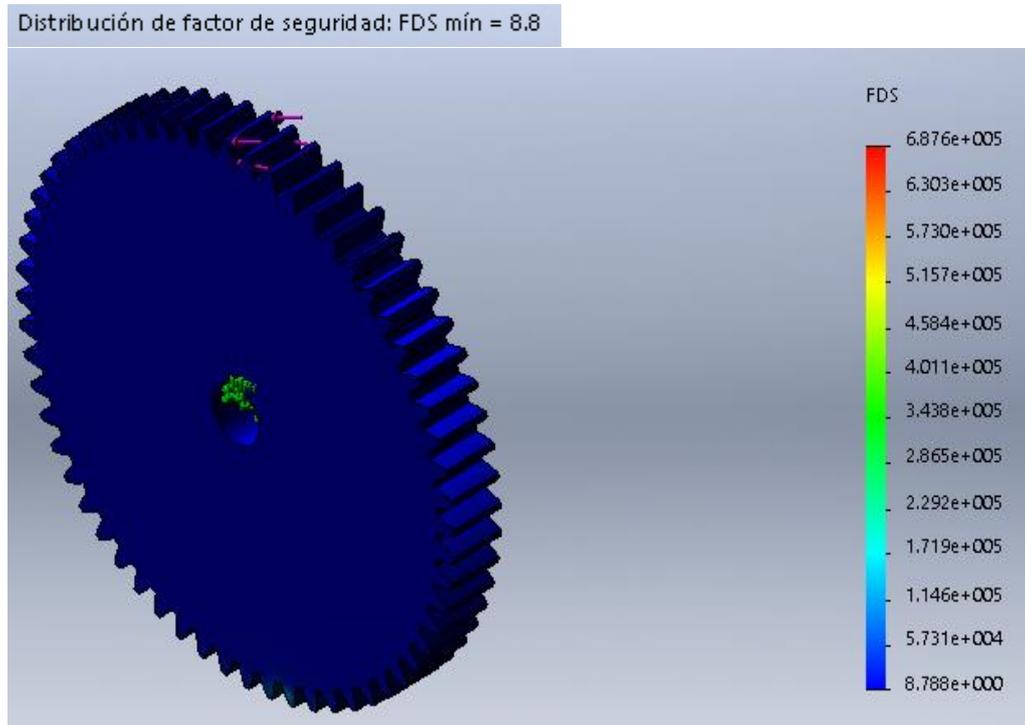
$$S_c = 0.32 H_B \text{ (kpsi)}$$

$$S_c = 0.32 * 85 = 27.2 \text{ kpsi}$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{S_c^2}{\sigma_c^2}$$

$$n = \left( \frac{27.2}{10.91} \right)^2 = 6.22$$

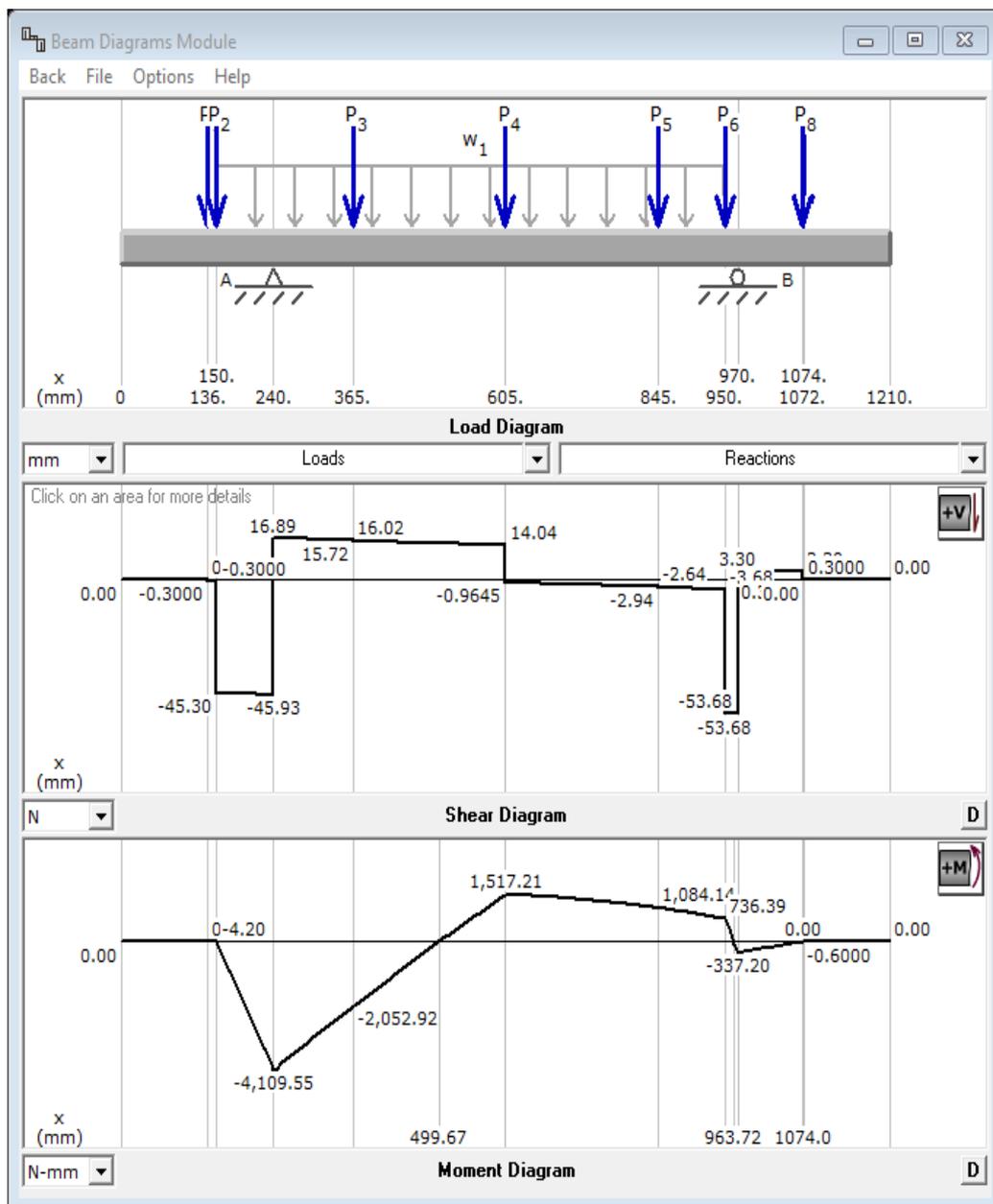


El factor de seguridad obtenido analíticamente es muy similar al observado en el software.

#### 4.1.4 Cálculos esfuerzo cortante perfil U

##### 4.1.4.1 Fuerzas

Fuerzas ejercidas sobre el perfil, calculo en software MDSolids:

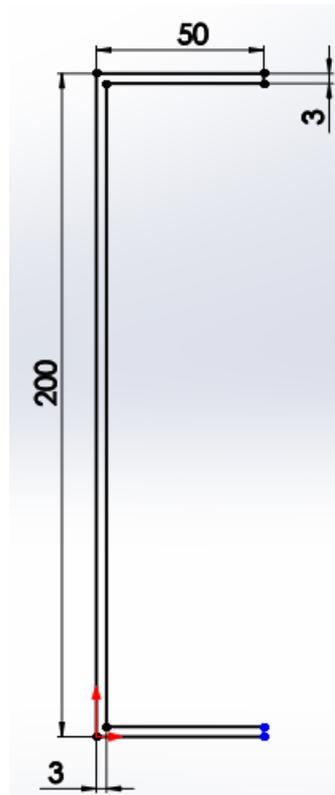


Esfuerzo cortante en vigas:

$$\tau = \frac{V * Q}{I * b}$$

V = 526.06 N

I: Momento de inercia de la sección



Calculo de centro de gravedad:

$$\bar{y} = \frac{A_1 * y_1 + A_2 * y_2 + A_3 * y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$\bar{y} = \frac{150 * 201.5 + 582 * 98.5 + 150 * 1.5}{150 + 582 + 150} = 99.52 \text{ mm}$$

Inercias:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{50 * 3^3}{12} + 150(201.5 - 99.52) = 15409.5 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = \frac{3 * 194^3}{12} + 582(98.5 - 99.52) = 1824752.36 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = \frac{50 * 3^3}{12} + 150(1.5 - 99.52) = 14590.5 \text{ mm}^4$$

$$I = 1854752.36 \text{ mm}^4$$

Esfuerzo cortante en el centro de gravedad:

$$Q_2 = A'Y' = 150 * (201.5 - 99.52) = 15297 \text{ mm}^3$$

$$Q_3 = (15297 \text{ mm}^3) + \left( ((197 - 99.52) * 3) * 97.48 \right) = 43804.0512 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{V * Q_3}{I * b}$$

$$\tau = \frac{526.064 * 43804.0512}{1854752.36 * 3} = 4.14 \text{ MPa}$$

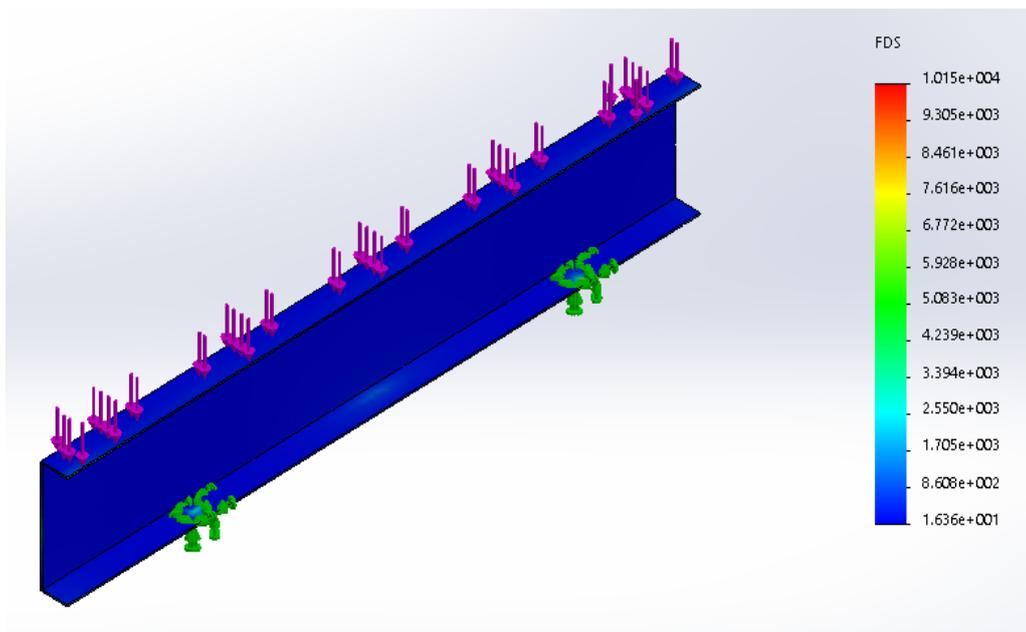
Resistencia a la fluencia acero AISI 1006

$$S_y = 170 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

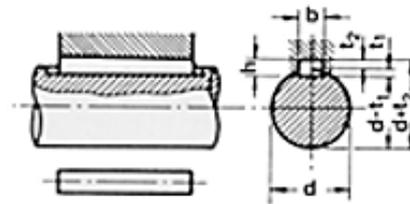
$$n = \frac{0.5 * 170}{4.14} = 20.53$$

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Pre determinado-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 16



#### 4.1.5 Diseño de chaveteros y chavetas

De acuerdo a la norma de dimensionamiento de chaveteros y chavetas de cuña DIN S/6886.



Chaveta de cuña  
S/DIN-6886

Figura 47 Chaveta de cuña

(Cadersa Cadenas y Derivados S.A.)

En la cual de acuerdo al diámetro del eje se indican las medidas del chavetero en el cubo, en el eje, la chaveta y el la longitud que esta debe tener, además se considera un ajuste ligero N9 en el chavetero del eje y J9 en el chavetero del cubo.

Partiendo del diseño de los ejes de los diferentes módulos.

En los módulos 1, 3, 4, 5 se tiene el eje del motor de 9mm y el eje de transmisión del rodillo motriz de 19.05mm de acuerdo al a la norma:

$$b = 2.4 \text{ mm}$$

$$h = 2.4 \text{ mm}$$

La longitud mínima es 1.5 veces el diámetro del eje, que en este caso es 13.5 mm, por seguridad y facilidad de maquinado se usara 14mm.

#### 4.1.5.1 Diseño de chavetas y chaveteros del módulo 3.

##### 4.1.5.1.1 Eje motriz

En este eje están acoplados las catalinas de las cadenas, el engrane y el eje del motor como se muestra en la figura.

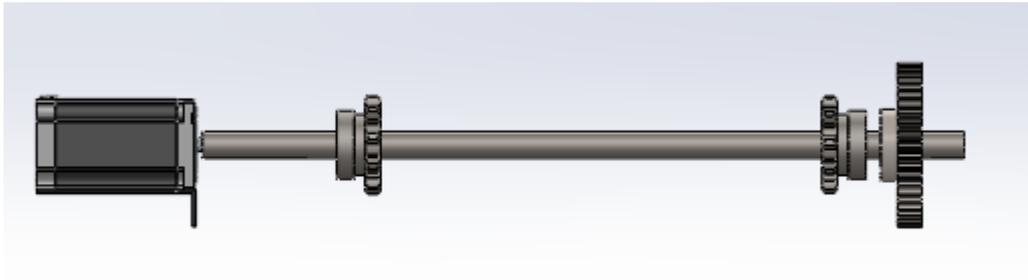


Figura 48 Eje Motriz módulo 3

El eje motriz es de diámetro 25.4mm la longitud del cubo de las catalinas y del engrane son de 4mm, el diámetro del eje del motor es 12.7mm.

Para la chaveta y chavetero de las catalinas y engrane de acuerdo a la norma es:

$$b = 8\text{mm}$$

$$h = 7\text{mm}$$

La longitud mínima es 1.5 veces el diámetro del eje, que en este caso es 39.1 mm, por seguridad y facilidad de maquinado se usara 40mm.

Para la chaveta y chavetero del eje del motor y eje motriz de acuerdo a la norma es:

$$b = 5\text{mm}$$

$$h = 5\text{mm}$$

La longitud mínima es 1.5 veces el diámetro del eje, que en este caso es 19.05 mm, por seguridad y facilidad de maquinado se usara 20mm.

#### 4.1.5.1.2 Eje conducido

En este eje de diámetro 25.4mm están acoplados las catalinas de las cadenas como se muestra en la figura.



Figura 49 Eje conducido módulo 3

Para la chaveta y chavetero de las catalinas y engrane de acuerdo a la norma es:

$$b = 8\text{mm}$$

$$h = 7\text{mm}$$

La longitud mínima es 1.5 veces el diámetro del eje, que en este caso es 39.1 mm, por seguridad y facilidad de maquinado se usara 40mm.

#### 4.1.5.1.3 Eje mecanismo posicionador.

En este eje de diámetro 19.05mm está acoplado el engrane del mecanismo posicionador como se muestra en la figura.



Figura 50 Eje mecanismo posicionador

Para la chaveta y chavetero del de acuerdo a la norma es:

$$b = 6\text{mm}$$

$$h = 6\text{mm}$$

La longitud mínima es 1.5 veces el diámetro del eje, que en este caso es 28.6 mm, por seguridad y facilidad de maquinado se usara 40mm.

#### 4.1.6 Esfuerzo en soportes

Calculo de esfuerzo en soportes para ello se analizaran los soportes como columnas

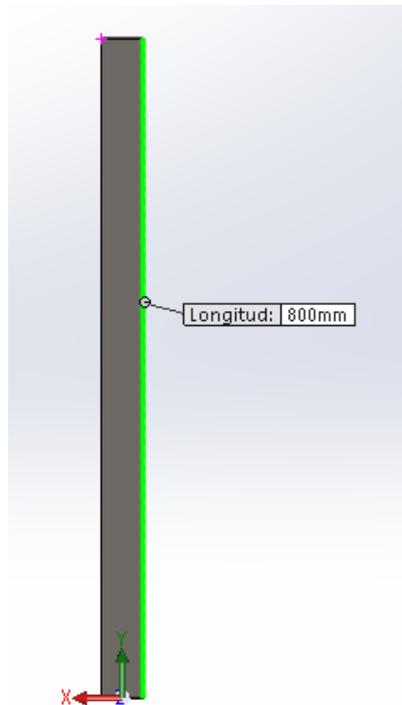


Figura 51 Soporte estructura

$$L = 800mm$$

$$A = 40000mm^2$$

$$I = 757 \times 10^6 mm^4$$

Por ser columna empotrada en sus dos extremos

$$L_e = 0.5L$$

$$L_e = 400mm$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = 137,56mm$$

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{L_e}{r} = 2.9$$

Lo que indica que se analizara como columna corta donde  $\sigma_c = \sigma_y$

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{esfuerzo}}}$$

$$F = 526.064 \text{ N}$$

Este valor se toma de la reacción más grande del análisis de vigas realizado anteriormente.

El área donde se aplica la fuerza es como se indica en la figura:

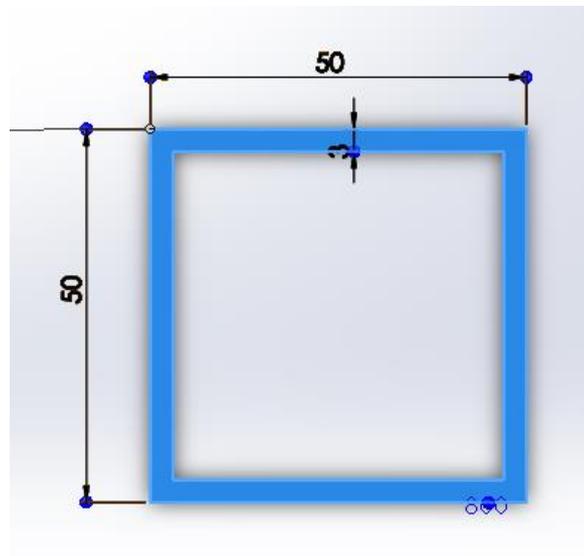


Figura 52 Área aplicación fuerza

$$A_{\text{esfuerzo}} = [(50 \times 50) - (44 \times 44)] \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{esfuerzo}} = 564 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = 0.933 \text{ MPa}$$

Del material AISI 1006  $\sigma_y = 170 \text{ MPa}$

Factor de seguridad

$$n = \frac{0.5 * \sigma_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{0.5 * 170MPa}{0.933 MPa}$$

$$n = 91.1$$

### Análisis estático en Solidworks.

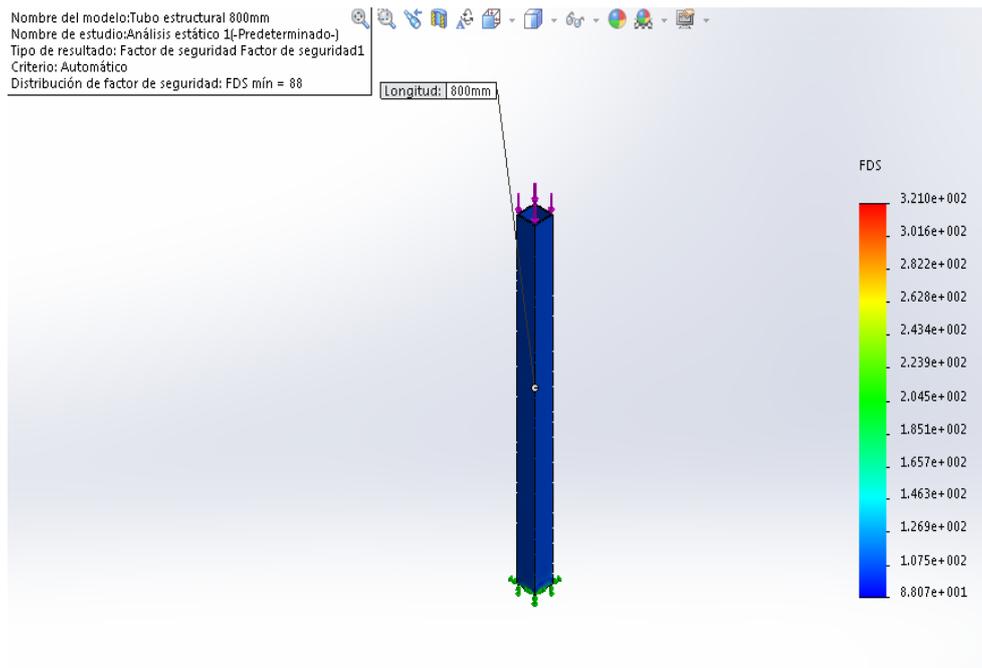


Figura 53 Análisis estático Solidworks

El factor de seguridad calculado es similar al factor de seguridad obtenido a partir de la simulación realizada en el programa CAD, se observa un factor de seguridad alto por lo tanto se concluye que soportará el peso de la estructura sin falla.

## 4.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

Se especifica la características de algunos de los elementos electrónicos a utilizar en los diferentes módulos luego de realizada la selección de alternativas en el capítulo 3.

### 4.2.1 Calculo potencia Motor DC

Como ya se mencionó en la selección de alternativas los motores a utilizar en las bandas transportadoras son motores DC con caja reductora, se va a realizar el cálculo de torque y potencia para determinar el modelo a utilizar.

Primero determinamos el torque:

$$T = I * \alpha$$

Del modelo en CAD tenemos la siguiente Inercia:

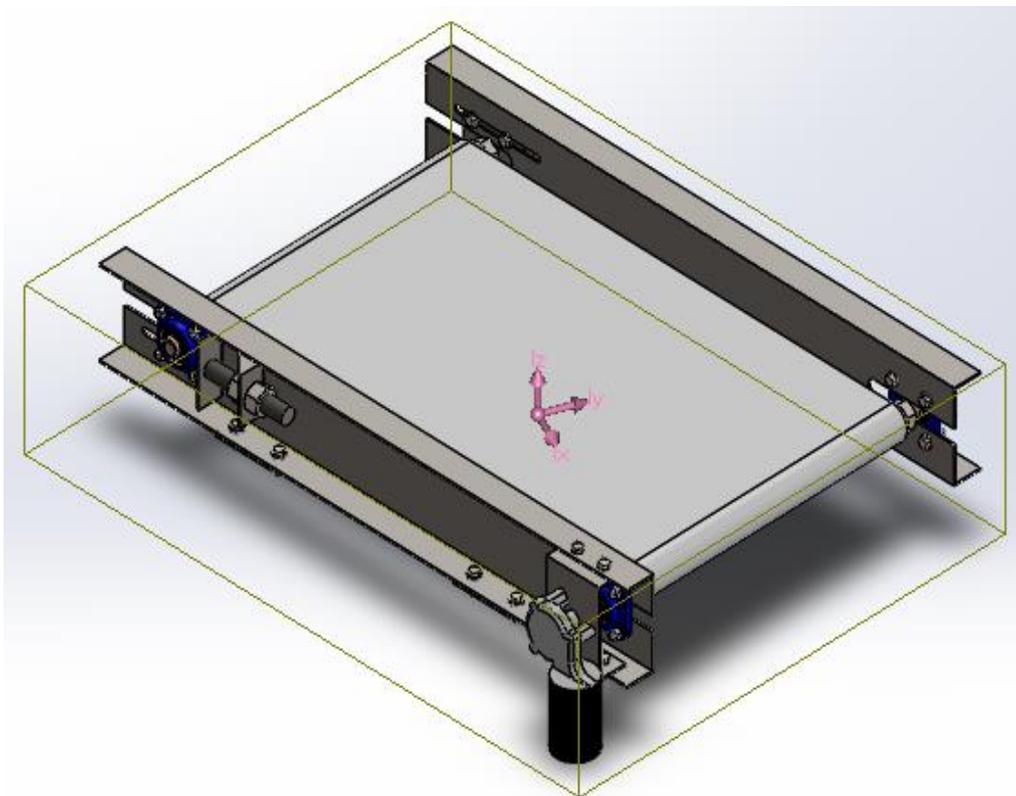


Figura 54 CAD Banda Transportadora Módulo 1

**Tabla 30**

Parámetros ingresados al modelo CAD

Descripción	Especificación
Material Banda Transportadora	C07JF
Ejes	Acero 1080
Estructura	Acero ASTM A36
Rodillo motriz y conducido	Acero ASTM A513

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.  
 Lxx = 2320153989.33      Lxy = -122342604.97      Lxz = 7654065338.81

$$I = 7,654 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Con una velocidad angular de trabajo:

$$w = 20 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$w = 0,33 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Determinamos la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{w_f - w_0}{t_f - t_0}$$

$$\alpha = \frac{0,333 \frac{\text{rev}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha = 0.666 \frac{\text{rev}}{\text{s}^2}$$

Con estos datos el torque es:

$$T = 5,0675 \text{ N} * \text{m}$$

Reemplazamos valores en el modelo matemático de la potencia.

$$P[HP] = T[kg * m] * \frac{rpm}{716,2}$$

$$P = \frac{5,0675 * \frac{20rev}{min}}{716,2}$$

$$P = 0,1415[HP]$$

Multiplicando por un factor de seguridad de 1,5

$$P = 0,2123 \approx 1/4[HP]$$

Luego de realizar los cálculos respectivos y determinar el torque y potencia necesaria se decide utilizar motores Bosch F006 WM0 310 que son utilizados en la industria automotriz el cual tiene la siguiente característica:

### Tabla 31

Características motor BOSCH F006 WM0 310

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de operación	24 V
Corriente Nominal	5 A
Potencia nominal	46 W
Torque	10 Nm
Rotación Nominal	60 rpm
Protección IP	IP 44



Figura 55 Motor Bosch F006 WM0 310

(BOSCH, 2011)

#### 4.2.2 Calculo Potencia motor a pasos

En el módulo 3 se obtuvo como conclusión de acuerdo a la “Tabla 27 Conclusiones tipo de motor” que se utilizará un motor a pasos para lo cual se realiza el cálculo del torque necesario, luego se elegirá un motor con un torque comercial con su respectivo driver.

$$T = I * \alpha$$

Del modelo en CAD tenemos la siguiente Inercia:

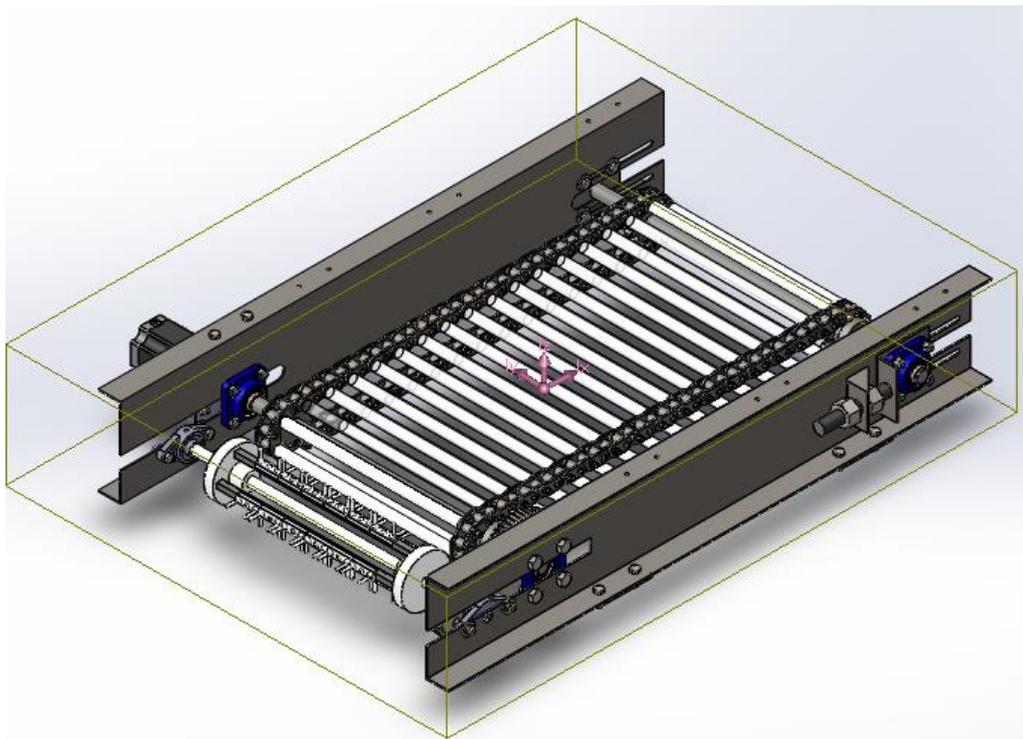


Figura 56 CAD Módulo 3

**Tabla 32**

Parámetros ingresados al modelo CAD

Descripción	Especificación
Rodillos cadena	Nylon 6
Eje conductor y conducido	Acero 1080
Estructura	Acero ASTM A36
Eje mecanismo empacador	Acero 1080
Piñón	Acero ANSI 80B 10
Cadena Hollow Pin	Acero Inoxidable ISO 9001 ANSI 80HP
Engranés	Nylon 6

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

Lxx = 4004590428.11	Lxy = 27586133.52	Lxz = 13116988507.91
Lyx = 27586133.52	Lyy = 9901243169.08	Lyz = -635254.60
Lzx = 13116988507.91	Lzy = -635254.60	Lzz = 6165447194.99

$$I = 13,1169 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Con una velocidad angular de trabajo:

$$w = 20 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$w = 0,33 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Determinamos la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{w_f - w_0}{t_f - t_0}$$

$$\alpha = \frac{0,333 \frac{\text{rev}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha = 0.666 \frac{\text{rev}}{\text{s}^2}$$

Con estos datos el torque es:

$$T = 8.7341 \text{ N} * m$$

Se decide utilizar un motor a pasos marca XINJE 86BYGH156 con su respectivo driver, este motor presenta un torque nominal de 12 Nm, su driver permite una facilidad de control mediante PWM, señal enviada desde el PLC, además permite manipular la corriente enviada al motor de 1.5 [A] a 5 [A].

**Tabla 33**

Características Motor Pasos XINJE 86BYGH156

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de operación	24 V
Corriente Nominal	4.2 A
Torque	12 N.m
Ángulo Paso	1.8°



Figura 57 Motor Pasos 86BYGH 156  
(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

**Tabla 34**

Características Driver DP - 508 XINJE

Características	Mínima	Máxima
Corriente Salida [A]	1.4	5
Tensión Alimentación Entrada [V]	20	80
Corriente de Entrada Lógica [mA]	7	16
Frecuencia Pulsos [kHz]	0	200



Figura 58 Driver Xinje DP-508

(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

#### 4.2.3 Sensores de Contacto

La selección de alternativas de sensores para el módulo 1, de acuerdo a las tablas de ponderación se obtuvo como conclusiones especificadas en la “Tabla 12 Conclusiones tipo de sensor Módulo 1”, determina como

conclusión la necesidad de usar interruptores de final de carrera o sensores de contacto, que detectan cambios a través de un contacto directo con objetos.



Figura 59 Fin de carrera YBLXW - 5  
(CHINT Electrics, 2011)

#### 4.2.4 Sensor óptico

El módulo 4 necesita de un sensor para garantizar la correcta posición de la cubeta, después de plantear las matrices de selección “Tabla 12 Conclusiones tipo de sensor” se determinó la necesidad de utilizar un sensor óptico infrarrojo. Un modelo disponible en el mercado es F&C DR18 – S40NC Sensor infrarrojo cilíndrico de conmutación óptica.



Figura 60 Sensor óptico F&C DR18 - S40NC  
(F&C, 2016)

Características:

Modo detección: NPN NO – NC

Distancia detección: 40 cm

#### 4.2.5 Controlador Lógico Programable (PLC)

Se decide utilizar como controlador del proceso después de considerar varias alternativas, “Tabla 21 Conclusiones Tipo de controlador”, un PLC Xinje XCM – 24T3 – E/C, presenta varias ventajas favorables a nuestras necesidades, la principal es que posee 3 salidas rápidas PWM que son necesarias para el control del motor a Pasos del mecanismo principal de la empacadora de huevos. Controla variables de Salida a partir de señales de entrada enviada por sensores. Su programación es cómoda al igual que la comunicación con un HMI mediante comunicación serial Modbus RS – 485

#### Tabla 35

Características PLC XINJE XCM-24T3-E/C

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de entrada	110 - 220 [VAC]
Modo de programación	Escalera – Instrucciones
Velocidad de procesamiento	0.5 $\mu$ s
Puertos I/O	18 entrada / 14 salida



Figura 61 PLC XCM - 24T3 - E/C  
(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

#### 4.2.6 Interfaz Hombre – Máquina (HMI)

Después del proceso de selección de alternativas, “Tabla 24 Conclusiones HMI”, se decidió utilizar como interfaz Hombre – Máquina (HMI) una pantalla táctil a color de 4.3 pulgadas marca XINJE TH – 465 – MT de cómoda programación, manejo y comunicación con el PLC a utilizar. Nos permite un diseño amigable e intuitivo para el usuario en donde se visualiza estado de motores, datos de producción, calibración del sistema.

**Tabla 36**

Características HMI XINJE

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de entrada	20 – 28 [VDC]
Consumo de corriente	130 mA
Interfaz	RS – 232 / RS – 485
Tamaño de la pantalla	4.3 pulgadas
Resolución	480 * 272
Memoria	8 MB



Figura 62 HMI XINJE TH - 465 – MT  
(XINJE ELECTRONIC CO. LTD., 2015)

La pantalla principal permite dos modos de ingreso, “Programador” y “Usuario”.



Figura 63 Pantalla Inicio HMI

#### 4.2.6.1. Programador

Al seleccionar la opción Programador se desplegará las siguientes pantallas, en las cuales permite configurar algunos parámetros.



Figura 64 Pantalla Configuración Banda Rodillos

Al ingresar como programador se puede variar parámetros de funcionamiento de la máquina.

#### 4.2.6.1.1 Configuración Banda Rodillos

Frecuencia: Al aumentar/disminuir incrementamos o disminuimos la velocidad del motor de pasos, parámetro varia de 0 – 1000

Pulsos: Al aumentar/disminuir incrementamos o disminuimos el giro del motor a pasos, debe estar configurado por defecto en 160.

Aceleración: Valor configurado por defecto en 250, aumenta o disminuye la aceleración del motor a pasos.

#### 4.2.6.1.2 Configuración Banda Cubetas

REGRESAR      CONFIGURACIÓN BANDA CUBETAS      SIGUIENTE

TIEMPO POSICIÓN INICIAL      02 00000

TIEMPO AVANCE CUBETA      012 00000

TIEMPO LECTURA SENSOR      022 00000

Figura 65 Configuración Banda Cubetas

Tiempo posición inicial: Utilizado para colocar en posición inicial la cubeta antes de empezar a empacar, valor configurado en [ms].

Tiempo avance cubeta: Tiempo de avance de la cubeta al empacar, valor configurado en [ms]

Tiempo lectura sensor: Tiempo después del cual el sensor volverá a detectar la siguiente cubeta a empacar, valor en [ms]

#### 4.2.6.2. Usuario

Al seleccionar la opción Usuario se desplegará las siguientes pantallas, en las cuales permite configurar algunos parámetros.



Figura 66 Encendido Bandas Transportadoras

El modo usuario permite verificar el funcionamiento individual de los motores de la máquina, encenderlos o apagarlos. Además se comprueba el estado del sensor óptico detector de cubetas. Se puede realizar un reset manual del sensor, y visualización de un contador de huevos empacados.



Figura 67 Pantalla Reset y Contadores

## CAPITULO 5

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez concluida la construcción de los mecanismos y la implementación de la maquina en el lugar de trabajo se procede a realizar las pruebas de funcionamiento para determinar las velocidades mínimas y máximas con las cuales el sistema ya ensamblado pueda funcionar sin que existe demasiado vibración, señales de los sensores, los espacios de separación, tenciones y ajustes de las diferentes bandas que intervienen en todo el proceso, lo cual nos ayudan a eliminar errores de funcionamiento que pueda dañar los huevos, después de que el sistema esté funcionando correctamente se procede a ingresar los huevos al acumulador para que sean empacados aquí se regularan las dimensiones de las guías y la ubicación que debe tener el mecanismos posicionador y las aceleraciones para que exista sincronía entre las bandas de ingreso de cubetas, la banda de rodillos y la banda de salida ya con los huevos empacados y por último se realizaran pruebas para determinar el tiempo de empacado necesario para cada cubeta de 30 huevos.

## **5.1. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ENSAMBLADO E IMPLEMENTADO SIN HUEVOS.**

### **5.1.1. Objetivo**

Comprobar que el sistema mecánico y eléctrico funcione correctamente, para que el control de los actuadores se realice como está el programa en el PLC y el diseño en la HMI.

### **5.1.2. Actividades**

1. Verificar de manera visual que el ensamble del sistema cumpla con las dimensiones establecidas en los planos de ensamble total y esté debidamente alineado y nivelado.
2. Comprobar que todos los actuadores, sensores y la HMI estén conectados a la caja de control.
3. Suministrar energía eléctrica al sistema y encender la máquina.
4. Mediante la HMI encender todas las bandas del sistema.
5. Mediante inspección visual determinar si las bandas están tensadas uniformemente y que la cadena de la banda de rodillos esté tensada de forma que no cree esfuerzos extras en el movimiento.
6. Apagar mediante el HMI todas las bandas del sistema y encender la máquina para que realice el proceso de manera automática ya con las señales de los sensores activas.
7. Apagar el sistema completamente.

### 5.1.3. Resultados:

- En las actividades 1, 2, 3 no hubo inconvenientes ya que el proceso de construcción e implementación se tomaron muy en cuenta las dimensiones y conexiones de todo el sistema.



Figura 68 Sistema empacador ensamblado vista superior



Figura 69 Sistema empacador ensamblado vista lateral

- En la actividad 4 se observa que existe una pequeña vibración la cual es insignificante como para ocasionar algún daño en los huevos cuando la banda de rodillos se enciende y se detiene, cuando está trabajando de forma continua esta vibración desaparece con respecto a la velocidad el motor a pasos trabaja sin esfuerzo hasta las 800 rev/min de este valor en adelante empieza a presentar problemas de vibración excesiva que pueden afectar al proceso en lo que respecta a los otro actuadores no presenta inconvenientes al trabajar hasta su velocidad máxima que es de 20rev/min.

**Tabla 37**

Análisis de vibración en las diferentes bandas

<b>BANDA</b>	<b>VELOCIDAD MOTOR (Rev/min)</b>	<b>VIBRACION</b>
<b>Acumulador</b>	20	No
	10	No
	6	No
<b>Rodillos</b>	100	No
	200	No
	500	No
	800	No
	900	SI
	1200	SI
<b>Cubetas Vacías</b>	20	No
	10	No
	6	No
<b>Salida</b>	20	No
	10	No
	6	No

- En la prueba se observa que en la actividad 5 los templadores no están ajustados de forma uniforme por lo cual se realiza un reajuste de los templadores y se verifica que la banda ya no se deslice para ningún lado y quede centrada una vez hecho esto se pusieron

marcas en los templadores para indicar hasta donde debían ser ajustados cabe señalar que hay que tener en cuenta el factor de estiramiento de las bandas por lo que este reajuste y marca deberán ser nuevamente realizadas.



Figura 70 Banda deslizando hacia un lado



Figura 71 Banda centrada

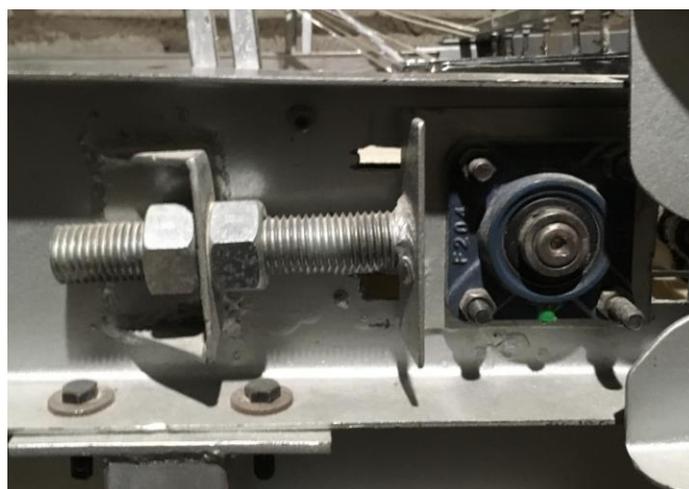


Figura 72 Ajuste del templado

- La actividad 6 se ajustó el rango de medición de los sensores ópticos para que no existan errores de detección ya que su sensibilidad se ve afectada por las luz que exista a su alrededor por lo que una vez implementada la maquina en su ambiente de trabajo fue necesario su re calibración.



Figura 73 Sensor óptico

**Tabla 38**

Porcentaje sensibilidad

SISTEMA	AJUSTE %
Detección cubeta	60
Detección huevo	20

- En la última actividad de esta prueba ya una vez calibrado los sensores y tenciones de las bandas el sistema funciono como estaba planificado en el diseño del programa.

## **5.2. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ENSAMBLADO E IMPLEMENTADO CON HUEVOS.**

### **5.2.1 Objetivo**

Comprobar que el sistema funcione correctamente ya con los huevos para ser empacados determinado los espacios de las guías como la altura de los sistemas de detección y el sistema retenedor así como la ubicación inicial que debe tener el mecanismo posicionador de huevos.

### **5.2.2 Actividades**

1. Encender el mecanismo que recoge los huevos de las jaulas, preparar la máquina para que realice el proceso paso por paso accionando el encendido y apagado de las bandas de forma manual utilizando el HMI.
2. Encender la banda del acumulador y verificar de manera visual que los huevos accionen cada uno de los sensores de este mecanismo.
3. Encender el sistema de entrada de cubetas vacías y colocar sobre este las cubetas y verificar que la banda se detenga cuando el sensor detecta la cubeta vacía posicionada debajo del mecanismo posicionador.
4. Encender la banda de rodillos y verificar de manera visual que el espaciamiento entre las guías y la altura, permitan que los huevos fluyan, que estos no se atasquen o rompan por colisionar en los lados laterales de las guías y que a medida que siguen avanzando en la banda de rodillos se vaya alineando para que puedan ingresar de manera correcta en el sistema retenedor.
5. Determinar la altura del sistema retenedor que permitan a los huevos se deslicen fácilmente hasta ser apoyados sobre el sistema posicionador.

6. Determinar la altura, posición y velocidad con la que debe moverse el sistema posicionador para que los huevos sean depositados suavemente y sin daños sobre la cubeta que se encuentra bajo este llenando las 5 hileras de 6 huevos cada una.
7. Encender la banda de salida y determinar la velocidad a la cual debe trabajar.

### 5.2.3 Resultados:

- En la primera actividad se debe estar pendiente que el sistema acumulador sea alimentado de forma permanente de huevos.



Figura 74 Recolector de huevos alimentando de huevos al sistema

- En la segunda actividad para que los huevos accionen los detectores de forma correcta se determinó estos deben estar centrados y a una altura entre 7 y 8.5 cm desde la superficie de la banda hasta el eje del sistema detector considerando un ángulo de inclinación de 45 grados como se muestra en la figura.



Figura 75 Detectores del sistema acumulador de huevos

**Tabla 39**

Altura de detección.

ALTURA (cm)	FINES DE CARRERA ACTIVADOS
5	0
5,5	0
6	1
6,5	3
7	6
7,5	6
8	6
8,5	1
9	0
9,5	0

- La actividad 3 se colocaron las cubetas vacías con el perfil de seis agujeros hacia adelante, debido a que el sensor está colocado a dos centímetros antes del sistema posicionador en el programa se creó un temporizador que ayude a detener la banda a instantes después que el sensor fue activado este valor se lo ingresa mediante el HMI y depende de la velocidad con la que este esté trabajando.



Figura 76 Detección de cubeta por el sensor óptico

**Tabla 40**

Valores a ser ingresados de acuerdo velocidad del motor

Velocidad motor rev/ min	Valor temporizador
20	400
10	850
6	1750

- La actividad 4 se determinaron las dimensiones de espaciamientos y altura de las guías mediante muchas pruebas y se determinó los siguientes valores como los óptimos con estos valores no se rompieron los huevos y el proceso se realizó sin atascamientos y los huevos se alineaban de forma correcta.



Figura 77 Huevos en la banda de rodillos alineados por las guías

De los resultados obtenidos podemos decir que la altura óptima desde la superficie de los rodillos hasta las guías debe ser máxima hasta 1cm y las separaciones a la entrada de la banda de rodillos van desde 7,5 a 8,5 cm y en la salida de 5 y 5,5 cm

- La actividad 5 los retenedores deben estar centrados y mediante muchas pruebas se llegó al siguiente rango de altura donde el sistema cumplía su objetivo y guiaba de manera correcta los huevos en esta actividad cabe recalcar que la posición de los rodillos influye siendo la posición óptima la que se muestra en la figura.

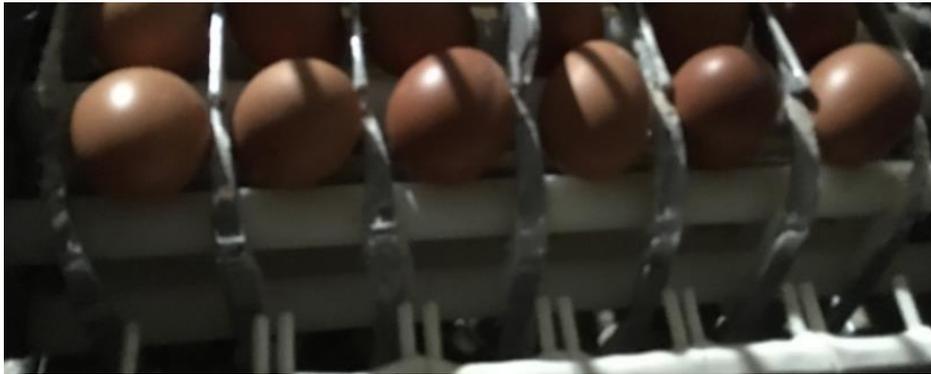


Figura 78 Posición óptima de rodillos

- En la actividad 6 se determinó la posición correcta a la que debe estar el mecanismo posicionador para que este guíe la huevo de manera correcta y no lo rompa, se debe tener en cuenta que tanto las guías, los retenedores y los dedos del mecanismo posicionador deben estar centrados entre sí para que en conjunto ayuden a los huevos a ser depositado en la cubeta de forma suave y segura, probando varias velocidades se determinó el siguiente rango y además se determinó el intervalo de tiempo de que debe moverse la banda de cubetas vacías para que el sistema posicionador coloque la siguiente hilera de huevos este valor se determinó al ingresar valores de un rango.



Figura 79 Centrado de los retenedores.

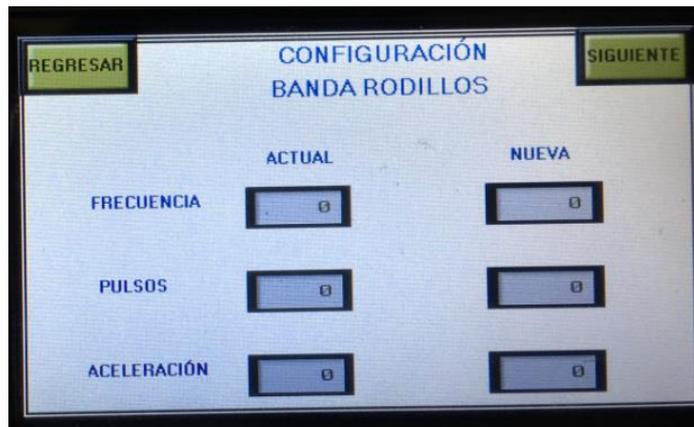


Figura 80 Ventana del HMI para ingresar valores para el motor a pasos de la banda de rodillos

Estos parámetros son variables que el plc mediante el programa nos pide para poder controlar el motor a pasos para ello previamente se realiza una prueba en vacío del motor, sin estar acoplado al mecanismo y de acuerdo a los parámetro de diseño para que el motor realice 20 rev/min la frecuencia es de 200 Hz y desde este valor conocido podemos controlar la cantidad de pulsos necesarios para girar una vuelta esto es importante ya que se puede hacer que el motor trabaja sin presentar vibraciones a mayor cantidad de pulsos menor la vibración y también existe un parámetro de aceleración que nos permite variar la velocidad en un intervalo de pulsos lo cual es una ventaja ya que podemos acelerar y desacelera el mecanismo antes de que de una revolución.

Una vez empacado las seis hileras la banda del módulo 5 se enciende, esta banda puede operar a tres velocidades, de acuerdo a la configurada por el operario.



Figura 81 Cubeta con huevos siendo tomada por la banda de salida

**Tabla 41**

Velocidad Banda Salida

Velocidad motor rev / min
20
10
6

### 5.3. PRUEBAS DE RENDIMIENTO.

1. Energizar y encender el mecanismo recogedor de huevos de la jaula encender el sistema de empaclado, colocar cubetas vacías en la banda de cubetas.
2. Con un cronometro determinar el tiempo que se demora en llegar los huevos hasta el mecanismos posicionador y cuanto se demora desde allí hasta empaclar una cubeta de 30 unidades si se envían

cubetas con los seis agujeros de frente y revisar en el HMI los datos que muestra.

3. Con un cronometro determinar el tiempo que se demora en llegar los huevos hasta el mecanismos posicionador y cuanto se demora desde allí hasta empacar una cubeta de 30 unidades si se envían cubetas con los cinco agujeros de frente y revisar en el HMI los datos que muestra.

### 5.3.1 Resultados:

El mecanismo recogedor en promedio entrega al sistema 2 huevos por segundo.

Para empacar 6 huevos por hilera desde que se enciende la maquina hasta que lleguen al sistema posicionador el tiempo que se tarda en promedio es de 2 minutos con 50 seg y de empacado de una cubeta es de 42 segundos más el tiempo que se demora en detectar una nueva cubeta vacía es de 3,5 segundos lo que en promedio nos da 75 cubetas por hora lo que implica 2250 huevos por hora.



Figura 82 Sistema empacando 6 huevos por hilera

Para empacar 6 huevos por hilera desde que se enciende la maquina hasta que lleguen al sistema posicionador el tiempo que se tarda en promedio es de 2 minutos con 50 segundo y de empacado de una cubeta es de 47 segundos más el tiempo que se demora en detectar una nueva cubeta vacía es de 3,5 segundo lo que en promedio nos da 67 cubetas por hora lo que implica 2010 huevos por hora.



Figura 83 Sistema empacando a 5 filas por hilera

Cabe tomar en cuenta que la maquina siempre estará a la espera de huevos en el acumulador ya que el mecanismo recogedor no abastece de manera suficiente a la máquina para que el sistema sea eficiente el mecanismo debería suministrar 6 huevos por segundo lo que de manera teórica la maquina podría empacar hasta 6750 huevos por hora.

#### **5.4. Funcionamiento del sistema en las peores condiciones**

Las peores condiciones de funcionamiento se dan antes de la respectiva calibración de la máquina, sino se cumplen ciertos valores ya especificados la máquina no funcionara correctamente. Por ejemplo al no tensar correctamente la banda esta puede no estar en la posición de

funcionamiento correcta, recorriendo hacia el lado menos tenso, si el caso se da en la banda que transporta las cubetas vacías, puede que no lleguen a la posición en empacado correctamente alineadas, lo que provocaría que los huevos no sean depositados en su respectivo lugar.

Otra posible condición de falla en el funcionamiento se da al calibrar las dimensiones de espaciamientos y altura de las guías, para lo cual se determinó valores óptimos, con dichos valores no se rompieron los huevos, el proceso se realizó sin atascamientos y los huevos se alineaban de forma correcta.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó e implemento un sistema automatizado para el empaquetado de huevos, que cumple con los requerimientos del cliente.
  
- Es importante al diseñar y construir la estructura mecánica el dimensionamiento de cada uno de los componentes estructurales de la máquina en relación con el espacio de trabajo que ocupará, para su óptimo funcionamiento.
  
- Cuando el sistema mecánico está bien diseñado la implementación del sistema electrónico es más simple, el cual es de fácil acceso para su calibración y mantenimiento, lo que permite realizar una programación por medio de diagramas secuenciales.
  
- La operación del sistema debe ser de fácil manipulación lo que permita al operario maniobrar el sistema de manera que no afecte la calidad del producto.
  
- Es de suma importancia la realización de pruebas de funcionalidad y rendimiento del sistema para determinar los parámetros correctos de calibración de los diferentes actuadores que intervienen el proceso de empaquetado de huevos, ya que se debe garantizar que el producto no sufra daños en sus características organolépticas y para sacar el máximo rendimiento posible de la máquina.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia revisar el balanceo dinámico de los diferentes componentes mecánicos rotativos para que no se presenten vibraciones que afecten el proceso de empaclado y para alargar la vida útil de dichos elementos.
- Para que el sistema de empaclado de huevos sea eficiente se debe tomar en cuenta la cantidad de huevos que llegan al acumulador, ya que la maquina estará esperando a que los sensores capten presencia para empezar un ciclo de empaclado si el abastecimiento es deficiente la máquina pasa mucho tiempo en reposo.
- Es necesario la limpieza periódica de los elementos que estén en contacto de forma directa con los huevos.
- Revisar, limpiar, ajustar, lubricar periódicamente los elementos mecánicos que intervienen en el proceso de empaclado de huevos para alargar la vida útil de todo el sistema en especial las partes que soportan las bandas ya que estas poseen un factor de estiramiento.
- El operario debe ser capacitado para manipular la máquina de manera correcta acatando las instrucciones de funcionamiento para evitar que se pueda producir cualquier tipo de percance tanto en el sistema como accidentes en el operario de tipo personal.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AFABA. (2009). Avícolas de postura, un negocio que crece. *AFABA*, 10.
- AFABA. (2015). Las BPA En la avicultura proporciona multiples beneficios. *AFABA*, 28.
- AGROEDITORIAL. (1 de JUNIO de 2015). *AGROEDITORIAL CIA. LTDA*. Obtenido de <http://www.agroeditorial.org/edicion-213/>
- ARDUINO. (2016). *Products: Arduino Uno*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- FUNDESYRAM. (31 de Mayo de 2014). *Cosechando Natural*. Obtenido de [http://www.cosechandonatural.com.mx/cuales\\_son\\_las\\_mejores\\_azas\\_de\\_gallinas\\_articulo54.html](http://www.cosechandonatural.com.mx/cuales_son_las_mejores_azas_de_gallinas_articulo54.html)
- BOSCH. (2011). *Catálogo de motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.eccmec.it/wp-content/uploads/2012/05/Catalogo-Bosch1.pdf>
- Budynas, R., & Keith, N. (2012). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- CADERSA CADENAS Y DERIVADOS S.A. (s.f.). *Cadersa Cadenas y Derivados S.A*. Obtenido de <http://www.cadersa.es/Sub6166.htm>
- CAMSCO ELECTRIC CO., LTD. (2016). *Especificación de Relé: P226*. Obtenido de <http://www.camSCO.com.tw/spa/relay/P226.html>
- CHINT Electrics. (2011). *CHINT Electric Catálogos técnicos*. Obtenido de <http://www.chintelectrics.es/catalogos-tecnicos.html>
- CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL S.A DE C.V. (2015). *Control e Instrumentación Industrial*. Obtenido de

<http://ceiisa.com/Sensor-Capacitivo-30mm-x-15mm-Mca-Autronics-Mod-CR30-15DP>

CORPORACIÓN NACIONAL DE AVICULTORES, CONAVE. (01 de Febrero de 2006). Obtenido de <http://www.conave.org/informacionlistall.php?pagina=2>

Cruz, M. C. (s.f.). *METAL ACTUAL*. Obtenido de <http://www.metalactual.com/revista/7/tratamientos.pdf>

ECURED. (29 de Octubre de 2015). *EcuRed Conocimiento con todos y para todos* . Obtenido de [http://www.ecured.cu/index.php/Transportador\\_de\\_rodillos](http://www.ecured.cu/index.php/Transportador_de_rodillos)

EL SITIO AVÍCOLA. (03 de Agosto de 2011). *Manejo de la producción de huevos de calidad*. Obtenido de <http://www.elsitioavicola.com/articles/1992/manejo-de-la-produccion-de-huevos-de-calidad/>

F&C. (2016). *F&C*. Obtenido de <http://www.fctaiwan.com/en/Productdetail.asp?CategoryId=39&ProductId=52#>

FESTO. (Noviembre de 2015). *FESTO sensores ópticos*. Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es-mx\\_mx/products\\_050502](https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/products_050502)

FUNDACIÓN ORIGEN CHILE - MANUAL AVÍCOLA. (Diciembre de 2010). *Producción y Manejo Avícola*. Obtenido de <http://fundacionorigenchile.org/manuales/ManualAvicola.pdf>

HW KITCHEN. (2015). *Products: HW Kitchen*. Obtenido de <http://www.hwkitchen.com/products/lcd-display-4x20-characters/>

INAVECA. (2007). Construcción de Jaulas para planteles avícolas. *AFABA*, 6.

INNOVATION IN MOTION TSUBAKI. (29 de 10 de 2015). *tsubaki.eu*. Obtenido de tsubaki.eu: <http://tsubaki.eu/>

- MD SOLID. (s.f.). *Simulador de cargas en ejes estáticos*.
- MICROCHIP. (2016). *Products: Pic Microcontrollers*. Obtenido de <http://www.microchip.com/design-centers/32-bit>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA EL SALVADOR. (2015). *Programa de Reproducción Animal*. Obtenido de [http://www.mag.gob.sv/phocadownload/Apoyo\\_produccion/guia%20el%20manejo%20de%20gallinas%20ponedoras.pdf](http://www.mag.gob.sv/phocadownload/Apoyo_produccion/guia%20el%20manejo%20de%20gallinas%20ponedoras.pdf)
- Norton, R. L. (2000). DISEÑO DE MAQUINARIA. En R. L. Norton, *DISEÑO DE MAQUINARIA* (pág. 4). Mexico: McGRAW-HILL.
- Orellana Jarrín, J. (23 de 09 de 2014). *Revista El Agro*. Obtenido de <http://www.revistaelagro.com/2014/09/23/analisis-de-la-avicultura-en-ecuador/>
- Pidrafita Moreno, R. (2004). Ingeniería de la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. En R. P. Moreno, *Ingeniería de la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL* (pág. 7). México,D.F: Alfaomega.
- REAL ACADEMÍA ESPAÑOLA. (2015). *REAL ACADEMIA ESPAÑOLA*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?w=avicultura&m=form&o=h>
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: UPC.
- ROCKWELL AUTOMATION - ALLEN BRADLEY. (2015). *Copyright Rockwell Automation* . Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/IEC-Limit-Switches/802B-Small-Precision-Limit-Switches>
- ROTRANS S.A. (ENERO de 2016). *ROTRANS S.A*. Obtenido de <http://rotranssa.com/catalogos>
- SANOVO TECHNOLOGY GROUP. (2015). *Sanovo Group*. Obtenido de <http://www.sanovogroup.com/Farmpackers.2151.aspx?recordid2151=66>

SPOTTS, M. F. (2003). Proyectos de elementos de máquinas. En M. F. SPOTTS, *Proyectos de elementos de máquinas*. (pág. 293). Sevilla: REVERTE,S.A.

TOSHIBA LEADING INNOVATION. (2016). *Productos: Toshiba*.  
Obtenido de <http://www.toshiba.es/laptops/product-filter/?sFamily=satellite>

WEG. (2016). *Motores Eléctricos: Industriales Trifásicos*. Obtenido de <http://www.weg.net/ec/Productos-y-Servicios>

XINJE ELECTRONIC CO. LTD. (2015). *XINJE*. Obtenido de <http://www.xinje.com/en/ProductView.asp?ID=119&SortID=145>

**ANEXOS**

**A1: ANÁLISIS DE COSTOS DE FABRICACIÓN**

**A2: PLANOS MECÁNICOS**

**A3: MANUAL DE USUARIO**

**A4: HOJA DE PROCESOS**

**A5: ACTA EQUIPO ENTREGADO**

